

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,641  
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,504

Журнал издается с 2003 г.  
12 выпусков в год

Электронная версия журнала [top-technologies.ru/ru](http://top-technologies.ru/ru)  
Правила для авторов: [top-technologies.ru/ru/rules/index](http://top-technologies.ru/ru/rules/index)  
Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70062

*ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР*

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

*Ответственный секретарь редакции*

*Бизенкова Мария Николаевна*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

д.т.н., профессор, Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., профессор, Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., профессор, Алов В.З. (Нальчик); д.т.н., доцент, Аршинский Л.В. (Иркутск); д.т.н., профессор, Ахтулов А.Л. (Омск); д.т.н., профессор, Баёв А.С. (Санкт-Петербург); д.т.н., профессор, Баубеков С.Д. (Тараз); д.т.н., профессор, Беззубцева М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.-м.н., профессор, Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., профессор, Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.-м.н., профессор, Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., профессор, Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., профессор, Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Горбатько С.М. (Москва); д.т.н., профессор, Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., профессор, Далингер В.А. (Омск); д.псих.н., профессор, Долгова В.И. (Челябинск); д.э.н., профессор, Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., профессор, Дресвянников А.Ф. (Казань); д.псих.н., профессор, Дубовицкая Т.Д. (Сочи); д.т.н., доцент, Дубровин А.С. (Воронеж); д.п.н., доцент, Евтушенко И.В. (Москва); д.п.н., профессор, Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.п.н., профессор, Жеребило Т.В. (Грозный); д.т.н., профессор, Завражнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загrevский О.И. (Томск); д.т.н., профессор, Ибраев И.К. (Караганда); д.т.н., профессор, Иванова Г.С. (Москва); д.х.н., профессор, Ивашкевич А.Н. (Москва); д.ф.-м.н., профессор, Ижуткин В.С. (Москва); д.т.н., профессор, Калмыков И.А. (Ставрополь); д.п.н., профессор, Качалова Л.П. (Шадринск); д.псих.н., доцент, Кибальченко И.А. (Таганрог); д.п.н., профессор, Клемантович И.П. (Москва); д.п.н., профессор, Козлов О.А. (Москва); д.т.н., профессор, Козлов А.М. (Липецк); д.т.н., доцент, Козловский В.Н. (Самара); д.т.н., доцент, Красновский А.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Крупенин В.Л. (Москва); д.т.н., профессор, Кузлякина В.В. (Владивосток); д.т.н., доцент, Кузяков О.Н. (Тюмень); д.т.н., профессор, Куликовская И.Э. (Ростов-на-Дону); д.т.н., профессор, Лавров Е.А. (Суми); д.т.н., доцент, Ландэ Д.В. (Киев); д.т.н., профессор, Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.ф.-м.н., доцент, Ломазов В.А. (Белгород); д.т.н., профессор, Ломакина Л.С. (Нижний Новгород); д.т.н., профессор, Лубенцов В.Ф. (Краснодар); д.т.н., профессор, Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., профессор, Макаров В.Ф. (Пермь); д.п.н., профессор, Марков К.К. (Иркутск); д.п.н., профессор, Матис В.И. (Барнаул); д.г.-м.н., профессор, Мельников А.И. (Иркутск); д.п.н., профессор, Микерова Г.Ж. (Краснодар); д.п.н., профессор, Моисеева Л.В. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Мурашкина Т.И. (Пенза); д.т.н., профессор, Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., профессор, Надеждин Е.Н. (Тула); д.ф.-м.н., профессор, Никонов Э.Г. (Дубна); д.т.н., профессор, Носенко В.А. (Волгоград); д.т.н., профессор, Осипов Г.С. (Южно-Сахалинск); д.т.н., профессор, Пен Р.З. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петрова И.Ю. (Астрахань); д.т.н., профессор, Пивень В.В. (Тюмень); д.э.н., профессор, Потышняк Е.Н. (Харьков); д.т.н., профессор, Пузряков А.Ф. (Москва); д.п.н., профессор, Рахимбаева И.Э. (Саратов); д.п.н., профессор, Резанович И.В. (Челябинск); д.т.н., профессор, Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.т.н., профессор, Рогов В.А. (Москва); д.т.н., профессор, Санинский В.А. (Волжский); д.т.н., профессор, Сердобинцев Ю.П. (Волгоградский); д.э.н., профессор, Сихимбаев М.Р. (Караганда); д.т.н., профессор, Скрыпник О.Н. (Иркутск); д.п.н., профессор, Собянин Ф.И. (Белгород); д.т.н., профессор, Страбькин Д.А. (Киров); д.т.н., профессор, Сугак Е.В. (Красноярск); д.ф.-м.н., профессор, Тактаров Н.Г. (Саранск); д.п.н., доцент, Тутолмин А.В. (Глазов); д.т.н., профессор, Умбетов У.У. (Кызылорда); д.м.н., профессор, Фесенко Ю.А. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Хола Л.Д. (Нерюнгри); д.т.н., профессор, Часовских В.П. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Ченцов С.В. (Красноярск); д.т.н., профессор, Червяков Н.И. (Ставрополь); д.т.н., профессор, Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., профессор, Шарафеев И.Ш. (Казань); д.т.н., профессор, Шишков В.А. (Самара); д.т.н., профессор, Щипицын А.Г. (Челябинск); д.т.н., профессор, Яблокова М.А. (Санкт-Петербург)

---

Журнал «Современные наукоемкие технологии» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий, и массовых коммуникаций. **Свидетельство ПИ № ФС 77 – 63399.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,641.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,504.**

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.**

Учредитель, издательство и редакция:  
ИД «Академия Естествознания»

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

Ответственный секретарь редакции –  
Бизенкова Мария Николаевна  
тел. +7 (499) 705-72-30  
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 25.04.2018  
Дата выхода номера – 25.05.2018

Формат 60×90 1/8  
Типография  
ООО «Научно-издательский центр Академия Естествознания»  
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка  
Митронова Л.М.  
Корректор  
Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный  
Распространение по свободной цене  
Усл. печ. л. 23,5  
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2018/4  
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Технические науки (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)**

ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АОС	
<i>Артюшина Л.А.</i> .....	9
ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ШАРОВОЙ ЗАСЫПКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА	
<i>Бирин Д.С., Аношкин Ю.И., Головкин В.Ф., Токарев М.С., Ярахтин М.С.</i> .....	14
ИНТЕГРАЦИЯ СВОЙСТВ МОДУЛЯРНЫХ КОДОВ И ДИСКРЕТНЫХ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЧАСТОТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ	
<i>Гиш Т.А., Белов С.П., Калмыков И.А., Юрданов Д.В., Ефимович А.В., Калмыков М.И.</i> .....	20
ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	
<i>Горева Т.С., Портнягин Н.Н.</i> .....	26
ВЫБОР УСИЛИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАТЯЖКИ ШАТУННЫХ БОЛТОВ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ	
<i>Гоц А.Н.</i> .....	32
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ВАРИАНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ БИОСЕНСОРОВ	
<i>Заринова В.М., Евдошенко О.И., Петрова И.Ю.</i> .....	37
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА БАЗЕ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА	
<i>Ильдияров Е.Н., Сизов А.Н., Чубаров Ф.Л.</i> .....	44
МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С ФИКСИРОВАННЫМ РАЗМЕРОМ ЗАКАЗА НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АПТЕЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ	
<i>Истомин А.Л., Бадеников А.В., Истомина А.А.</i> .....	49
НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМУ АНАЛИЗУ УПРОЩЕННОГО ШИФРА MISTY1	
<i>Ищуква Е.А., Куликов А.В.</i> .....	55
О ПОДХОДАХ К РАЗРАБОТКЕ WEB-СЕРВИСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ИНТЕРФЕЙСА КОНТРОЛЯ ТОРГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ	
<i>Кирякова О.В., Лапина Л.А., Горбань А.А., Душевская А.В., Киряков В.С., Ларионова А.А., Фадеев А.Е.</i> .....	62
ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКЕ ДЕФЕКТОВ ШТАМПОВКИ ЖЕСТЯНОЙ ТАРЫ	
<i>Критичина Н.А., Пегина А.Н., Игуменова Т.И., Земсков Ю.П.</i> .....	68
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ В ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ	
<i>Кузнецов Д.М., Гапонов В.Л., Гайдукова Ю.А., Маслова Е.Е.</i> .....	74
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЗЦОВ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ С ДВУХПОДВЕСНОЙ СИСТЕМОЙ	
<i>Кулепов В.Ф., Шурашов А.Д., Никандров И.С., Горшков А.С., Малыгин А.Л.</i> .....	80

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОЩАДКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ	
<i>Локтев Д.А., Рожков А.Ф., Коренчук В.В., Лях Н.И., Белова Н.В.</i>	85
РАСПОЗНАВАНИЕ СИТУАЦИЙ И ОЦЕНКА РИСКОВ В ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД»	
<i>Марьенков А.Н., Выборнова О.Н., Досмухамедов Б.Р.</i>	91
УДАРНОЕ РАЗРУШЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД31 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОКАТКИ В ВИНТООБРАЗНЫХ ВАЛКАХ	
<i>Машеков С.А., Нугман Е.З., Тусупкалиева Э.А., Машекова А.С., Мауленова М.Р.</i>	97
ПОСТАНОВКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА	
<i>Овчинкин О.В., Пыхтин А.И., Сизов А.С.</i>	103
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРАТЕГИИ ЗАМЕНЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	
<i>Павлов А.И., Тарбеев А.А.</i>	108
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ОБЪЕМНЫХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ	
<i>Рукавишников А.С.</i>	113
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ МРТ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЗНАЧЕНИЙ, НОРМИРОВАННЫХ ПО ШКАЛЕ ХАУНСФИЛДА	
<i>Соловьева С.Н., Маткин А.Е.</i>	118
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПО СОСТАВУ И КОНЦЕНТРАЦИЯМ МЕТАЛЛОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ	
<i>Третьяк Л.Н., Кеян Е.Г., Вольнов А.С.</i>	127
КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ ОКРЕСТНОСТНЫЕ СИСТЕМЫ	
<i>Шмырин А.М., Мишачёв Н.М., Канюгина А.С.</i>	137
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА БАЛАНСИРОВКИ СФЕРИЧЕСКИХ УЗЛОВ	
<i>Юльметова О.С., Щербак А.Г.</i>	143
ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ В АСПЕКТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Алабин А.В., Свищева М.А., Коловертнова Д.Т., Каурова П.И.</i>	149

#### **Педагогические науки (13.00.00)**

«ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ» В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ – РЕАЛЬНОСТЬ ИЛИ ИЛЛЮЗИЯ? (КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В СИСТЕМЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ)	
<i>Зубарев В.Ф., Бондарев Г.А.</i>	154
ОБУЧЕНИЕ РУССКОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ В КАЗАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПОСОБИЯ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ ДЛЯ II КУРСА)	
<i>Ибрагимова Л.Г., Светлова Р.М.</i>	160

---

ДУХОВНО-НРАВСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ  
В ПРОЦЕССЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Иванова А.В., Бугаева А.П., Иванова Н.А.* ..... 164

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ АСПИРАНТОВ  
ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ

*Лакман И.А., Иванова А.Д., Муругова О.В.* ..... 169

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОЧНЫХ  
НАГРУЗОК ПЛИОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРЫЖКОВОЙ ПОДГОТОВКИ В ВОЛЕЙБОЛЕ

*Марков К.К., Николаева О.О., Кудрявцев М.Д.* ..... 174

О ПРОБЛЕМЕ ЭТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА

*Мокрицкая Е.А.* ..... 179

СПЕЦИФИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МОДУЛЯ «ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИЕ (ПРОСТОЕ  
ПРОТЕЗИРОВАНИЕ)» У СТУДЕНТОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

*Фелькер Е.В., Бароян М.А.* ..... 184

---

**CONTENTS**
**Technical sciences (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)**

INFORMATION REPRESENTATION METHODS: AN OVERVIEW <i>Artyushina L.A.</i> .....	9
OPTIMIZATION OF MOVEMENT PEBBLE BED HIGH-TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR CORE <i>Birin D.S., Anoshkin Yu.I., Golovko V.F., Tokarev M.S., Yarakhtin M.S.</i> .....	14
INTEGRATION PROPERTIES OF MODULAR CODES AND DISCRETE WAVELET TRANSFORMS WHEN PERFORMING ORTHOGONAL FREQUENCY MULTIPLICITIVE <i>Gish T.A., Belov S.P., Kalmykov I.A., Yurdanov D.V., Efimovich A.V., Kalmykov M.I.</i> .....	20
SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPORT OF HARDWARE SYSTEMS REDUCING THE IMPACT OF PULSE DISTORTION IN POWER NETWORKS <i>Goreva T.S., Portnyagin N.N.</i> .....	26
THE CHOICE OF THE EFFORT PRE-TIGHTENING CONNECTING ROD BOLTS PISTON ENGINE <i>Gots A.N.</i> .....	32
AUTOMATED SYNTHESIS OF OPTIONS OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF ACTION OF BIOSENSORS <i>Zaripova V.M., Evdoshenko O.I., Petrova I.Yu.</i> .....	37
ELECTROMECHANICAL DRIVE-TYPE BASED, ELECTROHYDRAULIC CONTROL CIRCUIT FOR THE SPEED OF THE STEAM TURBINE INVESTIGATION <i>Ildiyarov E.N., Sizov A.N., Chubarov F.L.</i> .....	44
MODEL OF INVENTORY CONTROL WITH A FIXED SIZE OF THE ORDER EXEMPLIFIED BY THE PHARMACIES <i>Istomin A.L., Badenikov A.V., Istomina A.A.</i> .....	49
SOME APPROACHES TO THE DIFFERENTIAL ANALYSIS OF THE SIMPLIFIED VERSION OF MISTY1 CIPHER <i>Ishchukova E.A., Kulikov A.V.</i> .....	55
ABOUT APPROACHES TO WEB-SERVICE DEVELOPMENT FOR CREATING AN UNIFORM TRADE CONTROL INTERFACE FOR AN ENTERPRISE <i>Kiryakova O.V., Lapina L.A., Gorban A.A., Dushevskaya A.V., Kiryakov V.S., Larionova A.A., Fadeev A.E.</i> .....	62
APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN SEARCHING FOR DEFECTS OF STAINING OF THE HARD TAPE <i>Kritinina N.A., Pegina A.N., Igumenova T.I., Zemskov Yu.P.</i> .....	68
THE STUDY OF THE PROCESSES OF DEGASIFICATION OF A LIQUID BY ACOUSTIC EMISSION METHOD <i>Kuznetsov D.M., Gaponov V.L., Gaydukova Yu.A., Maslova E.E.</i> .....	74
EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF STABILIZATION OF REVERSE ROAD CUTTERS WITH THE TWO SUSPENSION SYSTEM <i>Kulepov V.F., Shurashov A.D., Nikandrov I.S., Gorshkov A.S., Malygin A.L.</i> .....	80

MODELING AND ANALYSIS EMERGENCY CONDITION OF THE SERVICE PLATFORM CONSTRUCTION	
<i>Loktev D.A., Rozhkov A.F., Korenchuk V.V., Lyakh N.I., Belova N.V.</i>	85
RECOGNITION OF SITUATIONS AND RISK ASSESSMENT IN THE SINGLE INFORMATION ENVIRONMENT OF THE HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX «SAFE CITY»	
<i>Marenkov A.N., Vybornova O.N., Dosmukhamedov B.R.</i>	91
SHOCK DAMAGING OF NANOSTRUCTURED AD31 ALUMINUM ALLOY AFTER VARIOUS TYPES OF HEAT TREATMENT AND ROLLING IN HELICAL ROLLS	
<i>Mashekov S.A., Nugman E.Z., Tusupkalieva E.A., Mashekova A.S., Maulenova M.R.</i>	97
SETTING OF THE MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION TASK FOR THE EFFECTIVENESS IMPROVEMENT OF A UNIVERSITY EDUCATIONAL ACTIVITY	
<i>Ovchinkin O.V., Pykhtin A.I., Sizov A.S.</i>	103
THE METHOD OF DETERMINING THE STRATEGY OF REPLACING HIGH PRESSURE HOSES, HYDRAULIC TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES	
<i>Pavlov A.I., Tarbeev A.A.</i>	108
MATHEMATICAL MODEL OF COMPRESSION PROCESS OF BULK INSULATIONS FOR DESIGNING HEAT PROTECTIVE CLOTHING	
<i>Rukavishnikova A.S.</i>	113
DEVELOPMENT OF THE METHOD OF EVALUATION OF MRI IMAGES BASED ON THE VALUES RATED BY THE HOUNSFIELD SCALE	
<i>Soloveva S.N., Matkin A.E.</i>	118
DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE CYLINDER-PISTON MOTOR OF AUTOMOBILE ENGINES ON THE COMPOSITION OF METALS IN PROCESS GASES	
<i>Tretyak L.N., Keyan E.G., Volnov A.S.</i>	127
QUASI-STATIC NEIGHBORHOOD SYSTEMS	
<i>Shmyrin A.M., Mishachev N.M., Kanyugina A.S.</i>	137
INTERPRETATION OF ALTERNATIVE OBJECTIVE FUNCTIONS DURING MODELING THE BALANCING PROCESS OF SPHERICAL DETAILS	
<i>Yulmetova O.S., Scherbak A.G.</i>	143
LIMITATIONS OF A RECONSTRUCTION PROJECT IN THE SCOPE OF USE OF MODERN IT	
<i>Alabin A.V., Svishcheva M.A., Kolovertnova D.T., Kaurova P.I.</i>	149

#### **Pedagogical sciences (13.00.00)**

«IMPORT SUBSTITUTION» IN THE DOMESTIC HIGHER SCHOOL – REALITY OR ILLUSION? (CRITICAL ANALYSIS OF SOME ASPECTS OF THE COMPETENCY APPROACH IN THE SYSTEM OF RUSSIAN HIGHER EDUCATION)	
<i>Zubarev V.F., Bondarev G.A.</i>	154
TEACHING RUSSIAN LANGUAGE FOR FOREIGN STUDENTS IN KAZAN STATE MEDICAL UNIVERSITY (EXPERIENCE OF THE ELABORATION OF TEXTBOOKS ON RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE FOR THE SECOND YEAR STUDENTS)	
<i>Ibragimova L.G., Svetlova R.M.</i>	160

---

SPIRITUAL AND MORAL DEVELOPMENT OF JUNIOR SCHOOLCHILDREN  
DURING MATHEMATICAL EDUCATION

*Ivanova A.V., Bugaeva A.P., Ivanova N.A.* ..... 164

METHODOLOGICAL SUPPORT OF THE PEDAGOGICAL PRACTICES OF GRADUATE  
STUDENTS OF TECHNICAL AND ECONOMIC DISCIPLINES

*Lakman I.A., Ivanova A.D., Murugova O.V.* ..... 169

EXPERIMENTAL STUDY OF OPTIMAL TRAINING LOADS IN PLYOMETRIC  
JUMPING PREPARATIONS IN VOLLEYBALL

*Markov K.K., Nikolaeva O.O., Kudryavtsev M.D.* ..... 174

ON THE PROBLEM OF STUDENTS' ETHICAL EDUCATION IN THE UNIVERSITY

*Mokritskaya E.A.* ..... 179

THE SPECIFICITY OF TEACHING THE MODULE «PROSTHODONTICS  
(SIMPLE PROSTHETICS)» STUDENTS OF DENTAL FACULTY

*Felker E.V., Baroyan M.A.* ..... 184

УДК 004.75

## ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АОС

Артюшина Л.А.

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,  
e-mail: larisa-artusina@yandex.ru*

Специфика методов обработки информации в автоматизированных обучающих системах (АОС) связана прежде всего с тем, что современные АОС представляют собой интеллектуальные системы, построенные на основе парадигмы обработки баз знаний (БЗ). В научных публикациях представлены основные типы информации, существующей в БЗ, дана общая классификация методов интеллектуальной обработки информации в АОС по её типам: представления информации, контроля усвоения представленной информации, помощи, определения причин ошибок, формирования управляющих воздействий. Однако подробно не рассмотрен ряд вопросов, в частности качественные характеристики информации, на которых базируются методы. С учетом этого обстоятельства в статье подробно описаны механизмы работы методов, определены свойства, представляемой данным методом информации, выявлены особенности каждого метода. В силу большого разнообразия методов представления информации в первой части статьи анализировались только методы продукционной и логической моделей. Рассмотрены: метод формализации информации в форме правил (продукционная модель представления знаний), метод исчисления высказываний первого порядка, метод резолюций, методы модальной и псевдофизических логик (логическая модель представления знаний). Приведены примеры представления информации каждым методом.

**Ключевые слова:** интеллектуальная обработка информации, методы обработки информации, методы представления знаний, интеллектуальные системы

## INFORMATION REPRESENTATION METHODS: AN OVERVIEW

Artyushina L.A.

*Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs,  
Vladimir, e-mail: larisa-artusina@yandex.ru*

The specifics of data processing methods in automated educational systems (AES) is principally related to the fact that modern AES correspond to intelligent systems based on the knowledge base (KB) processing paradigm. In scientific publications presents the main kinds of information existing in the KB and the general classification of intelligent information processing methods in AES according to its types (the representation of information reception, the uptake of content supervision, the assistance, the error cause identification, the control actions formation). However, a set of questions hasn't been considered in depth; in particular, qualitative characteristics of information on which methods are based. In view of the fact the article describes methods' operating principles in detail, defines properties of information provided by this method, and identifies the essential features of every method. Due to a great variety of information representation methods Part I of the article analyses only the methods of production and logical models. The method of formalizing information in the form of rules, the first-order sentence calculus method, the resolution method and the methods of modal and pseudophysical logics have been observed. Examples of information presentation by each method are given.

**Keywords:** intelligent information processing, methods for data processing, methods of knowledge representation, intelligent systems

На сегодняшний день АОС становятся неотъемлемой частью современных образовательных процессов в системе высшего образования. Специфика методов обработки информации в АОС связана, прежде всего, с тем, что современные автоматизированные обучающие системы представляют собой интеллектуальные системы, построенные на основе парадигмы обработки баз знаний (БЗ). В этом ключе, говоря об информации, мы далее будем иметь в виду знания, и наоборот, говоря о знании, будем иметь в виду информацию. Статья посвящена аналитическому обзору методов представления информации.

Под методами представления информации мы будем понимать способ формального описания информации и оперирования этими описаниями.

Основой классификации методов представления информации являются модели их представления в БЗ. На сегодняшний день существуют различные классификации моделей знаний. В [1]: продукционные модели, фреймы, формально-логические модели, модели на основе онтологии, включая семантические сети, другие модели (комбинированная, модель в виде И-ИЛИ дерева, модель в виде дерева понятий, UML-модель); [2]: логические, продукционные, фреймовые, сетевые, объектно-ориентированные, специальные и комплексные; [3]: логическая, продукционная, фреймовая, сетевая, другие модели (объектно-ориентированные, специальные и комплексные); [4]: на основе исчисления высказываний и исчисления предикатов, продукционные, семантические, фреймовые, интегрирован-

ные; [5–7]: логическая, продукционные, фреймы, нейронные сети, гибридные модели и т.д. В силу большого разнообразия моделей представления информации в первой части статьи ограничимся рассмотрением методов продукционной и логической моделей представления информации.

Продукционная модель. Описана в [8, 9]. Основу представления знаний составляют системы продукций, каждая продукция имеет вид «если А, то В», где А – факт (понятие), В – действие. Интерпретируется двумя способами: если посылка А истинна, то действия, указанные в части ТО, выполняются; вероятностная интерпретация, при которой правило «если А, то В» срабатывает с некой вероятностью, зависящей от истинности посылки А. Под действием обычно понимается операция добавления факта в БЗ интеллектуальной системы или взаимодействие с внешней средой.

Такая система позволяет представить виды знаний, описывающие: понятия (факты) ПО, причинно-следственную связь понятий (фактов) А и В; некоторые действия А и В; знания (А) и действия (В). Примеры, демонстрирующие указанные виды знаний: «если число делится на два, то оно – четное», «для того, чтобы вычислить значение производной в точке  $x$  с помощью графика, проведём в этой точке касательную к графику функции», «если в условии задачи указано, что дан график производной функции, то можно определить знаки производной функции в точке». Для представления нечетких знаний А и В снабжаются коэффициентами достоверности (или уверенности), которые могут принимать значения из разных интервалов в разных системах, например  $[0, 1]$ . К методам представления продукционной модели знаний относится метод формализации знаний в форме правил, структурированных в общем виде как: ЕСЛИ  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , то В, где А связаны логическими операциями «И», «ИЛИ», «НЕ». Суть метода: «Сопоставить – выполнить». Пример представления знаний этим методом:

Посылки «Образование – Высшее» и «Возраст < 35» записаны в БЗ.

ПРАВИЛО 1:

ЕСЛИ

Образование – Высшее И

Возраст – Молодой

ТО

Шансы найти работу > 0,8.

ПРАВИЛО 2

ЕСЛИ

Возраст < 35

ТО

Возраст – Молодой

Так как посылки «Образование – Высшее» и «Возраст < 35» существуют в БЗ, а посылка «Возраст – Молодой» – отсутствует, то в БЗ помещается факт из условной части правила 2 «Возраст – Молодой». При повторном применении правил правило 2 уже не используется, так как было применено, а правило 1 становится истинным и в БЗ помещается факт «Шансы найти работу > 0,8».

Возможна и обратная ситуация.

Анализ механизмов метода представления информации в форме правил позволил нам выявить ряд ограничений на представляемую этим методом информацию.

Однозначность. Нельзя представить этим методом многозначные или неточные понятия. Например, понятие «оператор»:

ПРАВИЛО 1:

ЕСЛИ Оператор

ТО Юридическое лицо

ПРАВИЛО 2:

ЕСЛИ Оператор

ТО Управляет техническим устройством

ПРАВИЛО 3:

ЕСЛИ Оператор

ТО Практикующий хирург

При попытках сопоставления условной части каждое из правил будет истинным. Для механизма метода это означает ситуацию «конфликта выполнения» заключительной части правила.

Возможна другая ситуация. Представляемая информация однозначна, но имеется несколько правил выполнения результирующей части.

Дополним пример представления знаний этим методом правилом 3.

ПРАВИЛО 3:

ЕСЛИ

Образование – Высшее

ТО

Можно поступить в аспирантуру.

В результате добавления правила 3 появляется возможность применения на одном шаге работы метода и правила 2 и правила 3. Возникает ситуация «конфликта набора правил». Применение правила 2 на первом шаге дает возможность применить на втором шаге и правило 1 и правило 3. Если применить правило 1, то в БЗ будет помещен факт «Шансы найти работу > 0,8». Если же вначале применить правило 3, то в БЗ будет помещен факт «Можно поступить в аспирантуру», а затем, после применения правила 1, факт «Шансы найти работу > 0,8». Налицо временная зависимость скорости работы метода от количества правил и порядка выполнения правил.

Принцип сопоставления информации, лежащий в основе метода, требует:

- однородности (однотипности, одинаковости) представляемой информации;
- одинакового синтаксиса описания представляемой информации;
- обязательного наличия в БЗ информации, выступающей посылкой, в момент использования правила.

Логическая [8, 9] или, в трактовке [1], формально-логическая модель. Знания ПО представляются в виде предикатов – логических функций  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , принимающих значение ИСТИНА или ЛОЖЬ, где  $F$  – имя предиката,  $x_i$  – аргументы предиката. Каждый предикат структурно состоит из элементарных составляющих, в качестве которых могут выступать другие предикаты или логические функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , записанные с использованием логических связок «И», «ИЛИ», «НЕ», «СЛЕДОВАНИЕ» и кванторов всеобщности ( $\forall$ ) и существования ( $\exists$ ).

Так же как и в продукционной модели, информация представляется в форме совокупности правил, записанных в виде логических формул, что накладывает аналогичные ограничения на представляемую информацию. Отличием является то, что правила не имеют форму продукций, а представляют собой понятия (факты или утверждения) и отношения между ними.

Примером представления знаний с помощью этой модели служит предикат «образование (среднее, специальное, высшее)». Может обозначать понятие «образование» как отношение, связывающее между собой уровни образования. А может обозначать свойство объектов-аргументов (среднее, специальное, высшее), обозначенных именем предиката «образование». К логическим методам представления знаний ПО можно отнести: исчисление высказываний 1-го порядка (логика предикатов), метод резолюции, методы модальных логик.

Рассмотрим указанные логические методы.

Метод исчисления высказываний 1-го порядка. Суть метода: вычисление заключения из предикатов. Ограничение: нельзя использовать в качестве аргументов предиката логическое выражение, т.е. представляемая информация должна обладать свойством высокой структурированности.

Рассмотрим наш пример с поиском работы. Исходные посылки «Образование – Высшее», «Возраст < 35» и «Шанс найти работу > 0,8» разложатся на элементарные части. «Образование» – субъект, «высшее» – свойство субъекта. Таким образом, «образование» является предикатом, например,  $p$ , свойство «высшее» – одно из возможных значений аргумента предиката  $p$ . Более общая запись будет иметь вид  $p(x)$ .

Соответственно, свойство «Возраст < 35» – предикат  $q(y)$ , где  $y$  – возможные значения предиката «Возраст», «Шанс найти работу» – предикат  $a(k)$ , где  $k$  – возможные значения вероятности найти работу.

Тогда информация, содержащаяся в утверждениях, будет представлена в виде:  $p(x) \wedge q(y) \rightarrow a(k)$ . В отличие от продукционного метода не требуется вначале установить истинность  $p$ , а затем истинность  $q$ . а истинно, если  $p$  и  $q$  истинны, то есть вычисление заключения происходит вне зависимости от порядка обработки условий  $p$  и  $q$ .

Метод резолюции представляет собой более фундаментальную формализацию по сравнению с методом логики предикатов. Указанное отличие предполагает перед переходом к заключению приведение изначально заданных логических формул к определенной нормальной форме, например префиксной нормальной форме (ПНФ). Преобразование основывается на ряде правил: выведение кванторов  $\forall$  и  $\exists$  перед логической формулой, исключение связок  $\rightarrow, \leftrightarrow$  путем их замены на связки И, ИЛИ, НЕ, полное исключение кванторов  $\forall$  и  $\exists$  из формулы.

Пример представления информации этим методом:  $(\forall x)(\exists y)$  РАВНО  $(X, Y)$  – «для каждого  $x$  существует  $y$ , такой, что  $x$  равно  $y$ ». Указанное соотношение позволяет заменить  $y$  на функцию  $f(x)$ , описывающее данное отношение. Учитывая тот факт, что функция  $f(x)$  возникла потому, что переменная  $y$  проквантифицирована квантором  $\exists$ , полученная логическая формула примет вид:  $(\forall x)$  РАВНО  $(x, y)$ .

Методы модальной логики описаны в [10–12] являются расширением логики предикатов 1-ого порядка, за счет введения возможности качественной оценки связи, установленной в высказывании, с помощью аппарата многозначных логик:

- модальных операторов, например, «возможно», не принимающего значение ИСТИНА или ЛОЖЬ, а принимающего некое третье значение (трехзначная логика Лукасевича);

- четырехзначная логика (истинно и ложно, ложно и неистинно, истинно и ложно, ни истинно и ни ложно – 1, '+', '-', 0 соответственно);

- аксиом, выражающих условия истинности, о замене эквивалентным и т.д.

Используются для представления в БЗ противоречивой и неполной информации, т.е. являющейся истинной и ложной или ни истинной и ни ложной. Примером представления информации с помощью модальной логики является запись утверждения

«Возможно, завтра пойдет дождь» вида:  $\nabla(x)$ , где символ  $\nabla$  – обозначение модального оператора «возможно»,  $x$  – утверждение «завтра пойдет дождь». Это утверждение не является сегодня ни истинным, ни ложным, оно имеет некое третье значение, именуемое «возможность» и обозначаемое, например, 1/2 [11].

Таким образом, появляется возможность представить информацию не только о реальном, но и возможном (или необходимом) событии (явлении, объекте, свойстве и т.п.).

Возможны другие модальные операторы – «необходимо», «всегда» и т.д. – и соответствующие модальные логики. Виды модальных логик представлены, например, в [3]. Следуя [3], перечислим наиболее известные: алетическая логика (модальности «возможно – необходимо»), деонтическая логика (модальности «разрешено – обязательно»), эпистемическая логика (логика «знания – веры»), временная модальная логика (модальности «всегда – никогда», «часто – иногда»).

Псевдофизические логики объединяют в себе целый класс методов: пространственная и временная логики, логика оценки величин, логика действий. Методы пред-

ставлены в [13,14]. Целью перечисленных методов является формализация нестрогих рассуждений человека о рассматриваемой предметной области в виде так называемых лингвистических переменных, генерация на основе правил вывода новых знаний о данной области, пополнение новыми знаниями БЗ. Значения лингвистических переменных связаны со значениями различного рода шкал: возраста (количество лет), расстояния (м или км) и т.д. Например, со значениями шкалы «возраст» можно связать соответственно значения лингвистической переменной: «юный», «молодой», «зрелый», «старый» или диапазоны значений шкалы: «0 ... 17», «17 ... 21», «22 ... 35», «36 ... 50» и т.д.. Таким образом устанавливается связь между разнотипной информацией. Как следствие, метод дает возможность установить связь и одновременно представить разнотипную информацию. Такого рода взаимосвязи образуют базовые отношения, из которых с помощью логических связок строятся производные отношения. Примером представления информации методом псевдофизических логик является понятие «пожилой» как конъюнкция от понятий «зрелый» и не «старый» и возраст «от 22 до 35 лет».

#### Методы продукционной и логической моделей представления информации в АОС

№ п/п	Название метода	Форма представления информации	Вид правила	Свойства представляемой данным методом информации	Отличительные особенности метода
1	метод формализации информации в форме правил	совокупность правил	продукции вида «Если А, то В»	однозначность, однородность, одинаковый синтаксис описания, обязательное наличие в БЗ информации, выступающей посылкой, в момент использования правила	временная зависимость скорости работы метода от количества и порядка выполнения правил
2	метод исчисления высказываний 1-го порядка	совокупность правил	понятия, отношения между понятиями	однозначность, однородность, одинаковый синтаксис описания, высокая структурируемость	не требуется последовательного установления истинности понятий
3	метод резолюции	совокупность правил	понятия, отношения между понятиями	однозначность, однородность, одинаковый синтаксис описания, высокая структурируемость	приведение изначально заданных логических формул к определенной нормальной форме
4	методы модальной логики	совокупность правил	понятия, отношения между понятиями	противоречивая и неполная, возможная, необходимая	возможность качественной оценки связи, установленной между понятиями
5	псевдофизические логики	стандартный код (числовой, символьный и т.п.)	шкала оценок	разнотипная	возможность установить связь и одновременно представить разнотипную информацию

Результаты обзора методов продукционной и логической моделей представления информации сведены в таблице.

### Список литературы

1. Карпенко А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор / А.П. Карпенко // *Машиностроение и компьютерные технологии*. – 2011. – № 7. – С. 12–29.
2. Макаренко С.И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие / С.И. Макаренко. – Ставрополь: СФ МГТУ им. М.А. Шолохова, 2009. – 206 с.
3. Поллак Г.А. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие / Г.А. Поллак. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 141 с.
4. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник / Л.С. Болотова. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.
5. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта: монография / Г.С. Осипов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 296 с.
6. Остроух А.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 370 с.
7. Калинина Н.А. Модели и процедуры иерархического сетевого представления предметной области для поддержки процессов приобретения знаний: дис. ...канд. тех. наук. – Нижний Новгород, 2017. – 180 с.
8. Осуга С. Обработка знаний / С. Осуга; пер. с япон. В.И. Этова. – М.: Мир, 1989. – 293 с.
9. Представление и использование знаний / Х. Уэно, М. Исидзука, Т. Кояма и др.; пер. с япон. И.А. Иванова, под ред. Н.Г. Волкова. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
10. Лукасевич Я. О принципе противоречия у Аристотеля. Критическое исследование / Я. Лукасевич; пер. с польского Б.Т. Домбровского. – М. – СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2012. – 255 с.
11. Карпенко А.С. Логика Лукасевича и простые числа / А.С. Карпенко. – М.: Наука, 2000. – 319 с.
12. Карпенко А.С. Современные исследования в философской логике: мировой уровень, российская наука, РФФИ / А.С. Карпенко // *Вестник РФФИ*. – 2003. – № 3. – С. 52–71.
13. Калущая А.П. Моделирование информационного взаимодействия когнитивного агента с внешней средой на основе псевдофизических логик и обобщенных ограничений: дис. ...канд. тех. наук. – Москва, 2010. – 216 с.
14. Фоминых И.Б. Методы представления и обработки неопределенной информации в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / И.Б. Фоминых, А.П. Еремев // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. – 2012. – № 1. – С. 44–51.

УДК 621.039.537

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ШАРОВОЙ ЗАСЫПКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА****<sup>2</sup>Бирин Д.С., <sup>2</sup>Аношкин Ю.И., <sup>1,2</sup>Головко В.Ф., <sup>2</sup>Токарев М.С., <sup>2</sup>Ярахтин М.С.**<sup>1</sup>АО «ОКБМ Африкантов», Москва;<sup>2</sup>НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, e-mail: birin.dim@yandex.ru

Основной целью исследования, обозреваемого в данной статье, является определение оптимального угла наклона днища емкости шаровой засыпки активной зоны высокотемпературного газоохлаждаемого реактора. При движении шаровой засыпки возникает неоднородность в полях скоростей – периферийная область затормаживается, при сильном её замедлении происходит ухудшение физики активной зоны. Таким образом, в качестве основного результата исследования получен угол наклона днища, при котором движение шаровой засыпки наиболее равномерно. В качестве инструмента исследования использовалась программа LS-DYNA расчетного кода ANSYS. После проведения расчетов был получен результат – оптимальный угол составляет 40°. Существуют также и другие способы увеличения равномерности движения – использование на боковых стенках турбулизаторов. Кроме того, как описывается в литературе, использование турбулизаторов также позволяет бороться с «кристаллическими телами», которые образуются при многократной перегрузке шаровой засыпки активной зоны и могут сильно ее замедлить. Однако проведенные расчеты и анализ технических проектов высокотемпературных реакторов других стран дают основание полагать, что применение турбулизаторов нерационально, поскольку они лишь более замедляют периферийный слой и не помогают в разрушении «кристаллических тел».

**Ключевые слова:** шаровая засыпка активной зоны, оптимизация, шаровой твэл, турбулизатор, расчетный код**OPTIMIZATION OF MOVEMENT PEBBLE BED HIGH-TEMPERATURE  
GAS-COOLED REACTOR CORE****<sup>2</sup>Birin D.S., <sup>2</sup>Anoshkin Yu.I., <sup>1,2</sup>Golovko V.F., <sup>2</sup>Tokarev M.S., <sup>2</sup>Yarakhtin M.S.**<sup>1</sup>JSC «Afrikantov OKBM», Moscow;<sup>2</sup>NSTU name R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: birin.dim@yandex.ru

The main goal of the research surveyed in this article is to determine the optimal angle of inclination of the bottom capacity of pebble bed of active core of high temperature gas cooled reactor. When pebble bed of active core is moving occurring heterogeneity in the fields of speed – peripheral region slows down, with strong deceleration occurs deterioration in the physics of the core. Thus, as the main result of the study, the obtained angle of inclination of the bottom in which the movement of the pebble bed of active core with the most evenly. As a tool the study used LS-DYNA with cfd code ANSYS. After calculations the result was obtained – the optimal angle is 40°. There are also other ways of increasing the uniformity of movement – use turbulence on the wall. However, the calculations and analysis of technical projects of high temperature reactors in other countries give reason to believe that the use of turbulence is irrational.

**Keywords:** pebble bed active core, optimization, spherical fuel element, turbulence, cfd-code

Потенциал развития высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (ВТГР) высок: прогнозируется, что уже с 2040 г. в России реакторный парк станет преимущественно трехкомпонентным (ВВЭР, БН, ВТГР), причем доля газовых реакторов будет постоянно возрастать [1]. Также, благодаря возможности ВТГР производить высокопотенциальное тепло, кроме внедрения данной технологии реакторов в производство электроэнергии, существует большой потенциал её внедрения в энергоёмкие производства. К примеру, потенциальный объем внедрения в нефтедобычу – 70%, в нефтехимию и нефтепереработку – 40%, в химическую промышленность – 15% и т.д. Общий потенциальный объем внедрения ВТГР в энергоёмкие производства составляет около 25% [2].

На данный момент газоохлаждаемые реакторы находятся на третьем этапе своего

развития. Первый этап был представлен английскими реакторами типа Magnox (Магнокс), второй этап представлен реакторами типа AGR – advanced gas-cooled reactor (улучшенный газоохлаждаемый реактор). Во времена второго этапа в технологии газовых реакторов совершился настоящий технический прорыв, ознаменовавший начало третьего этапа, который длится до сих пор. Прорыв заключался в том, что в качестве материалов твэл предложили использовать карбиды с диспергированными в нем микротвэлами урана, а также предложили заменить теплоноситель с CO<sub>2</sub> на гелий. Данное решение позволило увеличить выходную температуру до 1000 °С и получить высокопотенциальное тепло.

Кроме увеличения параметров теплоносителя, данный прорыв заложил основу для развития двух принципиально разных типов активных зон: призматической и шаро-

вой. В призматической активной зоне твэлы представляют собой графитовые блоки высотой около 800 мм с расположенными в них по всей длине компактами с микротвэлами, а так же с отверстиями для прохода теплоносителя и для стержней СУЗ. По принципу работы призматическая активная зона аналогична активным зонам водо-водяных реакторов, имеет схожие достоинства и недостатки и рассматриваться в данной статье не будет.

Шаровая активная зона является более инновационной, обладает принципиально другими преимуществами и недостатками. Твэл в шаровой активной зоне представляет собой шар диаметром 60 мм с покрытием типа TRISO (Tristructural Isotropic Coated Particle) и диспергированными в нем микротвэлами. Десятки тысяч таких шаров находятся в активной зоне работающего на мощности реактора и перегружаются в процессе работы, без останова или снижения мощности. Некоторые преимущества шаровой засыпки активной зоны:

- способность перегружать топливо непосредственно во время работы реактора увеличивает КИУМ ядерных установок с ВТГР вплоть до 98%, что положительно сказывается на экономическом аспекте эксплуатации установки;

- используя цикл МПАЗ (многократная перегрузка активной зоны), можно контролировать уровень выгорания перегруженных твэл и отправлять обратно в активную зону те твэлы, чей уровень выгорания не соответствует норме, тем самым значительно увеличить среднее выгорание топлива;

- при использовании шаровой засыпки активной зоны при относительно меньших скоростях газового теплоносителя, чем в реакторах с призматическими твэлами, обеспечивается хорошая турбулизация потока теплоносителя, которая обеспечивает хорошую теплоотдачу. При этом практически отсутствует зависимость теплопередачи к газу от выгорания твэл, т.е. нагрев теплоносителя будет постоянен при различном уровне выгорания топлива [3].

Учитывая эти преимущества, можно спроектировать установку, которая бы отлично удовлетворяла различным условиям – будь то установка для производства электроэнергии или для получения высокопотенциального тепла для применения его на производстве без останова на перегрузку.

К основным недостаткам шаровой активной зоны можно отнести:

- реакторы с шаровой засыпкой активной зоны модульной концепции могут обеспечивать лишь 250 МВт тепловой мощно-

сти, что автоматически относит установки с такой активной зоной в разряд малой мощности;

- движение шаровых твэл в активной зоне можно сравнить с циркуляцией жидкости в сосуде: подаются шары через верхнее отверстие, а через нижнее выгружаются. Сама активная зона никак не зафиксирована и постоянно находится в движении. Вследствие этого могут меняться и нейтронно-физические характеристики активной зоны.

Основной целью анализа, представленного в данной статье, является определение оптимальных геометрических параметров кладки активной зоны, чтобы при «циркуляции» активной зоны сохранялись её нейтронно-физические и теплофизические характеристики. Для этого необходимо, чтобы при движении шаровой засыпки выполнялись следующие условия:

- обеспечивалась необходимая средняя скорость прохождения шаровых твэл через полость в графитовой кладке (это выполняется с помощью разгрузочно-загрузочного комплекса);

- радиальное распределение скоростей должно быть как можно более равномерным (обеспечивается в основном геометрией днища полости в графитовой кладке);

- должны отсутствовать «застойные зоны», т.е. такие области в шаровой засыпке, в которых аксиальная скорость равняется нулю или очень низка по сравнению со средней скоростью циркуляции (обеспечивается также геометрией днища).

Геометрических параметров, которые можно исследовать с целью оптимизации движения шаровой засыпки, большое количество (диаметр выгрузного отверстия, отношение высоты активной зоны к её диаметру, различного рода скругления и т.д.). Поэтому для расчетного исследования движения шаров от всех этих параметров, требуется очень большое количество машинного времени и большое количество времени на обработку результатов. Исходя из этого, были выбраны наиболее важные геометрические характеристики, которые нужно исследовать, при постоянных остальных параметрах: угол наклона днища и наличие турбулизаторов на боковых стенках полости шаровой засыпки.

Для исследований применялась программа LS-DYNA расчетного кода ANSYS. Для исследования зависимости характера движения шаровой засыпки от угла наклона днища была построена расчетная модель (рис. 1). Она состоит из трех частей: раздаточной емкости, исследуемой емкости активной зоны и приемной емкости. Первая и третья части добавлены в расчетную

модель с целью максимального приближения режима гравитационной загрузки-выгрузки (осуществить любой другой режим загрузки-выгрузки при такой же скорости расчета невозможно). В качестве шаровых твэлов использовались dem-модели с диаметром равным 60 мм и со всеми характеристиками графита. Материал боковых стенок модели отражателя моделирует характеристики графита. Угол наклона дна к горизонту составляет  $30^\circ$ . Для других моделей углы равны соответственно  $20^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ .

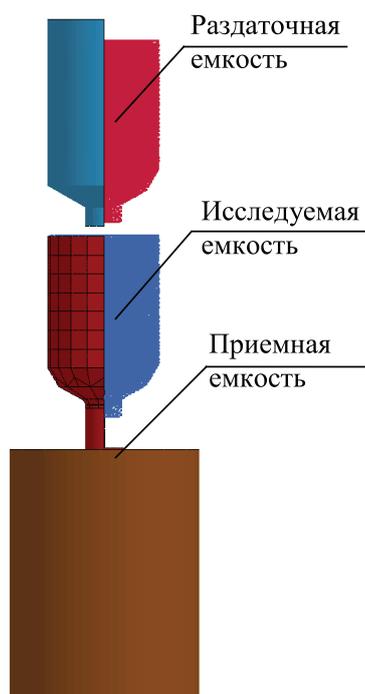


Рис. 1. Расчетная модель

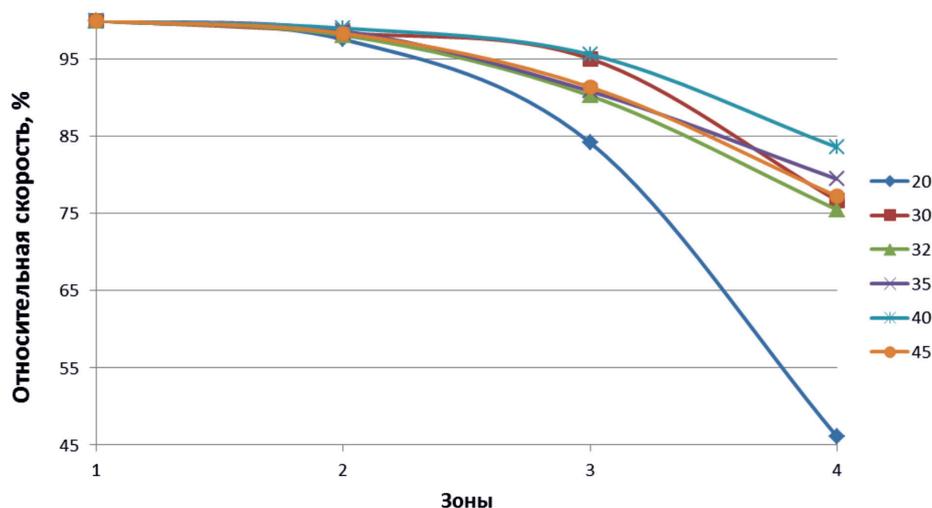


Рис. 2. Распределение относительных скоростей по зонам для расчетных моделей

Методика обработки результатов следующая: выбирались четыре набора из четырех шаровых твэлов. Каждый из четырех твэлов в каждом наборе был взят из различных зон: из центра и периферии крайние твэлы, остальные были взяты из зон, равномерно распределенных между центром и периферией: «около центра», «около периферии». Далее для каждого твэла определялась проекция скорости на ось, параллельную направлению выгрузки, и результаты усреднялись для каждой зоны. После этого определялись относительные величины скоростей, где за 100% была взята скорость в центральной зоне.

В качестве результатов наиболее важны следующие данные:

- графики распределения относительных скоростей по зонам при движении в исследуемой части модели (100% – у центральной зоны) (рис. 2);

- относительное время выхода шара из полости активной зоны, т.е. отношение времени выхода шара из любой зоны к минимальному времени выхода шара из центральной зоны (рис. 3).

Проанализировав данные результаты, отметим следующие факты:

- «застойные зоны» образуются при угле  $20^\circ$ , на что указывается относительное время выхода шара из периферийной зоны – 3,05, это значит, что шар на периферии будет проходить активную зону в три раза дольше, чем шар в центральной зоне;

- наиболее равномерное распределение скоростей движения шаровых элементов достигается при угле  $40^\circ$ ;

- наименьшее относительное время выхода шара из модели активной зоны достигается при угле  $45^\circ$  – 1,53.

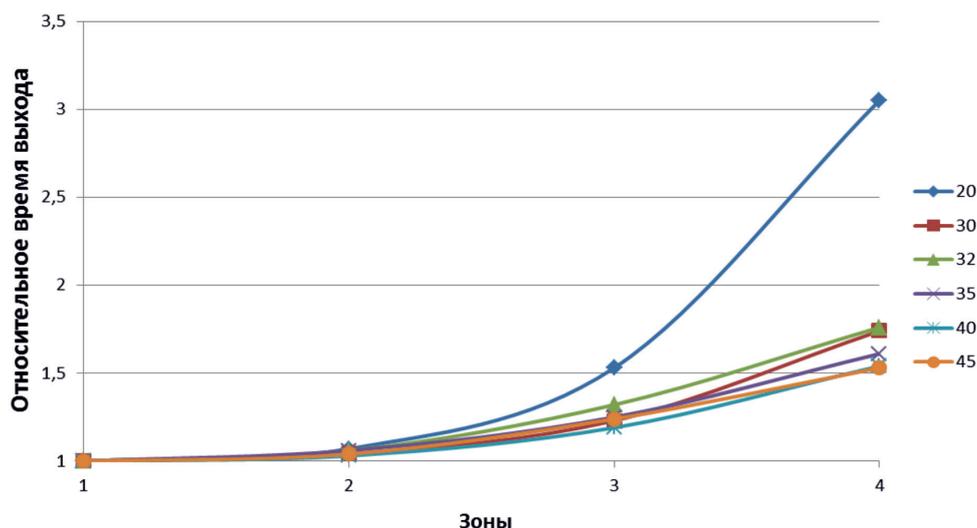


Рис. 3. Распределение относительного времени выхода шара из моделей активной зоны

Исходя из этого, оптимальным углом для активной зоны реактора ВТГР является  $40^\circ$ .

Другим аспектом исследования было изучение актуальности турбулизаторов. Турбулизаторы – видоизмененная геометрия боковых стенок полости шаровой засыпки активной зоны. Они могут быть в виде углублений, в виде выпуклостей, продольных или поперечных вырезов и т.п.



Рис. 4. Исследуемая емкость активной зоны расчетной модели с турбулизаторами

Расчетная модель для расчетного анализа влияния турбулизаторов похожа на модели для определения оптимальных углов и отличается лишь тем, что в исследуемой части (рис. 4) применены турбулизаторы, аналогичные турбулизаторам в китайском проекте НТР-10 [4]. Они расположены в шахматном порядке по 10 шт. на каждом ряду, кроме первого, графитовых блоков цилиндрической части графитовой кладки.

Представляют собой усеченный конус с диаметром основания 233 мм, высотой 20 мм и углом раствора  $139^\circ$ .

Сравнение результатов расчета моделей с оптимальным углом наклона днища ( $40^\circ$ ) с турбулизаторами и без них представлено на рис. 5 и 6.

Сравнивая результаты расчета профилей скоростей при одинаковых углах наклона днища с турбулизаторами и без них, можно увидеть, что наличие турбулизаторов не только не выравнивает профили скоростей шаров, но и наоборот делает их более неравномерными, существенно замедляя периферийный слой. Таким образом, идея об их использовании для увеличения равномерности движения шаровой засыпки оказалась несущественной.

Дополнительным обоснованием такого вывода является рассмотрение действительной роли турбулизаторов, в некоторых построенных или спроектированных высокотемпературных газоохлаждаемых реакторах различных стран:

- из немецких установок AVR и THTR-300 турбулизаторы использовались лишь на AVR. Это опытная установка с впервые примененной концепцией шаровой активной зоны;

- из китайских установок НТР-10 и НТР-PM турбулизаторы использованы только на НТР-10. НТР-PM промышленная установка и турбулизаторов не имеет [5]. Различие активных зон этих установок заключается в отношениях высоты активной зоны к её диаметру. У НТР-10  $H/D \approx 1$ , а у НТР-PM зона намного более вытянута и  $H/D \approx 3$ ;

- в американских и японских установках турбулизаторы не применялись вообще;
- в концепции высокотемпературного реактора – RBMR (Pebble Bed Modular Reactor) (ЮАР) турбулизаторы не использованы [6];
- в российском проекте ВГМ исследовалась возможность применения турбулизаторов различной формы, однако их применение признано нерациональным.

Исходя из вышеизложенной информации, турбулизаторы применялись лишь в опытных и экспериментальных установках, видимо с целью изучения их влияния на характер движения шаровой засыпки, однако в промышленных установках применены не были. Это наводит на мысль, что польза, приносимая турбулизаторами, либо отсутствует, либо очень мала.

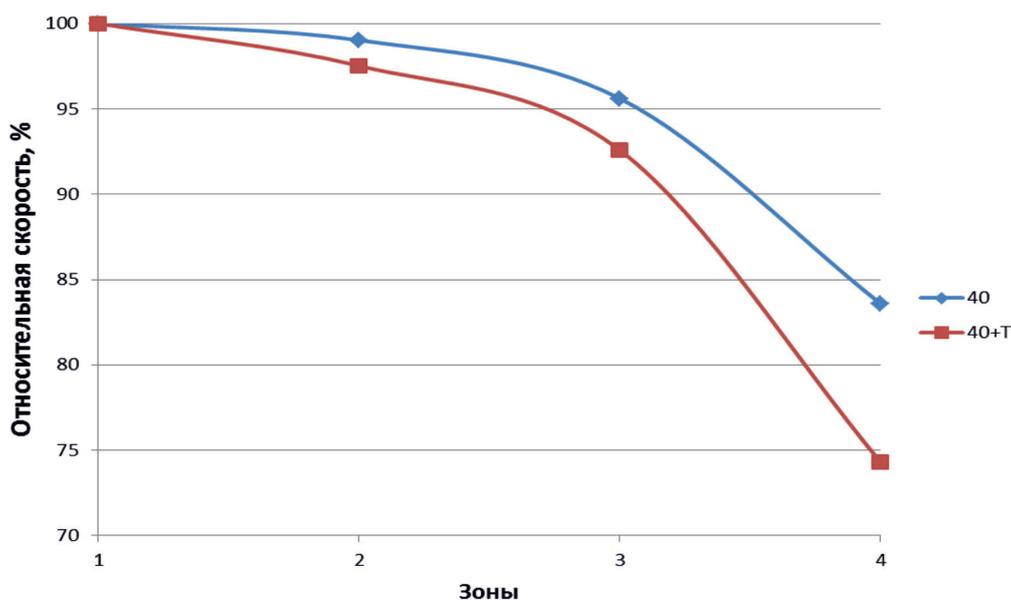


Рис. 5. Сравнение распределения относительных скоростей в расчетных моделях с турбулизаторами и без них

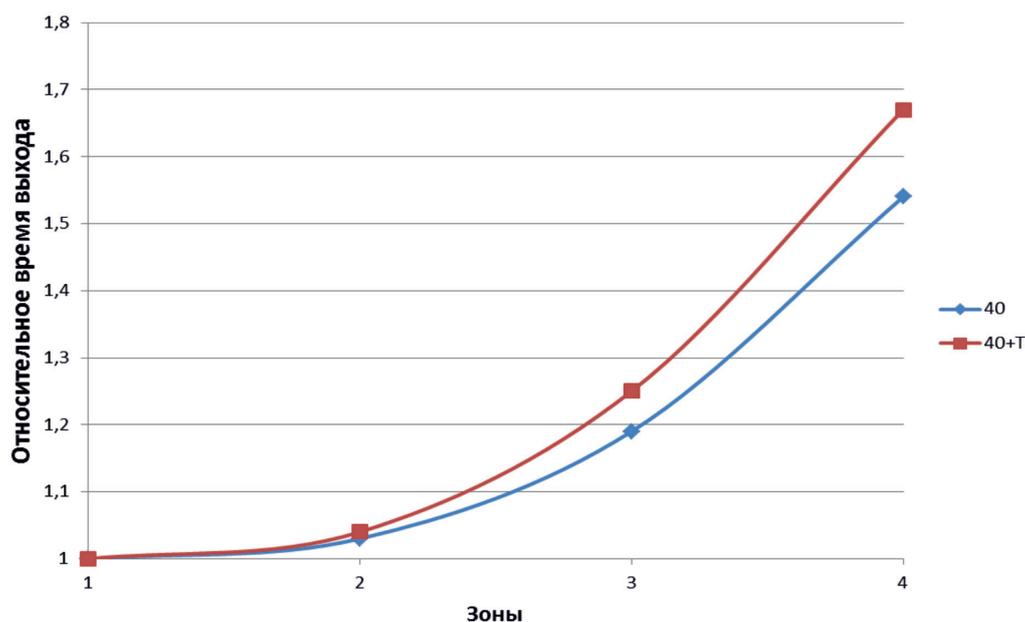


Рис. 6. Сравнение распределения времени выхода шара из расчетных моделей с турбулизаторами и без них

В литературе [7] приводилась лишь одна причина для использования турбулизаторов – для разрушения «кристаллического тела». «Кристаллическое тело» возникает в процессе многократной перегрузки активной зоны и представляет собой область шаровой засыпки, где шары выстроились в кристаллическую структуру. Эта структура образуется на периферии и может распространяться на несколько слоев вглубь засыпки. Особенностью «кристаллического тела» является то, что оно движется с единственной минимальной скоростью – со скоростью периферийного слоя. Применяя турбулизаторы, «кристаллические тела» теоретически можно разрушать, перемешивая периферийный слой шаровой засыпки (отсюда и название – турбулизаторы). Но возникает вопрос: действительно ли «кристаллические тела» кардинально меняют характеристики движения шаровой засыпки, так что активная зона теряет свою теплотехническую надежность? Судя по опыту внедрения турбулизаторов в промышленные установки и по результатам расчетов с турбулизаторами и без, ответ отрицательный. «Кристаллические тела» почти не влияют на движение шаровой засыпки и поэтому опасности не представляют.

Из чего можно заключить, что использование турбулизаторов, примененных в китайском проекте HTR-10, в концептуальном проекте экспериментального ВТГР не целесообразно по следующим причинам:

- турбулизаторы не только не ускоряют периферийный слой, но и наоборот замедляют его («паразитное замедление»), что показали расчеты;

- «кристаллические тела», с которыми должны «бороться» турбулизаторы, не при-

носят столько вреда, чтобы с ними нужно было бороться.

Таким образом, полученные в работе результаты дают возможность оптимизировать движение шаровой засыпки в реакторе типа ВТГР за счет изменения конкретных геометрических параметров полости (в данном случае угла наклона днища). Также они позволяют однозначно ответить на вопрос о целесообразности применения турбулизаторов в конкретном варианте их исполнения, что, безусловно, может быть использовано как при совершенствовании существующих, так и при разработке перспективных активных зон.

### Список литературы

1. Пономарев-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика / Н.Н. Пономарев-Степной, А.Я. Столяревский, В.П. Пахомов. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 108 с.
2. Гребенник В.Н. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы – инновационное направление развития атомной энергетики / В.Н. Гребенник, Н.У. Кухаркин, Н.Н. Пономарев-Степной. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 136 с.
3. Дмитриев С.М. Атомные газотурбинные установки: учебное пособие / С.М. Дмитриев, С.А. Замятин. – Нижний Новгород: изд. НГТУ им. П.Е. Алексеева, 2012. – 149 с.
4. IAEA: Evaluation of high temperature gas cooled reactor performance, Benchmark analysis related to initial testing of the HTTR and HTR-10. – 2003. – № 1382 [Электронный ресурс]. URL: <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/6821/Evaluation-of-High-Temperature-Gas-Cooled-Reactor-Performance-Benchmark-Analysis-Related-to-Initial-Testing-of-the-HTTR-and-HTR-10> (дата обращения: 23.01.18).
5. Zhang Z., Wu Z., Wang D., Xu Y., Sun Y., Li F., Dong Y. Current status and technical description of Chinese 2×250MWth HTR-PM demonstration plant // Nuclear Engineering and Design. – 2009. – vol. 239. – P. 1212–1219.
6. Technical description of the PBMR demonstration power plant. – 2006 [Электронный ресурс]. – URL: [www.nrc.gov/docs/ML0609/ML060940293.pdf](http://www.nrc.gov/docs/ML0609/ML060940293.pdf) (дата обращения: 23.01.18).
7. Бедениг Д. Газоохлаждаемые высокотемпературные реакторы / Д. Бедениг; пер. с нем. (ФРГ, 1972); ред. Ю.И. Митяева. – М.: Атомиздат, 1975. – 224 с.

УДК 004.052.2

## ИНТЕГРАЦИЯ СВОЙСТВ МОДУЛЯРНЫХ КОДОВ И ДИСКРЕТНЫХ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЧАСТОТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>Гиш Т.А., <sup>2</sup>Белов С.П., <sup>1</sup>Калмыков И.А., <sup>1</sup>Юрданов Д.В.,  
<sup>1</sup>Ефимович А.В., <sup>1</sup>Калмыков М.И.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, e-mail: kia762@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»  
(НИУ «БелГУ»), Белгород

В работе рассмотрены вопросы выполнения ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) на основе использования дискретных вейвлет-преобразований (ДВП), реализованных в модулярных кодах (МК). Целью проведенных исследований является повышение помехоустойчивости системы OFDM за счет использования нового базиса – ДВП, который выполняется с использованием МК. Известно, что применение модулярных кодов позволяет выполнять дискретные вейвлет-преобразования с применением целых чисел, что приводит к повышению точности проводимых вычислений. Кроме того, модулярные коды имеют возможность проводить вычисления ДВП параллельно. При этом в арифметических операциях, реализуемых ДВП в МК, используются малоразрядные остатки, которые получены на основе деления исходного числа на взаимно простые модули кода. Так как вычисления проходят параллельно, то в результате применения модулярных кодов обеспечивается более высокая скорость вычислений ДВП. Интеграция свойств модулярных кодов и дискретных вейвлет-преобразований позволяет создать новый базис выполнения ортогонального частотного мультиплексирования сигналов OFDM, которые обладают более высокой помехоустойчивостью по сравнению с базисом на основе дискретных преобразований Фурье (ДФФ), а также их быстрых алгоритмов.

**Ключевые слова:** ортогональное частотное мультиплексирование, дискретное вейвлет-преобразование, модулярный код, система остаточных классов, помехоустойчивость

## INTEGRATION PROPERTIES OF MODULAR CODES AND DISCRETE WAVELET TRANSFORMS WHEN PERFORMING ORTHOGONAL FREQUENCY MULTIPLEXING

<sup>1</sup>Gish T.A., <sup>2</sup>Belov S.P., <sup>1</sup>Kalmykov I.A., <sup>1</sup>Yurdanov D.V., <sup>1</sup>Efimovich A.V., <sup>1</sup>Kalmykov M.I.

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution higher professional education

«North-Caucasian Federal University», Stavropol, e-mail: kia762@yandex.ru;

<sup>2</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education

«Belgorod State National Research University», Belgorod

The paper discusses the implementation of orthogonal frequency multiplexing ( OFDM ) based on the use of discrete wavelet transforms (DWT) implemented in the modular codes (MC). The objective of the research is to increase the noise immunity of the OFDM system through the use of a new basis – DVP, which is performed using MC. It is known that the use of modular codes allows you to perform discrete wavelet transform with the use of integers, which leads to increased accuracy of the conducted calculations. In addition, the modular codes have the ability to calculate fiberboard in parallel. Thus in arithmetic operations implemented fiberboard MK used maloletnye residues that are derived from dividing the original number by coprime modules of code. Since the calculations are parallel, then the result of applying the modular codes to achieve a higher speed of calculations fiberboard. Integration properties of modular codes and discrete wavelet transforms allows you to create a new basis for performing orthogonal frequency multiplexing OFDM signals, which have higher noise immunity compared to baseline based on the discrete Fourier transform (DFT), fast algorithms.

**Keywords:** orthogonal frequency division multiplexing, discrete wavelet transform, modular code, system of residual classes, noise immunity

В настоящее время в телекоммуникационных системах широко применяется технология, которая базируется на ортогональном частотном мультиплексировании OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [1–3]. Это связано с необходимостью обеспечения высокоскоростной передачи мультимедийных данных в системах беспроводной связи. Кроме этого, технология OFDM обладает целым рядом достоинств, среди которых можно выделить: высокую спектральную эффектив-

ность, эффективную работу в условиях многолучевого распространения сигналов; высокую устойчивость к узкополосной интерференции, которая способна исказить небольшую часть поднесущих [1]. Однако применение в системах OFDM быстрых преобразований Фурье (БПФ) приводит к недостаткам, среди которых можно отметить наличие двух вычислительных трактов, накопление ошибок округления. Кроме того, при выполнении обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) в передат-

чике и БПФ в приемнике используются матрицы поворачивающих коэффициентов, в которых отсутствуют нулевые элементы. Это приводит к тому, что искажение одного разряда в сигнале OFDM при передаче в канале связи приведет к размножению ошибки при восстановлении сигнала. То есть на приеме будут искажены  $N$  отсчетов после выполнения БПФ, где  $N$  – число поднесущих в сигнале OFDM.

Устранить данный недостаток возможно за счет использования ортогональных преобразований сигналов, прямая матрица которых содержит нулевые элементы. Этому требованию удовлетворяют дискретные вейвлет-преобразования. Повысить эффективность выполнения ДВП можно за счет использования модулярных кодов. Поэтому реализация технологии OFDM на основе дискретных вейвлет-преобразований, использующих модулярные коды, применение которых позволит повысить помехоустойчивость системы с ортогональным частотным мультиплексированием, является актуальной задачей.

#### Цель исследования

Современные системы OFDM не позволяют обеспечить максимальную помехоустойчивость, так как при выполнении ОБПФ на передающей стороне и БПФ используются матрицы, которые содержат  $N^2$  ненулевых поворачивающих коэффициентов, где  $N$  – число поднесущих в сигнале OFDM. В результате этого в системах OFDM наблюдается эффект размножения ошибок, когда искажение одного бита передаваемых данных приводит к искажению  $N$  отсчетов на приеме после выполнения БПФ. Устранить данный недостаток возможно, если в системах OFDM в качестве ортогонального базиса будут использованы ДВП, реализованные в модулярных

кодах. Поэтому целью статьи является повышение помехоустойчивости системы OFDM за счет использования нового базиса – ДВП, выполняемого в МК.

#### Материалы и методы исследования

В процессе развития сетей передачи данных, в том числе и беспроводных, постоянно увеличиваются требования к скорости передачи информации и качеству предоставляемых сервисов. Одним из перспективных видов сигнально-кодовых конструкций является ортогональное частотное мультиплексирование OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). При использовании данной технологии поток входных данных  $s(n)$  разбивается на множество параллельных потоков, каждый из которых передается с помощью соответствующей несущей. В результате этого высокоскоростной последовательный цифровой поток заменяется множеством низкоскоростных потоков. Основная идея метода OFDM заключается в расположении набора «независимых» подканалов таким образом, чтобы, с одной стороны, один подканал не являлся помехой другому, а с другой стороны, спектры подканалов перекрывались. Для выполнения данного условия в OFDM предлагается использовать дискретное преобразование Фурье (ДПФ), реализованное на основе быстрых алгоритмов БПФ. Рассмотрим дискретную модель системы с OFDM на основе ДПФ, приведенную в [4]. Такая модель на передающей стороне выполняет операцию ОБПФ с последующим добавлением циклического префикса (ЦП), а на приемной стороне – дискретное преобразование Фурье с использованием быстрых алгоритмов вычислений. На рис. 1 приведена дискретная модель системы с OFDM.

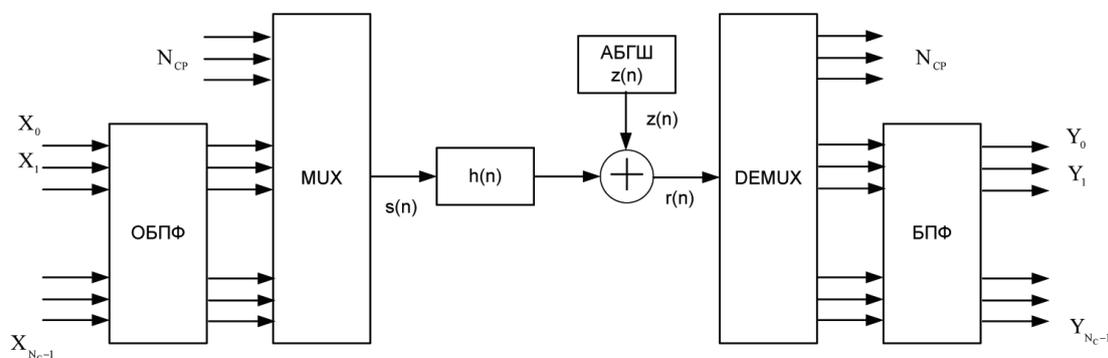


Рис. 1. Дискретная модель системы с OFDM на основе БПФ

На передающей стороне системы с OFDM поток битов разбивается на блоки, содержащих  $N_c$  двоичных символов. Эти блоки образуют вектор данных, который можно представить в виде  $X = (X_0, X_1, \dots, X_{N_c-1})^T$ . Затем данный вектор подвергается обратному быстрому преобразованию Фурье. А затем к нему добавляют циклический префикс длиной  $N_{CP}$ . Тогда результирующий комплексный низкочастотный сигнал имеет вид

$$s(n) = \begin{cases} \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} X_k \exp\left(j2\pi k \frac{n-N_c}{N_c}\right), & n \in [0, N_c + N_{CP} - 1]; \\ 0 & n \notin [0, N_c + N_{CP} - 1]. \end{cases} \quad (1)$$

Полученный сигнал  $s(n)$  поступает на вход линейного стационарного дискретного канала (ДК)  $h(n)$ . При прохождении по данному каналу на сигнал  $s(n)$  воздействует аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ)  $z(n)$ . Такой шум характеризуется нулевым средним и дисперсией  $\sigma_z^2$ . При этом полагаем, что между передающей стороной и приемной стороной обеспечивается идеальная синхронизация. При выполнении отмеченных условий на приемной стороне будет принят сигнал

$$r(n) = \sum_{L=0}^{N_c-1} h(L)s(n-L) + z(n). \quad (2)$$

После этого из принятого сигнала удаляют циклический префикс, а затем осуществляют выполнение ДПФ. В этом случае имеем

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N_c-1} r(n) \exp\left(-j2\pi \frac{kn}{N_c}\right). \quad (3)$$

После выполнения БПФ на выходе приемника будет получен сигнал

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N_c-1} \left( \sum_{L=0}^{N_c-1} h(L)s(n-L) + z(n) \right) \exp\left(-j2\pi \frac{kn}{N_c}\right) = \tilde{S}(k) + Z(k), \quad (4)$$

где  $\tilde{S}$  – идеальный сигнал;  $Z(k)$  – шум в дискретном канале.

Использование в OFDM быстрых алгоритмов ДПФ Фурье позволило обеспечить высокую скорость передачи сигналов и спектральную эффективность. Кроме того, технология OFDM характеризуется эффективной работой в условиях многолучевого распространения сигналов, а также высокой устойчивостью к узкополосной интерференции, которая способна исказить небольшую часть поднесущих [4].

Однако ДПФ и ОБПФ выполняются в поле комплексных чисел, что приводит к увеличению схемных затрат. Это связано с необходимостью применять два вычислительных тракта для обработки действительной и мнимой части сигнала. Кроме того, в качестве поворачивающих коэффициентов БПФ и ОБПФ используются тригонометрические функции, которые являются иррациональными числами, что приводит к накоплению ошибок округления [5]. Наряду с отмеченными недостатками системы с OFDM, использующие ДПФ, не обладают максимальной помехоустойчивостью. Проведенные исследования показали, что искажение одного разряда в сигнале OFDM при передаче в канале связи из-за помех приведет к размножению ошибки при восстановлении сигнала. Это связано с тем, что математическая модель ортогональных преобразований сигналов на основе БПФ и ОБПФ использует прямую и обратную матрицу, в которой отсутствуют нулевые элементы. Рассмотрим выполнение ДПФ для входного вектора из  $N = 8$  отсчетов. Тогда имеем

$$X(n) = \begin{bmatrix} W^0 & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & W^3 & W^4 & W^5 & W^6 & W^7 \\ W^0 & W^2 & W^4 & W^6 & W^0 & W^2 & W^4 & W^6 \\ W^0 & W^3 & W^6 & W^1 & W^4 & W^7 & W^2 & W^5 \\ W^0 & W^4 & W^0 & W^4 & W^0 & W^4 & W^0 & W^4 \\ W^0 & W^5 & W^2 & W^7 & W^4 & W^1 & W^6 & W^3 \\ W^0 & W^6 & W^4 & W^2 & W^0 & W^6 & W^4 & W^2 \\ W^0 & W^7 & W^6 & W^5 & W^4 & W^3 & W^2 & W^1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \\ x(5) \\ x(6) \\ x(7) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $W = \exp\left(-j \frac{2\pi}{8}\right)$  – дискретная экспоненциальная функция.

Используя выражение (5), получаем следующие спектральные составляющие:

$$\begin{aligned} X(0) &= x(0)W^0 + x(1)W^0 + x(2)W^0 + x(3)W^0 + x(4)W^0 + x(5)W^0 + x(6)W^0 + x(7)W^0; \\ X(1) &= x(0)W^0 + x(1)W^1 + x(2)W^2 + x(3)W^3 + x(4)W^4 + x(5)W^5 + x(6)W^6 + x(7)W^7; \\ X(2) &= x(0)W^0 + x(1)W^2 + x(2)W^4 + x(3)W^6 + x(4)W^0 + x(5)W^2 + x(6)W^4 + x(7)W^6; \\ &\vdots \\ X(7) &= x(0)W^0 + x(1)W^7 + x(2)W^6 + x(3)W^5 + x(4)W^4 + x(5)W^3 + x(6)W^2 + x(7)W^1. \end{aligned} \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что в получении каждой составляющей спектрального отсчета  $X(j)$  используются все временные отсчеты, поступающие из канала связи, от  $x(0)$  до  $x(7)$ . Из представленных вычислений наглядно видно, что при искажении бита, например в нулевом отсчете  $x(0)$ , на приеме после выполнения БПФ будут искажены все  $N$  отсчетов спектра сигнала, где  $N$  – число поднесущих в сигнале OFDM.

Повысить помехоустойчивость системы OFDM можно за счет использования дискретных вейвлет-преобразований. Если в технологии OFDM заменить ортогональные преобразования, выполняемые в поле комплексных чисел, на ДВП, то дискретная модель системы с OFDM будет иметь вид, показанный на рис. 2.

При этом для повышения эффективности реализаций ДВП сигнала воспользуемся модулярными кодами. Применение МК позволяет повысить скорость вычислений за счет распараллеливания на уровне арифметических операций и использования малоразрядных остатков, а также обеспечить максимальную точность результатов [6–8]. В качестве ДВП выберем Добеши 4, которое реализуется по модулю  $p_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, k$ , и осуществим прямое преобразование для  $N = 8$  отсчетов. Тогда получаем

$$X_i(n) = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_4 & -c_3 & c_2 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_4 & -c_3 & c_2 & -c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_4 & -c_3 & c_2 & -c_1 \\ c_3 & c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_1 & c_2 \\ c_2 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_4 & -c_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_i(0) \\ x_i(1) \\ x_i(2) \\ x_i(3) \\ x_i(4) \\ x_i(5) \\ x_i(6) \\ x_i(7) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где  $c_1 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$ ;  $c_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$ ;  $c_3 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$ ;  $c_4 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \bmod p_i$ ;

$x_i(n) = x(n) \bmod p_i$ ;  $X_i(n) = X(n) \bmod p_i$ .

Тогда получаем следующие аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты:

$$\begin{aligned} X(0) &= a_1 = x(0)c_1 + x(1)c_2 + x(2)c_3 + x(3)c_4; \\ X(1) &= d_1 = x(0)c_4 - x(1)c_3 + x(2)c_2 - x(3)c_1; \\ X(2) &= a_2 = x(2)c_1 + x(3)c_2 + x(4)c_3 + x(5)c_4; \\ &\vdots \\ X(6) &= a_4 = x(0)c_3 + x(1)c_4 + x(6)c_1 + x(7)c_2; \\ X(7) &= d_4 = x(0)c_2 - x(1)c_1 + x(6)c_4 - x(7)c_3. \end{aligned} \quad (8)$$

Анализ выражения (8) показывает, что для получения первого сглаживающего коэффициента ДВП  $a_1$  используются четыре отсчета от  $x(0)$  до  $x(3)$ , поступившие из канала связи. Если в процессе передачи исказится нулевой отсчет нулевой  $x(0)$ , то согласно (6) будут искажены два сглаживающих коэффициента  $a_1$  и  $a_4$ , а также два детализирующих коэффициента  $d_1$  и  $d_4$ . Остальные сглаживающие и детализирующие коэффициенты останутся без изменений.

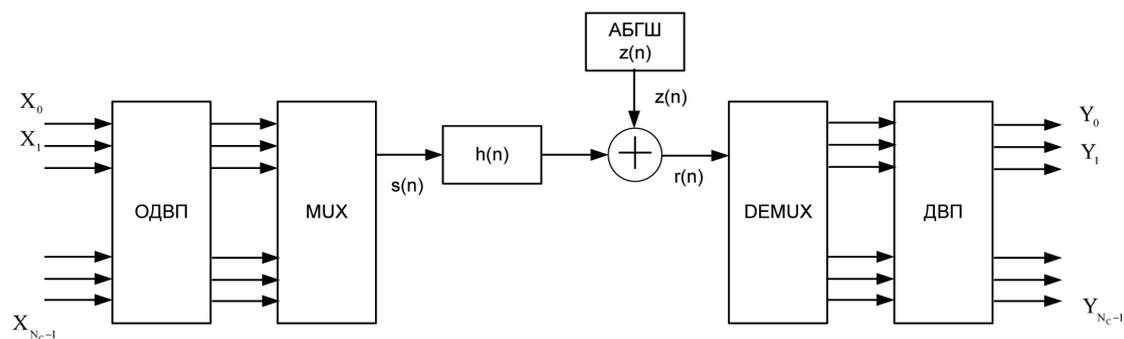


Рис. 2. Дискретная модель системы с OFDM на основе ДВП

### Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки помехоустойчивости систем с OFDM были использованы дискретные модели систем с ортогональным частотным мультиплексированием, использующие ортогональные преобразования ДПФ и Добеши-4, представленные в МК. В качестве оснований МК были выбраны модули  $p_1 = 23$ ,  $p_2 = 47$ ,  $p_3 = 71$ . Диапазон модулярного кода  $P_{\text{раб}} = 76751$ . Для моделирования входного потока данных генерировалась бинарная псевдослучайная последовательность. Из данной ПСП формировался набор модуляционных символов 64 отсчета размерности по 8 бит каждый. Формирование происходило в одинаковой полосе частот (20 МГц) и с равной длительностью (12,8 мкс). Генерировался аддитивный гауссовский шум, который умножался на нормирующий коэффициент для соответствия заданному уровню мощности, а затем складывался с каждым из сформированных сигналов. Полученные сигналы демодулировались, а затем вычислялось отношение ошибочно принятых бит  $L_{\text{ош}}$  к общему количеству переданных  $L$  согласно

$$P_{\text{ош}} = \frac{L_{\text{ош}}}{L}. \quad (9)$$

Для обеспечения точности  $P_{\text{ош}}$  (BER) выполнялось условие  $L \geq 10^6$  и результаты усреднялись по серии из 5 экспериментов. Результаты представлены на рис. 3.

Приведенные результаты моделирования показали, что использование дискретных вейвлет-преобразований, реализованных в МК, позволяет повысить помехоустойчивость систем OFDM по сравнению с ортогональными преобразованиями ДПФ. Так, при отношении сигнал/шум равном 4 дБ вероятность ошибки системы OFDM на основе ДПФ составляет  $P_{\text{ош}} = 0,41$ . При этом при использовании ДВП Добеши-4, реализован-

ного в модулярном коде, обеспечивает вероятность ошибки  $P_{\text{ош}} = 0,1$ . Для достижения вероятности ошибки равной  $P_{\text{ош}} = 10^{-5}$  в системах OFDM на основе ДПФ необходимо обеспечить отношение сигнал/шум равный 19 дБ, а при использовании разработанного алгоритма реализации ДВП в модулярном коде – потребуется 13,5 дБ. Таким образом, интеграция свойств модулярных кодов и дискретных вейвлет-преобразований позволяет повысить помехоустойчивость при выполнении ортогонального частотного мультиплексирования сигналов.

### Заключение

В статье представлена модель системы OFDM, использующая в качестве ортогональных преобразований дискретные вейвлет-преобразования, реализованные в модулярных кодах. Приведенные результаты моделирования показали, что использование ДВП, реализованных в МК, повышает помехоустойчивость систем OFDM по сравнению с ортогональными преобразованиями ДПФ. Так, при отношении сигнал/шум равному 4 дБ вероятность ошибки системы OFDM на основе ДПФ составляет  $P_{\text{ош}} = 0,41$ . При этом при использовании ДВП Добеши-4, реализованного в модулярном коде, обеспечивает вероятность ошибки равной  $P_{\text{ош}} = 0,1$ . Для достижения вероятности ошибки равной  $P_{\text{ош}} = 10^{-5}$  в системах OFDM на основе ДПФ необходимо обеспечить отношение сигнал/шум равный 19 дБ, а при использовании разработанного алгоритма реализации ДВП в модулярном коде – потребуется 13,5 дБ. К перспективным направлениям применения целочисленных ДВП в системах OFDM можно отнести способность модулярных кодов обнаруживать и корректировать ошибки, возникающие в процессе вычислений. Использование избыточных МК позволит повысить отказоустойчивость систем OFDM, построенных на основе ДВП.

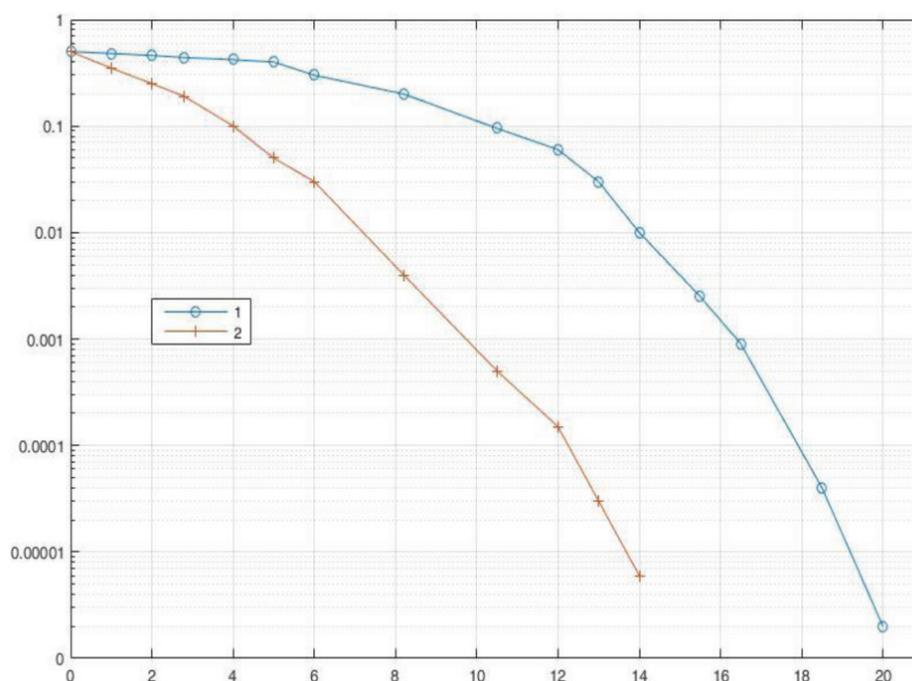


Рис. 3. Кривые помехоустойчивости систем OFDM, построенных на основе ДПФ и ДВП Добеши-4, реализованных в МК (1 – OFDM на основе БПФ, 2 – OFDM на основе ДВП в МК)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-37-50009.

#### Список литературы

1. Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, *Nonlin. Processes Geophys.* – 2014. – № 11. – P. 561–566.
2. Hans-Georg Stark *Wavelets and signal processing.* Springer International Publishing Switzerland. 2005. – 254 p.
3. Шоберг А.Г. *Современные методы обработки изображений: модифицированное вейвлет-преобразование.* – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – 125 с.
4. *Технология OFDM: учебное пособие для вузов /* М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.М. Шлюма, А.П. Шумов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2017 – 352 с.
5. Katkov K.A., Timoshenko L.I., Kalmykov I.A., Dunin A.V., Gish T.A. Application of Modular Technologies in the Large-Scale Analysis of Signals // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.* – 2015. – № 80(3). – P. 391–400.
6. Червяков Н.И., Коляда А.А., Ляхов П.А. *Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. – 400 с.
7. Ananda Mohan *Residue Number Systems. Theory and Applications.* Springer International Publishing Switzerland. – 2016. – 351 p.
8. Amir Sabbagh Molahosseini *Embedded Systems Design with Special Arithmetic and Number Systems.* Springer International Publishing AG. – 2017. – 390 p.

УДК 681.5.09

## ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

<sup>1</sup>Горева Т.С., <sup>2</sup>Портнягин Н.Н.<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, филиал,  
Севастополь, e-mail: tatyana-goreva@yandex.ru;*<sup>2</sup>*Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва*

В статье представлена разработка алгоритмического и программного обеспечения аппаратных комплексов повышения качества питающей электроэнергии в распределительных сетях методами активной цифровой фильтрации. Разработан алгоритм идентификации составляющих сигналов сети с применением ортогонального вейвлет-базиса. Экспериментально доказано, что наиболее опасными являются широкополосные импульсные помехи с аperiodической составляющей. При сравнении алгоритмов активной фильтрации установлено, что применение Фурье базиса требует высокого порядка фильтра, что приводит к значительной фазовой задержке и погрешности. Произведен выбор-вейвлет базисов для более эффективной идентификации структурных составляющих сигналов питающего напряжения. В статье представлено решение комплекса задач, направленных на повышение качества электроэнергии в электроэнергетических системах. В результате проведенных исследований разработано математическое и программное обеспечение активного компенсатора кондуктивных помех в электроэнергетических системах. Разработаны алгоритмы и методика идентификации структурных составляющих несинусоидальных сигналов сети (напряжения и тока) в электроэнергетической системе с применением ортогональных вейвлет-базисов Добеши. Применение разработанного комплекса программ обнаружения нарушений показателей качества электрической энергии во время мониторинга позволяет контролировать качество электрической энергии в режиме реального времени. Отсутствует необходимость сбора статистических данных, разработанные методы позволяют своевременно применять алгоритм улучшения качества электрической энергии.

**Ключевые слова:** качественные показатели электроэнергии, активная фильтрация, цифровая обработка, ортогональный вейвлет-базис, вейвлет-преобразование, анализатор импульсных помех, идентификация структурных компонент

## SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPORT OF HARDWARE SYSTEMS REDUCING THE IMPACT OF PULSE DISTORTION IN POWER NETWORKS

<sup>1</sup>Goreva T.S., <sup>2</sup>Portnyagin N.N.<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, branch, Sevastopol, e-mail: tatyana-goreva@yandex.ru;*<sup>2</sup>*Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow*

The article presents development of algorithms and software and hardware systems improve the quality of supply of electricity in distribution networks through an active digital filter. The algorithm of identification of the network signals components using an orthogonal wavelet basis is developed. It is experimentally proved that the most dangerous are broadband impulse noise with aperiodic component. When comparing the active filtration algorithms, it is established that the application of Fourier basis requires a high filter order, which leads to a significant phase delay and error. The choice of wavelet bases for more efficient identification of the structural components of the supply voltage signals is made. The article presents the solution of a set of tasks aimed at improving the quality of electricity in electric power systems. As a result of the carried out researches the mathematical and software of the active compensator of conductive hindrances in electric power systems is developed. The developed algorithms and methodology for identification of structural components of non-sinusoidal signals of the network (voltage and current) in the electric power system with the application of orthogonal wavelet bases. Application of the developed complex of programs of detection of violations of indicators of quality of electric energy during monitoring allows to control quality of electric energy in real time. There is no need to collect statistical data, the developed methods allow timely application of the algorithm to improve the quality of electrical energy.

**Keywords:** quality indicators of electric power, active filtering, digital processing, orthogonal wavelet basis, the wavelet transform, the analyzer of impulse noise, the identification of the structural component

Рост установленной мощности нелинейных резкопеременных нагрузок в автономных системах приводит в ряде случаев к ухудшению показателей качества электроэнергии.

Искажения синусоидальности кривых напряжений и токов вызываются работой электроприборов с нелинейной вольтамперной характеристикой и регулируемых пре-

образователей переменного тока в постоянный. Кривые тока и напряжения в этих случаях приобретают вид, отличный от синусоиды.

Первым проявлением низкого качества электроэнергии являются искажения формы синусоидального напряжения в цепях питания, отклонения напряжения за пределы установленных допусков или полные

прерывания подачи электроэнергии. Эти возмущения могут быть вызваны гармониками сетевой частоты или неполадками в системе электроснабжения. Они могут длиться от миллисекунд до секунд. Внешние возмущения обычно проявляются как неправильная работа оборудования или его полная остановка [1, 2].

В последнее время возник большой интерес в области разработки активных фильтров сетевой частоты, позволяющих компенсировать влияния высших гармоник, для улучшения качества электроэнергии.

При активной фильтрации основной задачей является разработка эффективного метода идентификации (выделение) кондуктивных помех в электрической сети. Устройство управления обеспечивает формирование соответствующих управляющих сигналов, под воздействием которых широтно-импульсный модулятор активного компенсатора генерирует компенсирующий сигнал.

Отклонения напряжения от номинальных значений, колебания напряжения и частоты, искажения симметрии и синусоидальности напряжений приводят к ряду нежелательных явлений. Увеличиваются потери электроэнергии в сетях и в электрооборудовании. Увеличение потерь электроэнергии в оборудовании вызывает дополнительный его нагрев, что приводит к сокращению сроков службы оборудования или необходимости увеличения его мощности.

Разработан активный компенсатор кондуктивных помех для электроэнергетической системы с идентификацией структурных составляющих в ортогональном вейвлет-базисе.

Научная новизна работы заключается в разработке методики выделения опорной частоты кривой тока (напряжения), а также компенсирующего сигнала помехи сети электропитания с применением вейвлет-преобразования.

#### **Материалы и методы исследования**

Сигналы сети электропитания (напряжение) содержат разномасштабные локальные возмущения. Временная протяженность и величина особенностей зависит от природы возмущений.

Для представления сигналов с локальными особенностями удобным и информативным является способ построения нелинейных аппроксимирующих схем с применением адаптивных фильтров. Наиболее эффективным методом реализации данной процедуры является вейвлет-анализ.

Экспериментальные исследования показали эффективность применения вейвлет анализа для создания активного компенсатора кондуктивных помех в системах электроснабжения.

Применение разработанного активного компенсатора помех питающего напряжения дает возможность в режиме реального времени компенсировать помехи, вызванные применением электрооборудования с нелинейными вольт-амперными характеристиками, тем самым улучшить качество электроэнергии в системах электроснабжения [3].

Наличие высших гармонических составляющих в токах нелинейных электропотребителей приводит к разрушительным последствиям.

1. Импульсный характер нагрузки приводит к деформации синусоиды напряжения, действующей на зажимах нагрузки.

2. Нелинейные нагрузки генерируют высокочастотные гармоники тока, что вызывает дополнительные потери в обмотках трансформатора. Так, для линейных нагрузок потери на вихревые токи составляют в общих потерях приблизительно 5%, а с нелинейной нагрузкой они возрастают до 75% [4].

3. Высшие гармоники напряжения уменьшают емкостное сопротивление компенсирующих конденсаторов. Напряжения высших гармоник вызывают значительные токи гармоник, что приводит к скорому старению изоляции и возникновению перегрузки по току.

4. Высшие гармоники ухудшают механические характеристики и КПД синхронных и асинхронных машин. Ускоряют старение изоляции электрических машин, кабелей и трансформаторов [4].

5. Под воздействием высших гармоник нарушается работа устройств электронной автоматики [5].

Электроэнергетическая система является системой со сложной электромагнитной обстановкой, в которой существуют различного вида помехи, воздействующие на цепи питания.

Для анализа структуры сигнала сети разной длительности необходимы частотно-временные составляющие с различными временными характеристиками.

Ортонормированные вейвлеты являются носителями подробностей, необходимых для повышения разрешения аппроксимации сигнала.

Свойство частотной и временной локализации вейвлет-функций может быть охарактеризовано концентрацией их энергии в частотной и временной областях, или посредством частотно-временных окон [6].

На базе процедур вейвлет-анализа разработана методика фильтрации сигнала питающего напряжения, для обеспечения качественного подавления интергармонических составляющих и импульсных помех [7].

Вейвлет-функция может описывать сложный сигнал во временном и частотном представлении с большой точностью.

Определим требования к вейвлет-базису:

- максимально точное выделение основной гармоники 50 Гц, а также высших гармонических составляющих;

- оптимальное количество уровней детализации вейвлет-дерева;

- минимальная длина вейвлет-разложения.

Важной задачей является выбор вейвлет-фильтра, позволяющего максимально точно восстанавливать сигнал сети после прямого и обратного вейвлет-разложения.

В теории вейвлет-анализа существует большое число различных семейств базисных вейвлет-функций.

Важным свойством базисных функций является свойство ортогональности. Оно обеспечивает представление функции  $f$  в виде суммы ортогональных компонент:

$$\forall f \in L^2(R) \exists! f(t) = \dots + v_{-1}(t) + v_0(t) + v_1(t) + \dots, v_i \in W_i, i \in Z.$$

Основной принцип работы алгоритма вейвлет-преобразования сетевых сигналов состоит в разложении приближения сиг-

нала на две компоненты: аппроксимирующую и детализирующую, а также их дальнейшее дробление для увеличения уровня декомпозиции сигнала. Этот алгоритм работает как во временной, так и в частотной областях.

Вейвлет Добеши является ортогональным и имеет минимальный компактный носитель при заданном числе нулевых моментов. С возрастанием числа нулевых моментов возрастает гладкость вейвлета, что способствует более четкому представлению детализирующих компонентов сигнала.

Вейвлеты Добеши вычисляются с помощью сопряженных зеркальных фильтров для конечных импульсных откликов  $h$ , где  $h$  есть тригонометрический многочлен [6]:

$$h(w) = \sum_{n=0}^{N-1} h[n] e^{-inw}.$$

Численные методы построения аппроксимирующей схемы построим на основе алгоритма:

- 1) очистка от шума с помощью пороговой функции и с применением вейвлет-пакета;

- 2) определение критериев выбора вейвлет-базиса, выделение информативных ветвей дерева, формирование структуры лучшего дерева аппроксимации (рис. 1);

- 3) идентификация локальных особенностей сигнала тока на основе лучшего дерева вейвлет-разложения по базису [3].

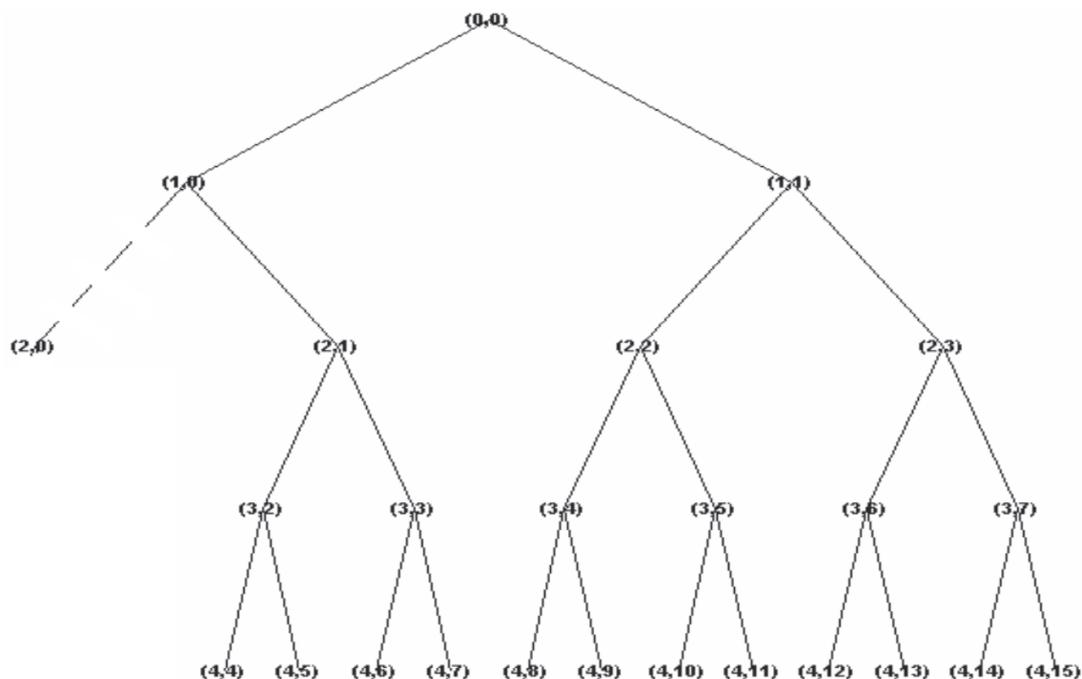


Рис. 1. Выделение информативных ветвей дерева вейвлет-разложения по базису db4

Процедура определения структуры дерева разложения для конкретного сигнала может быть выполнена путем реализации следующего рекурсивного алгоритма:

- 1) разложение сигнала сети в базисе вейвлет-дерева:  $W_j^0 : W_j^0 = \bigoplus_{i=1}^l W_{j_i}^{P_i}, \{\Psi_{j_i}^{P_i}(2^j t - n)\}_{n \in \mathbb{Z}}$  есть базис пространства  $W_{j_i}^{P_i}$ ;
- 2) выбор информативных ветвей дерева, определяющих структурные компоненты сигнала сети, где наилучший базис  $O_j^p$  пространства  $W_j^p$  есть базис

$$O_j^p = \begin{cases} \{\Psi_j^p(2^j t - n)\}_{n \in \mathbb{Z}}, & \text{если } \sum_{n \in I_M^p} |\langle y, \Psi_{j,n}^p \rangle|^2 \geq \sum_{n \in I_M^{2p}} |\langle y, \Psi_{j+1,n}^{2p} \rangle|^2 + \sum_{n \in I_M^{2p+1}} |\langle y, \Psi_{j+1,n}^{2p+1} \rangle|^2 \\ \{\Psi_{j+1}^{2p}\}_{n \in \mathbb{Z}} \cup \{\Psi_{j+1}^{2p+1}\}_{n \in \mathbb{Z}}, & \text{если } \sum_{n \in I_M^p} |\langle y, \Psi_{j,n}^p \rangle|^2 < \sum_{n \in I_M^{2p}} |\langle y, \Psi_{j+1,n}^{2p} \rangle|^2 + \sum_{n \in I_M^{2p+1}} |\langle y, \Psi_{j+1,n}^{2p+1} \rangle|^2 \end{cases}$$

где множества индексов  $I_M^l, l = P, 2P, 2P+1$  определяются как

$$\text{индекс } n \in I_M^l, \text{ если } |\langle y, \Psi_{j,n}^l \rangle| \geq T, \text{ где порог } T = \frac{\text{Med}(\langle y, \Psi_{j,n}^l \rangle)}{0,7645}.$$

Назовем этот алгоритм алгоритмом идентификации структурных компонентов сигнала [7].

### Результаты исследования и их обсуждение

С целью проверки выдвинутых положений проведем компьютерный модельный эксперимент с применением Matlab Wavelet Toolbox и графической среды имитационного моделирования Simulink [8].

В качестве эталонного сигнала для фильтрации определим модельный сигнал с импульсными помехами 100 В, моделирование производится в течение 3 с, с частотой дискретизации 2 кГц, фрагмент сигнала представлен на рис. 2. При обработке сигналов в среде Matlab применялись вейвлеты Добеши 4 (db4) [9].

Рассмотрим подробнее разложение модельного сигнала по вейвлет-дереву (рис. 1). На первом уровне разложения аппроксимация сигнала (1,0) отображает сигнал сети, здесь присутствуют основ-

ная частота и помеха, детализирующая ветка (1,1) состоит из высокочастотных колебаний, амплитуда помехи на два порядка меньше, чем амплитуда аппроксимации. На втором уровне разложения вейвлет-дерева осуществляется разделение крупномасштабной (2,0) и мелкомасштабной (2,1), (2,2), (2,3) составляющей сигнала сети.

Анализ сигнала (рис. 3, 4) показывает наличие широкого спектра гармонических составляющих. На рис. 4 отчетливо виден ряд максимумов сигнала сети. На рис. 3, 4 представлено трехмерное пространственное изображение спектра сигнала сети после вейвлет-преобразования, которое наглядно показывает изменение таких параметров, как, амплитуда, частота и время.

На рис. 5 представлены результаты компенсации импульсных помех с помощью представленных алгоритмов [10].

Принцип работы системы управления вейвлет-фильтрацией и прогнозом искажений представлен на рис. 6.

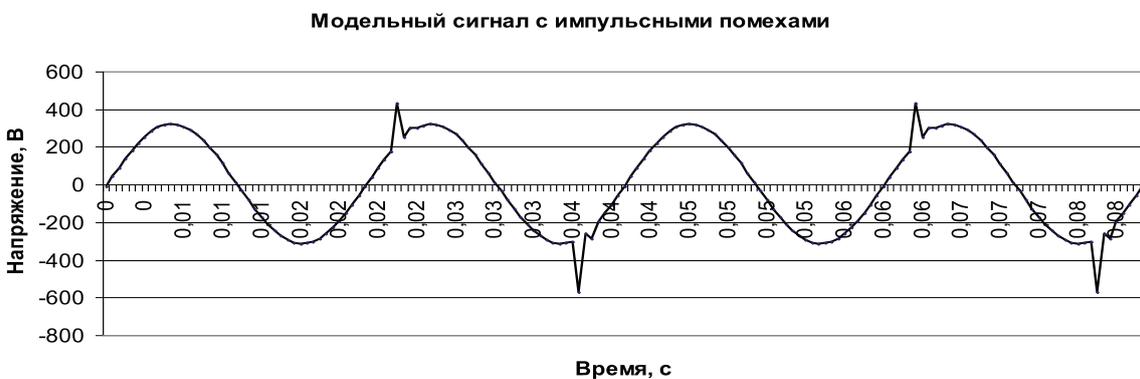


Рис. 2. Модельный сигнал с импульсными помехами

Применение разработанного комплекса программ обнаружения нарушений показателей качества электрической энергии во время мониторинга позволяет контролировать качество электрической энергии

в режиме реального времени. Отсутствует необходимость сбора статистических данных, разработанные методы позволяют своевременно применять алгоритм улучшения качества электрической энергии.

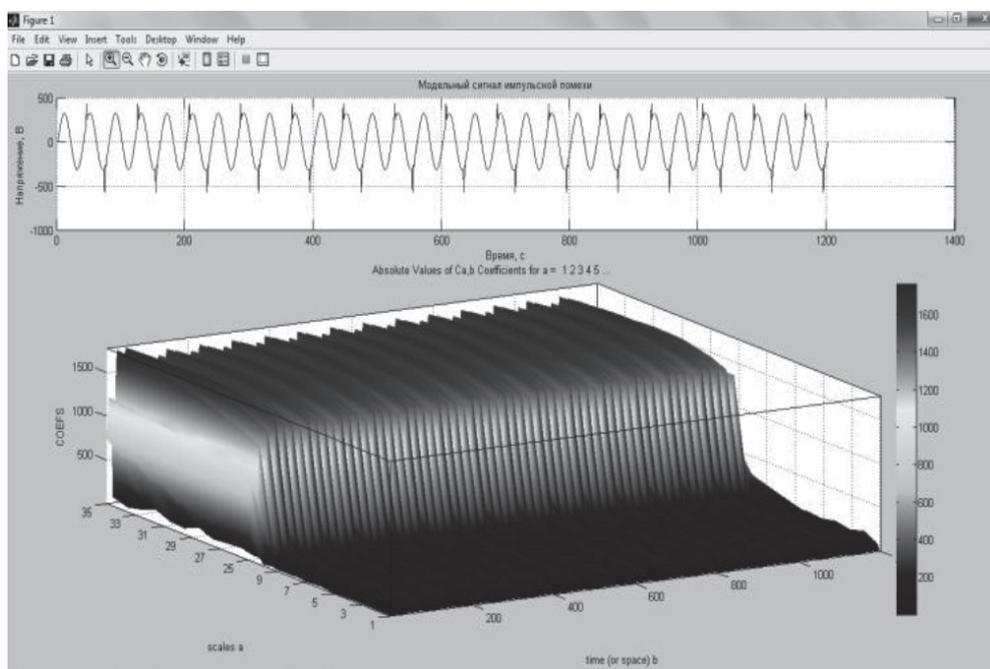


Рис. 3. Вейвлет-спектр модельного сигнала с импульсными помехами

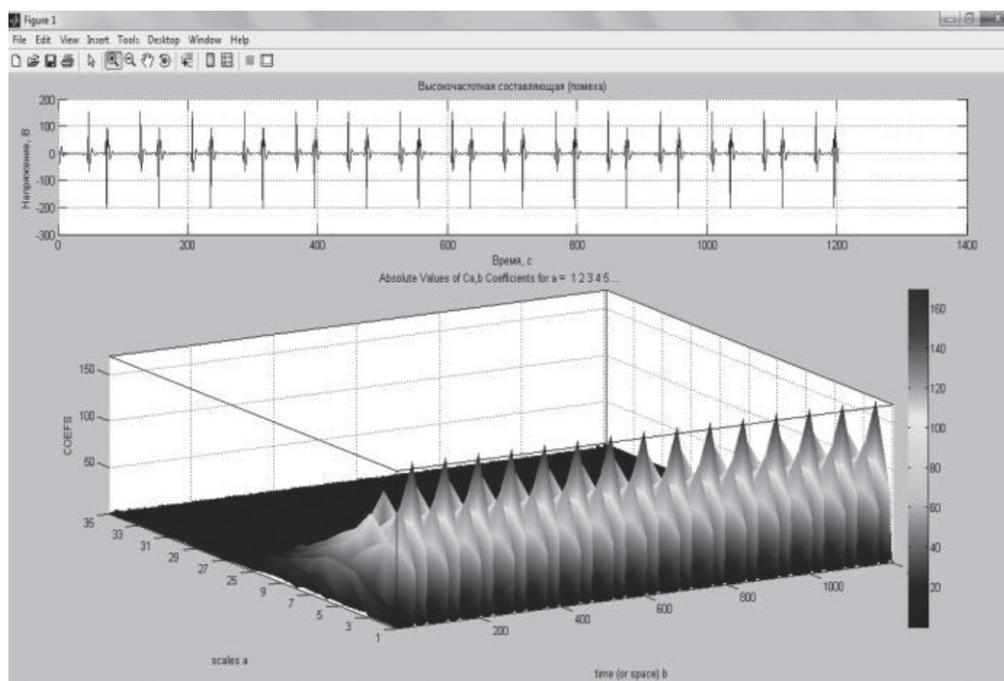


Рис. 4. Вейвлет-спектр с импульсными помехами (выделенная высокочастотная составляющая сигнала)

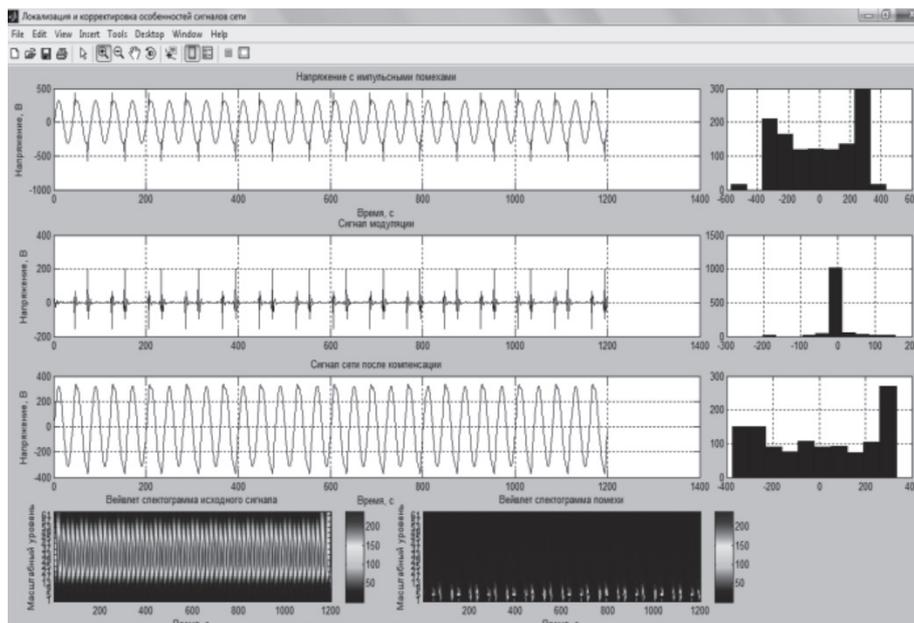


Рис. 5. Компенсация импульсных помех с применением вейвлет-анализа

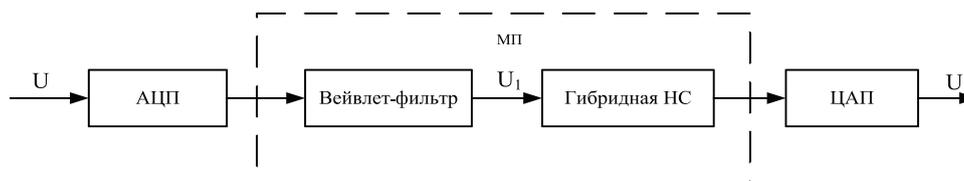


Рис. 6. Принцип работы системы управления вейвлет-фильтрацией и прогнозом искажений [11]

### Заключение

В статье представлено решение комплекса задач, направленных на повышение качества электроэнергии в электроэнергетических системах. В результате проведенных исследований разработано математическое и программное обеспечение активного компенсатора кондуктивных помех в ЭЭС.

Полученные результаты:

1. Экспериментально доказано, что наиболее опасными являются широкополосные импульсные помехи с аperiodической составляющей.

2. При сравнении алгоритмов активной фильтрации установлено, что применение Фурье базиса требует высокого порядка фильтра, что приводит к значительной фазовой задержке и погрешности. Произведен выбор вейвлет-базисов для более эффективной идентификации структурных составляющих сигналов питающего напряжения.

3. Разработаны алгоритмы и методика идентификации структурных составляющих несинусоидальных сигналов сети (напряжения и тока) в электроэнергетической системе с применением ортогональных вейвлет-базисов Добеши.

### Список литературы

1. Карташев И.И., Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев. – М.: МЭИ, 2008. – 320 с.
2. Куско А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, Марк Томпсон. – М.: Додэка, 2008. – 333 с.
3. Горева Т.С. Программное и алгоритмическое обеспечения аппаратных комплексов повышения качества питающей электроэнергии в распределительных сетях: монография / Т.С. Горева, Н.Н. Портнягин. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2015. – 118 с.
4. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 6-е изд., перераб. и доп./ И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 375 с.
5. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
6. Stephane Mallat. A Wavelet tour of signal processing. Пер. с английского. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
7. Горева Т.С. Методы построения активных фильтров подавления импульсных помех в сетях электропитания промышленных судов: монография / Т.С. Горева, Н.Н. Портнягин. – 2010. – 102 с.
8. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 288 с.
9. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 628 с.
10. Горева Т.С. Свидетельство об отраслевой регистрации комплекса программ для ЭВМ № 16389: «Программный комплекс управления качественными показателями электроэнергии в распределительных сетях». – М.: ИНИМ РАО, 2010.
11. Дорогов А.Ю. Теория и проектирование быстрых перестраиваемых преобразований и слабосвязанных нейронных сетей. – СПб.: Политех, 2014. – 344 с.

УДК 621.43-232.174.001.5:539.319

## ВЫБОР УСИЛИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАТЯЖКИ ШАТУННЫХ БОЛТОВ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Гоц А.Н.

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

Предложена методика расчета усилия предварительной затяжки резьбового соединения шатунных болтов поршневого двигателя с выбором действительного запаса плотности стыка между крышкой и кривошипной головкой. Показано, что до закрытия стыка усилие на затяжку шатунного болта деформирует по периметру вкладыш подшипника на величину его выступа, но не обеспечивает закрытие стыка. Так как эти усилия составляют довольно значительную величину (примерно 30...40% от усилия, назначаемого по конструкторской документации), то это может привести к раскрытию стыка и обрыву шатунного болта. Предложено сначала определить усилие на деформацию (сжатие) вкладыша по периметру, а затем с выбранным заранее коэффициентом запаса плотности стыка определить усилие затяжки. Суммарное усилие затяжки складывается по результатам этих двух расчетов. Для обоснования предлагаемого расчета использовалась известная в теории резьбовых соединений диаграмма нагрузок и деформаций.

**Ключевые слова:** резьбовое соединение, стык, шатунный болт, кривошипная головка, выступание вкладыша

## THE CHOICE OF THE EFFORT PRE-TIGHTENING CONNECTING ROD BOLTS PISTON ENGINE

Gots A.N.

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

We give the methods of calculating the effort preliminary tightening bolts of the threaded connection of the connecting rod for piston engine with a choice of the actual size to tighten boundary between the cover and the crankpin end. It is shown that before the joint is closing the force compresses plain half bearing of the connecting rod around the perimeter of the insert bearing, but does not provide closure of the joint. These efforts are quite significant (about 30 ~ 40% of effort assigned according to the design documentation), it could lead to the disclosure of the joint and breakage of the connecting rod bolt. We proposed to first determine the force on the deformation (compression) of the insert around the perimeter, and then with pre-selected factor of the density of the joint to determine the force tightening. The total tightening force is made up of the results of these two calculations. For a substantiation of calculation was used, known in the theory of threaded connections diagram of force and deformation.

**Keywords:** threaded connection, joint, connecting rod bolt, crank head, protrusion of the liner

Как известно, шатунные болты должны обеспечивать плотность стыка крышки с кривошипной головкой шатуна после установки подшипников скольжения. Разгрузка стыка приводит к обрыву шатунных болтов, что является одной из самых тяжелых аварий поршневого двигателя. Болты шатунов с прямым разъемом называются обычно закладными, так как они имеют головку фигурной формы, обеспечивающей фиксацию болта от проворачивания при заворачивании гайки. Стержень закладного болта имеет точно обработанную направляющую часть (так называемый призонный участок), которая располагается в зоне стыка крышки с кривошипной головкой шатуна и предотвращает сдвиг крышки (рис. 1).

Болты шатунов с косым разъемом ввертывают при сборке непосредственно в тело шатуна. Стержень шатуна не имеет направляющих поясков, а вся резьбовая часть должна быть углублена в тело шатуна. Таким образом, кривошипную головку шатуна с шатунным болтом можно рассматривать как обычное резьбовое соедине-

ние. Единственным затруднением при расчете является определение податливости стягиваемых соединений. Действительно, обычно в резьбовых соединениях стягиваемые детали свободны (статически определимые). В резьбовом соединении шатуна (рис. 1, а) стягиваемые левые части кривошипной головки и крышки связаны с правыми частями, поэтому при определении податливости этих участков неизбежно появляется погрешность. Действительно, при затяжке гайки в шатуне с прямым разъемом или при заворачивании болта в шатуне с косым разъемом (рис. 1) каждая из стягиваемых деталей деформируется как статически неопределимые системы, так как часть нагрузки воспринимают остальные части кривошипной головки. Кроме того, погрешность обусловлена также тем, что в данном соединении поперечного сечения стягиваемых деталей (в пределах так называемого «конуса давления» [2, 3]) настолько мала (рис. 1), что конус давления выходит за площади стягиваемых деталей. Поэтому теоретический расчет коэффициента основной

нагрузки резьбового соединения  $\chi$  должен быть проведен с учетом выше изложенных обстоятельств. По нашему мнению, наиболее правильный путь – экспериментальное определение  $\chi$  для шатунов с прямым разъемом и расчетно-экспериментальное – для шатунов с косым разъемом. От обоснованного выбора усилия предварительной затяжки шатунных болтов зависит долговечность шатунной группы.

Во всех существующих в настоящее время учебниках, учебных пособиях [1, 2] усилие предварительной затяжки болта рекомендуется выбирать в 2...3 раза выше, чем сила инерции деталей, совершающих возвратно-поступательное движение, приходящаяся на один болт, которая разгружает стык. Тем не менее, для определения дополнительной силы, приходящейся на шатунный болт после его затяжки от общей силы, приложенной к шатуну, учитывают коэффициент основной нагрузки резьбового соединения  $\chi$  [1–3]. Между тем возникает вопрос об усилиях предварительной затяжки шатунных болтов в шатунах с косым разъемом, в которых внешнее усилие, передающееся на кривошипную головку шатуна, распределяется неравномерно – большую нагрузку испытывает длинный болт (расположенный ниже оси кривошипной головки, перпендикулярной оси стержня [4]). Кроме того, чрезмерное увеличение усилия предварительной затяжки шатунных болтов приводит к деформации кривошипной головки, что может привести к снижению долговечности шатунов. Покажем, что при подходе к расчету усилия

предварительной затяжки шатунных болтов, как обычного резьбового соединения, можно выбрать усилие предварительной затяжки шатунного болта с достаточным обоснованием и при заданном коэффициенте плотности стыка [5].

#### Цель исследования

Разработать методику расчета усилия предварительной затяжки шатунных болтов поршневых двигателей.

#### Материалы и методы исследования

Следует отметить, что резьбовое соединение кривошипной головки шатуна имеет свои особенности, на которые следует сразу обратить внимание. В обычном резьбовом соединении, когда болт (или гайка) начинает затягиваться, стык постепенно нагружается. Однако, когда шатунные болты начинаем затягивать после установки в кривошипную головку вкладышей подшипников скольжения, стык пока не закрыт. Это происходит потому, что по периметру вкладыши подшипников скольжения превышают расточку в кривошипной головке на величину выступа  $\Delta h$  (рис. 2). Сжатие вкладыша по периметру на величину  $\Delta h$  обеспечивает прилегание его к постели кривошипной головки. Только после сжатия вкладыша на величину  $\Delta h$  можно рассматривать это соединение как стандартное резьбовое соединение [5]. Таким образом, на начальных этапах затяжки шатунных болтов осевое усилие необходимо только на деформацию вкладыша по периметру, а не на обеспечение плотности стыка.

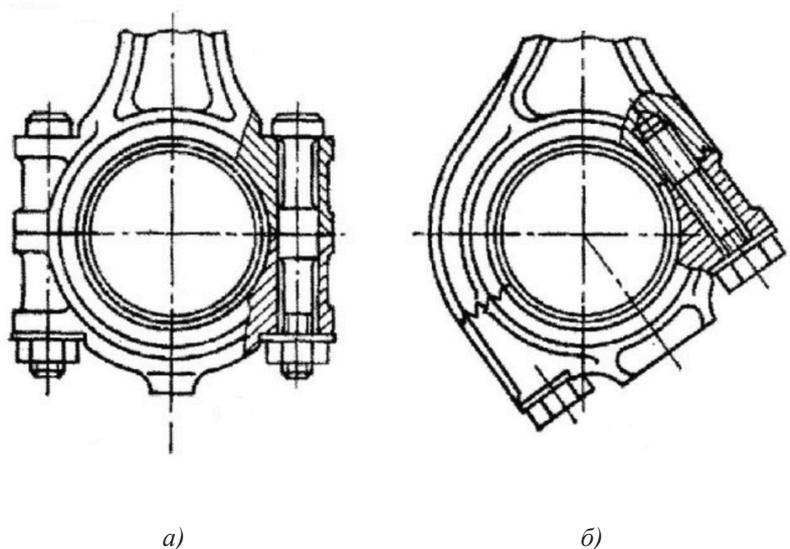


Рис. 1. Шатуны поршневых двигателей: а – с прямым разъемом; б – с косым разъемом

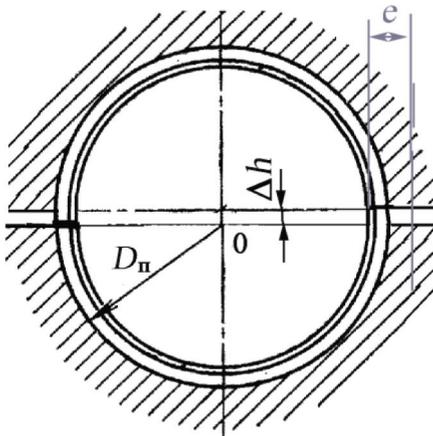


Рис. 2. Схема установки вкладышей в кривошипной головке шатуна:  $D_n$  – диаметр постели;  $\Delta h$  – выступание вкладыша;  $e$  – осевая нагрузка для закрытия стыка

Учитывая, что в автомобильных и тракторных двигателях толщина вкладышей вместе с антифрикционным слоем составляет всего 2,5...3 мм при ширине 35...45 мм, необходимо определить, является ли усилие на деформацию вкладыша достаточно большим, чтобы неучет его снизил расчетный коэффициент плотности стыка.

Для этого проведем расчет усилия затяжки шатунных болтов дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т) по существующей методике [1] и оценим, насколько обоснованно выбрано усилие предварительной затяжки.

На шатун на режиме холостого хода при максимально допустимой частоте вращения коленчатого вала действует сила инерции [1]:

$$P_j = [(m_{pg} + m_1)(1 + \lambda)r\omega_r^2 + (m_2 - m_{kr})r\omega_r^2] = [(m_{pg} + m_1)(1 + \lambda) + (m_2 - m_{kr})]r\omega_r^2, \quad (1)$$

где  $m_{pg} = 1,901$  кг – масса поршневой группы (поршень, поршневой палец, поршневые кольца, стопорные кольца;  $m_1 = 0,8$  кг – часть массы шатуна, отнесенная к оси поршневого пальца;  $\lambda = r/l_{ch} = 0,279$ ;  $r = 0,06$  м – радиус кривошипа;  $l_{ch} = 0,215$  м – длина шатуна;  $\omega_r = 230$  рад/с – угловая частота вращения коленчатого вала на режиме холостого хода;  $m_2 = 1,68$  кг – часть массы шатуна, отнесенная к оси шатунной шейки;  $m_{kr} = 0,45$  кг – масса крышки кривошипной головки.

После подстановки численных значений в формулу (1) найдем, что на шатун действует сила инерции  $P_j = 14868,85$  Н, а на один болт (их в кривошипной головке 2) приходится нагрузка  $P_{jb} = P_j/2 = 7434,43$  Н.

Приняв в соответствии с рекомендациями [1], определим усилие предварительной затяжки  $Q_z$  шатунного болта

$$Q_z = (2...3)P_{jb} = 14868,85...22303,29 \text{ Н.} \quad (2)$$

Проведем расчет усилия, необходимого для деформации по периметру вкладыша на величину выступления  $\Delta h$ .

Шатунные вкладыши (производственный номинал) дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145Т) имеют размеры: ширина вкладыша  $b = 0,031$  м; толщина  $t = 0,002875$  м, причем толщина стального основания вкладыша  $t_{st} = 0,002375$  м; толщина алюминиевого сплава  $t_{al} = 0,005$  м [6].

Так как вкладыш двухслойный, то усилие на сжатие его  $R_{vk}$  можно определить по формуле

$$R_{vk} = \Delta h \frac{E_{st} F_{st}}{\pi r_{vk}} + \Delta h \frac{E_{al} F_{al}}{\pi r_{vk}}, \quad (3)$$

где  $E_{st} = 1,8 \cdot 10^{11}$ , Н/м<sup>2</sup> – модуль упругости стальной основы вкладыша; площадь поперечного сечения стальной основы вкладыша  $F_{st} = bt_{st} = 31 \cdot 2,375 = 73,625$  мм<sup>2</sup>;  $r_{vk} = 0,03894$  м – средний радиус вкладыша;  $E_{al} = 0,71 \cdot 10^{11}$ , Н/м<sup>2</sup> – модуль упругости алюминиевого сплава вкладыша; площадь поперечного сечения алюминиевого сплава вкладыша  $F_{al} = bt_{al} = 31 \cdot 0,5 = 15,5$  мм<sup>2</sup>.

Подставив в формулу (3) численные значения при  $\Delta h = 0,05...0,07$  мм, получим, что только на сжатие вкладыша необходимо усилие

$$R_{vk} = 5869,3...8217 \text{ Н.} \quad (4)$$

Если из вычисленного по зависимости (2) в соответствии с рекомендациями (1) усилия предварительной затяжки вычесть усилие  $R_{vk}$ , приходящееся на деформацию вкладыша, то плотность стыка между крышкой и кривошипной головкой приходится  $R_s$  усилие  $R_s$ :

$$R_s = Q_z - R_{vk} = 8999,55...14086 \text{ Н.}$$

Если разделить  $R_s$  на силу инерции  $P_{jb}$ , приходящую на один болт, то получим

$$R_s / P_{jb} = 1,21...1,89.$$

Таким образом, вместо двукратного или трехкратного запаса плотности стыка в соответствии с зависимостью (2) мы получили величину меньшую даже 2.

Сравнивая усилия предварительной затяжки из (2)  $Q_z$  и усилия на деформацию вкладыша  $R_{vk}$  из (4), отметим, что на  $R_{vk}$  приходится 37...40% от общего расчетного по (2) усилия предварительной затяжки.

Подобные результаты получены при расчете усилия на деформацию вкладышей

для дизелей 4ЧН 110/12,5 (Д-240Т), 4ЧН 13/14 (Д-440). В данном случае расчет проведен только для тонкостенных шатунных вкладышей. Для толстостенных вкладышей коренных подшипников скольжения коленчатого вала (толщина их примерно в 1,5 раза больше) усилие  $R_{vk}$  будет еще больше.

В связи с этим предлагается следующая методика выбора усилия предварительной затяжки шатунных болтов (что, впрочем, относится и к усилиям затяжки болтов крепления коренных подшипников коленчатого вала).

Для этого используем известную диаграмму усилий в резьбовом соединении [5], которая строится в прямоугольных координатах деформация (удлинение или укорочение) болта и стягиваемых деталей – нагрузка, действующая на резьбовое соединение (рис. 3).

На диаграмме приведены прямые деформирования болта (прямая  $OAE$ ) и промежуточных деталей (прямые  $OD$  и  $O_1A_1$ ), которые выражают зависимость усилия от удлинения (или сжатия) при затяжке болта усилием  $Q_0$ . Заметим, что в данном случае рассматриваются только упругие деформации как болта, так и стягиваемых деталей. В общем случае эта зависимость может быть и нелинейной.

Когда шатунный болт начинаем затягивать, то он удлиняется на величину  $\Delta l'_b$ , а вкладыш сжимается на величину  $\Delta l'_{vk}$ , а приложенная нагрузка на болт и вкладыш равна  $R_{vk}$  (рис. 3). При достижении этой силы стык между крышкой и кривошипной голов-

кой закрыт (точка  $O_1$ ). Линию нагружения вкладыша  $OD$  перенесем в правую часть, для чего из т.  $O_1$  проведем прямую  $O_1K_1$  параллельно  $OD$ .

Пусть при дальнейшей затяжке болта нагрузка на резьбовое соединение (на стык) становится равной  $R_s$  (прямая  $O_1B_1$  по оси ординат на рис. 3). Соответственно, нагрузка на шатунный болт становится равной  $Q_z = R_{vk} + R_s$ . На диаграмме нагрузок прямая  $OO_1A$  – зависимость между приложенной нагрузкой при затяжке болта и его удлинением. Прямая  $O_1A_1$  – зависимость между приложенной нагрузкой при затяжке болта и укорочением (сжатием) части кривошипной головки между головкой шатунного болта и гайкой. Отрезок  $A_1B_1$  равен укорочению (сжатию) стягиваемых деталей (крышки и кривошипной головки). Как и раньше, если из т.  $A$  (точки окончательной нагрузки на шатунный болт) проведем прямую  $AO_1'$  параллельно прямой  $O_1A_1$ , то отрезок  $O_1'A' = \Delta l_d$  определяет величину сжатия стягиваемых деталей при затяжке шатунного болта на величину  $Q_z$ . Углы наклона прямых деформирования шатунного болта и стягиваемых деталей характеризуют соответственно податливость болта и стягиваемых деталей.

Если теперь к шатуну приложена внешняя сила  $P_j$ , то, как известно [5], она распределяется между шатунным болтом  $P_b = \chi P_j$  и стягиваемыми деталями: кривошипной головкой шатуна и крышкой в зависимости от  $\chi$  – коэффициент основной нагрузки резьбового соединения ().

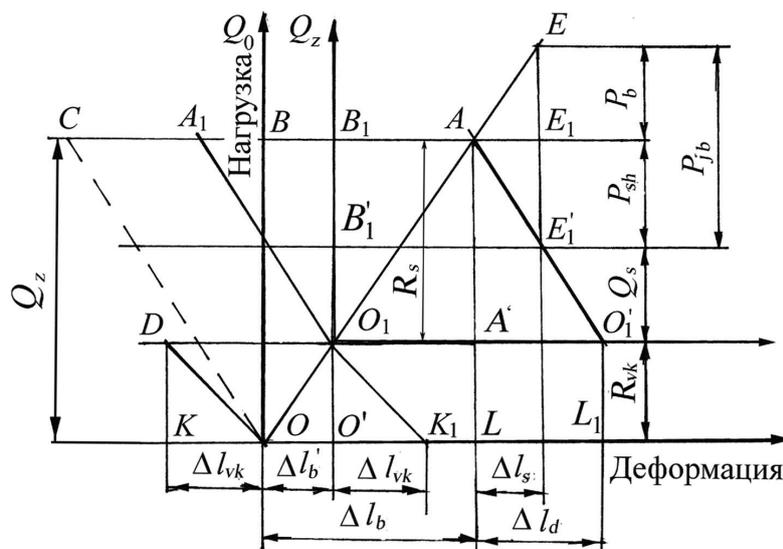


Рис. 3. Диаграмма нагрузок и деформаций в резьбовом соединении шатуна или крышки коренного подшипника

На шатунный болт приходится нагрузка

$$P_b = \chi P_{jb}, \quad (5)$$

а на стягиваемые детали

$$P_{sh} = (1-\chi)P_{jb}. \quad (6)$$

Из рис. 3 следует, что теперь общее усилие, приходящее на шатунный болт, равно

$$Q_z = R_{vk} + R_s. \quad (7)$$

Усилие  $R_{vk}$  определяется по формуле (3), а усилие  $R_s$ , обеспечивающее плотность стыка, определяется по формуле [5]

$$R_s = v(1-\chi)P_{jb}, \quad (8)$$

где  $v$  – коэффициент запаса плотности стыка.

На практике происходит снижение усилия предварительной затяжки из-за обмятия микронеровностей на стыках, а кроме того, возможно повышение внешних нагрузок при работе на нерасчетном режиме. При переменных нагрузках рекомендуют  $v = 2,5 \dots 3,5$  [5].

Можно отметить, что учет усилия на деформацию вкладыша не только не увеличивает значительно напряжения в шатунных болтах, но и обеспечивает плотность стыка и долговечность шатунной группы.

Проведем расчет усилия предварительной затяжки шатунного болта по приведенным выше данным для дизеля 4ЧН10,5/12 (Д-145Т).

По приведенным выше расчетам при работе дизеля 4ЧН10,5/12 (Д-145Т) на режиме холостого хода при максимальной частоте вращения коленчатого вала на стык центрального сечения кривошипной головки с прямым разъемом действует растягивающее усилие  $P_{jb} = P_f/2 = 7434,43$  Н. По нашим данным коэффициент основной нагрузки резьбового соединения шатуна дизеля 4ЧН10,5/12 (Д-145Т)  $\chi = 0,18$ . По нашим расчетам при значении выступающего вкладыша  $\Delta h = 0,05 \dots 0,07$  мм усилие на сжатие вкладыша по периметру равно  $R_{vk} = 5869,3 \dots 8217$  Н. Для обеспечения плотности стыка при коэффициенте запаса плотности стыка  $v = 2,5$  требуется выбрать усилие предварительной затяжки

$$R_s = v(1-\chi)P_{jb} = 2,5(1-0,18)7434,43 = 15240 \text{ Н.}$$

Тогда общее усилие, приходящее на шатунный болт при затяжке, равно

$$Q_z = R_{vk} + R_s = (5869,3 \dots 8217) + 15240 = 21109,3 \dots 23457 \text{ Н.}$$

Его значение превышает величину усилия, рассчитанного по зависимости (2). Если пользоваться методикой, предложенной в [1], то усилие предварительной затяжки  $Q_z$  шатунного болта следует вычислять по формуле  $Q_z = (3 \dots 3,5)P_{jb} = 22303,29 \dots 26021$  Н. (9)

Отметим, что даже при этом усилие затяжки напряжение  $\sigma_0$  в минимальном сечении стержня болта  $F_{\min}$  не превышает допустимое напряжение затяжки [5]

$$\sigma_0 \approx (0,5 \dots 0,7)\sigma_{0,2}, \quad (10)$$

где  $\sigma_0 = Q_z/F_{\min}$ ;  $\sigma_{0,2}$  – предел текучести стержня болта.

Шатунные болты изготовлены из легированной стали 40 ХН, для которой  $\sigma_{0,2} = 800$  МПа. Минимальный диаметр стержня болта [6]  $d_{\min} = 12$  мм. Тогда  $F_{\min} = (3,14 \cdot 0,012^2)/4 = 113 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

Тогда

$$\sigma_0 = 26021/113 \cdot 10^{-6} = 230 \text{ МПа,}$$

что значительно меньше, чем  $(0,5 \dots 0,7)\sigma_{0,2} = 400 \dots 560$  МПа.

### Выводы

При расчете резьбовых соединений поршневых двигателей, когда закрытие стыка связано с установкой вкладышей подшипников (шатун, крышки коренных подшипников) более обосновано выбирать усилие предварительной затяжки болтов или шпилек по предлагаемой методике.

### Список литературы

1. Чайнов Н.Д., Ивашенко 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., Финюгов 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. – Т. 2, № 8. – С. 88–93.

УДК 681.518.22

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ВАРИАНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ БИОСЕНСОРОВ

<sup>1</sup>Зарипова В.М., <sup>2</sup>Евдошенко О.И., <sup>1</sup>Петрова И.Ю.

<sup>1</sup>ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет»,  
Астрахань, e-mail: irapet1949@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», Астрахань, e-mail: goronet@list.ru

Стремительный рост мирового рынка биосенсоров обуславливает потребность в создании систем автоматизированного проектирования таких устройств, что позволит ускорить вывод на рынок новых конструкций. Целью статьи является описание математической модели процессов автоматизированного синтеза вариантов физического принципа действия биосенсоров и их ранжирования по совокупности эксплуатационных характеристик. Кратко приведено описание архитектуры информационной системы и баз данных для поддержки процесса концептуального проектирования вариантов физического принципа действия биосенсоров. Представлено расширенное информационно-логическое описание паспортов тест-объектов и физико-технических эффектов как элементов структурных схем, отражающих физический принцип действия биосенсора. Показано, что принцип действия биосенсора можно представить, как последовательное соединение тест-объекта и трансдюсера, который, в свою очередь, представляет собой несколько взаимосвязанных физико-технических эффектов. Определены необходимые и достаточные условия синтеза принципа действия биосенсора: для обеспечения работоспособности биосенсора в целом необходимо соблюдение правила пересечения диапазонов величин выхода тест-объекта и входного физико-технического эффекта трансдюсера, которые должны совпадать по физической природе, а их диапазоны должны пересекаться. Приведены формулы для расчета основных эксплуатационных характеристик синтезированных вариантов биосенсоров. Это позволило разработать алгоритмы синтеза и многокритериального ранжирования синтезированных вариантов принципов действия биосенсоров на основе наборов эксплуатационных характеристик.

**Ключевые слова:** биосенсор, трансдюсер, тест-объект, автоматизированное проектирование, база знаний, энерго-информационный метод, физико-технический эффект

## AUTOMATED SYNTHESIS OF OPTIONS OF THE PHYSICAL PRINCIPLE OF ACTION OF BIOSENSORS

<sup>1</sup>Zaripova V.M., <sup>2</sup>Evdoshenko O.I., <sup>1</sup>Petrova I.Yu.

<sup>1</sup>Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, e-mail: irapet1949@gmail.com;

<sup>2</sup>Astrakhan State University, Astrakhan, e-mail: goronet@list.ru

The rapid growth of the world market of biosensors necessitates the creation of automated design systems for such devices. Thus it will speed up the introduction of new designs to the market. The purpose of the article is to describe the mathematical model of the processes of automated synthesis of variants of the physical principle of the action of biosensors and their ranking on base of the combination of operational characteristics. Brief description of the architecture of the information system and databases developed in order to support the process of conceptual designs is given. An extended information and logical description of passports of test objects and physical and technical effects as elements of structural schemes reflecting the physical principle of the action of the biosensor was presented. It is shown that the principle of the action of the biosensor could be represented as the test object consecutively connected with the transducer. Transducer could be represented as several interrelated physical and technical effects. The necessary and sufficient conditions for synthesizing the principle of the action of the biosensor are determined. In order to ensure the efficiency of the biosensor it is necessary to observe the rule of intersection of the ranges of the output value of the test object and the input value of the first physico-technical effect of the transducer, both values must coincide in physical nature, and their ranges must overlap. Basic performance characteristics of synthesized variants of biosensors are described. This allowed to develop algorithms for synthesizing and multicriteria ranking of synthesized designs on the basis of sets of their operational characteristics.

**Keywords:** biosensor, transducer, test object, computer-aided design, knowledge base, energy-information method, physico-technical effect

Согласно новому отчету о рыночных исследованиях компании MarketsandMarkets (США) ожидается, что к 2022 г. рынок биосенсоров будет оцениваться в 27,06 млрд долл. США, увеличиваясь ежегодно на 8,84% в период с 2017 по 2022 г. Рост рынка обусловлен непрерывными технологическими достижениями в производстве биосенсоров, увеличением использования биосенсоров для немедицинских приложений, ростом спроса на средства для экспресс-диагностики и особенно системы мониторинга глюкозы [1].

В период с 1950 по 2017 г. было опубликовано более 150 000 статей, посвященных применению биосенсоров в разных отраслях [2].

Биосенсор конструктивно объединяет два преобразователя, которые контактируют друг с другом: биохимический (тест-объект) и физический (трансдюсер). В тест-объектах могут быть использованы разные виды биологических структур (ферменты, антитела, живые клетки, микроорганизмы и др.). Принцип действия трансдюсеров основан на использовании различных физико-технических эффектов во взаимодействии

(электромагнитных, оптических, гравитационных, калориметрических и др.) [3, 4].

Теоретически любой тест-объект можно комбинировать с любым из возможных трансдьюсеров, представляющих собой сочетание нескольких физико-технических эффектов. Поэтому возможно большое разнообразие различных видов биосенсоров. Различные виды классификации биосенсоров приведены в [5]. Для ускорения процесса синтеза новых конструкций биосенсоров необходимо создание систем автоматизированного проектирования таких устройств.

*Автоматизированная система синтеза биосенсоров. Структура паспортов биорецептора и ФТЭ*

В работе [6, 7] приведены принципы организации и архитектура автоматизиро-

ванной системы проектирования биосенсоров на основе энергоинформационных моделей цепей различной физической природы. В состав этой системы входят две базы знаний:

База знаний об иммобилизованных биологических тест-объектах (БД\_ТО). Тест-объекты формируют селективный отклик на определяемый компонент в виде аналитического сигнала для последующих преобразований в трансдьюсере. Тест-объект характеризуется рядом параметров (обнаруживаемое вещество, метод преобразования, выходная величина в терминах ЭИМЦ, химическая реакция, способ иммобилизации, материалы электродов, чувствительность, надежность регистрации и др.), зафиксированных в паспорте тест-объекта (табл. 1).

**Таблица 1**

Структура паспорта тест-объекта

Обнаруживаемое вещество	Наименование	№
Метод обнаружения	Наименование	
Выходная величина в терминах ЭИМЦ	Наименование	Обозначение [единица измерения]
Биорецептор	Тип биорецептора	Название биорецептора
	Наименование (вещество, микроорганизмы, ...)	
Реакция химическая/ схема процесса		
Иммобилизация (способы)		
Электроды		
Эксплуатационные характеристики		
Чувствительность	Относительная погрешность	
Диапазон		
Время анализа (быстродействие)	Операционная стабильность <sup>1</sup> (надежность)	
Период измерения <sup>2</sup>	Стабильность при хранении	
Источники информации		
Примечания		

Примечание. <sup>1</sup>Стабильность сенсора при проведении непрерывных измерений. <sup>2</sup>Период измерения включает время анализа и время восстановления сигнала.

**Таблица 2**

Структура паспорта физико-технического эффекта (ФТЭ)

Наименование ФТЭ или параметра	
Звено параметрической структурной схемы (ПСС)	Формула ЭИМЦ
Вывод формулы ФТЭ в терминах ЭИМЦ	
Формула коэффициента преобразования ФТЭ и его размерность	
Интервал значений коэффициента Описание величин формулы	Усредненные численные значения эксплуатационных характеристик (чувствительность, диапазон, надежность, быстродействие и т.д.)
Источники информации	
Рисунок технической реализации	Краткое описание

База знаний об известных физических эффектах и явлениях (БД\_ФТЭ) на основе энерго-информационных моделей цепей (ЭИМЦ) разной физической природы. Она используется для синтеза физического принципа действия преобразователей (трансдюсеров) [5]. Структурированные знания о каждом физико-техническом эффекте представлены в виде паспорта эффекта, который содержит описание эффекта, входной и выходной величины, а также усредненные типовые значения эксплуатационных характеристик и формулу расчета коэффициента передачи на основе известных физических законов (табл. 2).

*Расширенные информационно-логические модели паспорта биорецептора и паспорта ФТЭ*

Тест-объект является первым звеном цепочки преобразований, приводящих к требуемой выходной величине и, таким образом, на выходе связывается с трансдюсером, обеспечивающим первичное преобразование.

Паспорт тест-объекта (ТО) может быть представлен как кортеж типа

$$TO_{Aj} = \{A, M, B_{k\ out}, D_{k\ out}^{TO}, BT, BE, RT, RF, Im, E, EX_{n|}^N, PX_{n|}^N\}, \quad (1)$$

*A* – обнаруживаемое вещество (текстовое описание),  
*M* – метод обнаружения (текстовое описание),  
*B<sub>k out</sub>* – вид выходной величины *k*-ой физической природы,  
*D<sub>k out</sub><sup>TO</sup>* – диапазон изменения выходной величины тест-объекта (ТО),  
*BT* – тип тест-объекта (текстовое описание),  
*BE* – тип вещества тест-объекта (текстовое описание),  
*RT* – тип химической реакции (текстовое описание),  
*RF* – формула химической реакции,  
*Im* – иммобилизатор (текстовое описание),  
*E* – электрод (текстовое описание).

Две последних группы в формуле (1) представляют собой перечни усредненных численных значений эксплуатационных характеристик данного типа тест-объекта (от 0 до 7). Сам перечень характеристик и их усредненные числовые значения определяются группой экспертов в данной предметной области. Однако обязательными эксплуатационными характеристиками являются чувствительность, диапазон, надежность, быстродействие и относительная погрешность.

*EX<sub>n|</sub><sup>N</sup>* – смежные эксплуатационные характеристики при полном синтезе фи-

зического принципа действия биосенсора. Если хотя бы один вид эксплуатационной характеристики известен для тест-объекта и всех ФТЭ, входящих в синтезированную цепочку физического принципа действия трансдюсера (т.е. характеристика является смежной), то возможен расчет этой эксплуатационной характеристики для синтезированного устройства в целом.

*PX<sub>n|</sub><sup>N</sup>* – независимые эксплуатационные характеристики синтезированного физического принципа действия, свойственные только тест-объекту (например, стабильность при хранении или период измерения). В случае наличия значений они дополняют общий расчет характеристик синтезированного физического принципа действия биосенсора.

Далее рассмотрим информационно-логическую модель паспорта физико-технического эффекта (ФТЭ), связывающего две цепи *i*-ой и *j*-ой физической природы, представленную как кортеж типа:

$$ФТЭ_{ij} = \{N_{ФТЭ}, B_{i\ in}, B_{j\ out}, K_{ij}, K_o, KM_{PTE}, D_{i\ in}, D_{j\ out}, EX_{n|}^N\}, \quad (2)$$

Кортеж также может быть разбит на 2 группы, где первая группа представляет описание физико-технического эффекта (ФТЭ):

*N<sub>ФТЭ</sub>* – наименование физико-технического эффекта (текстовая величина),  
*B<sub>i in</sub>* – входная величина *i*-ой физической природы,  
*B<sub>j out</sub>* – выходная величина *j*-ой физической природы,  
*K<sub>ij</sub>* – коэффициент преобразования, отражает зависимость выходной величины от входной величины (простейший случай – линейная зависимость), *B<sub>j out</sub> = K<sub>ij</sub> · B<sub>i in</sub>*.  
*K<sub>o</sub>* – текстовая величина, представляет текстовое описание коэффициента *K<sub>ij</sub>* и его формулу в функции известных физических констант, параметров материалов и геометрических размеров,

*KM<sub>ФТЭ</sub>* – коэффициент влияния ФТЭ, которой описывает функциональную связь физических величин входа и выхода, например учет влияния полей (коэффициент влияния может принимать значения 1 или 0),

*D<sub>i in</sub>, D<sub>j out</sub>* – диапазон изменения входной и выходной величины.

Для обеспечения работоспособности цепочки необходимо соблюдение правила пересечения диапазонов величин выхода каждого предыдущего эффекта и входа каждого последующего эффекта в цепочке при условии совпадения их физической природы:

$$D_{i\ in}^n \cap D_{j\ out}^{n-1} \text{ и } D_{j\ out}^n \cap D_{i\ in}^{n+1} | i = j.$$

Вторая группа в формуле (2) представляет набор эксплуатационных характеристик (от 0 до 10), сам набор этих характеристик и их усредненные числовые значения определяются группой специалистов (экспертов) в данной предметной области:

$EX_{n1}^N$  – итоговые численные значения эксплуатационных характеристик синтезированного варианта физического принципа действия, для которых формулы приведены в табл. 3 данной статьи. Расчет результирующей эксплуатационной характеристики для синтезированного варианта биосенсора возможен, если в паспортах имеются числовые данные по этой характеристике для тест-объекта и всех ФТЭ, входящих в синтезированную цепочку физического принципа действия трансдюсера.

Для обеспечения работоспособности биосенсора в целом необходимо соблюдение правила пересечения диапазонов величин выхода тест-объекта и входного физико-технического эффекта (ФТЭ) трансдюсера, которые должны совпадать по физической природе, а их диапазоны должны пересекаться:  $D_{k\text{out}}^{\text{ТО}} \cap D_{i\text{in}}^{\text{ФТЭ}} | k = i$ .

$$\begin{aligned} \text{ПД\_БС} = & \left( \text{ТО}_k, \text{ФТЭ}_{ij}^1, \text{ФТЭ}_{ij}^2, \dots, \text{ФТЭ}_{ij}^m \dots \text{ФТЭ}_{ij}^N \mid \text{ТО}_k \in \text{БД\_ТО} \wedge \text{ФТЭ}_{ij}^m \in \right. \\ & \left. \in \text{БД\_ФТЭ} \wedge B_{k\text{out}} = B_{i\text{in}}^1 \wedge k = i^1 \wedge B_{j\text{out}}^m = B_{i\text{in}}^{m+1} \wedge j^m = i^{m+1} \Big|_{m=1}^N \right). \end{aligned} \quad (3)$$

При этом биосенсор будет являться работоспособным, если диапазоны выходной величины предыдущего звена и входной величины последующего звена в формуле (3) пересекаются  $D_{i\text{in}}^n \cap D_{i\text{out}}^{n-1}$ .

*Алгоритм многокритериального ранжирования синтезированных вариантов на основе наборов эксплуатационных характеристик*

В паспортах ТО и ФТЭ имеются наборы эксплуатационных характеристик (чувствительность, погрешность, диапазон, надёжность, быстродействие и др.), позволяющие

#### Синтез принципа действия биосенсора

Принцип действия биосенсора можно представить как последовательное соединение тест-объекта и трансдюсера, который, в свою очередь, представляет собой несколько взаимосвязанных физико-технических эффектов (рис. 1).

Необходимым и достаточным условием синтеза принципа действия биосенсора (ПД\_БС) является совпадение выходной величины тест-объекта с входной величиной первого ФТЭ в цепочке, образующей принцип действия трансдюсера. Далее выходная величина каждого ФТЭ трансдюсера должна совпадать с входной величиной следующего за ним эффекта в цепочке и т.д.:

$$\text{ПД\_БС} = \langle \text{ТО}_k, \text{ФТЭ}_{12}, \text{ФТЭ}_{23}, \dots, \text{ФТЭ}_{ij}, \dots, \text{ФТЭ}_{(N-1)N} \rangle,$$

где  $\text{ТО}_k$  –  $k$ -ый тест-объект из базы данных тест-объектов (БД\_ТО),  $\text{ФТЭ}_{ij}$  – физико-технический эффект в трансдюсере (входная величина  $i$ -ой физической природы, а выходная  $j$ -ой физической природы), выбирается из базы данных БД\_ФТЭ.

Тогда для цепочки эффектов, образующих принцип действия биосенсора (ПД\_БС), можно записать

оценить эксплуатационные свойства синтезированных технических решений.

Эксплуатационные характеристики синтезированного биосенсора вычислимы, если известны эксплуатационные характеристики для тест-объекта и каждого эффекта в цепочке:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{нБС}} = & f(\mathcal{E}_{\text{кТО}}, \mathcal{E}_{\text{мФТЭ}} (\forall \text{ТО} \in \text{БД\_ТО} \wedge \forall \text{ФТЭ} \in \\ & \in \text{БД\_ФТЭ}) \exists \mathcal{E}_{\text{кТО}} \wedge \exists \mathcal{E}_{\text{мФТЭ}}). \end{aligned}$$

Для расчета эксплуатационных характеристик синтезированного биосенсора по значениям характеристик отдельных звеньев, приведенным в паспортах, используются математические модели, приведенные в табл. 3.

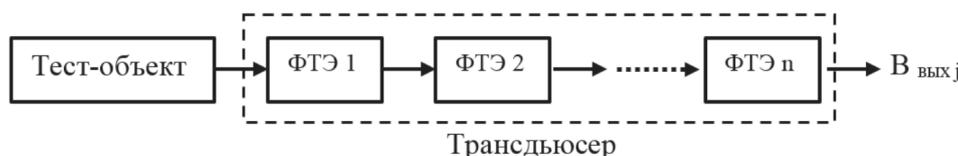


Рис. 1. Принцип действия биосенсора

Таблица 3

Формулы расчета эксплуатационных характеристик

№ п/п	Характеристика	Формула	Описание
1	Чувствительность	$S = \prod_{i=1}^{i \leq GP} S_i$	где $S_i$ – чувствительность $i$ звена в цепочке; $GP$ – длина цепочки ( $2 \leq GP \leq GP_{max} \leq 10$ )
2	Надежность	$R = \sum_{i=1}^{i \leq GP} R_i$	где $R_i$ – надежность $i$ звена в цепочке; $GP$ – длина цепочки ( $1 \leq GP \leq GP_{max} \leq 10$ )
3	Погрешность	$F = \sum_{i=1}^{i \leq GP} F_i$	где $F_i$ – погрешность $i$ звена в цепочке; $GP$ – длина цепочки ( $1 \leq GP \leq GP_{max} \leq 10$ )
4	Быстродействие	$H = \sum_{i=1}^{i \leq GP} H_i$	где $H_i$ – быстродействие $i$ звена в цепочке; $GP$ – длина цепочки ( $1 \leq GP \leq GP_{max} \leq 10$ )
5	Нижняя и верхняя границы диапазона выходного сигнала биосенсора	<p>Рассчитывается как последовательное пересечение выходных и входных диапазонов для каждой пары рядом стоящих звеньев</p> $\left\{ \begin{aligned} &D_{k out}^{TO} \cap D_{1 in}^{ФТЭ} = (D_{1 in}^{ФТЭ}; D_{1 in}^{ФТЭ}) \\ &(K_1 * D_{1 in}^{ФТЭ}; K_1 * D_{1 in}^{ФТЭ}) \cap (D_{1 out n}^{ФТЭ}; D_{1 out v}^{ФТЭ}) = (D_{2 in}^{ФТЭ}; D_{2 in}^{ФТЭ}) \\ &(K_1 * D_{1 in}^{ФТЭ}; K_1 * D_{1 in}^{ФТЭ}) \cap (D_{1 out n}^{ФТЭ}; D_{1 out v}^{ФТЭ}) = (D_{2 in}^{ФТЭ}; D_{2 in}^{ФТЭ}) \\ &..... \\ &(K_N * D_{N-1 in}^{ФТЭ}; K_N * D_{N-1 in}^{ФТЭ}) \cap (D_{N out n}^{ФТЭ}; D_{N out v}^{ФТЭ}) = (D_{N out n}^{ФТЭ}; D_{N out v}^{ФТЭ}) \end{aligned} \right. ,$	<p>где <math>D_{k out}^{TO}</math> – диапазон изменения выходной величины тест-объекта (ТО); <math>D_{1 in}^{ФТЭ}</math> – диапазон изменения входной величины 1-го ФТЭ в цепочке трансдьюсера; <math>D_{1 in n}^{ФТЭ}; D_{1 in v}^{ФТЭ}</math> – итоговые нижняя и верхняя границы входного диапазона 1-го ФТЭ в цепочке трансдьюсера; <math>K_i</math> – чувствительность <math>i</math> звена в цепочке; <math>D_{i in n}^{ФТЭ}; D_{i in v}^{ФТЭ}</math> – нижняя и верхняя границы диапазона входной величины <math>i</math>-го ФТЭ в цепочке трансдьюсера (<math>1 \leq i \leq N</math>); <math>D_{i out n}^{ФТЭ}; D_{i out v}^{ФТЭ}</math> – нижняя и верхняя границы выходного диапазона <math>i</math>-го звена в цепочке трансдьюсера (<math>1 \leq i \leq N</math>); <math>D_{2 in n}^{ФТЭ}; D_{2 in v}^{ФТЭ}</math> – итоговые нижняя и верхняя границы входного диапазона <math>(i + 1)</math>-го ФТЭ в цепочке трансдьюсера <math>D_{N out n}^{ФТЭ}; D_{N out v}^{ФТЭ}</math> – итоговые нижняя и верхняя границы выходного диапазона цепочки-решения</p>

Так как эксплуатационные характеристики имеют различную размерность, то при образовании целевой функции для ранжирования синтезированных вариантов по совокупности эксплуатационных характеристик оперируют не с расчетными значениями критериев, а с их нормированными значениями. Нормированные значения критериев представляют собой отношение расчетного частного критерия к некоторой нормирующей величине, измеряемой в тех же единицах, что и сам критерий, т.е. нормированные значения частных критериев являются безразмерными. Нормирующая величина определяется как максимальное или минимальное значение соответствующей эксплуатационной характеристики на множестве синтезированных принципов действия биосенсоров.

Учитывая, что наилучшими являются те решения, в которых чувствительность, надежность и диапазон выходной величины имеют наибольшие значения, а остальные характеристики – наименьшие значения, то могут использоваться соответственно два варианта нормирования (табл. 4).

Так как существенное значение имеют абсолютные нормированные значения критериев, то для сведения частных показателей к целевой функции используется аддитивный критерий эффективности. Для  $i$ -го варианта конструкции биосенсора обобщенный критерий эффективности:

$$K_{i \text{эфф}} = \sum_{k=1}^N \zeta_k \cdot \tilde{\mathcal{E}}_{ik}, \tag{4}$$

где  $\tilde{\mathcal{E}}_{ik}$  – относительное значение  $k$ -го критерия эффективности, т.е.  $k$ -ой эксплуатаци-

онной характеристики, которое определяется по табл. 4;  $\zeta_k$  – весовой коэффициент, характеризующий важность  $k$ -ой эксплуатационной характеристики.

Весовые коэффициенты важности эксплуатационных характеристик в формуле (4) задаются в пределах от единицы до десяти: 10 – соответствует наибольшей значимости данной эксплуатационной характеристики, 0 – исключение данной характеристики из рассмотрения. Полученным значениям присваиваются места, причем первое место получает решение, имеющее максимальное значение обобщенного критерия. Таким образом, вариант, занявший первое место, будет наиболее эффективным по совокупности эксплуатационных характеристик.

На рис. 2 показан пример поиска принципа действия транзьюсера для калориметрического биосенсора. Фрагмент результата синтеза вариантов принципа действия калориметрического биосенсора приведен на рис. 2, а. Все варианты ранжированы по совокупности эксплуатационных характеристик. Четвертый вариант (отмечен курсором) представляет собой сочетание двух ФТЭ (пирозлектрический ФТЭ и эффект

поля в МДП-транзисторе). Внизу можно видеть результат расчета одной из эксплуатационных характеристик (чувствительность) при заданном весовом коэффициенте – 1. На рис. 2, б, показаны результаты поиска аналогов в системе. Найдены 2 патента США – ближайшие аналоги синтезированного варианта. Это свидетельствует о работоспособности системы.

### Выводы

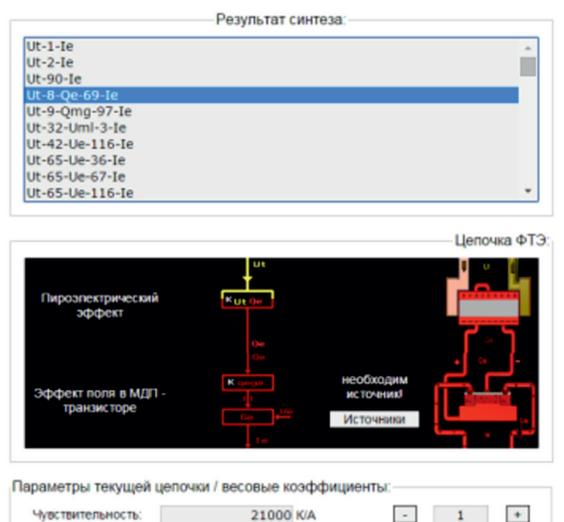
В статье приведено описание информационно-логических моделей паспорта ФТЭ и тест-объекта, математической модели процесса автоматизированного синтеза вариантов физического принципа действия биосенсоров и их ранжирования по совокупности эксплуатационных характеристик.

Показано, что необходимым и достаточным условием синтеза принципа действия биосенсора является совпадение выходной величины тест-объекта с входной величиной первого физико-технического эффекта в цепочке, образующей принцип действия транзьюсера, а также пересечение диапазонов выходной величины предыдущего звена и входной величины последующего звена.

Таблица 4

Варианты нормирования эксплуатационных характеристик

Вариант	Эксплуатационные характеристики	$p_n$ – нормированная характеристика	Min $p_n$	Max $p_n$	Диапазон изменения $p_n$
1	Чувствительность, надежность, диапазон	$x_i / x_{max}$	<1	1	$0 < p_n \leq 1$
2	Погрешность, быстродействие	$x_{min} / x_i$	<1	1	$0 < p_n \leq 1$



а)



б)

Рис. 2. Пример синтеза транзьюсера для калориметрического биосенсора

Получены формулы для расчета эксплуатационных характеристик синтезированного биосенсора по значениям характеристик отдельных звеньев, приведенным в паспортах.

Разработан алгоритм многокритериального ранжирования синтезированных вариантов принципа действия биосенсоров по совокупности эксплуатационных характеристик на основе интегрального аддитивного критерия эффективности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-37-00258/17.*

#### Список литературы

1. Biosensors Market by Application (POC, Home Diagnostics, Research Labs, Biodefense, Environmental Monitoring, Food & Beverages Industry), Technology, Product (Wearable and Non-Wearable), and Geography – Global Forecast to 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/biosensors.asp> (дата обращения: 03.02.2018).
2. Tavakoli J., Tang Y. Hydrogel Based Sensors for Biomedical Applications. An Updated Review // *Polymers*. – 2017. – Vol. 9. № 8. – P. 2–25.
3. Mehrotra P. Biosensors and their applications – A review // *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. – 2016. – Vol. 6. № 2. – P. 153–159.
4. Turdean G.L. Design and Development of Biosensors for the Detection of Heavy Metal Toxicity // *International Journal of Electrochemistry*. Volume 2011, Article ID 343125, 15 p. DOI: 10.4061/2011/343125.
5. Биосенсоры для осуществления мероприятий экологического мониторинга: классификация и особенности разработки / Д.Л. Поклонский [и др.] // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2017. – № 4. – С. 12–19.
6. Энергоинформационные модели биосенсоров / И.Ю. Петрова [и др.] // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 3. – С. 35–48.
7. Зарипова В.М., Евдошенко О.И., Лежнина Ю.А., Петрова И.Ю. Автоматизированная система поддержки концептуального проектирования биосенсоров / в сб. *Перспективы развития строительного комплекса* // Изд. Астрах. гос. арх-строит. ун-та. – Астрахань, 2017. – С. 255–261.

УДК 62-346

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА БАЗЕ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

<sup>1</sup>Ильдияров Е.Н., <sup>2</sup>Сизов А.Н., <sup>1</sup>Чубаров Ф.Л.

<sup>1</sup>КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),  
Калуга, e-mail: mail@bmstu-kaluga.ru;

<sup>2</sup>ОАО «Калужский турбинный завод», Калуга, e-mail: sizov\_an@power-m.ru

Продолжено исследование электрогидравлического контура регулирования частоты вращения ротора паровой турбины малой мощности, построенного на основе современного отечественного высокоточного быстрореагирующего электромеханического привода (ЭМП). Основная цель исследования в данной работе – выработка проектных рекомендаций по узлам системы регулирования, а также упрощение процедуры подбора оптимальных параметров регулятора. Большинство современных систем регулирования паровых турбин являются электрогидравлическими или электромеханическими, построенными на базе специальных электромеханических преобразователей. Высокие эксплуатационные характеристики таких электро-механических преобразователей обусловлены применением в его конструкции ролико-винтовой пары, основные особенности конструкции учтены в оригинальной математической модели. Модель построена на базе традиционных представлений о динамике подобных систем с учётом ряда существенно нелинейных элементов. При этом гидромеханическая часть системы регулирования является традиционной для паровых турбин Калужского турбинного завода. Исследование также проводится с целью адаптации системы регулирования под требования обеспечения качества вырабатываемой в РФ электроэнергии. Настройка параметров регулятора в подобных системах является нетривиальной задачей, однако она может быть облегчена путем применения автоматизированных процедур с использованием специализированного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** регулирование, паровые турбины, электрогидравлика, электромеханический привод, модель, имитационное моделирование, настройка ПИД-регулятора

## ELECTROMECHANICAL DRIVE-TYPE BASED, ELECTROHYDRAULIC CONTROL CIRCUIT FOR THE SPEED OF THE STEAM TURBINE INVESTIGATION

<sup>1</sup>Ildiyarov E.N., <sup>2</sup>Sizov A.N., <sup>1</sup>Chubarov F.L.

<sup>1</sup>Kaluga branch Moscow State Technical University named after Bauman (National Research University),  
Kaluga, e-mail: mail@bmstu-kaluga.ru;

<sup>2</sup>Open Joint Stock Company «Kaluga turbine works», Kaluga, e-mail: sizov\_an@power-m.ru

This study continues research of a domestic high-precision fast response electromechanical drive-type based, electrohydraulic control circuit for the speed of the low-power steam turbine. The main purpose of the study is to work out some project recommendations for governing system parts design along with optimal regulator parameters choosing. Most of such a systems are electrohydraulic or electromechanical type, based on a special electromechanical drives. This drive's high performance is due to its construction features such as roller-screw pair, considered in an original mathematic model. The model is built in traditional way for a control system dynamic, some substantially non-linear elements considered. Wherein the other part of a system – its hydromechanical part – is traditional for a Kaluga JSC turbines. An another aim of the research is control circuit adapting to meet the requirements to a power quality in Russian Federation. Controller adjustment in such type of a system is not a trivial, but it could be facilitated by using automated procedures with specialized software support.

**Keywords:** control, steam turbines, electrohydraulic, electromechanical drive unit. model, simulation modeling, PID-controller adjustment

Работа электрогенерирующего оборудования в энергосистеме РФ регламентирована для следующих основных режимов – первичного регулирования частоты (общего или нормированного) и автоматического вторичного регулирования частоты и перетоков мощности [1, 2]. Причём для небольших (до 100 МВт) объектов электрогенераций (ТЭС, ТЭЦ) главной задачей, как правило, остаётся обеспечение требований к качеству именно вторичного регулирования [3, 4]. Подобные требования (диапазон регулирования, требования к динамике изменения мощности) в большой степени

определяют конструктив применяемого электрогенерирующего оборудования, равно как и налагают ограничения на область его применения. В части паровых турбин, как приводных двигателей для электрических генераторов, исследования их динамики и влияния на неё конструктивных параметров ведутся достаточно давно [5, 6] и хорошо систематизированы, особенно для турбин средней и большой мощности (100 и более МВт). Однако и турбины меньшей мощности (с постоянной времени до 10–12 секунд [7]) также остаются хорошим и наглядным объектом для теории

автоматического регулирования (ТАР), по которой для обеспечения устойчивой работы с заданным качеством важны и свойства самого объекта, и настройки его регулятора. Обеспечение заданных свойств в части профильного, «целевого» проектирования узлов регулирования и защиты, а также оптимальных настроек регулятора – по-прежнему является нетривиальной нелинейной задачей ТАР, представляющей практический интерес для проектных организаций, о чём свидетельствует большое количество работ по той теме [4, 6, 8].

### Цель исследования

Целью настоящей работы явилась выработка практических рекомендаций по определению настройки параметров регулятора в контуре регулирования конкретного объекта. Не рассматривая здесь многокритериальную задачу оптимизации выбранной структуры системы регулирования, остановимся на некоторых практических вопросах её конструирования и настройки. Настоящая

работа служит продолжением цикла, посвящённого исследованию быстродействующего прецизионного электромеханического привода, как исполнительного механизма системы регулирования частоты вращения паровой турбины малой мощности [9, 10]. Практический интерес к данному вопросу вызван тем обстоятельством, что большинство паровых турбин Калужского турбинного завода в настоящее время перешло на комплектацию системой регулирования электрогидравлического типа, обладающих рядом эксплуатационных преимуществ по сравнению с прежней гидродинамической системой [11]. Такая система, как правило, состоит из двух функциональных частей: электронной управляющей (ЭУЧ) и гидромеханической исполнительной (ГМЧ), её принципиальная схема показана на рис. 1.

В состав электронной управляющей части входят (рис. 1):

- электронное управляющее устройство 5;
- электромеханический преобразователь 4;
- шесть датчиков частоты вращения 6.

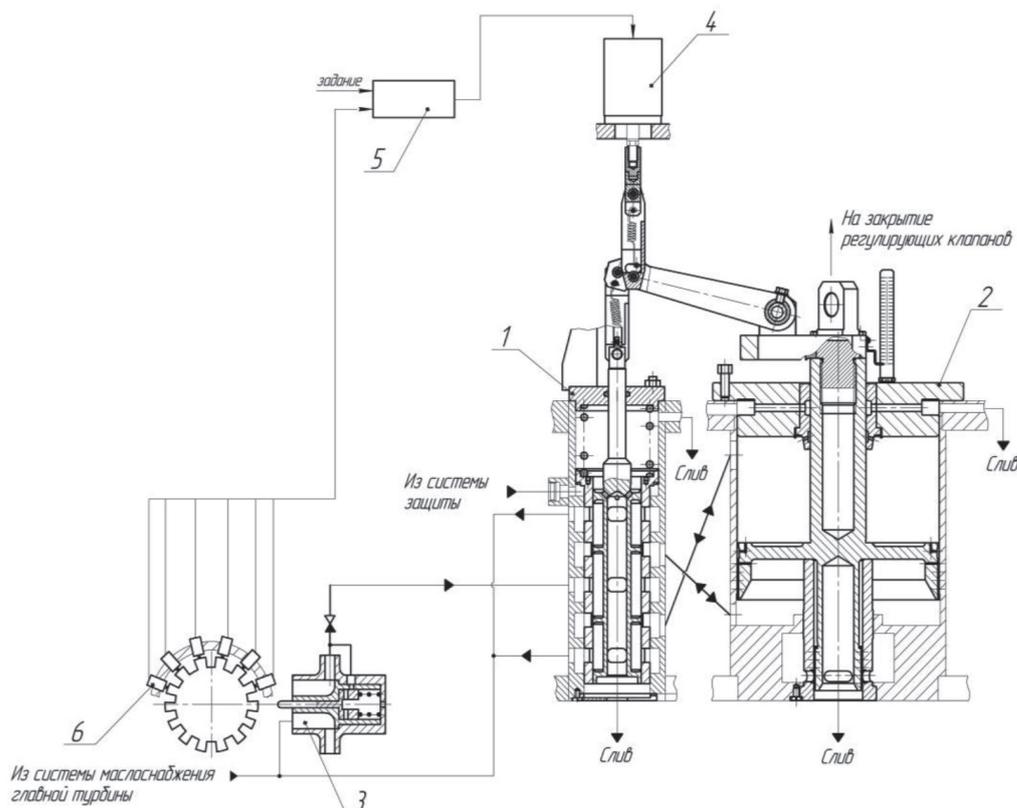


Рис. 1. Принципиальная схема системы регулирования с ЭУЧ ЭГСАР для турбины типа К-17 со следующими условными обозначениями: 1 – отсечной золотник; 2 – сервомотор; 3 – насос-регулятор; 4 – электромеханический преобразователь; 5 – электронное управляющее устройство; 6 – датчик частоты вращения

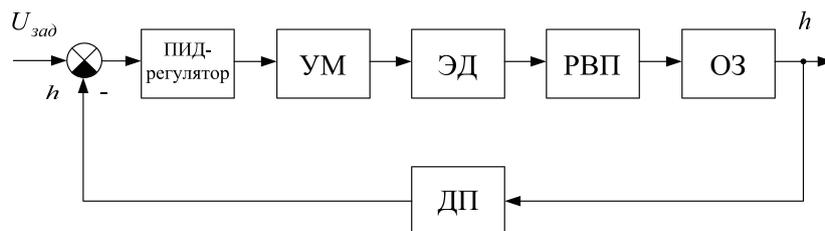


Рис. 2. Функциональная схема блока регулирования с ЭМП и ОЗ, со следующими условными обозначениями: УМ – усилитель мощности; ЭД – электродвигатель; РВП – ролик-винтовая передача; ОЗ – отсечной золотник; ДП – датчик положения

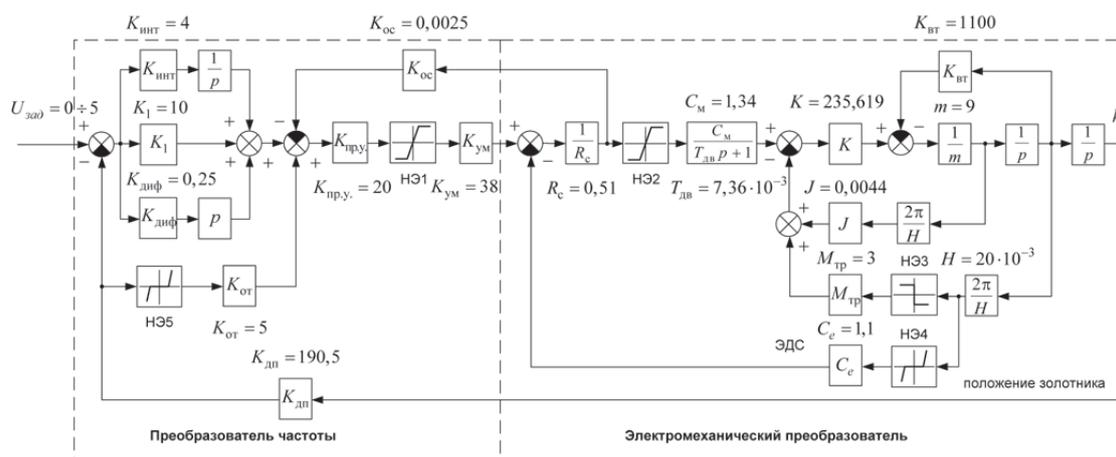


Рис. 3. Структурная схема модели ЭМП с ОЗ (подробности приведены в [12])

## Материалы и методы исследования

Гидромеханическая исполнительная часть, традиционная для КТЗ, состоит из силовой части – блока регулирования (гидропривод управления положением регулирующего паровпускного клапана турбины) и механической части – парораспределения турбины [7]. В блоке регулирования скомпонованы отсечной золотник (ОЗ) 1 и сервомотор (СМ) 2 – классический следящий гидропривод с перекрёстными обратными связями и управлением СМ по отклонению от нейтрального положения ОЗ [3]. В блоке регулирования масло высокого давления подается от насоса-регулятора 3 на рабочих режимах и от пускового масляного электронасоса в режимах пуска и останова. Давление масла в линии нагнетания насоса-регулятора при номинальной частоте вращения ротора турбины составляет не более 1 МПа.

Теоретические исследования и опыт эксплуатации турбин с системами регулирования типа ЭГСАР (рис. 1) показывают, что для обеспечения требований к качеству процессов регулирования следящий электромеханический привод (ЭМП) отсечного золотника

должен обеспечивать высокую скорость перемещения отсечного золотника (до 0,25 м/сек). Ошибка достижения заданного положения отсечного золотника не должна превышать его зоны нечувствительности по гидравлике, обусловленной конструкцией подвижной пары вида «золотник – втулка» (от нескольких сотых до десятых долей мм). Перемещение отсечного золотника с помощью ЭМП должно при этом иметь характер, близкий к монотонному (относительное перерегулирование более 30% нежелательно с точки зрения потери устойчивости контура регулирования).

Функциональная и структурная схемы блока регулирования гидромеханической части на основе такого ЭМП, полученные на первоначальных этапах исследования [11, 12], показаны на рис. 2 и 3 соответственно.

В рамках исследования динамики данного контура регулирования модель была упрощена и исследована на устойчивость в области выбранных варьируемых параметров (настройки регулятора), а также выполнена её отработка и частичная верификация по результатам стендовых испытаний опытного образца ЭМП [10], подтвердившая обоснованность базовых параметров

модели. На последующем этапе был выполнен анализ результатов выполненных работ. Путем подбора оптимальных значений параметров регулятора из определённой ранее области устойчивости были получены переходные процессы по положению ОЗ с параметрами качества (таблица, строки 1–5), удовлетворяющими требованиям ТЗ на систему регулирования в части времени переходного процесса ( $t_{пер}$ ) и относительно перерегулирования ( $\sigma$ ) [11].

Однако данный результат был получен подбором оптимальных параметров настройки в ручном режиме. Следующей задачей, имеющей более практическую направленность, стало определение оптимальных настроек регулятора данной системы автоматическим путём. Известно, что большинство современных зарубежных промышленных регуляторов для систем автоматического регулирования широкого круга задач уже наделены свойством адаптивности – способности самостоятельно изменять свои настройки под действием внешних факторов, воздействующих на систему, в том числе способных изменять свойства объекта регулирования.

#### *Автоматизированная настройка ПИД-регулятора*

Существует множество методов настройки ПИД-регуляторов, в том числе и для сложных, существенно нелинейных объектов управления, таких как турбина со своей системой регулирования скорости вращения. Как правило, при этом стараются придерживаться следующих общих закономерностей:

- увеличение пропорционального коэффициента усиления увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;
- при уменьшении интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

Один из способов автоматической настройки параметров ПИД-регулятора, удобный для анализа, реализован в программном обеспечении среды Simulink пакета программ Matlab [13, 14]. Для этого используется встроенный регулятор из библиотеки PID Controller, а также блок Signal Constraint. Их использование применительно к разработанной модели (рис. 3) позволяет добиться получения переходного процесса, близкого к оптимальному, при этом параметры настройки регулятора рассчитываются автоматически методом Монте-Карло. При этом решается так называемая

задача сглаживания, для которой критерий оптимизации имеет вид

$$J = \int_0^{\infty} \left\{ q_0 [x_{уст} - x(t)]^2 + q_1 [x'_{уст} - x']^2 \right\} dt, \quad (1)$$

где  $x$  и  $x'$  – значения выходного сигнала и его производной в установившемся режиме (после завершения переходного процесса),  $q_0$  и  $q_1$  – весовые коэффициенты, которые должны удовлетворять условию

$$q_0 + q_1 = 1. \quad (2)$$

На практике вычисления интеграла проводятся на конечном отрезке времени  $[0; T]$ , который выбирается примерно равным  $(2 - 3)T_{пер}$  ( $T_{пер}$  – время переходного процесса), а если оценить ожидаемое  $T_{пер}$  трудно, то  $(5 - 6)T_{i(max)}$ , где  $T_{i(max)}$  – максимальная постоянная времени неизменяемой части системы. Кроме того, вводится нормирующий множитель  $1/T$ , величина  $x_{уст}$  заменяется величиной уровня ступенчатого входного сигнала  $g_0$ , а  $x'_{уст} = 0$ .

Таким образом, реально минимизируется функционал

$$J = (1/T) \int_0^T \left\{ q_0 [g_0 - x(t)]^2 + q_1 [x'(t)]^2 \right\} dt. \quad (3)$$

Выбор значений весовых коэффициентов  $q_0$  и  $q_1$  представляет самостоятельную, трудноразрешимую проблему, поэтому на начальных стадиях проектирования полагают  $q_0 = q_1 = 0,5$ .

Следует отметить, что выбор метода решения может быть изменён программными настройками пакета (доступны также методы Рунге – Кутты, Зиглера – Никольса, Стогестада, Шеделя и др.), в данном случае при выборе руководствовались практическими рекомендациями работы В.А. Жмудь [15].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Переходные процессы по положению выходного штока ЭМП в исследуемом контуре при различных вариантах настройки представлены на рис. 4.

Ниже приведена таблица со значениями коэффициентов настройки регулятора вручную (№ 1–5) и автоматическим методом (№ 6).

Параметры качества переходных процессов ЭМП с ОЗ

№ п/п	$K_{инт}$	$K_1$	$t_{пер}$ , сек	$\sigma$ , %
1	$1,5 \cdot 10^5$	400	0,045	30
2	$4,8 \cdot 10^5$	450	0,06	61
3	$1,23 \cdot 10^6$	1 150	0,05	71
4	$1,05 \cdot 10^6$	1 050	0,05	61
5	$5,05 \cdot 10^6$	3 675	---	---
6	9426	224	0,01	6,25

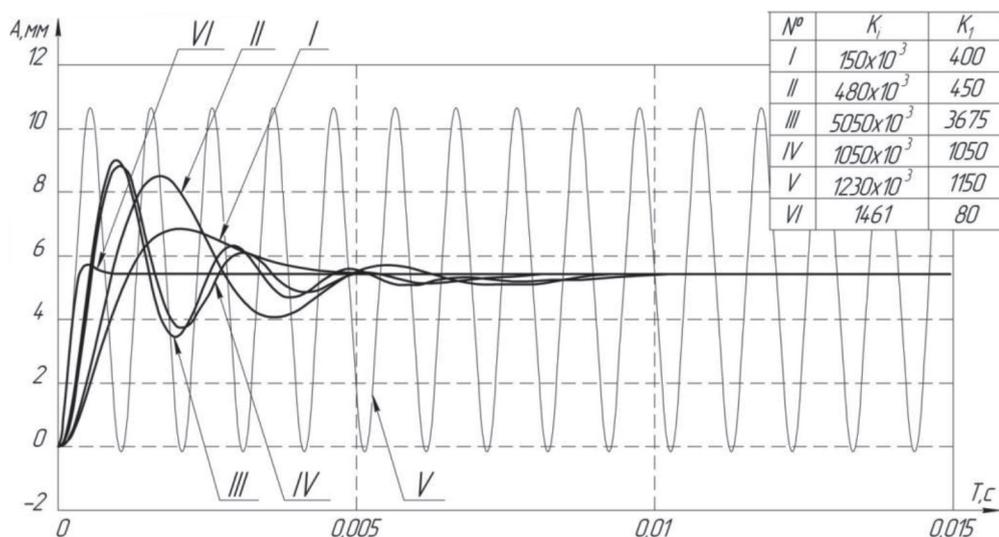


Рис. 4. Сравнительный анализ двух методов настройки регулятора с учетом внесенных изменений

### Выводы

Проанализировав результаты сравнения переходных процессов, можно полагать, что метод автоматизированной настройки, базирующийся на методе Монте-Карло, более удобен и универсален для контуров регулирования данного типа, нежели подбор их параметров вручную.

### Список литературы

- ГОСТ Р 55890-2013. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования. – М.: Стандартинформ, 2014 – 20 с.
- СТО 59012820.27.100.002-2013. Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 18 с.
- Булкин А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: пособие для вузов / А.Е. Булкин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 507 с.
- Шавлович З.А. Совершенствование конструкций и режимов работы гидравлических приводов в системах регулирования гидротурбин: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Санкт-Петербург, 2004. – 22 с.
- Пупков К.А. Методы инженерного синтеза сложных систем управления: аналитический аппарат, алгоритмы приложения в технике. Часть II. Вычислительно-аналитический эксперимент: аппарат матричных операторов и вычислительные технологии / К.А. Пупков, Н.Д. Егупов. – М.: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2012. – 416 с.
- Новосёлов В.Б. Разработка методов исследования и совершенствования электрогидравлической системы регулирования и защиты паровых теплофикационных турбин и их элементов: автореф. дис. ... док. техн. наук. – Екатеринбург, 2014. – 47 с.
- Паровые турбины малой мощности КТЗ / В.И. Кирухин, Н.М. Тараненко, Е.П. Огурцова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
- Кутрубас В.А. Эффективный ПИД-регулятор / В.А. Кутрубас, Е.Е. Сычёв // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2013. – № 5. – С. 60–65.
- Сизов А.Н. Разработка модели высокоточного быстродействующего следящего электромеханического привода / А.Н. Сизов, Ф.Л. Чубаров, И.В. Гусев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19719> (дата обращения: 15.03.2018).
- Чубаров Ф.Л. Отработка модели высокоточного быстродействующего следящего электромеханического привода и её применение к системе регулирования паровой турбины / Ф.Л. Чубаров, А.Н. Сизов, А.И. Быков // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 9–1. – С. 91–95.
- Ильдияров Е.Н. Сизов А.Н. Применение технологии линейных перемещений для регулирования частоты вращения и давления пара блочной паротурбинной установки // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Калуга: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2016. – Т. 2 – С. 150–154.
- Сизов А.Н., Мусатов Е.А., Баглаев П.В. Следящий электромеханический привод отсечного золотника в электрогидравлической системе регулирования частоты вращения паровой турбины // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции. – Калуга: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – Т. 2. – С. 123–130.
- Мироновский Л.А. Введение в Matlab: учебное пособие / Л.А. Мироновский, К.Ю. Петрова. – СПб.: СПбГУАП, 2005. – 119 с.
- Вебинар. Разработка регулятора типа ПИД в MATLAB и Simulink [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matlab.ru/webinars/razrabotka-regulyatorov-PID-v-MATLAB-Simulink> (дата обращения: 20.02.2018).
- Жмудь В.А. О методах расчета ПИД-регуляторов // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – № 2(4). – С. 118–124.

УДК 519.95:657.31:658.8

## МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С ФИКСИРОВАННЫМ РАЗМЕРОМ ЗАКАЗА НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АПТЕЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Истомин А.Л., Бадеников А.В., Истомина А.А.

*ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», Ангарск,  
e-mail: a.l.istomin@mail.ru*

Приведена математическая модель задачи управления запасами с фиксированным размером заказа на примере работы аптечных организаций. Показано, что современные аптеки сталкиваются с проблемами задержки товара, фактический спрос на лекарства часто не совпадает с прогнозируемым, возникает дефицит тех или иных лекарственных препаратов, либо имеет место затоваривание и списание лекарств в связи с истечением срока годности. Очевидно, что для эффективного управления запасами и определения оптимальных стратегий управления запасами необходимо учитывать вероятностную природу спроса на запасы. Показано, что спрос на лекарственные препараты является случайной величиной. Установлено, что спрос на лекарства в аптечных организациях хорошо описывается законом Пуассона. Проведён анализ задачи управления запасами в условиях случайного спроса на лекарственные препараты, показано, что стратегия управления запасами с фиксированным размером заказа может быть описана с помощью теории массового обслуживания. Поставлена и решена задача определения оптимальной стратегии управления запасами с фиксированным размером заказа. Приведён численный пример определения оптимальной стратегии управления запасами лекарственных средств.

**Ключевые слова:** управление запасами, системы массового обслуживания, моделирование систем управления запасами, аптечные организации

## MODEL OF INVENTORY CONTROL WITH A FIXED SIZE OF THE ORDER EXEMPLIFIED BY THE PHARMACIES

Istomin A.L., Badenikov A.V., Istomina A.A.

*Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: a.l.istomin@mail.ru*

The mathematical model of the problem of inventory control with a fixed size of the order of the example of pharmacies. It is shown that modern pharmacies have to face the problems of delay of delivery, the actual demand for drugs often do not coincide with the projected deficit of certain medicines or is overstock and the write-off of drugs in connection with the expiration date. It is obvious that for the efficient management of by passes and determination of optimum stock management strategies must be considered likely not now the nature of the demand for reserves. It is shown that demand for drugs is a random variable. It is established that the demand for drugs in pharmacy institutions is well described by Poisson law. The analysis of the objectives of inventory management under conditions of probabilistic demand for drugs, it is shown that a strategy of stock management fixed order size can be described using queueing theory. Delivered and re-Shen the problem of finding optimal inventory control strategy with a fixed size of the order. Numerical example find the optimal inventory control strategy of the Les-drug means.

**Keywords:** inventory control, queuing system, simulation of inventory systems, pharmacy organizations

Выбор аптечной организации в качестве объекта исследования для формирования системы управления запасами интересен с той точки зрения, что для неё в гораздо большей степени актуальны научные основы эффективного управления запасами. Даже небольшие аптеки с малым торговым залом насчитывают не менее 2–3 тыс. номенклатурных позиций. Поэтому правильное планирование и управление запасами лекарственных средств становится жизненно необходимым для успешного функционирования аптечных организаций [1, 2].

Важнейшим фактором в задаче управления запасами является спрос на запасы. В тех случаях, когда спрос на запасы достоверно известен, применяются детерминированные модели управления запасами. Широкое распространение для определения запасов в условиях детерминированного

спроса на запасы получила формула Уилсона [3–5]. В то же время формула Уилсона пригодна лишь для тех случаев, когда спрос на запасы заранее установлен, объёмы запасов уменьшаются с заданной интенсивностью, как только они достигают нуля, следует заказ новой партии запасов, которая поступает немедленно. Очевидно, что такого в практике аптек не встречается. Аптеки сталкиваются с проблемами задержки товара, фактический спрос на лекарства часто не совпадает с прогнозируемым, к моменту прибытия поставки данные, положенные в основу заказа, оказываются устаревшими, возникает дефицит отдельных лекарственных препаратов, зачастую имеет место затоваривание и списание лекарств в связи с истечением срока годности. Перечисленные факторы, действуя порознь или группируясь в различных сочетаниях,

приводят к существенным издержкам аптечных организаций. Поэтому очевидно, что для повышения эффективности управления запасами необходимо применять научные методы управления запасами, учитывать вероятностный характер работы аптек и, в частности, случайную природу спроса на лекарственные средства.

Здесь и далее исследуется задача управления запасами с фиксированным размером заказа, которая означает, что размер поступающих партий запаса постоянен, заказ на поставку партии делается при уменьшении размера запаса до заранее установленного критического уровня, называемого «точкой заказа».

### Цель исследования

Повышение эффективности аптечных организаций за счет совершенствования моделей и методов управления запасами лекарственных средств, которые учитывают вероятностный характер спроса на лекарственные средства.

### Материалы и методы исследования

Стратегия с фиксированным размером заказа показала свою эффективность для ответственных запасов, поскольку предусматривает постоянный контроль за объемом и наличием запасов, что обеспечивает более быструю реакцию на угрозу дефицита запаса. Искомыми переменными при данной стратегии являются «точка заказа» и объем заказываемой партии [3–5].

Исследование задачи управления запасами с позиций системного анализа показало, что стратегию управления запасами с фиксированным размером заказа можно рассматривать как задачу массового обслуживания [6–9]. Известно, что теория массового обслуживания, которую ещё называют теорией очередей, изучает структу-

ру систем массового обслуживания (СМО) на основе исследования потоков заявок или требований, поступающих в систему на обслуживание в случайные моменты времени, а удовлетворение заявок или требований, называемое обслуживанием, осуществляется одним или несколькими обслуживающими устройствами. Если допустить, что требованиями или заявками в исследуемой СМО являются запасённые товары, а устройствами обслуживания – покупатели товаров, то зная интенсивность прибытия покупателей, которая характеризует спрос на товары, можно определить оптимальную интенсивность пополнения запасов товаров. Поэтому в данной работе задачу управления запасами с фиксированным размером заказа в аптечной организации проанализируем с помощью теории массового обслуживания.

Для установления закона распределения вероятностей спроса на лекарственные препараты была проведена статистическая обработка выборки данных на примере сбыта ряда лекарственных средств в МУП Ангарского городского округа «Аптека № 28».

На рис. 1 показаны временные ряды сбыта отдельных лекарственных средств за 2014–2015 гг.

На рис. 1 видно, что временные ряды содержат тренды, сезонную составляющую и случайные факторы, и показывают, что спрос на лекарственные средства в целом существенно нестационарен.

Исследование показало, что описать точно спрос на лекарства определённым законом распределения вероятностей для всей совокупности данных не представляется возможным. Однако, если разбить всю выборку данных на поддиапазоны, равные, например, горизонту управления запасами, можно достаточно точно аппроксимировать данные сбыта лекарственных средств на горизонте управления законом Пуассона [10].

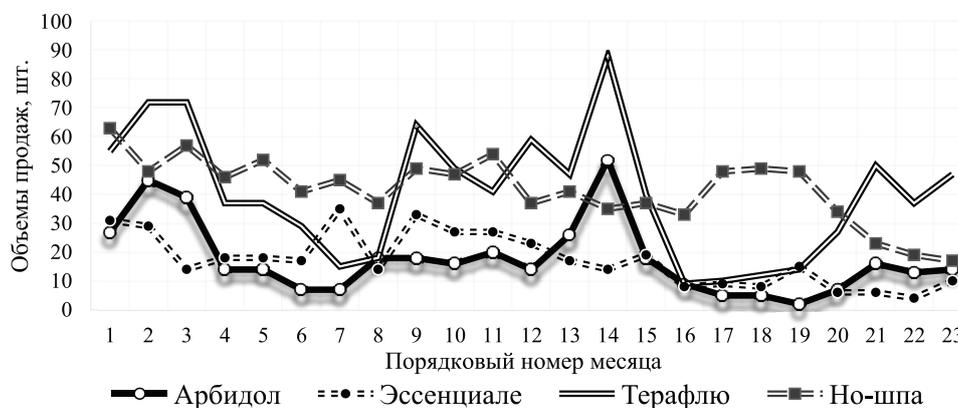


Рис. 1. Временные ряды сбыта отдельных лекарственных средств

*Модель стратегии управления запасами с фиксированным размером заказа*

Пусть прибытие покупателей в аптеку происходит с интенсивностью  $\mu$  и имеет пуассоновское распределение. Это означает, что покупатели прибывают в аптеку в случайные моменты времени, причём вероятность прибытия одного покупателя в интервале времени от  $t$  до  $t + \Delta t$  равна  $\mu \Delta t$  и не зависит от  $t$ , а вероятность появления в этом интервале двух и более покупателей пренебрежимо мала. Такое допущение является достаточно обоснованным, если принять сколь угодно малым  $\Delta t$ .

Прибытие партии лекарственного средства (ЛС) в аптеку происходит с интенсивностью  $\lambda$  и также имеет пуассоновское распределение. Продолжительность времени с момента подачи заявки на пополнение запасов до момента прибытия запасов ЛС в аптеку имеет показательное распределение. В случае показательного закона в пуассоновском потоке событий время прибытия заказа составляет  $T = 1/\lambda$ .

Будем считать, что  $\lambda$  и  $\mu$  определены и не зависят от времени на горизонте управления.

Пусть всегда, когда объем запасов ЛС в аптеке падает до критического уровня  $P$ , который будем называть «точкой заказа», заказывается  $Q$  единиц лекарственных средств, таким образом, что

$$P + Q = M, \quad (1)$$

где  $M$  – максимальный объем лекарственного средства, который может принять аптека. Будем считать величину  $M$  заданной. Тогда определению подлежит либо точка заказа  $P$ , либо объем заказа партии  $Q$  для каждого лекарственного средства. Видно, что, определив одно из этих значений, второе находим из уравнения (1).

Обозначим как  $S_n$  состояние системы массового обслуживания (СМО), полагая, что СМО находится в состоянии  $S_n$ , когда в аптеке присутствует  $n$  единиц ЛС. Система покидает состояние  $S_n$  и переходит в состояние  $S_{n+1}$ , когда поступает дополнительная единица лекарственного средства, или в состояние  $S_{n-1}$ ,

когда единица ЛС продана покупателю. Применение стратегии «заказывать  $Q$  единиц ЛС, когда уровень запасов уменьшится до  $P$ , и заказывать  $M$  единиц ЛС, когда уровень запасов уменьшается до нуля», будет означать, что:

1) система массового обслуживания переходит из состояния  $S_n$  в состояние  $S_{n-1}$  при продаже одной единицы лекарственного средства с интенсивностью  $\mu$ ;

2) система переходит из состояния  $S_n$  ( $n \neq 0$ ) в состояние  $S_{n+Q}$ , а из состояния  $S_0$  в состояние  $S_M$ , при восполнении запаса с интенсивностью  $\lambda$ .

Схема случайного процесса, например, для системы  $S$  с шестью состояниями ( $M$  равно пяти, а  $P$  двум единицам лекарственных средств) показана на рис. 2.

На рис. 2 видно, что при отсутствии запасов ЛС формируется заказ на пополнение запаса до величины  $M$ , т.е. пяти единиц. Как только запас ЛС сокращается до двух единиц, следует заказ ЛС в количестве трёх единиц. Момент поступления заказанной партии ЛС может наступить: до прибытия очередного клиента, и тогда система перейдет из состояния  $S_2$  в состояние  $S_5$ ; либо после прибытия очередного клиента и продажи ему единицы ЛС, и тогда система перейдет из состояния  $S_1$  в состояние  $S_4$  и т.д.

Обозначим через  $P_n$  вероятность того, что в наличии имеются  $n$  единиц ЛС, а через  $dP_n / dt$  – скорость изменения состояния  $S_n$ . Тогда скорость изменения размеров запаса товара можно определить с помощью уравнений Колмогорова [11].

Так, для системы на рис. 2 уравнения для вероятностей состояний примут вид

$$dP_0 / dt = -\lambda P_0 + \mu P_1, \quad (2)$$

$$dP_1 / dt = -\lambda P_1 - \mu P_1 + \mu P_2, \quad (3)$$

$$dP_2 / dt = -\lambda P_2 - \mu P_2 + \mu P_3, \quad (4)$$

$$dP_3 / dt = -\mu P_3 + \mu P_4, \quad (5)$$

$$dP_4 / dt = \lambda P_1 - \mu P_4 + \mu P_5, \quad (6)$$

$$dP_5 / dt = \lambda P_0 + \lambda P_2 - \mu P_5. \quad (7)$$

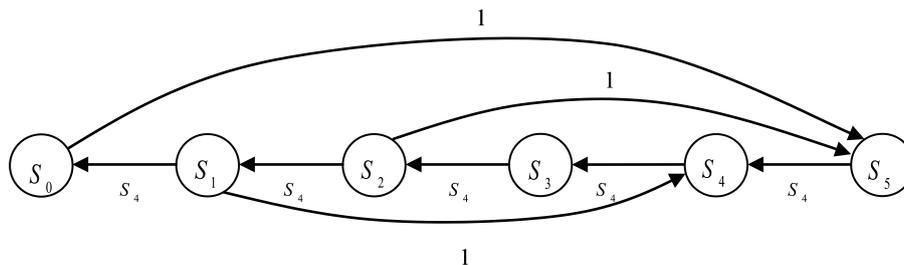


Рис. 2. Схема случайного процесса движения запасов

При постоянных интенсивностях  $\lambda$  и  $\mu$  существует установившийся режим. В установившемся режиме система будет менять свои состояния, переходя из одного в другое, но вероятности этих состояний уже не будут зависеть от времени. Значения вероятностей для системы, находящейся в установившемся режиме, могут быть получены из системы (2)–(7), в которой  $dP_n / dt = 0$  для всех  $n$ .

Решения системы уравнений (2)–(7) для установившегося режима принимают вид

$$P_1 = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right), \quad (8)$$

$$P_2 = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right), \quad (9)$$

$$P_3 = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^2, \quad (10)$$

$$P_4 = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^3, \quad (11)$$

$$P_5 = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2}{\mu^2} \right), \quad (12)$$

$$P_0 = \frac{\mu^3}{\mu^3 + 5\mu^2\lambda + 6\mu\lambda^2 + 3\lambda^3}. \quad (13)$$

В общем виде уравнения для вероятностей состояний системы примут вид

$$dP_0 / dt = -\lambda P_0 + \mu P_1, \quad (14)$$

$$dP_n / dt = -\lambda P_n - \mu P_n + \mu P_{n+1}, \text{ для } n \leq P, \quad (15)$$

$$dP_n / dt = -\mu P_n + \mu P_{n+1}, \text{ для } P < n \leq R, \quad (16)$$

$$dP_n / dt = \lambda P_{n-R} - \mu P_n + \mu P_{n+1}, \text{ для } R < n < M, \quad (17)$$

$$dP_M / dt = \lambda P_0 + \lambda P_{M-R} - \mu P_M. \quad (18)$$

Решения системы уравнений (14)–(18) для установившегося режима:

$$P_n = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^{n-1}, \text{ для } 0 < n \leq P, \quad (19)$$

$$P_n = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P, \text{ для } P < n \leq M - P + 1, \quad (20)$$

$$P_n = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left[ 1 + \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P - \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^{n-Q-1} \right], \text{ для } M - P + 1 < n \leq M, \quad (21)$$

$$P_0 \approx \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)}. \quad (22)$$

Среднее количество запасённых товаров в установившемся режиме определяется по формуле

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^M iP_i = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 + \dots + M \cdot P_M \quad (23)$$

или

$$\bar{n} = P_0 \frac{\lambda}{\mu} \left[ \sum_{i=1}^{P+1} i \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^{i-1} + \sum_{i=P+2}^{M-P+1} i \cdot \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P + \sum_{i=M-P+2}^M i \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P - \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^{i-Q-1} \right] \right]. \quad (24)$$

Выражение в скобках (24) представляет сумму из трёх рядов. Не приводя все математические выкладки, запишем окончательное выражение для определения среднего количества запасённых товаров, которое принимает вид

$$\bar{n} \approx \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[ \frac{1 - \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \left( P + 1 - P \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)}{\left[ 1 - \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right) \right]^2} + \left( \frac{M(M+1) - P(P+1)}{2} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \right]. \quad (25)$$

Формулы (22) и (25) являются приближёнными (аналитические выражения слишком громоздки). Однако отклонения результатов расчётов вероятности  $P_0$  и  $\bar{n}$  по точным и приближённым выражениям не отличались более чем на 11% для различных  $M, P$  и  $Q$ .

Пусть  $\vartheta$  – розничная цена ЛС,  $v$  – закупочная цена ЛС,  $C_1$  – затраты на оформление и выполнение заказа (не зависят от размера партии),  $C_2$  – затраты на хранение единицы ЛС. Если спрос на ЛС на горизонте управления равен  $\mu$ , то количество заказов на горизонте управления будет равно  $\mu/Q$ .

Тогда прибыль аптеки на горизонте управления

$$F = (\vartheta - v)\mu(1 - P_0) - C_1 \frac{\mu}{Q} - C_2 \bar{n}$$

или с учётом выражений (22) и (25)

$$F = (\vartheta - v)\mu \left( 1 - \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \right) - C_1 \frac{\mu}{Q} - C_2 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[ \frac{1 - \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \left( P + 1 - P \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)}{\left[ 1 - \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right]^2} + \left( \frac{M(M+1) - P(P+1)}{2} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \right]. \quad (26)$$

Искомые переменными являются критический уровень запаса  $P$  и объём партии  $Q$ , максимизирующие  $F$ . Но поскольку  $P$  и  $Q$  связаны выражением (1), подставим в (26)  $M - P$  вместо  $Q$ . В результате получим

$$F = (\vartheta - v)\mu \left( 1 - \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P [\mu + (M - P)\lambda]} \right) - C_1 \frac{\mu}{M - P} - C_2 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P [\mu + (M - P)\lambda]} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[ \frac{1 - \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \left( P + 1 - P \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)}{\left[ 1 - \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right]^2} + \left( \frac{M(M+1) - P(P-1)}{2} \right) \left( \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \right]. \quad (27)$$

Взяв производную от  $F$  по  $P$  и приравняв результат к нулю, получим уравнение, решая которое можно найти оптимальное значение критического уровня запаса  $P$ , а по уравнению (1) – оптимальный размер заказа  $Q$ . Производную от  $F$  по  $P$  легко вычислить, например, с помощью символьного процессора пакета Mathcad (не приводится в данной работе ввиду громоздкости).

**Пример.** Известно, что математическое ожидание спроса на лекарственное средство составляет 200 единиц в день, а максимальный ежедневный объём запаса ЛС в аптеке не должен превышать 400 единиц. Среднее время доставки заказа составляет 6 часов или 0,5 рабочих дней. Аптека закупает лекарственное средство по цене 400 рублей за единицу, а продавать намерена за 500 рублей за единицу. Оформление одного заказа обходится аптеке в 2000 рублей, независимо от размера партии, а стоимость хранения единицы ЛС с учётом всех накладных и прочих расходов – 10 рублей в день.

Требуется определить оптимальную стратегию пополнения запасов ЛС, при которой прибыль аптеки от реализации лекарственного средства будет максимальной.

Из уравнения  $T = 1/\lambda$  найдём интенсивность пополнения запаса  $\lambda$ :

$$\lambda = 1/0,5 = 2.$$

Затем, для найденного  $\lambda = 2$  и заданных  $\mu = 200$ ,  $M = 400$ ,  $\vartheta = 500$ ,  $\nu = 400$ ,  $C_1 = 2000$  и  $C_2 = 10$  из уравнения производной (27) по  $P$  находим оптимальное значение  $P^* = 134,66$ . Округляя значение до ближайшего целого, получаем решение задачи – 135. Таким образом, критический уровень запаса составляет 135 единиц лекарственных средств, а стратегия управления запасами будет заключаться в следующем: каждый раз, когда уровень запаса уменьшается до 135 единиц, следует заказывать 265 единиц ЛС. В этом случае вероятность  $P_0$  отсутствия ЛС в течение дня будет равна 0,056, средний ежедневный уровень запаса  $n = 211$  единицам,

а ежедневная прибыль аптеки от реализации ЛС – 17577 рублям.

### Заключение

Модель управления запасами с фиксированным размером заказа может быть использована для управления запасами в аптечных организациях. Важнейшей особенностью приведённой модели является возможность получения оптимальных параметров стратегии управления запасами при известном математическом ожидании спроса на лекарственные средства.

### Список литературы

1. Степанов А.С. Оптимизация товарных запасов аптечных организаций / А.С. Степанов // Дальневосточный медицинский журнал. – Хабаровск, 2013. – С. 76–78.
2. Раздорская И.М. Методические подходы к управлению товарными запасами парафармацевтической продукции / И.М. Раздорская, И.В. Плохих // Курский научно-практический вестник Человек и его здоровье. – 2014. – № 4. – С. 85–90.
3. Букан Д. Научное управление запасами / Д. Букан, Э. Кенигберг. – М.: Наука, 1967. – 423 с.
4. Хедли Дж. Анализ систем управления запасами / Дж. Хедли, Т. Уайтин. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
5. Мандель А.С. Управление многономенклатурными запасами в условиях неопределённости и нестационарности. Ч. 1. Нормативная модель / А.С. Мандель // Проблемы управления. – 2011. – С. 47–51.
6. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и распределение Парето / Ю.И. Рыжиков // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2015. – № 648. – С. 28–43.
7. Рыжиков Ю.И. Алгоритмический подход к задачам массового обслуживания / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 496 с.
8. Истомина А.А. Управление товарными запасами на основе теории массового обслуживания / А.А. Истомина, В.Я. Бадеников, А.Л. Истомин // Вестник Сиб. гос. ун-та телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск, 2017. – № 3. – С. 94–103.
9. Истомина А.А. Задача формирования оптимального ассортимента и товарных запасов в розничной торговле в условиях неопределённости / А.А. Истомина, В.Я. Бадеников, А.Л. Истомин // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычисл. техн., информ. – 2017. – № 2. – С. 105–116.
10. Истомина А.А. Оценка спроса на лекарственные средства в задаче управления товарными запасами / А.А. Истомина, В.Я. Бадеников, А.Л. Истомин // Вестник Ангарского гос. техн. ун-та. – 2016. – № 10. – С.153–158.
11. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. – М.: Ленанд, 2015. – 448 с.

УДК 004:003.26

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМУ АНАЛИЗУ УПРОЩЕННОГО ШИФРА MISTY1

Ищукова Е.А., Куликов А.В.

*Южный федеральный университет, Таганрог, e-mail: uaishukova@sfnedu.ru*

В статье рассмотрены подходы к построению разностных характеристик для оценки надежности шифра MISTY1 с использованием дифференциального метода криптоанализа. Шифр MISTY1 был разработан в 1995 г. и представлен проектом NESSIE в качестве рекомендованного криптографического примитива в 2003 г. Данный алгоритм шифрования основан на вложенных схемах Фейстеля. В результате работы были проанализированы таблицы замены, а также три уровня вложенности функций шифра MISTY1 (FO, FI и основная функция). Для уменьшенного до четырех раундов шифра, без FL функций были составлены разности, с помощью которых возможно получить правильные пары текстов и с помощью формул получить все подключи. В то время как перебор грубой силой будет выполнять  $2^{128}$  вариантов ключа, с помощью дифференциального анализа достаточно перебора не более  $2^{44}$ . В результате работы были проанализированы основные элементы шифра MISTY1. Предложена схема построения разностных характеристик для четырехраундового упрощенного шифра MYST11. Разработаны алгоритмы и реализованы программы по поиску правильных пар текстов и вычисления битов секретного ключа на основе использования разработанных схем.

**Ключевые слова:** криптография, блочный шифр, MISTY1, дифференциальный анализ, разность текстов

## SOME APPROACHES TO THE DIFFERENTIAL ANALYSIS OF THE SIMPLIFIED VERSION OF MISTY1 CIPHER

Ishchukova E.A., Kulikov A.V.

*Southern Federal University, Taganrog, e-mail: uaishukova@sfnedu.ru*

The article discusses approaches to constructing difference characteristics for estimating the reliability of the MISTY1 cipher using the differential cryptanalysis method. The MISTY1 cipher was developed in 1995 and is presented by the NESSIE project as the recommended cryptographic primitive in 2003. This encryption algorithm is based on Feistel schemes. As a result of the work, the replacement tables were analyzed, as well as three levels of nesting of the MISTY1 cipher functions (FO, FI and the main function). For a reduced to four rounds of cipher, without FL functions, differences were compiled, with which it is possible to get the correct pairs of texts and using formulas to get all the subkeys. While the brute-force search will perform  $2^{128}$  variants of the key, with the help of differential analysis, it is enough to search no more than  $2^{44}$ . As a result of the work, the main elements of MISTY1 cipher were analyzed. A scheme for constructing the difference characteristics for the four-round simplified cipher MYST11 is proposed. Programs have been developed and implemented to find the correct pairs of texts and calculate the bits of the secret key based on the use of the developed schemes.

**Keywords:** cryptography, block cipher, MISTY1, differential analysis, text difference

Шифр MISTY1 был представлен на конкурс проектов NESSIE и стал одним из трех победителей в категории симметричных блочных шифров [1]. Подробное описание шифра можно найти в обзоре С. Панасенко [2]. Шифр MISTY1 интересен еще и тем, что позже он был представлен на конкурсе CRYPTREC по выбору криптостандарта Японии и вошел в состав шифров-победителей [3]. В настоящей работе рассматривается возможность применения метода дифференциального анализа к упрощенной версии шифра MISTY1. При проведении исследований стойкости современных шифров часто применяется практика рассмотрения упрощенных версий шифров. Это делается для детального и более подробного изучения отдельных компонентов шифра с тем, чтобы в дальнейшем иметь возможность перейти к рассмотрению полной версии шифра.

Алгоритм MISTY1 основан на «вложенных» сетях Фейстеля. Сначала 64-битный

шифруемый блок данных разбивается на два 32-битных подблока, после чего выполняется  $r$  раундов следующих преобразований (рис. 1). В нечетных раундах каждый подблок обрабатывается функцией FO. Правый подблок складывается по модулю два с левым подблоком, прошедшим через функцию FO. Подблоки меняются местами. После заключительного раунда оба подблока обрабатываются операцией FL.

Операция FL работает следующим образом (рис. 1). Обрабатываемый 32-битный блок разбивается на два 16-битных подблока. Сначала правая часть блока складывается по модулю два с результатом операции «логическое И» для левой части блока и одним из подключей. После этого левая часть исходного блока складывается по модулю два с результатом операции «Логическое ИЛИ» для преобразованной правой части и второго подключя.

Операция FO представляет собой функцию вложения второго уровня (рис. 1). Здесь

выполняется разбиение входного блока на два равных фрагмента по 16 бит, которые проходят 3 раунда следующих преобразований. Левая половина блока складывается по модулю два (операцией XOR) с раундовым подключом  $KO_{i,k}$ , где  $k$  – номер раунда функции FO. После этого левая часть блока

преобразуется с помощью операции FI. Левая половина блока складывается по модулю два (XOR) с правой половиной блока. После этого левая и правая половины меняются местами. После последнего раунда левая часть блока складывается по модулю два (XOR) с последним подключом  $KO_{i,k}$ .

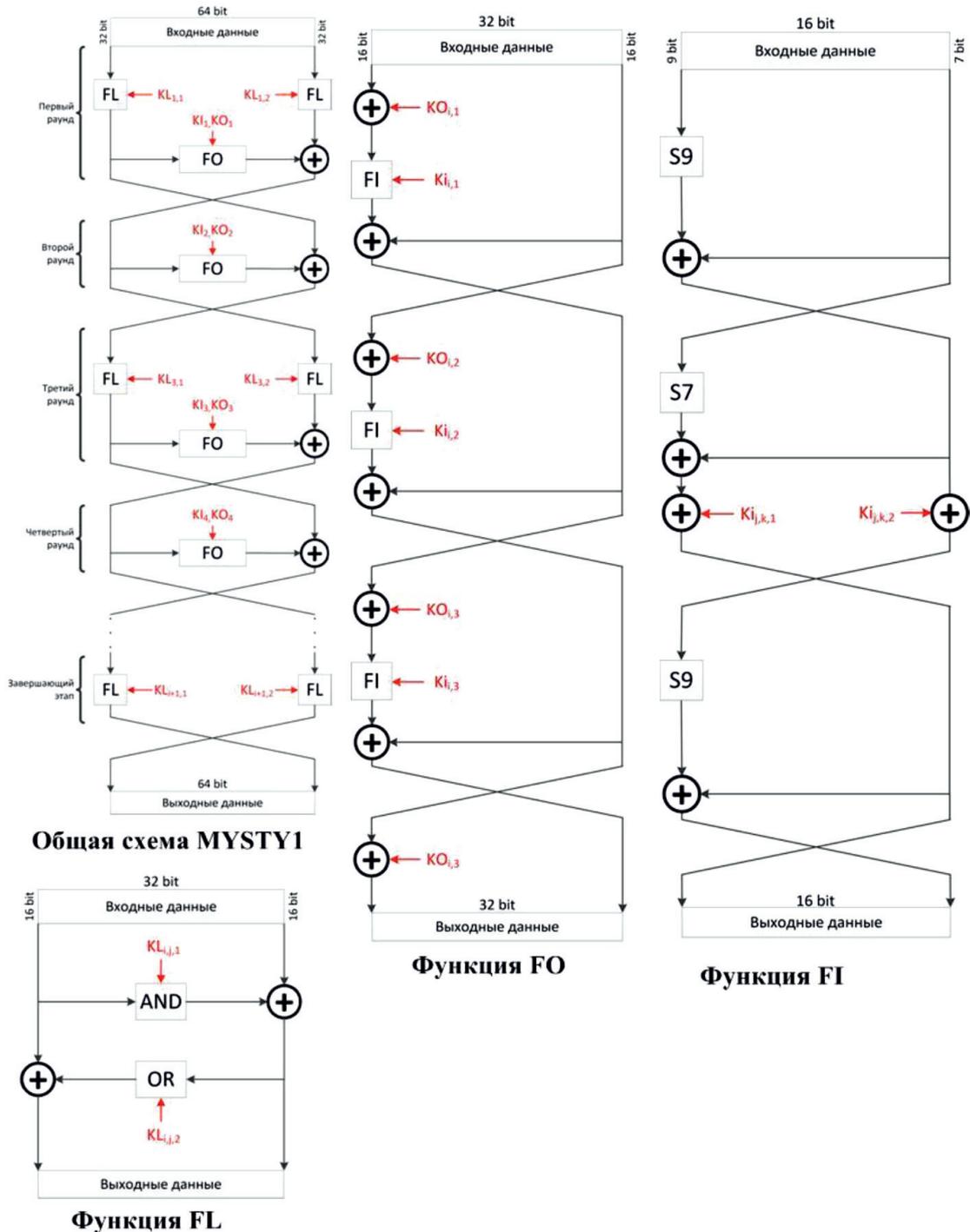


Рис. 1. Структура шифра MYSTY1

Операция FI представляет собой третий уровень вложенности сети Фейстеля (рис. 1). В данном случае сеть Фейстеля является несбалансированной, так как левая и правая части сети имеют разное количество обрабатываемых битов. Обрабатываемый блок делится на два подблока длиной 9 и 7 бит (левая и правая части). Затем выполняются 3 раунда следующих преобразований. Левая часть проходит через S-блок замены. При этом в 1 и 3 раундах левая часть содержит 9 битов и обрабатывается таблицей S9, во втором раунде левая часть содержит 7 битов и обрабатывается таблицей S7. После этого левая часть блока складывается с правой частью по модулю два (операция XOR). При этом, если справа расположена 7-битная часть, то она дополняется нулями слева до 9 бит. Если же справа расположена 9-битная часть, то у нее не учитываются два старших бита (слева). Во втором раунде левая часть блока складывается по модулю два (операция XOR) с раундовым подключом  $K_{i,k,1}$ , а правая часть блока – с подключом  $K_{i,k,2}$ . В остальных раундах эти действия не выполняются. После этого левая и правая части меняются местами.

Расшифрование производится выполнением тех же операций, но со следующими изменениями. Фрагменты расширенного ключа используются в обратной последовательности. Вместо функции FL используется обратная ей функция  $FL^{-1}$ .

Подключи вырабатываются согласно схеме, изображенной на рис. 2. Ключ длиной 128 бит делится на 8 подключей по 16

бит и каждая из них подается на вход блока FI, а в качестве ключа подается следующий подключ. Для последнего подклоча, подаваемого как текст, в качестве ключа подается первый подклоч. Красными линиями обозначена подача ключа в блок FI. Получившиеся подклочы обозначаются штрихом. Необходимые фрагменты расширенного ключа «набираются» согласно таблице и используются во всех функциях шифра MYSTY1 (рис. 1).

Метод дифференциального криптоанализа впервые был предложен в начале 1990-х гг. Э. Бихамом и А. Шамиром для анализа алгоритма шифрования DES. Хотя в книге Б. Шнайера упоминается о том, что разработчики алгоритма DES знали о возможности такого анализа еще во время разработки алгоритма в 1970-х гг., широкая общественность узнала о дифференциальном криптоанализе именно из работ [4, 5]. С помощью метода дифференциального криптоанализа сложность анализа алгоритма DES сократилась до  $2^{37}$ . Дальнейшее развитие этого метода показало возможность его применения к целому классу различных видов шифров, позволило выявить слабые места многих используемых и разрабатываемых алгоритмов шифрования. Сегодня этот метод, а также некоторые его производные, такие как метод линейно-дифференциальный, метод невозможных дифференциалов, метод бумеранга, широко используются для оценки стойкости вновь создаваемых шифров [6].

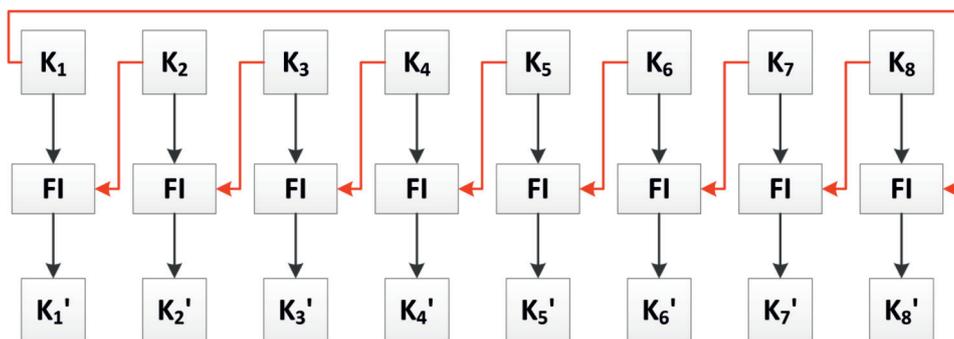


Рис. 2. Схема выработки подключей

#### Выборка подключей

Назначение	$KO_{i,1}$	$KO_{i,2}$	$KO_{i,3}$	$KO_{i,4}$	$KI_{i,1}$	$KI_{i,2}$	$KI_{i,3}$
Фрагмент	$K_i$	$K_{i+2}$	$K_{i+7}$	$K_{i+4}$	$K'_{i+5}$	$K'_{i+1}$	$K'_{i+3}$
Назначение	$KL_{i,1,1}$	$KL_{i,2,1}$	$KL_{i,1,2}$	$KL_{i,2,2}$			
Фрагмент	$K_{(i+1)/2}$	$K'_{(i+1)2+2}$	$K'_{(i+1)2+6}$	$K_{(i+1)2+4}$			

*Анализ S-блоков.* Число раундов MISTY1 должно быть всегда кратным 4, рекомендуемым же является MISTY1 с 8 раундами. В целях наилучшего понимания механизмов шифра и его подверженности дифференциальным атакам на старте были приняты следующие решения. Рассматривать упрощенную модель MISTY1. Для этого убрать из алгоритма шифра все FL-функции. Сократить рекомендуемые 8 раундов до четырех (тем самым мы не будем нарушать целостности шифра, которая также обеспечивается кратностью, но проанализируем более короткую версию шифра).

Начальными элементами, от которых следует отталкиваться при дифференциальном анализе, являются нелинейные блоки. В шифре MISTY1 есть два блока замены: S7 и S9. Первый этап дифференциального анализа заключался в построении таблиц вероятностей для этих блоков замен. Таблица вероятностей представляет собой по горизонтали входящую разность текстов, по вертикали – выходящую разность текстов, а на пересечении вероятность соответствия выходной разности заданной входной разности. Алгоритм анализа дифференциальных свойств нелинейных блоков приведен в работе [7]. В результате анализа было показано, что любая входная разность текстов приводит к любой выходной

разности либо с вероятностью 0, либо с вероятностью 2 к 128 или 512 соответственно для блоков S7 и S9. Также важно отметить, что входная разность, равная нулю, с вероятностью 100% даст на выходе S-блока также нулевую разность.

*Анализ функции FI.* При анализе функции FI было сделано предположение, что есть такая разность  $\Delta A$ , которая может отразиться сама в себя. То есть  $S9(\Delta A) = S7(\Delta A) = \Delta A$ . Для подтверждения этого факта был разработан алгоритм и проанализированы таблицы с вероятностями для входных-выходных разностей блоков S7 и S9. После анализа S-блоков было обнаружено 33 варианта  $\Delta A$ , которая отражалась бы сама в себя. На рис. 3 показаны три варианта прохождения входной разности через функцию FI, в случае, когда значение разности после S-преобразования остается неизменным. В первом варианте (рис. 3, а) левая половина разности равна значению  $\Delta A_1$ , правая часть разности равна нулю ( $\Delta 0$ ). Во втором варианте (рис. 3, б) левая половина разности равна нулю ( $\Delta 0$ ), а правая часть разности равна значению  $\Delta A_1$ . В третьем варианте (рис. 3, в) обе части разности равны значению  $\Delta A_1$ . Для дальнейшего анализа мы будем использовать второй вариант схемы, приведенный на рис. 3, б.

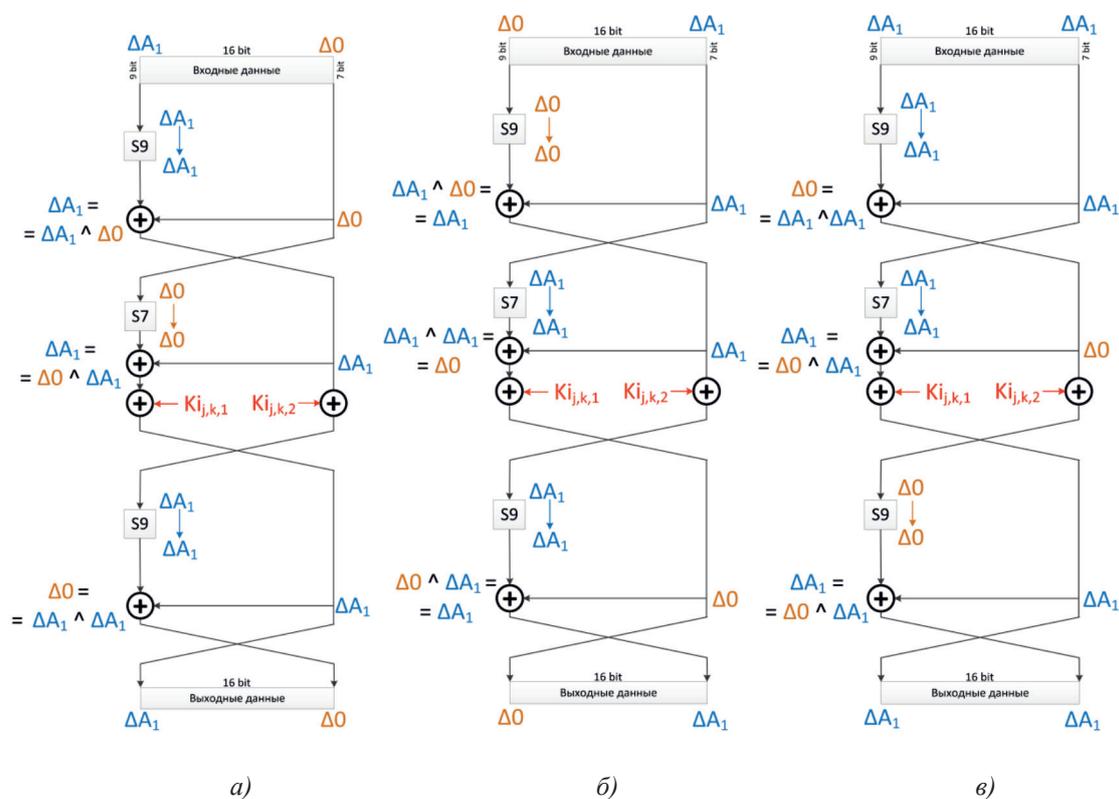


Рис. 3. Различные схемы преобразования разностей с помощью функции FI

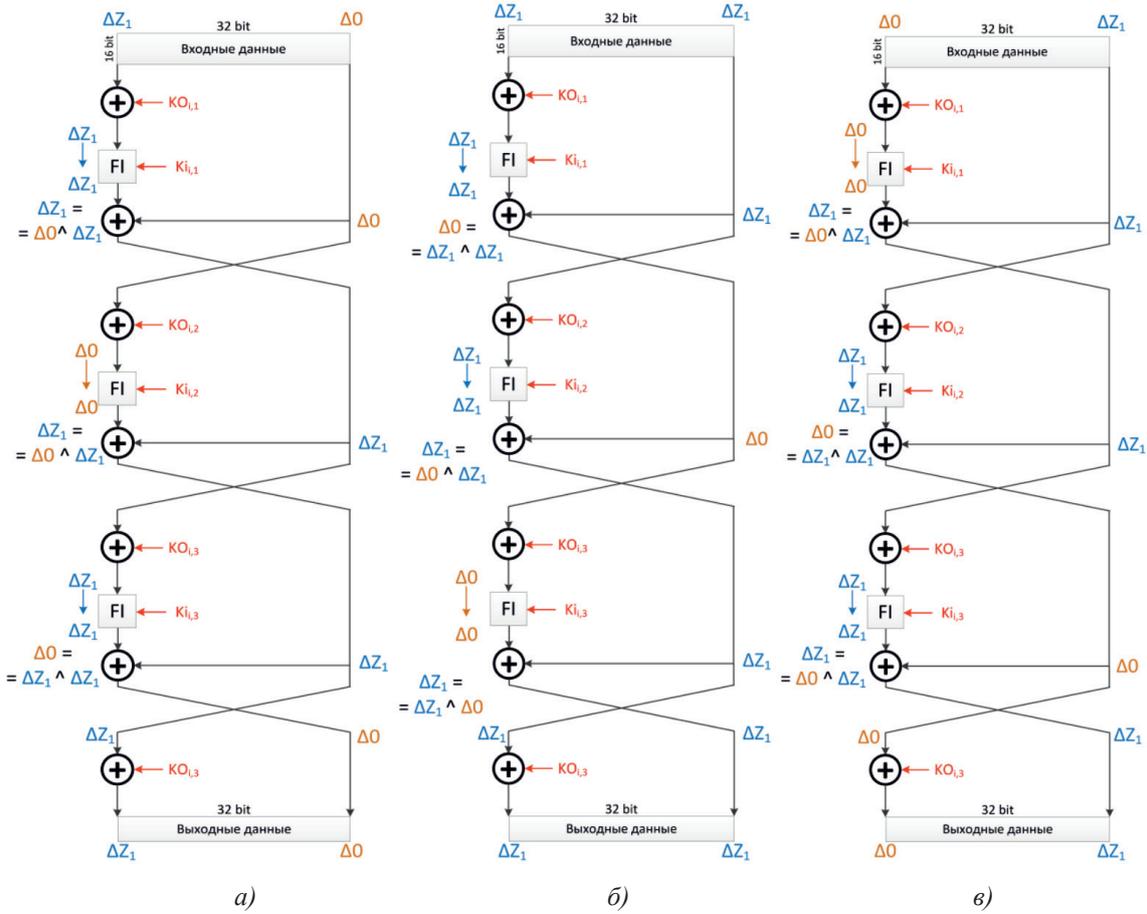


Рис. 4. Различные схемы преобразования разностей с помощью функции FO

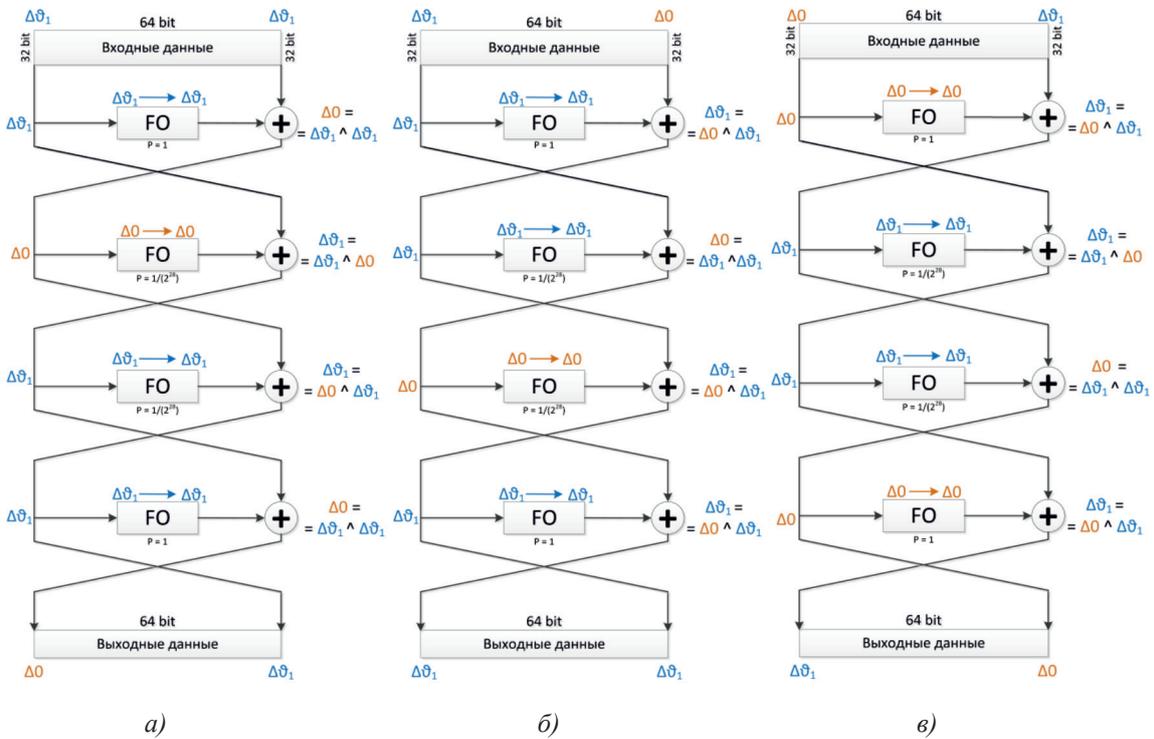


Рис. 5. Различные схемы преобразования разностей для 4 раундов шифра MISTY1

*Анализ функции FO.* Для построения разностных схем функции FO можно использовать тот же принцип, что и для функции FI. Будем рассматривать случаи, когда преобразование FI оставляет входную разность неизменной. Нами было рассмотрено несколько вариантов построения подобных схем, три из которых представлены на рис. 4. При выборе схемы для дальнейшего анализа мы руководствовались тем, какую ключевую информацию нам позволит извлечь рассматриваемая схема. Так, схема, приведенная на рис. 4, в, позволит нам определить только ключ  $KO_{i,2}$ . Вариант, представленный на рис. 4, а, даст нам возможность найти ключи  $KO_{i,1}$  и  $KO_{i,3}$ , но строго последовательно, т.е. мы сможем найти  $KO_{i,3}$  и  $KI_{i,3}$  только после того, как найдем  $KO_{i,1}$  и  $KI_{i,1}$ . Вариант, представленный на рис. 4, б, позволяет найти ключи  $KI_{i,2}$ ,  $KO_{i,2}$  и  $KI_{i,1}$ ,  $KO_{i,1}$  независимо друг от друга. Поэтому дальнейший анализ основывается на схеме, представленной, на рис. 4, а.

*Анализ основной функции MISTY1.* Для построения схем отображения разностей при выполнении основного преобразования шифра MISTY1, был использован эффект отражения разности в самой себя. При построении разностей учитывались те варианты, которые позволяют получить максимальную вероятность дифференциала (то есть определение выходной разности, вероятность получения которой является максимально возможной). Наиболее подходящие схемы из всех рассмотренных схем при выполнении анализа представлены на рис. 5.

Исходя из вариантов, представленных на рис. 5, можно определить, какую часть секретного ключа можно будет определить с использованием данных разностных схем. Так, с помощью схемы, представленной на рис. 5, а, можно проанализировать блоки  $FO_1$  и  $FO_4$  параллельно. Блок  $FO_2$  не может быть подвергнут анализу из-за нулевой разности, а блок  $FO_3$  из-за того, что он зависит от блока  $FO_2$ . С помощью схемы, представленной на рис. 4, б, можно независимо проанализировать блоки  $FO_1$ ,  $FO_4$ . После этого можно будет извлечь информацию из блока  $FO_2$ . Блок  $FO_3$  придется пропустить из-за нулевой разности. Схема, представленная на рис. 5, в, является самой малоинформативной, так как имеет в своем составе сразу два блока с нулевой разностью. Выбирая между схемами, представленными на рис. 4, а и б, стоит учесть, что для схемы 4, а, подбор подключей будет проводиться по первому и последнему раунду, а для схемы 4, б, –

по первому и второму (последовательно). При этом вероятность нахождения правильных пар текстов для обеих схем составит  $\frac{1}{2^{28}} * \frac{1}{2^{28}} * \frac{1}{2^{28}} = \frac{1}{2^{84}}$ .

В связи с тем, что для поиска правильных пар текстов, удовлетворяющих заданным вероятностям, необходимо проанализировать большое количество пар текстов, в данном случае целесообразно использовать технологии распределенных многопроцессорных вычислений, такие как MPI и NVIDIA CUDA [8, 9]. Согласно Парадоксу Дней Рождений [10], проанализировав  $2^{42}$  пар текстов, можно найти правильную пару текстов с вероятностью  $p = 0,5$ . Экспериментальные данные при поиске дифференциалов для шифра MISTY1 на основе технологии MPI были получены с использованием семи двухъядерных вычислительных узлов Intel Core i5 – 3320M CPU, 2.60 GHz, 4 Gb RAM. Среднее время обработки  $2^{42}$  пар текстов с использованием 14 процессоров составило в среднем 900 часов (15 дней). При использовании технологии NVIDIA CUDA вычисления производились на ПК Intel i5 2400 NVIDIA GTS 459 8 Gb RAM. Было показано, что при количестве процессоров, равном 1024, среднее время вычислений составляет 640 минут (около 11 часов).

В заключительном этапе анализа был реализован алгоритм поиска битов секретного ключа. Так, для схемы 5, б, был предложен алгоритм, состоящий из трех этапов. На первом этапе, анализируя значения разностей, аналитик может восстановить раундовые подключи  $K_1$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_8$  и  $K'_1$ ,  $K'_4$ ,  $K'_6$ ,  $K'_7$ . На втором этапе, используя уже найденные значения подключей, аналитик может восстановить связанные с ними раундовые подключи:  $K_2$ ,  $K_5$ ,  $K_7$  и  $K'_3$ ,  $K'_8$ . К сожалению, в данном случае нельзя получить информацию о раундовых подключках  $K_6$  и  $K'_2$ ,  $K'_5$  – их можно определить только перебором.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-07-00654-а.*

#### Список литературы

1. Алгоритмы шифрования – участники конкурса NESSIE. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/soft/nessie-part1.shtml> (дата обращения: 01.02.18).
2. Панасенко С. NESSIE – конкурс криптоалгоритмов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.panasenko.ru/Articles/63/63.html> (дата обращения: 01.02.18).
3. Панасенко С. CRYPTREC – проект по выбору криптостандартов Японии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.panasenko.ru/Articles/156/156.html> (дата обращения: 01.02.18).

4. Biham E., Shamir A. Differential Cryptanalysis of the Full 16-round DES. – *Advances in Cryptology. – Crypto'92*, Springer-Verlag, 1998. – P. 487–496.
5. Biham E., Shamir A.: Differential Cryptanalysis of DES-like Cryptosystems, Extended Abstract. – *Crypto'90*. – Springer-Verlag, 1998. – 105 p.
6. Ищукова Е.А. Дифференциальный анализ шифра Кузнечик / Е.А. Ищукова, Л.К. Бабенко, Е.А. Толманенко // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2017. – № 5. – С. 25–37.
7. Ищукова Е.А. Дифференциальные свойства S-блоков замены для алгоритма ГОСТ 28147-89 / Е.А. Ищукова, И.А. Калмыков // *Инженерный вестник Дона*. – 2015. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3284](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3284) (дата обращения: 01.02.18).
8. Бабенко Л.К. Применение параллельных вычислений при решении задач защиты информации / Л.К. Бабенко, Е.А. Ищукова, И.Д. Сидоров // *Программные системы: теория и приложения*. – 2013. – Т. 4, № 3–1 (17). – С. 25–42.
9. Сандерс Дж. Технология Cuda. Введение в программирование графических процессоров / Дж. Сандерс, Э. Кэндрот. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 232 с.
10. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы и исходный код на C / Б. Шнайер. – М.: Изд-во Вильямс, 2017. – 1040 с.

УДК 004.4

**О ПОДХОДАХ К РАЗРАБОТКЕ WEB-СЕРВИСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ИНТЕРФЕЙСА КОНТРОЛЯ ТОРГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ****<sup>1</sup>Кирякова О.В., <sup>1</sup>Лапина Л.А., <sup>2</sup>Горбань А.А., <sup>1</sup>Душевская А.В., <sup>1</sup>Киряков В.С.,  
<sup>1</sup>Ларионова А.А., <sup>2</sup>Фадеев А.Е.**<sup>1</sup>ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: purik28@yandex.ru;<sup>2</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, e-mail: AndreyGor1994@yandex.ru

Наиболее сильным фактором, определяющим условия функционирования того или иного рынка, является степень развития конкуренции и, как следствие, возможность фирмы контролировать цену на производимую продукцию. Абсолютное большинство предприятий малого и среднего бизнеса в России функционирует в условиях рынка монополистической конкуренции. Оперативное получение информации влияет на эффективность торговли. Обсуждаются основные принципиальные положения подхода к разработке web-сервиса в форме Android-модуля сканирования QR-кодов, автоматизирующего работу предприятия общественного питания и обеспечивающего повышение конкурентоспособности малого предприятия в условиях рынка монополистической конкуренции. В основе информационной системы лежит разработанный авторами, web-сервис «Электронная касса», позволяющий автоматизировать процесс торговли, обеспечить функционирование склада и установить контроль всех финансовых потоков на территориально распределенном торговом предприятии. Разработана модель базы данных, включая концептуальное, логическое проектирование и физическую реализацию в СУБД. Обсуждается научно-методическое и программно-алгоритмическое обеспечение данной системы. Представлена структура созданного web-сервиса, включающая описание всех каталогов, список базовых модулей и модулей с основной бизнес-логикой приложения, сформированные руководства пользователя и программиста, в деталях описывающие работу с данным продуктом.

**Ключевые слова:** рынок монополистической конкуренции, web-сервис, Android-модуль, сканер QR-кодов**ABOUT APPROACHES TO WEB-SERVICE DEVELOPMENT FOR CREATING AN UNIFORM TRADE CONTROL INTERFACE FOR AN ENTERPRISE****<sup>1</sup>Kiryakova O.V., <sup>1</sup>Lapina L.A., <sup>2</sup>Gorban A.A., <sup>1</sup>Dushevskaya A.V., <sup>1</sup>Kiryakov V.S.,  
<sup>1</sup>Larionova A.A., <sup>2</sup>Fadeev A.E.**<sup>1</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: purik28@yandex.ru;<sup>2</sup>Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, e-mail: AndreyGor1994@yandex.ru

The strongest factor determining the conditions for the functioning of a particular market is the degree of development of competition, and, as a consequence, the firm's ability to control the price of manufactured products. The vast majority of small and medium-sized enterprises in Russia operate in a market of monopolistic competition. The prompt receipt of information affects the effectiveness of trade. The main principles of the approach to the development of the web-service in the Android-module form for scanning QR-codes, that automates the work of the enterprise and ensures the increase of competitiveness of the small enterprise in the conditions of the market of monopolistic competition, are discussed. The web-service «Electronic cash desk» lies at the heart of the information system. It was developed by the authors and it allows to automate the process of trade, to ensure the functioning of the warehouse and to establish control of all financial flows in the territorially distributed trading enterprise. A database model was developed, including conceptual, logical design and physical implementation in the DBMS. The scientific-methodological and program-algorithmic support of this system is discussed. The structure of the created web-service is presented, including a description of all the directories, a list of basic modules and modules with the main business logic of the application and generated user and programmer's manuals, which describing the work with this product in detail.

**Keywords:** market of monopolistic competition, web-service, Android-module, QR-code scanner

Главное условие овладения рынком – контроль над предложением, а значит, и ценой, который достигается усилением взаимозаменяемости соперничающих товаров. Чемберлин по этому поводу пишет: «Везде, где в какой-либо степени существует дифференциация, каждый продавец обладает абсолютной монополией на свой собственный продукт, но вместе с тем подвергается конкуренции со стороны более или менее несовершенных заменителей» [1, с. 94].

Монополистическая конкуренция является разновидностью рынка несовершенной конкуренции. Ей свойственны черты и монополии, и совершенной конкуренции. Монополистическая конкуренция – это относительно большое количество производителей, предлагающих похожую, но не идентичную продукцию.

Поведение фирмы на рынке, установление цены на продукцию и выбор объема производства зависят от типа рынка, на котором она действует. Наиболее сильным

фактором, определяющим условия функционирования того или иного рынка, является степень развития конкуренции, как следствие, возможность фирмы контролировать цену на производимую продукцию. Абсолютное большинство предприятий малого и среднего бизнеса в России функционирует в условиях рынка монополистической конкуренции.

Развитие малого и среднего предпринимательства сопровождается возрастанием роли бухгалтерской информации в сферах управления, контроля и анализа предпринимательской деятельности, что особенно актуально для структур с большим количеством территориально распределенных торговых точек и отсутствием строгой системы контроля работников, процесса торговли, состояния складов и полученной выручки [2].

Современная автоматизация торговли – это целый ряд мер, которые направлены на улучшение обслуживания покупателей и увеличение производительности труда сотрудников.

Быстродействие руководства фирмы, которое возможно только при оперативном получении информации, влияет на эффективность торговли и, как следствие, отражается на прибыли компании. Учесть недостатки работы того или иного звена можно лишь при своевременном получении и обработке информации. Процесс торговли схематически изображен на рис. 1.

Несмотря на явную необходимость применения автоматизации в розничных магазинах, многие владельцы торговых предприятий не осознали всю ее значимость. Торговые точки до сих пор обслуживаются с помощью «ручного» труда без компьютеризации. Предприниматели стараются экономить на автоматизации своего бизнеса, однако современные бизнес-процессы требуют постоянного и жесткого контроля, который возможен лишь при внедрении компьютерной системы контроля. В больших торговых центрах для этих целей существуют целые отделы, а малым предприятиям без автоматизации торговли невозможно конкурировать на рынке в современных условиях.

Существует множество систем для автоматизации работы торговых предприятий, большинство из них используются на реальных торговых площадках. Наиболее популярной на сегодняшний день является система автоматизации общественного питания R-Keeper [3].

Система R-Keeper является надежным программным решением, позволяющим рестораторам вести учет продаж, заказов,

производства, склада, систему лояльности гостей (дисконтную систему), формировать отчетность, контролировать работу персонала на всех участках. Благодаря большому количеству пользователей программа R-Keeper достаточно быстро развивается. Система представляет собой гибкое и масштабируемое решение, которое подойдет как небольшому торговому предприятию, так и крупной сети.

Однако данная система для своей полноценной работы требует приобретения дорогостоящих стационарных терминалов или компьютеров, подключения сетевого и другого оборудования, а также мощного сервера, что значительно сказывается на общей стоимости автоматизации производства.

Представляло интерес создание альтернативного единого интерфейса для проведения торговых операций, который позволит установить полный дистанционный контроль над всеми торговыми точками, независимо от их местоположения. Осуществление доступа к этому интерфейсу через Web-приложение повысит мобильность системы и избавит от необходимости прокладки излишних каналов связи и приобретения дополнительного оборудования, в том числе сканеров штрих-кодов. Разработка модуля сканирования QR-кодов с мобильного устройства повысит эффективность и удобство использования Web-сервиса [4].

Основной идеей данной разработки является минимизация стоимости автоматизации торговых предприятий. Был разработан облачный web-сервис, использование которого возможно с абсолютно любого устройства, имеющего доступ к сети Интернет. В качестве web-сервера было решено использовать Apache. Практически на всех хостингах, как платных, так и бесплатных, Apache идет в дополнении с СУБД MySQL различных версий и скриптовым языком PHP. Данная СУБД придерживается всех современных стандартов и поддерживает все необходимые функции и технологии, которые необходимы для разработки, поэтому использована именно она. При разработке использовалась MySQL версии 5.0.1 и PHP версии 5.6.

Программное обеспечение «Электронная касса» представляет собой централизованный сервер с использованием СУБД MySQL для хранения данных. Web-сервис реализован на языке PHP v.5.6 и использует для обращения к MySQL v.5.0.1 объектную библиотеку PDO. Общая структура программного обеспечения представлена на рис. 2.



Рис. 1. IDEF0-диаграмма процесса торговли



Рис. 2. Общая структура разработанного Web-сервиса

Web-сервис имеет достаточно быстрый и плавный интерфейс, построенный с помощью фреймворка адаптивной верстки JQuery Mobile [5]. Данный фреймворк позволяет элементам интерфейса подстраиваться под любой размер экрана пользователя, также он адаптирован для работы на сенсорных экранах.

Для построения пользовательского интерфейса была выбрана популярная библи-

отека кроссбраузерной адаптивной верстки JQueryMobile. Данная библиотека позволяет пользовательскому интерфейсу адаптироваться под любой экран.

Интерфейс главной страницы продавца отображает меню той торговой точки, на которой он начинает рабочий день (рис. 3). В верхней части окна располагаются четыре вкладки с различными категориями с ниспадающими меню подкатегорий.

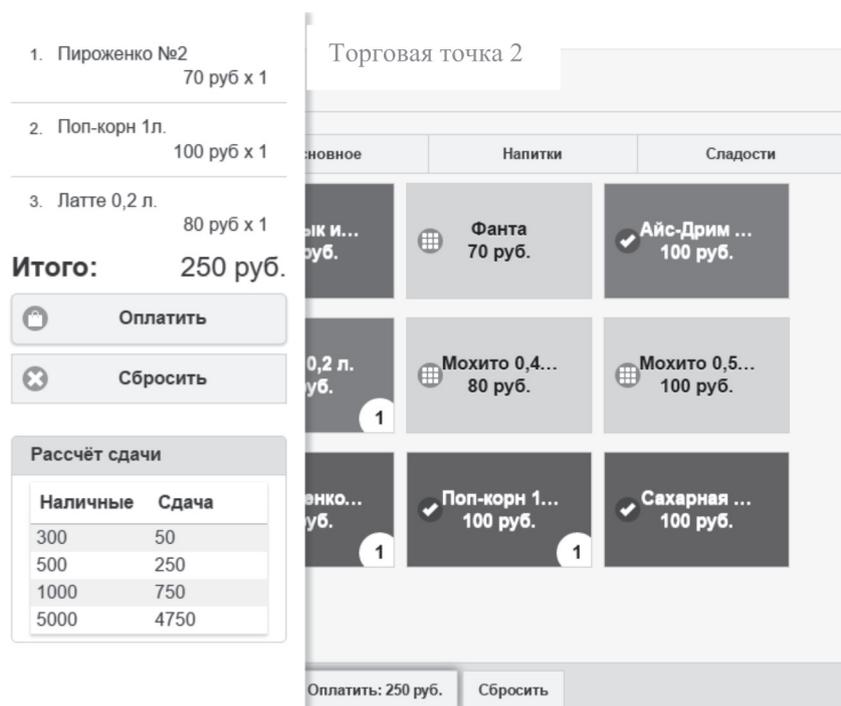


Рис. 3. Интерфейс главной страницы продавца

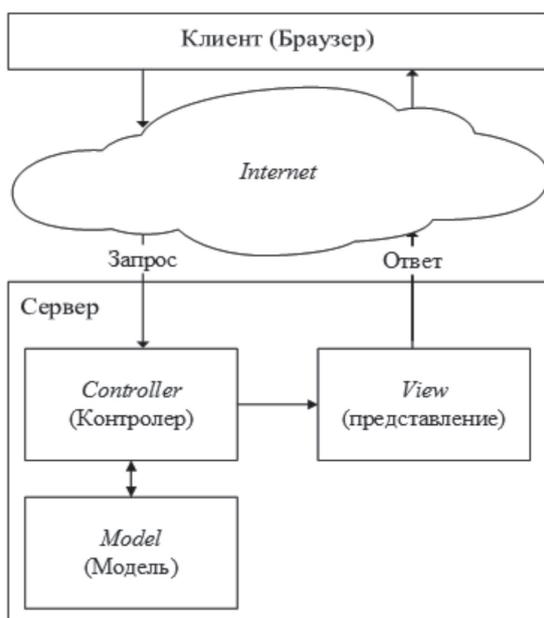


Рис. 4. Архитектура MVC

С целью избавления продавца от необходимости вручную искать заказанные элементы меню, было решено добавить модуль с распознаванием QR-кодов. С этой целью было разработано мобильное приложение под систему Android.

Все товары в базе имеют свой уникальный номер (ID-идентификатор). Этот уникальный номер кодируется в QR-коде каж-

дого продукта, помимо уникального номера можно поместить в код и другую полезную информацию, например название товара, его цену, производителя, что будет нести в себе справочную информацию.

Web-сервис написан с использованием паттерна разработки MVC (*ModelViewController* – «Модель Представление Контроллер»). Суть этого паттерна заключается в разделении работы программиста и дизайнера, а также общей структуризации проекта. Вся серверная логика по получению и работе с данными отделяется от конечной формы визуализации и представления этих данных. Связующим звеном между моделью данных и её представлением является контроллер. Схема паттерна MVC представлена на рис. 4.

Поддерживая данный паттерн, все составляющие исходные коды контроллеров, моделей и представлений помещаются в отдельные папки, соответственно: *controllers*, *models*, *views* и объединяются в папку *application* («приложение»).

Для организации взаимодействия Android-приложения с сайтом используется специальный компонент – *WebView*, в который можно загрузить разработанный Web-сервис в привычном виде. Более того, в Android реализована возможность обмена информацией между Android-кодом и JavaScript кодом, выполняемым в данный момент на загруженной стра-

нице [6]. В первую очередь необходимо реализовать сам интерфейс в Android, доступ к которому необходим из JavaScript. В данном случае, интерфейс будет предоставлять возможность для запуска QR-сканера, а также возможность передать в JavaScript информацию о считанном товаре. Для того, чтобы Android метод был доступен в JavaScript, необходимо пометить его атрибутом `@JavaScriptInterface` и передать объект класса с этим методом в функцию `addJavascriptInterface` компонента `WebView`, указав имя интерфейса, например слово «сатема» [7]. После этого в JavaScript можно, при клике по кнопке для вызова сканера QR-кодов, вызвать Android-функцию вызвав функцию в пространстве имен «сатема». После того как Android-приложение прочитало QR-код и извлекло информацию о товаре, его цене и идентификаторе, необходимо передать его обратно на страничку в `WebView`. Для этого можно воспользоваться функцией `loadUrl` у компонента `WebView`, которая позволяет кроме загрузки страниц по их URL – выполнять любой фрагмент JavaScript [8]. С помощью извлеченного id товара из QR-кода можно симитировать клик по конкретному пункту меню, вызвав следующую функцию: `mWebView.loadUrl(String.format(«javascript:menuClick(null,%s,true)», result, 500`. Пользователю будет предоставлена возможность считывать QR-код товаров, блюд и продуктов и тут же передавать их на страничку веб-сервиса, который подсчитает сумму покупки, варианты сдачи и, при нажатии на соответствующую кнопку, отправит всю транзакцию на сервер.

На сегодняшний день автоматизация затрагивает все более широкие области. Особенно актуальны системы автоматизации для торговых предприятий, причем одинаково полезными они могут стать как для больших, так и для малых форм торгового бизнеса. Для крупной торговой компании автоматизация бизнеса должна рассматриваться как единственно верная стратегия успеха, в то время как маленькая компания должна внедрять новые технологии управления как способ информационной стабилизации, повышения производительности и усиления позиций предприятия на рынке.

Применение компьютерной техники значительно облегчает все аналитические задачи в торговле, например появляется возможность организации не только стоимостного, но и количественного учета в магазине. В отношении каждого товара можно:

- сказать, когда товар поступил, от какого поставщика, по какой цене; как идет реализация продукта;

- составить рейтинги реализации товаров по поставщикам, изготовителям продукции;

- рассчитать оборот каждого наименования товаров по временам года, дням недели или праздникам;

- в любой момент получить информацию о заканчивающемся в торговом зале товаре.

Благодаря всей этой информации можно правильно планировать закупку товаров и не допустить, чтобы товар лежал на полках мертвым грузом. Кроме этого, уменьшается возможность недочетов при работе с клиентами.

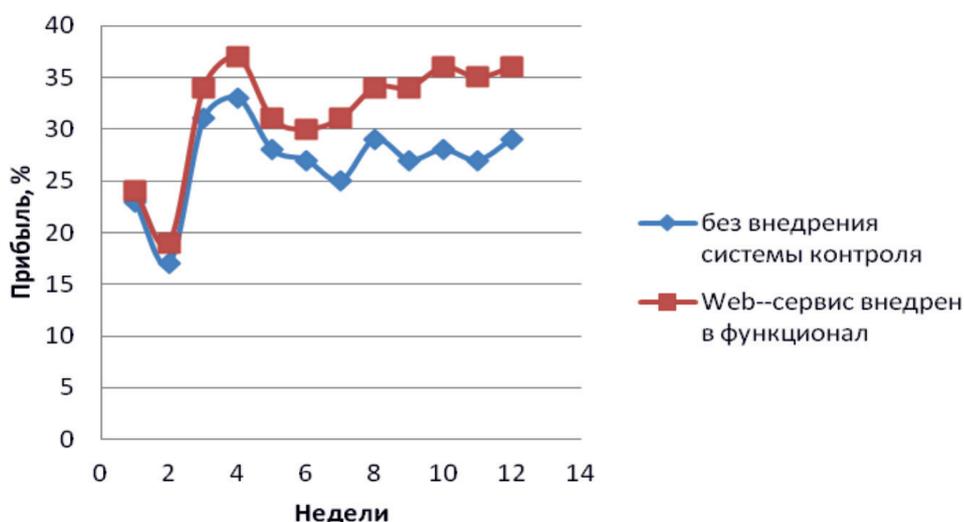


Рис. 5. Сравнительные показатели прибыли торгового предприятия

Система прошла апробацию на одном из малых предприятий массового обслуживания с целью получения показателей, позволяющих оценить ее эффективность, на рис. 5 приведены сравнительные графики прибыли, позволяющие говорить о целесообразности использования данной разработки.

Разработанная авторами информационная система сможет составить высокую конкуренцию такой программной системе, как R-Кеерер, так как стоимость внедрения нашей технологии обусловлена ценой смартфона или планшета с доступом в сеть Интернет.

В то время как R-Кеерер весьма дорогостояща и для ее внедрения требуется большое количество различного оборудования, например сенсорные терминалы для установки программного обеспечения, принтеры, сканеры штрих-кодов, а также прокладка проводного интернет-соединения, а также дополнительная инфраструктура, что в значительной мере снижает мобиль-

ность системы в целом и финансово совершенно непосильно для предприятия малого бизнеса.

#### Список литературы

1. Чемберлин Э. Теория монополистической конкуренции: (Реориентация теории стоимости) / Э. Чемберлин, пер. с англ. под ред. О.Я. Ольсевича. – М.: Экономика, 1996. – 351 с.
2. Автоматизация торговли [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.delta-srv.ru/auto.htm> (дата обращения: 18.02.2018).
3. R-Keeper [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.r-keeper.ru/> (дата обращения: 18.02.2018).
4. Бугаев Л. Мобильный маркетинг. Как зарядить свой бизнес в мобильном мире / Л.Бугаев. – М.: Альпина Паблишер, 2012. – 214 с.
5. JQueryMobile [Электронный ресурс]. – URL: <http://jquerymobile.com/> (дата обращения: 18.02.2018).
6. Роджерс Р. Android. Разработка приложений / Р. Роджерс, М. Зигурд. – М.: ЭКОМ, 2010. – 230 с.
7. Фримен А. jQuery 2.0 для профессионалов / А. Фримен. – М.: APRESS, 2016. – 80 с.
8. Шилдт Г. Искусство программирования на Java / Г. Шилдт, Дж. Холмс. – М.: Вильямс, 2005. – 336 с.

УДК 620.19

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКЕ ДЕФЕКТОВ ШТАМПОВКИ ЖЕСТЯНОЙ ТАРЫ

**Критинина Н.А., Пегина А.Н., Игуменова Т.И., Земсков Ю.П.**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж,  
e-mail: regant2006@mail.ru*

Настоящая статья посвящена применению статистических методов системы менеджмента качества при анализе различных дефектов штамповки жестяной тары, используемой в процессах консервации продуктов питания в пищевой промышленности. Был произведен выбор из 100 исследуемых жестяных консервных банок количественных оценок зазора между пуансоном и матрицей. При этом выявлены несоответствия геометрических размеров из-за недопрессовки, наличия рваных поверхностей и гофр на боковой поверхности после штамповки. Построены гистограммы распределения параметров зазора и определены доли брака по каждому параметру с выявлением поля допуска. Подтвержден механизм разрушения деформированной поверхности банки. При анализе причин возникновения брака проведен анализ причин не соответствующей продукции, построены диаграмма Исикавы и диаграмма Парето, по результатам которых выявлено, что наиболее существенными причинами являются: нарушение формы и размеров тары, трещины и разрывы на изделии, морщины и складки, а также недоштамповка изделия. В качестве корректирующих и предупреждающих действий рекомендовано проведение мероприятий в виде повышения стойкости вытяжных пуансонов и матриц к изнашиванию и деформации наплавкой твердыми сплавами (стеллитом, сормайтотом), а также хромированием и азотированием их поверхности. Кроме того, упрочнение рабочих поверхностей вырубных штампов позволит существенно увеличить их долговечность.

**Ключевые слова:** штамповка, жестяная тара, дефект, статистический анализ

## APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN SEARCHING FOR DEFECTS OF STAINING OF THE HARD TAPE

**Kritinina N.A., Pegina A.N., Igumenova T.I., Zemskov Yu.P.**

*Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: regant2006@mail.ru*

This article is devoted to the application of statistical methods of the quality management system in analyzing various defects in the stamping of tin cans in food preservation processes in the food industry. A choice was made of 100 tin cans being examined for quantitative estimates of the gap between the punch and the matrix. At the same time, discrepancies in geometric dimensions were revealed due to under-pressing, presence of torn surfaces and corrugation on the lateral surface after stamping. The histograms of the distribution of the gap parameters are constructed and the fractions of the marriage for each parameter are determined with the identification of the tolerance field. The mechanism of destruction of the deformed surface of the can is confirmed. When analyzing the causes of the marriage, an analysis of the causes of the non-corresponding products was made, a Ishikawa diagram and a Pareto chart were constructed, the results of which revealed that the most significant causes are: violation of the shape and dimensions of the container, cracks and ruptures on the product, wrinkles and wrinkles. As corrective and preventive actions. it is recommended to carry out measures in the form of increasing the durability of the exhaust punches and matrices to wear and deformation by surfacing with hard alloys (stellite, sommite), as well as chrome plating and nitrating of their surfaces. In addition, hardening the working surfaces of punching dies will significantly increase their durability.

**Keywords:** stamping, tin, defect, statistical analysis

Актуальной проблемой является совершенствование технологий переработки сырья растительного и животного происхождения, в частности в производстве консервированной продукции, упакованной в жестяную тару для длительного хранения. Производство мясной и растительной консервированной продукции является одним из направлений обеспечения продовольственной безопасности страны и приоритетным направлением развития сельского хозяйства Российской Федерации.

Одной из задач пищевой промышленности является своевременное удовлетворение запросов потребителя путем расширения ассортимента консервированной продукции, увеличения сроков хранения,

обеспечения экологичности упаковки, вторичного использования и переработки ресурсов за счет передовых инновационных технологий.

Настоящее исследование проведено для продукции, упакованной в жестяную тару. Анализ данных по структуре и объемам производства жестяной тары в России показал, что наиболее крупным производителем указанного вида упаковки является ОАО «Калининградский тарный комбинат» (табл. 1).

Исследования структуры и объемов потребления жести в мире показывают, что она является одним из самых используемых материалов в производстве тары для консервной промышленности. Например,

в России и в Корее – 78 %, в США – 65 %, в Европе – 46 %. Жесть, как вид стальных изделий, по своему назначению является стратегическим материалом, кроме того, использование стальной упаковки подлежит полной вторичной переработке. При производстве жестяных консервных банок для пищевых продуктов применяется только белая жесьть. Это обусловлено тем, что белая жесьть обладает высокой коррозионной стойкостью в отличие от черной жести. «Скользкая способность» белой жести также позволяет автоматизировать процесс изготовления жестяных банок и достичь высокой производительности процесса. Существует несколько видов жести, выпускаемых по ГОСТ 13345-85 «Жесьть. Технические условия» [1–3]. Белая жесьть является листовой холоднойкатаной отожженной сталью небольшой толщины (не более 1,2 мм, минимум – 0,1 мм), на которую нанесено какое-либо специальное покрытие (цинк, олово, лак, хром), выполняющее защитную функцию. Если покрытия жесьть не имеет, то речь идет о черной (нелуженой) жести. Она представляет собой первичный материал, на который наносится защитный слой. Для упаковки консервов различного назначения тара выпускается из белой консервной жести горячего лужения в соответствии с требованиями ГОСТ 5981-2011 «Банки и крышки к ним металлические для консервов. Технические условия». Данным стандартом предусмотрены следующие показатели качества тары: поверхность банок; паяный шов; закаточный шов; лаковое и литографское покрытие на корпусе; размеры и вместимость банок; герметичность банок; отбортовка корпуса. Размеры консервных банок также стандартизованы. В стандарте установлены точные размеры каждого вида консервной банки. Существует более 30 видов

консервных жестяных банок. Для каждого вида определены точные размеры, присвоен определеннй номер и рекомендован перечень консервов, для которых эти банки предназначены [4–5]. При исследовании ста жестяных банок, которые подверглись пластическому деформированию при изготовлении, были получены количественные оценки зазора между пуансоном и матрицей. При несоответствии такого зазора стандартным нормативам могут возникать несоответствия размеров штампованных банок, а именно, недопрессовка, наличие рваных поверхностей и гофр при отбортовке корпуса. В табл. 2 приведены значения зазоров между пуансоном и матрицей в зависимости от возникновения вышеуказанного брака. На основании вышеприведенных данных построены гистограммы распределения по показателю зазор между матрицей и пуансоном при возникновении дефектов недопрессовки, наличие рваных поверхностей и гофры, показанных на рис. 1–3.

Анализ гистограммы (рис. 1) показал, что количество выявленных дефектов «недопрессовка» составило 2,95 %.

Анализ рис. 2 показал, что рваные поверхности, возникающие на отбортованных поверхностях жестяных консервных банок, составляют 1,15 %.

Анализ рис. 3 показал, что гофры на поверхности, возникающие на отбортованных поверхностях жестяных консервных банок, составляют 4,36 %. В итоге суммарная доля брака при формировании жестяных консервных банок составила 8,46 %. Механизм разрушения соответствует конструкционным упаковочным материалам из металла [6].

Для выявления возможных причин, приводящих к возникновению такого рода дефектов, использовалась причинно-следственная связь Исикавы, представленная в виде диаграммы на рис. 4 [7].

**Таблица 1**

Объемы производства жестяной тары

Производитель	Объемы производства, млн усл. шт.				
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
ОАО «Калининградский тарный комбинат»	300	323	351	368	390
ЗАО «ЖесьтьУпак»	179	216	220	237	270
ГК «Метарус»	290	180	200	176	220
ООО «Банкон»	216	205	210	168	160
ООО ПО «САНТ»	135	125	135	141	136
ОАО «Мурманский тарный завод»	100	105	110	131	130
Прочие	3410	3491	3389	3365	3331
Итого:	4630	4645	4615	4586	4637

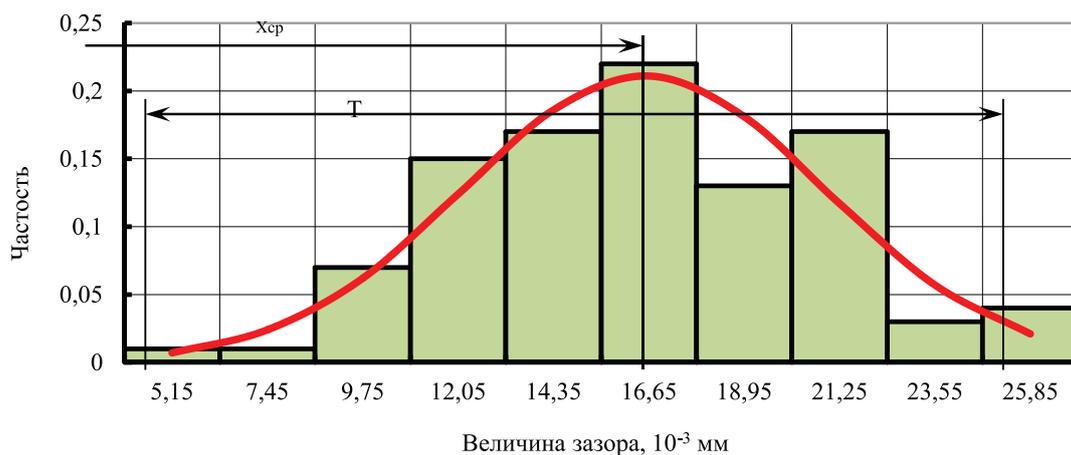


Рис. 1. Гистограмма распределения зазора между пуансоном и матрицей при возникновении дефекта «недопрессовка»

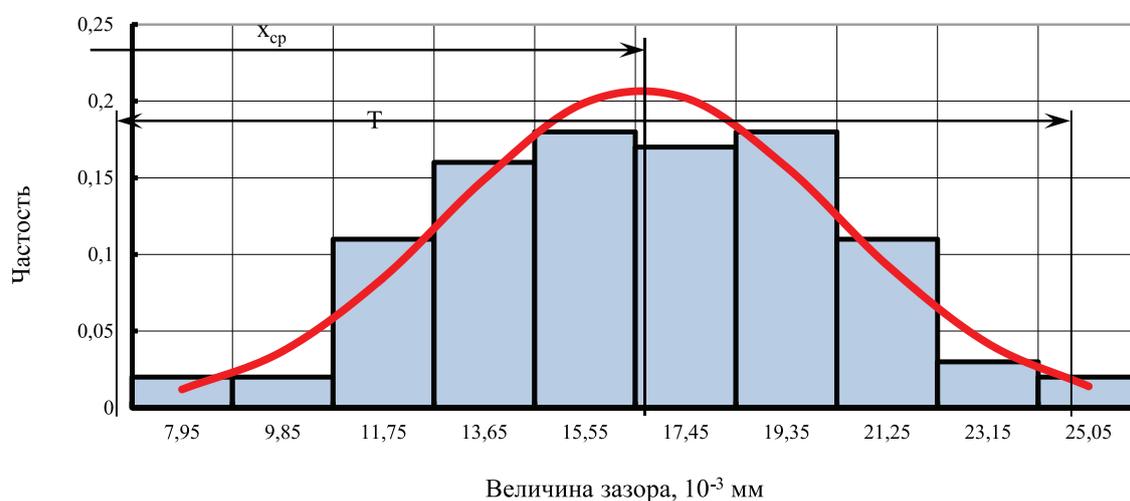


Рис. 2. Гистограмма распределения зазора между пуансоном и матрицей при возникновении рваных поверхностей

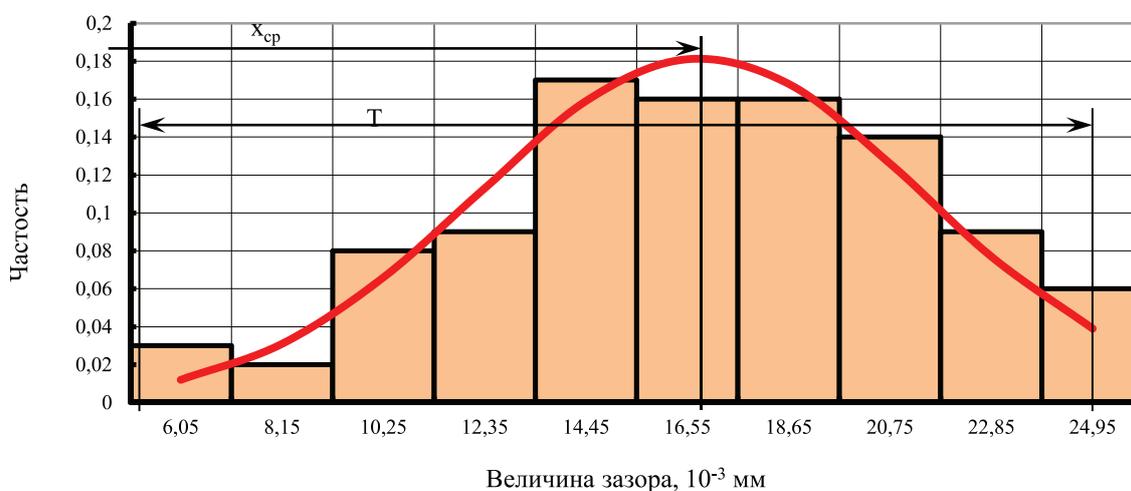


Рис. 3. Гистограмма распределения зазора между пуансоном и матрицей при возникновении гофр поверхности

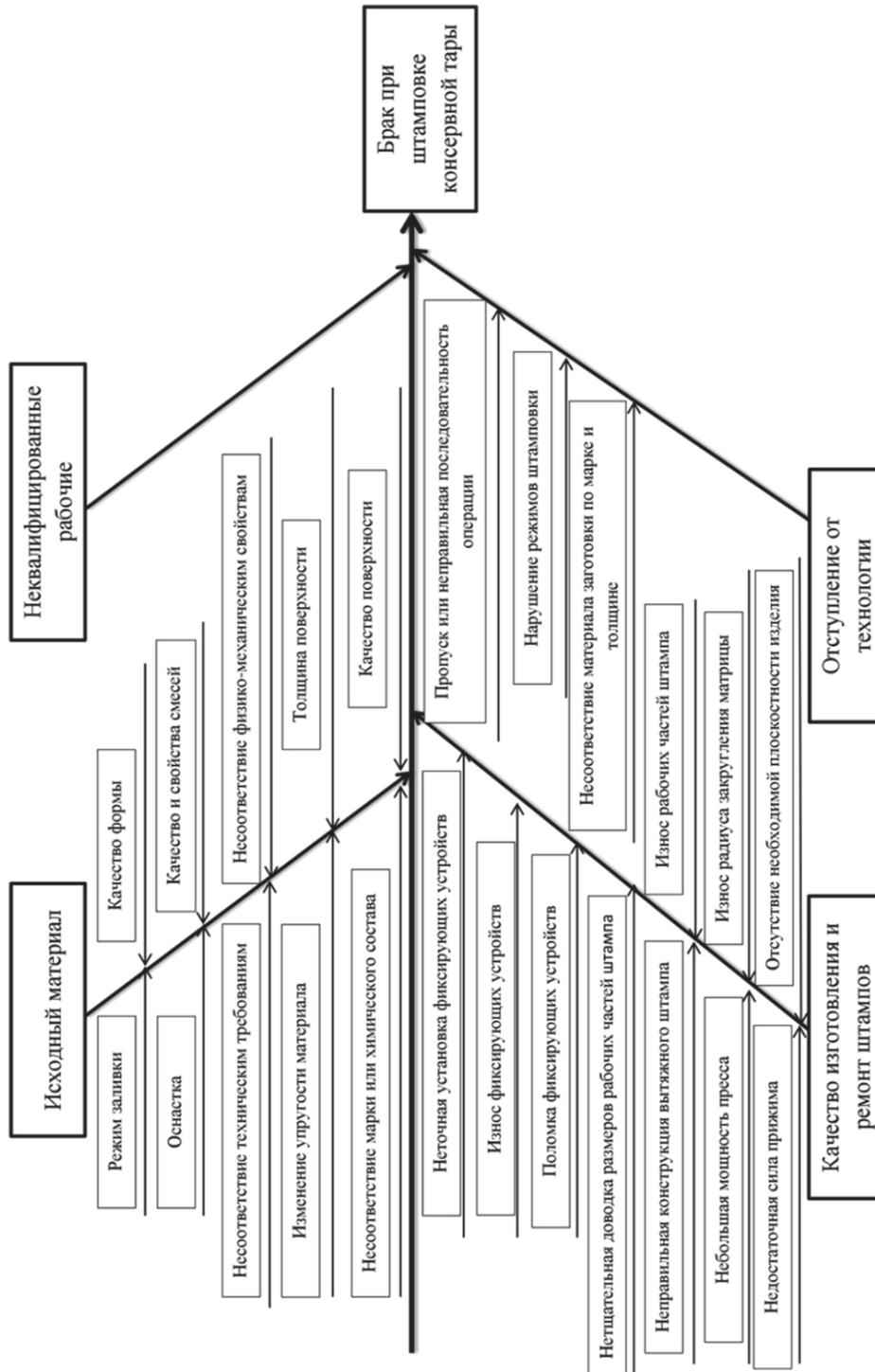


Рис. 4. Причинно-следственная диаграмма брака при штамповке консервной тары

Таблица 2

## Значения зазоров между пуансоном и матрицей

№ замера	Значение зазора, 10 <sup>-3</sup> мм			№ замера	Значение зазора, 10 <sup>-3</sup> мм			№ замера	Значение зазора, 10 <sup>-3</sup> мм			№ замера	Значение зазора, 10 <sup>-3</sup> мм		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	16	18	10	26	12	24	11	51	14	14	24	76	16	17	15
2	13	19	23	27	24	18	12	52	11	13	5	77	20	12	19
3	10	16	22	28	9	16	16	53	10	18	18	78	15	16	12
4	20	16	20	29	27	14	21	54	12	13	6	79	17	13	15
5	9	19	7	30	20	12	25	55	15	19	16	80	18	13	13
6	13	21	12	31	10	15	19	56	9	11	16	81	13	14	16
7	16	16	20	32	14	24	20	57	13	11	14	82	6	22	24
8	13	14	14	33	16	21	21	58	12	11	8	83	13	21	17
9	17	15	20	34	14	12	12	59	12	13	17	84	16	15	12
10	19	15	16	35	17	12	14	60	16	14	9	85	10	13	22
11	16	14	17	36	13	16	20	61	13	12	20	86	10	23	14
12	20	14	14	37	24	12	22	62	18	18	18	87	17	16	23
13	20	19	16	38	19	19	17	63	12	13	19	88	18	16	20
14	20	23	16	39	11	12	14	64	14	19	19	89	20	10	19
15	16	18	10	40	5	13	10	65	9	15	22	90	10	14	10
16	14	13	19	41	20	13	18	66	6	15	18	91	13	17	19
17	11	7	14	42	16	20	15	67	16	15	15	92	14	26	11
18	14	20	15	43	4	15	24	68	17	14	18	93	16	15	11
19	14	14	13	44	9	19	13	69	21	19	18	94	11	22	19
20	8	18	10	45	9	13	10	70	14	17	19	95	11	13	14
21	17	18	15	46	19	17	19	71	15	17	20	96	16	13	17
22	22	12	16	47	15	17	17	72	18	19	17	97	17	17	21
23	14	13	14	48	12	21	24	73	14	16	21	98	24	14	20
24	16	18	18	49	11	18	12	74	17	13	15	99	14	16	17
25	21	13	19	50	16	8	21	75	15	12	15	100	13	18	26

Примечание. Значения зазоров 1, 2 и 3 соответствуют дефектам «недопрессовка», «наличие рваных поверхностей» и «гофры» соответственно.

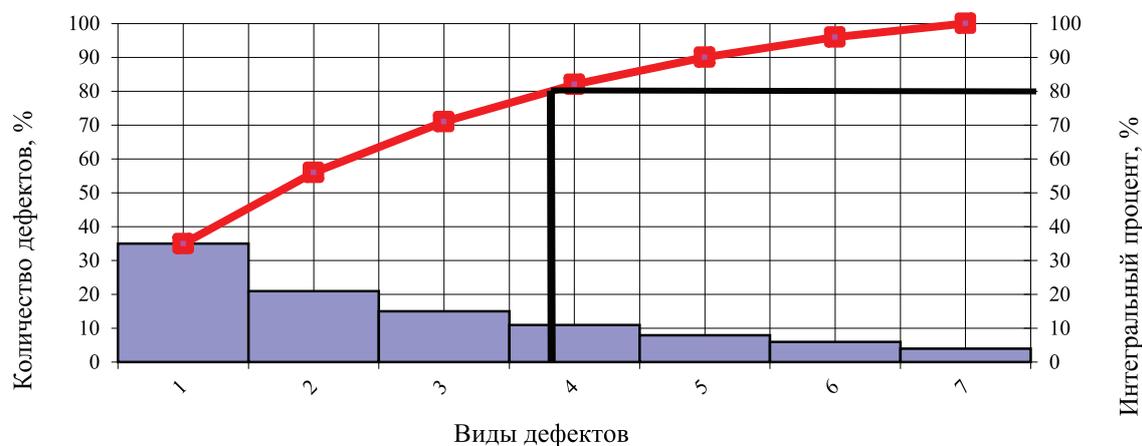


Рис. 5. Диаграмма Парето по размерным дефектам тары: 1 – нарушение формы и размеров тары; 2 – трещины и разрывы на изделии; 3 – морщины и складки на изделии; 4 – недоштамповка изделия; 5 – царапины и задирки; 6 – отсутствие необходимой плоскостности изделий; 7 – прочие

Дефекты, образующиеся в процессе изготовления консервной тары, вызываются множеством причин и в зависимости от этого делятся на следующие виды [8]: дефекты по вине рабочего; дефекты по исходному материалу; дефекты, связанные с качеством изготовления и ремонтов штампов; дефекты, связанные с отступлением от технологии. Брак продукции при листовой штамповке подразделяется на исправимый (мелкие дефекты изделия, поддающиеся исправлению) и неисправимый (крупные дефекты изделия, которые не поддаются исправлению) [9].

Анализ диаграммы позволяет сделать вывод, что существует множество причин влияющих на брак продукции при штамповке. В частности, анализ дефектов, связанных с качеством изготовления и ремонта штампов, показал следующее. Недостаточно точная установка, износ и неисправность фиксирующих устройств штампов приводят к отклонению расположения заготовки относительно рабочих частей штампа, что приводит к таким дефектам, как нарушение формы и размеров консервной тары. В вытяжном штампе перекося прижимного кольца относительно зеркала матрицы или некорректная регулировка прижима заготовки приводят к таким дефектам, как возникновение трещин и разрывов на изделии. Излишняя сила прижима приводит к образованию морщинок и складок. Превышение при регулировании закрытой высоты прессы относительно закрытой высоты штампа и недостаточно большая мощность прессы вызывают недоштамповку изделия. Отсутствие тщательной доводки размеров рабочих частей штампа приводит к дефектам изделия по размерам. Недостаточная сила прижима, чрезмерный износ поверхностей рабочих частей штампа или неправильная конструкция вытяжного штампа вызывает такие дефекты, как морщинки и складки. При плоскостной правке листовых изделий основным видом дефектов является отсутствие необходимой плоскостности изделий. Недопустим большой износ радиуса закругления матрицы у вытяжных штампов, что приводит к образованию на изделиях царапин и задиоров. Анализ полученной диаграммы позволил сделать следующий вывод, что наиболее существенными причинами являются: нарушение формы и размеров тары, трещины и разрывы на изделии, морщины и складки на изделии, недоштамповка изделия.

С помощью диаграммы Парето (рис. 5) можно выявить дефекты, наиболее существенные по сравнению с другими.

Таким образом, из условия 20:80, т.е. выявленные 20% причин приводят к 80% брака: 1 – нарушение формы и размеров тары; 2 – трещины и разрывы на изделии; 3 – морщины и складки на изделии; 4 – недоштамповка изделия.

Чтобы устранить данные дефекты, необходимо предусмотреть корректирующие мероприятия организационно-технического характера.

Таким образом, применение статистических методов при поиске дефектов штамповки жестяной тары позволили оценить возникающий брак в процессе изготовления жестяной тары, который составил 8,46%, использовать причинно-следственную связь Исикавы возникновения возможных причин брака, а также определить причины возникновения таких дефектов, как недопрессовка, возникновение рваных поверхностей и гофр при отбортовке изделия. Одним из методов устранения повышенного зазора между матрицей и пуансоном можно рекомендовать широко используемую технологию наращивания изношенного металла наплавкой. Повышение стойкости вытяжных пуансонов и матриц достигается наплавкой твердыми сплавами (стеллитом, сормайтотом), хромированием и азотированием.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 52204-2004. Жесть холоднокатаная черная и белая. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 25 с.
2. ГОСТ 1050-2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных, качественных и специальных сталей. – М.: Стандартинформ, 2014. – 32 с.
3. ГОСТ 13345-85. Жесть. Технические условия. – Введ. 1987-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 20 с.
4. ГОСТ 26384-84. Банки жестяные цилиндрические круглые для консервов. Размеры конструктивных элементов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 15 с.
5. ГОСТ 5981-2011. Банки и крышки к ним металлические для консервов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 21 с.
6. Земсков Ю.П., Квашнин Б.Н., Дворянинова О.П. Конструкционные упаковочные материалы: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 248 с.
7. Файзулина Р.В., Молева О.Н., Никифоров М.М. Качество жести для цельнотянутых двухэлементных банок [Электронный ресурс]. – URL: <https://niscu.ru/work/521634/Kachestvo-zhesti-dlya-celnotyanutyx> (дата обращения: 29.01.2018).
8. Статистические методы контроля качества [Электронный ресурс]. – URL: [https://studme.org/1765030210908/menedzhment/statisticheskie\\_metody\\_kontrolya\\_kachestvahttps](https://studme.org/1765030210908/menedzhment/statisticheskie_metody_kontrolya_kachestvahttps) (дата обращения: 29.01.2018).
9. Норин В.А. Неразрушающий контроль качества: учебное пособие / В.А. Норин, В.Е. Гордиенко, Е.Г. Гордиенко и др. – СПб.: СПбГАСУ, 2013. – 104 с.

УДК 66.069:66.071

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ В ЖИДКОСТИ  
МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**<sup>1,2</sup>Кузнецов Д.М., <sup>2</sup>Гапонов В.Л., <sup>1</sup>Гайдукова Ю.А., <sup>1</sup>Маслова Е.Е.<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,  
Новочеркасск, e-mail: [pressa\\_npi@mail.ru](mailto:pressa_npi@mail.ru);<sup>2</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: [reception@donstu.ru](mailto:reception@donstu.ru)

Целью настоящей работы являлась разработка универсального метода, позволяющего осуществлять процесс мониторинга удаления любого растворенного газа из любой жидкости. В основе разработки метода использован тот факт, что движение пузырьков газа к поверхности жидкости вовлекает в колебательный процесс частицы жидкости, которые смещаются около своего положения равновесия, переходя в состояние периодического уплотнения и разряжения. Метод основан на генерации акустических колебаний при движении пузырьков газа к поверхности жидкости. В ультразвуковой области метод регистрации акустических колебаний (метод акустической эмиссии) в жидкой среде позволяет регистрировать выделение растворенных газов по мере роста температур в жидкости. Процесс регистрации акустических колебаний изучен в диапазоне частот 100–500 кГц на примере воды. Установлено, что кривая роста суммы импульсов акустической эмиссии совпадает по характеру с кривой роста температуры воды. Установлено, что различные этапы дегазации жидкости инициируют различные формы и спектры индуцируемых акустических сигналов. Полученные данные позволяют спрогнозировать сферу применения метода АЭ как надежного и высокочувствительного метода контроля химических процессов в жидкости, протекающих с образованием газовой фазы.

**Ключевые слова:** растворимость газов в жидкости, мониторинг дегазации, метод акустической эмиссии, количество импульсов, активность акустических импульсов, ультразвуковые колебания

**THE STUDY OF THE PROCESSES OF DEGASIFICATION OF A LIQUID  
BY ACOUSTIC EMISSION METHOD**<sup>1,2</sup>Kuznetsov D.M., <sup>2</sup>Gaponov V.L., <sup>1</sup>Gaydukova Yu.A., <sup>1</sup>Maslova E.E.<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: [pressa\\_npi@mail.ru](mailto:pressa_npi@mail.ru);<sup>2</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: [reception@donstu.ru](mailto:reception@donstu.ru)

A universal method allowing the monitoring process of removing dissolved gas from liquid. The method is based on the generation of acoustic waves during the motion of gas bubbles to the liquid surface. In the ultrasonic region registration method of acoustic vibrations (acoustic emission method) in a liquid medium allows to record the allocation of dissolved gases with the growth temperature in the liquid. The process of registration of acoustic oscillations is studied in the frequency range 100-500 kHz for the example of water. It is established that the growth curve of the amount of acoustic emission pulses is coincident in nature with the growth curve of the water temperature. Is that different stage of degassing liquids initiate various shapes and spectra of induced acoustic signals. The obtained data allow predicting the scope of application of the AE method as a reliable and impossible non-destructive method of control of chemical processes in the liquid flowing with the gas phase formation.

**Keywords:** solubility of gases in liquids, monitoring of the degassing, the method of acoustic emission, the number of pulses, active pulses of acoustic pulses, ultrasonic vibrations

Современные методы изучения растворимости газов в жидкости, основанные на измерении вязкости жидкости, или изменения показателя преломления (метод голографической интерферометрии), имеют ограниченную применимость или пригодны только для определенного типа жидкостей. Целью настоящей работы являлась разработка универсального метода, позволяющего осуществлять процесс мониторинга дегазации любой жидкости. В основу разработки метода положен тот факт, что движение пузырьков газа к поверхности жидкости вовлекает в колебательный процесс частицы жидкости, которые смещаются около своего положения равновесия. Этот процесс в силу упругости жидкой

среды распространяется последовательно на смежные частицы в виде волны. При вытеснении микроскопического пузырька газа из жидкости происходит отрыв и схлопывание пузырька, т.е. процесс разрежения и уплотнение среды [1]. Возбуждаемая единичная акустическая волна имеет настолько слабую энергию и высокую частоту, что вследствие процессов затухания в жидкой среде ее энергия практически не доходит до поверхности. Но в том случае, если этот процесс имеет множественный характер, происходит усиление акустического сигнала, что следует из известных формул акустических расчетов [2–3], а следовательно, становится возможна регистрация акустических колебаний.

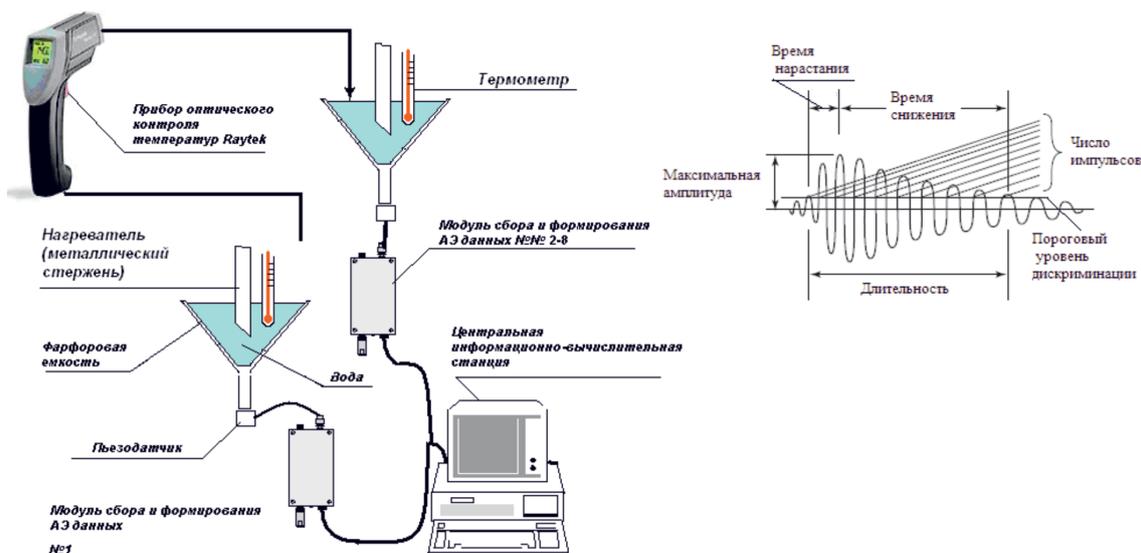


Рис. 1. Акустико-эмиссионная установка для изучения процессов, проходящих в жидкой среде с выделением газовой фазы

В случаях выделения растворенных газов из жидкости образование акустических сигналов обусловлено не только разрушением газовых пузырьков на поверхности жидкости. Источником акустических колебаний в жидкости может оказаться любое колеблющееся тело, выведенное из устойчивого состояния какой-либо внешней силой [1]. В данном случае движение газового пузырька в жидкости также является источником образования акустических ультразвуковых волн.

### Материалы и методы исследования

Изучение индуцируемых сигналов АЭ в процессе дегазации жидкости проводилось с применением акустико-эмиссионного комплекса A-Line 32. Комплекс A-Line 32 представляет собой многоканальную систему регистрации АЭ событий и позволяет проводить параллельно до 32 экспериментов, в данном случае использовалось 2 пьезодатчика для обеспечения сходимости данных. Частотный диапазон используемых пьезодатчиков составлял 100–500 кГц. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

### Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что растворение газов в жидкостях часто сопровождается выделением теплоты. Поэтому растворимость газов с повышением температуры согласно принципу Ле Шателье понижается. Эту закономерность часто используют для уда-

ления растворенных газов из воды (например  $\text{CO}_2$ ) путем нагревания воды. Этот же принцип использовался в настоящей работе. Исследуемую дистиллированную воду медленно охлаждадали на воздухе для обеспечения фазового равновесия, поскольку в случае контакта воды с воздухом следует говорить о растворимости не одного газа, а о смеси газов. В этом случае растворимость каждого из компонентов газовой смеси при постоянной температуре пропорциональна парциальному давлению компонента над жидкостью и не зависит от общего давления смеси и индивидуальности других компонентов. Дистиллированная вода, охлажденная до  $10^\circ\text{C}$ , в количестве 100 мл, заливалась в специальную кварцевую емкость. Использованный материал емкости – кварц, ввиду низкой степени затухания ультразвука в кварце. Форма емкости выбиралась таким образом, чтобы обеспечить усиление индуцируемого АЭ сигнала.

Расчет количества растворенной и выделившейся при нагревании из воды смеси газов проводился по известным данным. Результаты расчетов представлены в таблице и рис. 4–5 (по данным работы [4–5]). Полученные результаты свидетельствуют, что в целом кинетика выделения растворенного газа из воды по мере роста температуры подчиняется экспоненциальной зависимости [6–7]. В то же время на первоначальном отрезке нагревания воды выделение растворенного газа носит линейный характер (рис. 2).

## Изменение количества растворенного газа в 100 г воды при росте температуры

Время, мин	Температура, °С	Количество растворенного газа, в 100 г воды, мкг	Количество выделенного газа, мкг
0.00	9,4	0,29	0
10.0	11,6	0,27	0,02
20.0	12,6	0,25	0,04
30.0	13,4	0,21	0,08
40.0	14,3	0,15	0,14

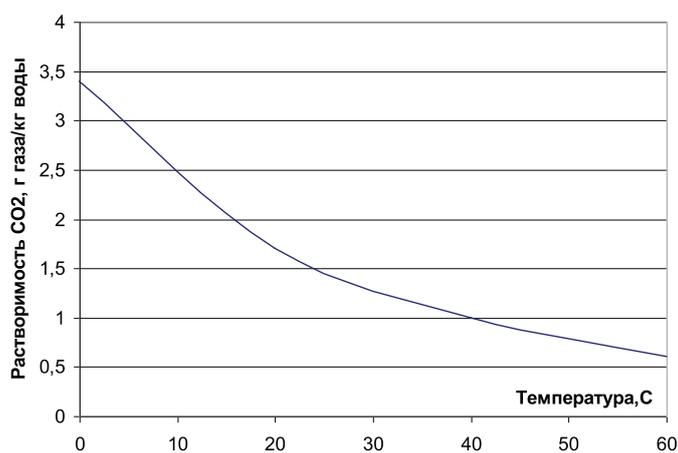


Рис. 2. Изменение растворимости углекислого газа в воде в зависимости от температуры по данным работы [8]

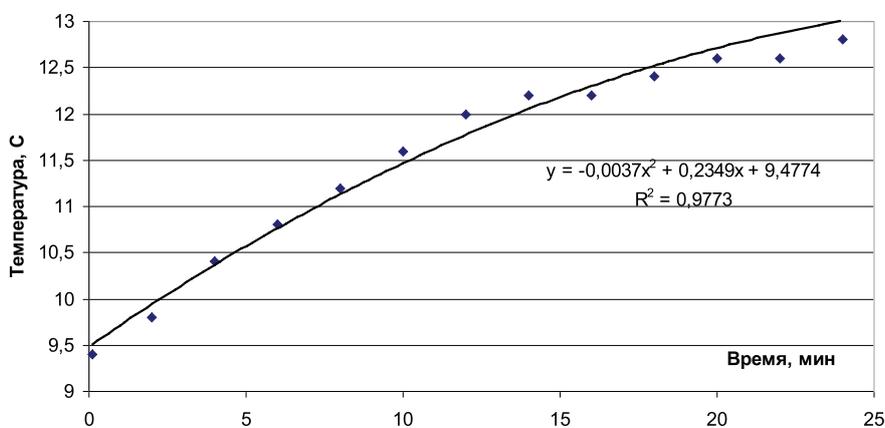


Рис. 3. Кривая суммы АЭ импульсов и регистрируемое изменение температуры

Полученные расчетные данные получили подтверждение при изучении этого процесса АЭ методом, результаты которого оказались существенно более информативны (рис. 3 и 4).

Во-первых, установлено, что на первоначальном участке нагрева воды кривая роста температур совпадает по характеру с изменением суммы импульсов АЭ.

Интерпретация такой динамики изменения очевидна: поскольку перепад температур между внешней температурой и температурой емкости уменьшается, снижается и скорость роста температур. Аналогично и наблюдаемое изменение  $N_{\text{сумм}}$ : поскольку растворение газа сопровождается выделением теплоты, постольку повышение температуры снижает количество растворимого газа, который выделяется в виде микропузырьков, индуцирующих волны АЭ. Неравновесное состояние воды экспоненциально уменьшается в сторону равновесного, что отражается и в характере изменения индуцируемых акустических импульсов.

Но поскольку акустико-эмиссионные исследования позволяют получить не только интегральный показатель суммы количества колебаний, но и качественную картину характера этих колебаний, а также динамику изменения, то, во-вторых, установлено, что на первоначальном участке нагрева воды пузырьки газа имеют низкую энергию акустических колебаний и пьезодатчик регистрирует генерируемые акустические сигналы в относительно низкочастотной области (до 100 кГц).

Дальнейшее нагревание воды привело к получению совершенно другой картины

формы и частоты генерируемых сигналов и динамики роста суммы импульсов АЭ. Что касается формы и частоты сигналов, то очевидно наблюдение эффекта «биения»: суммирования высокочастотных колебаний с приблизительно близкой частотой. Это свидетельствует не только о массовости явления, но и о примерно одинаковом размере выделяющихся газовых пузырьков.

Изменение суммы сигналов носит уже выраженный характер степенной зависимости, что также свидетельствует о лавинообразном увеличении скорости выделения растворенного газа из воды по мере роста температур.

Визуальные изменения состояния воды позволяют дать следующую интерпретацию кинетики дегазации: выделившаяся часть растворенного газа наблюдается невооруженным глазом на стенках емкости. Очевидно, что большие размеры пузырьков газа при их движении в толще воды вызывают образование акустических волн с большей энергией и большей активностью АЭ. Достигая поверхности жидкости, эти пузырьки взрываются (явление, носящее название «струя Уоррингтона»). В работе [8] этот процесс снят на камеру со скоростью снимающую 5000 кадров в секунду. На серии высокоскоростных снимков видно, как пузырёк поднимается к поверхности и разрывается, создавая на ней микро-кратер. Стягиваясь, этот кратер извергает струйку жидкости, которая разлетается на мельчайшие капли, поднимающиеся на высоту до 10 см от поверхности. Этот сложный процесс реализуется и в многообразии параметров акустических сигналов, регистрируемых предложенной методикой (рис. 6).

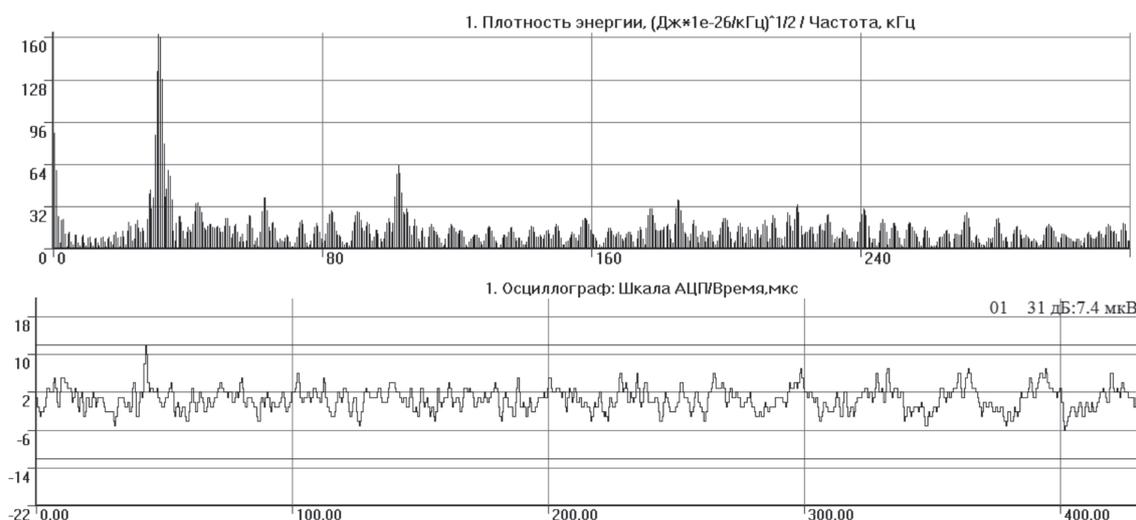


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика и форма АЭ сигнала начального периода дегазации воды

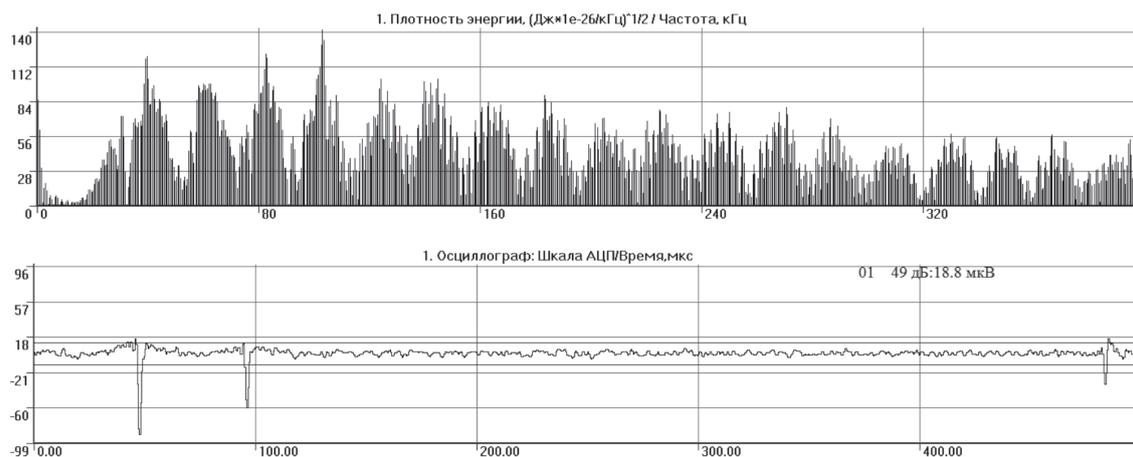


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика и форма АЭ сигнала второго этапа дегазации воды

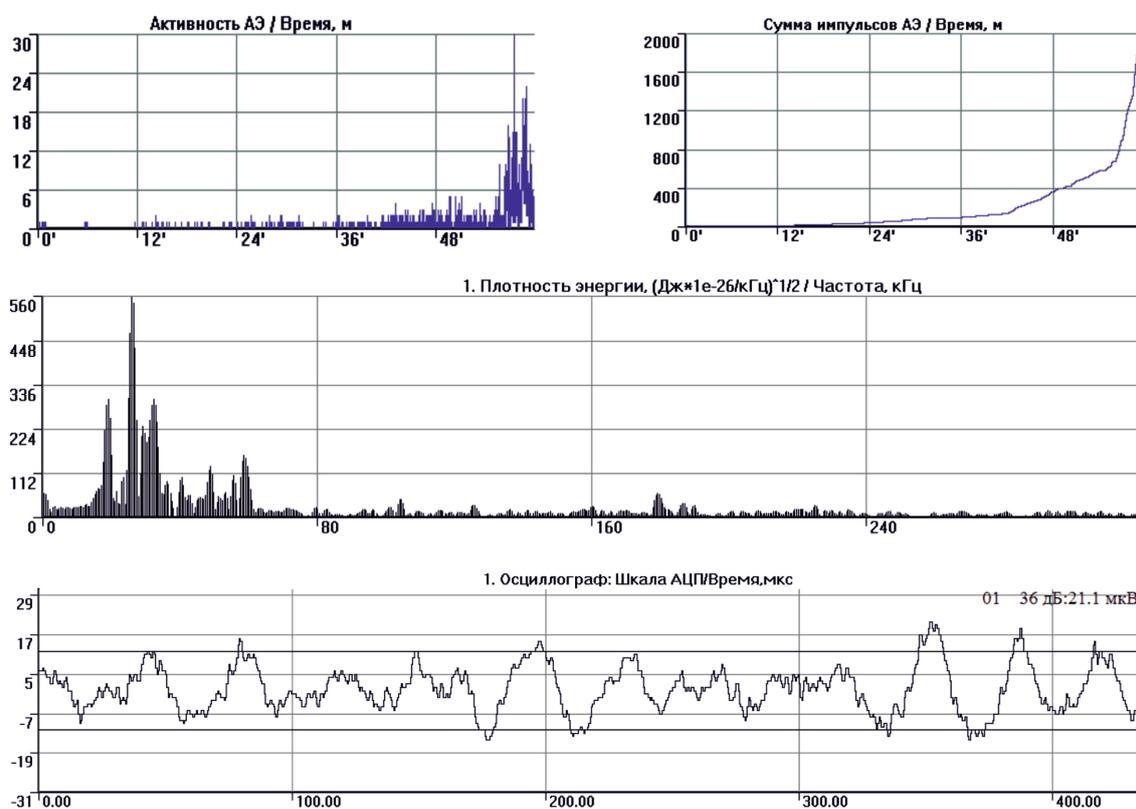


Рис. 6. Активность АЭ, кривая суммы АЭ импульсов, а также амплитудно-частотная характеристика и форма АЭ сигнала на завершающем этапе дегазации воды

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что применённая методика изучения процессов, проходящих в жидкой среде с выделением газовой фазы, с использованием явления акустической эмиссии, достаточно эффективна. С её помощью, в частности, установлено, что:

– метод АЭ позволяет регистрировать выделение растворенных газов по мере роста температур в жидкости;

– на первоначальном участке нагрева воды кривая роста суммы импульсов АЭ совпадает по характеру с изменением температуры воды.

Полученные данные позволяют спрогнозировать сферу применения метода АЭ как надежного и высокочувствительного метода контроля химических процессов в жидкости, протекающих с образованием газовой фазы.

#### Список литературы

1. Пивоварова О.О. Обеспечение безопасных условий труда на участке пропитки ремонтных машиностроительных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2013. – 129 с.

2. Кузнецов Д.М., Гапонов В.Л., Смирнов А.Н. К вопросу о возможности исследования кинетики химических реакций в жидкой среде с помощью метода акустической эмиссии // Инженерная физика. – 2008. – № 1. – С. 16–21.

3. Builo S.I., Kuznetsov D.M., Gaponov V.L. Acoustic-Emission Testing of Capillary Liquid in Porous Media // Russian

Journal of Nondestructiv Testing. – 2014. – vol. 50, no. 7. – P. 19–23.

4. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко [и др.] // Машиностроение. – 2002. – С. 240.

5. Влияние ультразвука на электролиз морской воды / З.М. Алиев [и др.] // Вестник Дагестанского гос. ун-та. Серия 1: Естественные науки. – 2014. – № 6. – С. 144–147.

6. Холлиншид Г., Икард М., Надоленко В. Щелочной электролиз – Альтернатива электролизу с ионно-обменными мембранами // Наноиндустрия. – 2014. – № 5 (29). – С. 32–34.

7. Water electrolysis with DC pulses and plasma discharge / M. Vanags [и др.] // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 9. – С. 23–27.

8. Пузырьки шампанского с точки зрения науки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wineclass.citylady.ru/art035.htm> (дата обращения: 05.03.2018).

УДК 625.768.5

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЗЦОВ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ С ДВУХПОДВЕСНОЙ СИСТЕМОЙ

Кулепов В.Ф., Шурашов А.Д., Никандров И.С., Горшков А.С., Малыгин А.Л.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Дзержинск,  
e-mail: gorshkov\_as@mail.ru

Дана оценка смещений резца, закрепленного на двух упругих подвесах, выполненных из обрезков стального каната, в процессе взаимодействия его с разрушаемой средой под действием изгибных усилий в подвесах от силы резания и реакции дорожного покрытия. Приведены эпюры продольных и поперечных усилий и возникающих изгибающих моментов. Решением канонических уравнений получено уравнение изгиба оси подвеса резца. Определены величины смещения резцов при их креплении на двух продольных подвесах и показано снижение величины смещения в 8 раз по сравнению с одноподвесной системой. Установлено, что для двухподвесной системы контактные усилия взаимодействия резцов с дорожным полотном не способствуют изгибу подвесов без отклонения резцов от рабочего положения резания за счет плоскопараллельного смещения резцов. Показано достижение стабилизации резца в плоскости резания грунто-ледовой массы за счет крепления резцов на двух продольно расположенных упругих подвесах, выполненных из отрезков стального каната. Установлена правомерность раскрытия статической неопределимости системы крепления резца на двух подвесах, поскольку при проверке равновесие узла E, в котором сходятся три силового участка, подтверждено.

**Ключевые слова:** дорожная фреза, резец, подвес, смещение, изгиб, стабилизация

## EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF STABILIZATION OF REVERSE ROAD CUTTERS WITH THE TWO SUSPENSION SYSTEM

Kulepov V.F., Shurashov A.D., Nikandrov I.S., Gorshkov A.S., Malygin A.L.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Dzerzhinsk, e-mail: gorshkov\_as@mail.ru

The displacement of the tool, fixed on two elastic suspensions, is estimated in the process of its interaction with the destroyed medium under the influence of flexural forces in the suspensions from the cutting force and the reaction of the road surface. The diagrams of the longitudinal and transverse forces and the arising bending moments are given. By the solution of the canonical equations, the equation of the bend of the axis of suspension of the tool is obtained. Sizes of shift of cutters at their fastening on two longitudinal suspensions are determined and decrease in size of shift by 8 times in comparison with one suspended system is shown. It has been established that for two suspension systems, the contact forces of the engagement of the cutters with the roadway do not contribute to the bending of the suspensions without deflecting the cutters from the operating position of the cutting due to the plane-parallel displacement of the incisors. It is shown that the stabilization of the tool in the cutting plane of the ground-ice mass is achieved due to fastening of the cutters on two elastic suspensions from the lengths of the steel rope.

**Keywords:** road milling cutter, chisel, suspension, displacement, bending, stabilization

Для очистки прибордюрных зон улиц от смерзшихся отложений грунто-ледовых масс предлагают применять режущие рабочие органы [1, 2], в том числе торцевую фрезу [3]. Фреза представляет собой вращающийся диск с закрепленными на нем резцами на упругих подвесах [4]. Стабильное положение резцов при работе фрезы в плоскости резания определяет характер взаимодействия сил сопротивления в точке приложения основного усилия резания к резу фрезы.

Если крепление резца происходит на одном подвесе, который выполнен из отрезка троса (стального каната), при контакте резца с смерзшейся массой его положение destabilизируется и резец отклоняется и выходит из плоскости резания. В результате угол резания и направление усилия резания меняются (рис. 1, а). Если резец крепится на двух продольно расположенных подвесах, то за счет изгиба упругих стержней по схеме,

показанной на рис. 1, б, появляется возможность удержания резца в режущей плоскости при отклонении резца с подвесом.

Расчетная система определения сил взаимодействия при креплении резца на двух параллельных подвесах, смещенных в продольном направлении, становится статически неопределимой системой [5]. Контуры данной системы образуют элементы: «Диск – подвес передний – резец – подвес задний – диск». Это переводит задачу расчета образовавшейся рамы к трижды неопределимой системе.

В связи с отсутствием в литературе сведений по возможности и стабилизации резцов путем крепления их на двух подвесах и по механизму отклонения резца в точке сопротивления среды возникает необходимость проведения аналитического и экспериментального исследований силового взаимодействия резца при контакте с твердым полотном дороги.

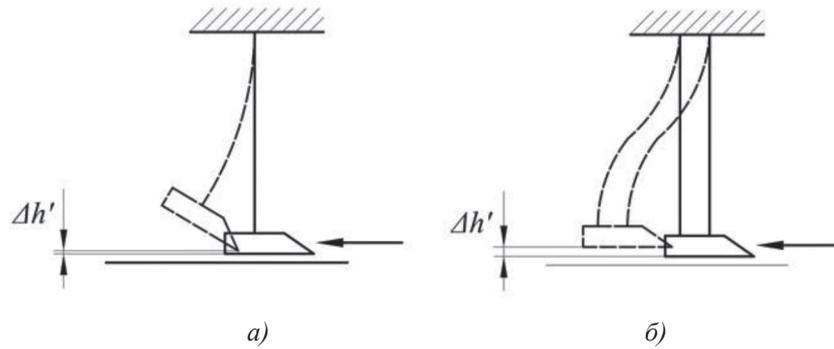
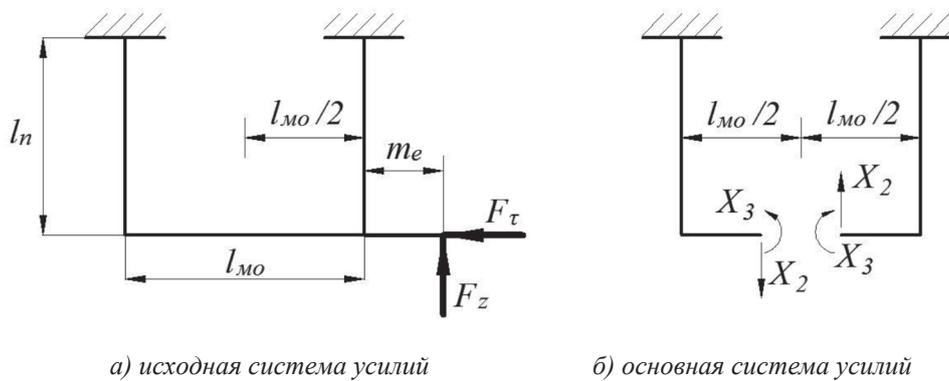


Рис. 1. Схемы отклонения подвеса при случайном контакте реза под действием суммарного с дорожным покрытием отклоняющего усилия



а) исходная система усилий

б) основная система усилий

Рис. 2. Схемы исходной и основной систем

### Цель исследования

Выполнение анализа смещения реза при совместном действии силы резания и реакции дорожного полотна. Оценка возможности стабилизации положения реза при его закреплении на двух параллельных упругих подвесах.

### Результаты исследования и их обсуждение

В процессе резания на резец действует внешняя нагрузка случайного контакта его с дорогой, которую можно разложить на две составляющие: силу резания  $F_\tau$ , направленную параллельно плоскости дорожного полотна, и его вертикальную реакцию  $F_z$ , направленную перпендикулярно плоскости дороги. Рассмотрим рис. 2, а, на котором представлена исходная система усилий.

Параметр  $m_e$  является вылетом режущей кромки лезвия относительно оси переднего подвеса.

Для расчета данной статически неопределимой системы нами выбрана основная система, освобожденная от дополнительных связей и представленная на схеме рис. 2, б.

В результате замены отброшенных связей силовыми факторами  $X_1, X_2, X_3$  система становится статически определяемой. Данные силовые факторы имеют следующие смыслы:  $X_1$  – неизвестное продольное усилие в резце;  $X_2$  – неизвестное поперечное усилие в резце;  $X_3$  – неизвестный изгибающий момент в резце.

Полученная статически определяемая система имеет 6 неизвестных, а степень статической неопределимости ее остается равной трем. Это позволяет составить три канонических уравнения системы, после решения которых путем раскрытия статической неопределимости методом сил [6] будут определены 3 неизвестных фактора.

В этом случае для трижды статически неопределимой системы система канонических уравнений метода сил примет вид

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1P} = 0, \quad (1)$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2P} = 0, \quad (2)$$

$$\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} = 0, \quad (3)$$

где  $\delta_{ik}$  – единичные коэффициенты канонических уравнений;  
 $\Delta_{iP}$  – грузовые коэффициенты канонических уравнений.

1-е уравнение приводит к нулю взаимное сближение или удаление среднего сечения резца (в плоскости симметрии системы).

2-е уравнение приводит к нулю взаимный сдвиг среднего сечения резца (в плоскости симметрии системы).

3-е уравнение приводит к нулю взаимный поворот среднего сечения резца (в плоскости симметрии системы).

Коэффициенты уравнений определяют способом Верещагина путем перемножения единичных и грузовых эпюр [7].

После определения единичных и грузовых коэффициентов нами получены следующие решения канонических уравнений:

$$X_1 = \frac{F_\tau}{2}, X_2 = -\frac{F_\tau \cdot l_n}{2l_{mo}}, X_3 = 0.$$

Это позволило получить следующие эпюры внутренних силовых факторов (рис. 3).

Уравнение изогнутой оси каната можно представить в виде момента  $M_x(z)$ :

$$M_x(z) = -\frac{F_\tau l_n}{4} + F_\tau z, \quad (4)$$

$$\int M_x dz = -\frac{F_\tau l_n}{4} z + \frac{F_\tau z^2}{4} + C. \quad (5)$$

При сохранении резца в плоскости резания угол поворота каната в заделке равен нулю, и постоянная величина интегрирования «С» также равна нулю ( $C = 0$ ).

После вторичного интегрирования получаем

$$\iint M_x dz = -\frac{F_\tau l_n z^2}{8} + \frac{F_\tau z^3}{12} + D. \quad (6)$$

Постоянная интегрирования «D» может быть определена из условия равенства нулю смещения каната в заделке ( $D = 0$ ).

Само смещение ( $\Delta$ ) как функция продольной координаты  $z$  определится выражением

$$\Delta = \frac{\iint M_x dz}{EJ_x} = \frac{2F_\tau z^3 - F_\tau l_n z^2}{24EJ_x}. \quad (7)$$

Следовательно, при  $z = l_n$  смещение резца равно

$$\Delta = \frac{2F_\tau l_n^3 - 3F_\tau l_n^3}{24EJ_x} = -\frac{F_\tau l_n^3}{24EJ_x}. \quad (8)$$

При условии использования в качестве материала подвесов троса (стального каната) диаметром 19 мм ГОСТ 3063-80 [8] величина смещения резца с рациональными геометрическими параметрами подвеса, закрепленного на двух продольных подвесах,  $\Delta_2$  снижается в 8 раз по сравнению с одноподвесной системой  $\Delta_1$ :

$$\Delta_2 = \frac{F_\tau l_n^3}{24EJ_x}, \quad (9)$$

$$\Delta_1 = \frac{F_\tau l_n^3}{3EJ_x}, \quad (10)$$

$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{F_\tau l_n^3 \cdot 3EJ_x}{24EJ_x \cdot F_\tau l_n^3} = \frac{1}{8}. \quad (11)$$

Выполнен расчет смещений резца при образовании изгибных усилий в подвесах от реакции дорожного покрытия (рис. 2, а) в точке контакта с резцом.

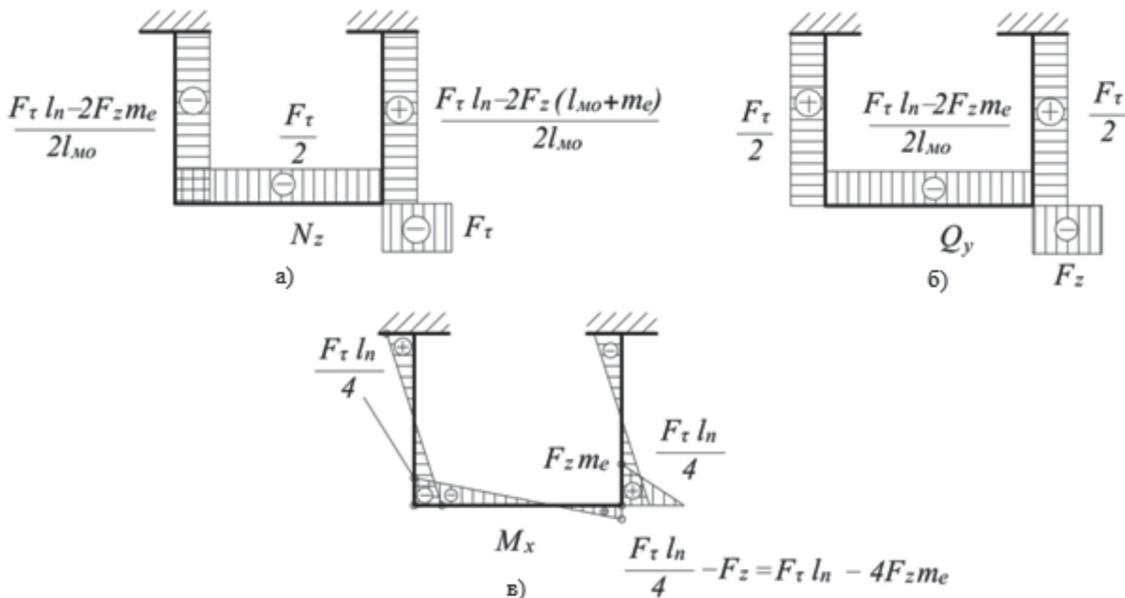


Рис. 3. Итоговые эпюры: продольных усилий (а), поперечных усилий (б) и изгибающих моментов (в)

Ввиду сохранения основной системы все единичные коэффициенты канонических уравнений не претерпят изменений, поэтому достаточно выполнить определение только трех грузовых коэффициентов, которые имеют значения

$$\Delta_{1P} = \frac{m_e F_z l_n \frac{l_n}{2}}{EJ_x} = \frac{m_e F_z l_n^2}{2EJ_x}, \quad (12)$$

$$\Delta_{2P} = -\frac{m_e F_z l_n \frac{l_{mo}}{2}}{EJ_x} = -\frac{m_e F_z l_n l_{mo}}{2EJ_x}, \quad (13)$$

$$\Delta_{3P} = \frac{m_e F_z l_n \cdot 1}{EJ_x} = \frac{m_e F_z l_n}{EJ_x}. \quad (14)$$

В итоге это дает следующие решения канонических уравнений:

$$X_1 = 0, \quad (15)$$

$$X_2 = \frac{m_e F_z l_n l_{mo}}{l_{mo}^2 l_n} = \frac{m_e F_z}{l_{mo}}, \quad (16)$$

$$X_3 = \frac{m_e F_z l_n^2}{2l_n^2} = \frac{m_e F_z}{2}. \quad (17)$$

В соответствии с уравнениями получены итоговые эпюры внутренних силовых факторов, показанных на рис. 3.

Анализируя полученные эпюры, можно заметить, что нормальная реакция дорожного полотна приводит к сжатию переднего подвеса усилием  $F_z \left(1 + \frac{m_e}{l_{mo}}\right)$  и растяжению заднего усилием  $\frac{m_e F_z}{l_{mo}}$ . При этом их значения по сравнению с усилиями деформации

изгиба ничтожно малы. Реакция дорожного полотна не вызывает изгиб подвесов, а приводит к плоскопараллельному смещению резаца.

Принцип независимости действия сил гласит, что совместное действие силы резания и нормальной реакции дорожного полотна определится алгебраической суммой каждой из внешних сил. Представим исходную систему, на которую воздействуют обе силы ( $F_\tau$ ,  $F_z$ ), схемой представленной на рис. 4.

Правильность раскрытия статической неопределенности подтверждает равновесие узла (×E), в котором сходятся 3 силовых участка (передний подвес – режущая кромка резаца – корпус резаца) (рис. 5).

$$\sum F_{ix} = 0; \frac{F_\tau}{2} + \frac{F_\tau}{2} - F_\tau = 0; \quad (18)$$

$$\sum F_{iy} = 0; \frac{F_\tau l_n - 2F_z (l_{mo} + m_e)}{2l_{mo}} + F_z - \frac{F_\tau l_n - 2m_e F_z}{2l_{mo}} = 0; \quad (19)$$

$$\sum M_E = 0; \frac{F_\tau l_n}{4} - \frac{F_\tau l_n - 4m_e F_z}{4} + F_z m_e = 0. \quad (20)$$

Поскольку в узле E устанавливается равновесие сил, то адекватность раскрытия статической неопределенности системы крепления резаца на двух подвесах правомерна. Кроме того, очевидно, что равноопасное сечение обоих подвесов в системе находится в верхней и нижней заделках.

В каждой из них изгибающий момент равен  $\frac{F_\tau l_n}{4}$ .

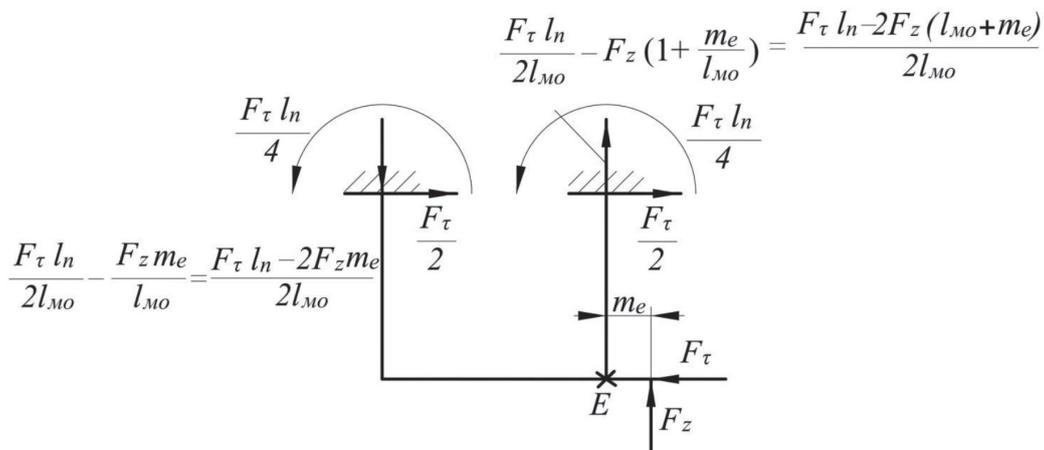


Рис. 4. Исходная система сил

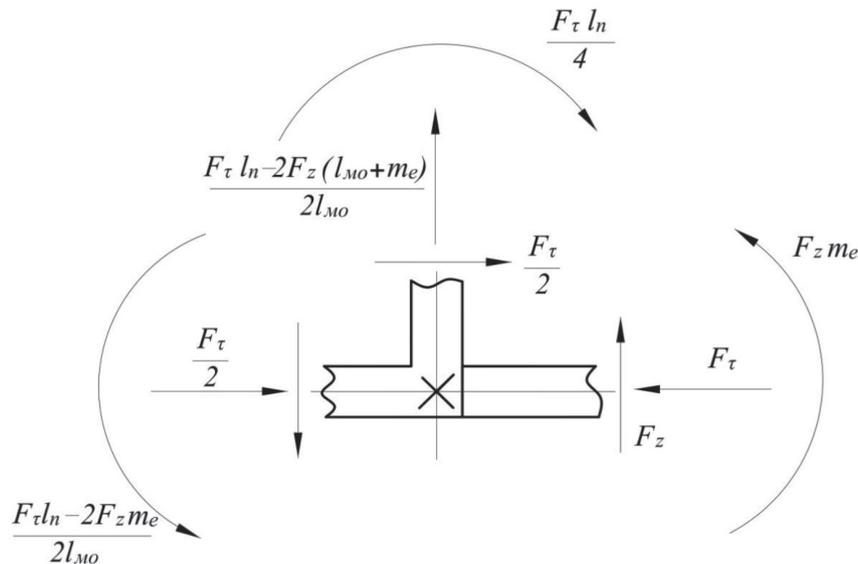


Рис. 5. Схема проверки адекватности раскрытия системы

Режущая способность резцов фрезы ограничена пределом текучести материала проволок каната  $\sigma_{\tau}$ . Тогда

$$\frac{F_{\tau} l_n}{4} = [\sigma_{\tau}] W_x, \quad (21)$$

$$F_{\tau} = \frac{4[\sigma_{\tau}] W_x}{l_n}. \quad (22)$$

Это определяет режущую способность для двухподвесного крепления резцов на диске фрезы.

При этом  $W_x$  каната будет равен

$$W_x = \frac{J_x}{D/2} = \frac{2J_x}{D}. \quad (23)$$

Стабилизация рабочего положения резца при резании подтверждена экспериментально при испытании рабочего макета торцевой фрезы диаметром диска 310 мм.

### Заключение

Исследованием характеристик подвеса резцов на двух параллельно смещенных канатах показано, что равноопасное сечение по обоим канатам находится в верхней и нижней заделках. Анализ смещения резцов показывает достижение стабилизации их положения при совместном воздействии усилий резания и реакции дорожного покрытия при контакте с дорогой в случае крепления резцов на двух параллельных подвесах. Увеличение смещения при этом не происходит, а действие вертикальной реакции приводит лишь к перераспределению сжимающих и растягивающих усилий в канатах подвеса.

са. Резец претерпевает плоскопараллельное смещение, сохраняя режущее положение относительно плоскости очищаемого дорожного полотна, что подтверждено испытаниями опытного макета торцевой фрезы.

### Список литературы

1. Ганжа В.А. Обоснование конструкции и основных параметров дискового режущего инструмента для разрушения снежно-ледяных образований: дис. ... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2011. – 185 с.
2. Пат. 91343 Российская Федерация, МПК E01H 5/12 (2006.01). Устройство для удаления снежно-ледяных образований с дорожных покрытий / Т.В. Жубрина; заявитель и патентообладатель Жубрина Татьяна Владимировна. – № 2008128856/22, заявл. 14.07.2008; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 4. – 3 с.
3. Горшков А.С. Определение параметров торцевой фрезы для очистки дорог [Электронный ресурс] / А.С. Горшков, В.Ф. Кулепов, И.С. Никандров, А.Л. Малыгин, А.Д. Шурашов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. URL: <http://www.science-education.ru/119-14651> (дата обращения: 16.03.2018).
4. Горшков А.С. Расчет подвесов режущих элементов торцевой фрезы для очистки прибордюрных зон улиц / А.С. Горшков, В.Ф. Кулепов // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сборник статей Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 55–58.
5. Строительная механика: учебное пособие для строительных специальностей вузов / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович и В.И. Игнатюк; кол. авт. Белорусский национальный технический университет. – Изд. 2-е, перераб. – Минск: БНТУ, 2009. – 756 с.
6. Краткий курс сопротивления материалов: учеб. пособие / А.Н. Дербасов [и др.]; под ред. Н.А. Ильичева; Новгород, гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014. – 86 с.
7. Энергетические методы определения перемещений и решение статически неопределимых балок методом сил: учеб. пособие для студентов / И.А. Сабанаев, Ф.М. Алмакаева. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2008. – 41 с.
8. ГОСТ 3063-80. Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1x19 (1+6+12). Сортамент. – М.: ИПК издательство стандартов, 1996. – 5 с.

УДК 69.059.14: 69.059.22

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОЩАДКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ

**Локтев Д.А., Рожков А.Ф., Коренчук В.В., Лях Н.И., Белова Н.В.**

*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: sngv@mail.ru*

Рассмотрен практический случай экспертизы аварийного состояния металлической площадки обслуживания, в которой отказ узла соединения консольной балки площадки с железобетонной колонной сооружения привел к ее обрушению. Установлено, что основной причиной обрушения стало преждевременное исчерпание несущей способности закладной детали железобетонной колонны сооружения (разрыв анкерных стержней закладной детали). В ходе технического анализа были проработаны варианты эксплуатации площадки по проекту и по факту на момент обрушения. Для этого были выявлены основные качественные и количественные отклонения конструктивного решения элементов площадки обслуживания от проекта, такие как отсутствие подкосов – ошибка изготовления или монтажа; непроектное положение анкерных стержней закладной детали – ошибка ее изготовления. С применением метода конечных элементов выполнено моделирование различного состояния площадки обслуживания: аварийного (моделирование ошибок) и проектное (без ошибок). В результате моделирования и расчета установлены наиболее нагруженные анкерные стержни закладной детали. Выполнен расчет несущей способности анкерных стержней. На основе полученных данных определены: причины обрушения площадки обслуживания сооружения и степень влияния отклонений конструктивного решения площадки от проекта на ее несущую способность.

**Ключевые слова:** аварийное состояние, площадка обслуживания, обрушение, моделирование, ошибка монтажа, ошибка эксплуатации, ошибка изготовления

## MODELING AND ANALYSIS EMERGENCY CONDITION OF THE SERVICE PLATFORM CONSTRUCTION

**Loktev D.A., Rozhkov A.F., Korenchuk V.V., Lyakh N.I., Belova N.V.**

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: sngv@mail.ru*

The practical case of examination of the emergency condition of the metal service platform, in which the failure of the junction of the cantilever beam platform with reinforced concrete column structures led to its collapse. It was found that the main cause of the collapse was premature exhaustion of the bearing capacity of the embedded part of the reinforced concrete column of the structure (rupture of the anchor rods of the embedded part). In the course of the technical analysis, the options for operating the site for the project and for the fact at the time of collapse were worked out. For this purpose, the main qualitative and quantitative deviations of the constructive solution of the service site elements from the project were identified, such as: the absence of struts – a manufacturing or assembly error; the non-project position of the anchor rods of the embedded part – the error of its manufacture. Using the method of finite element modeling of different States of service platforms: security (simulation error) and project (without errors). The simulation and calculation of the most loaded anchor studs of a fixture. The calculation of bearing capacity of anchor rods. On the basis of obtained data determined: causes of the collapse of the maintenance area buildings and the degree of influence of deviations of the constructive solutions of the sites of the project at its carrying capacity.

**Keywords:** emergency condition, service platform, failure, modeling, installation error, operational error, error of manufacture

В практике обследования и экспертизы технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений регулярно встречаются случаи аварийного и ограниченно работоспособного (предаварийного) состояния строительных конструкций, несущая способность которых или уже исчерпана, или близка к своему исчерпанию. Своевременные меры по восстановлению несущей способности аварийных конструкций позволяют существенно снизить затраты на эксплуатацию всего здания или сооружения, а главное, не допустить угрозу жизни и здоровья людей [1, 2].

При обследовании строительных конструкций фиксируются первоначальные (непроектное положение и соединение, отсутствие элементов, сниженное качество

материалов и др.) и постепенные накопления дефектов и повреждений (трещины, сколы, коррозия и др.), что в ряде случаев усложняет поверочные методы расчета этих конструкций, которые могли бы отразить их фактическую несущую способность. Поэтому перед инженерами ставится непростая задача: смоделировать расчетом аварийное состояние строительных конструкций таким образом, чтобы оно соответствовало фактическому аварийному состоянию, и предложить корректные меры по восстановлению их несущей способности.

В данной статье анализируется один из случаев аварийного состояния строительных конструкций площадки обслуживания сооружения, отказ закладной детали которой привел к ее обрушению.

Цель статьи заключается в моделировании работы закладной детали железобетонной колонны и установлении причин истощения ее несущей способности.

Для достижения цели требуется:

1. Установить метод расчета, отражающий все особенности работы конструкций.
2. Выполнить моделирование расчетных случаев.
3. Установить причины истощения несущей способности конструкции.

Конструктивное решение площадки представляет собой металлическую балочную клетку шириной до 2 м, расположенную вдоль сооружения, которая крепится

к каждой колонне через закладную деталь МН и металлический подкос П1 (рис. 1, 2).

Установленные начальные отклонения рассматриваемой конструкции от проекта:

- 1) отсутствие подкосов П1 – ошибка эксплуатации или монтажа;
- 2) непроектное положение анкерных стержней закладной детали МН (рис. 3, разрез 2–2) – ошибка изготовления.

Перед инженерами стояла задача рассмотрения совместного и отдельного влияний отклонений 1 и 2, а также их отсутствия (соответствие проекту) на несущую способность всей площадки обслуживания.

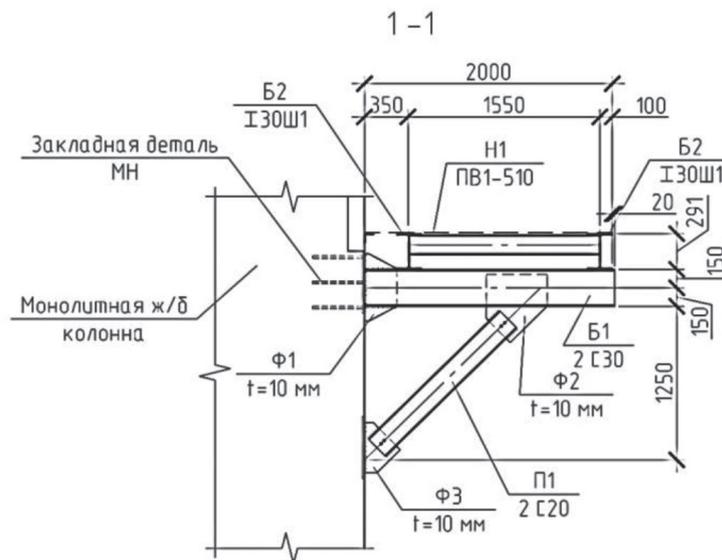


Рис. 1. Поперечный разрез и маркировка элементов площадки

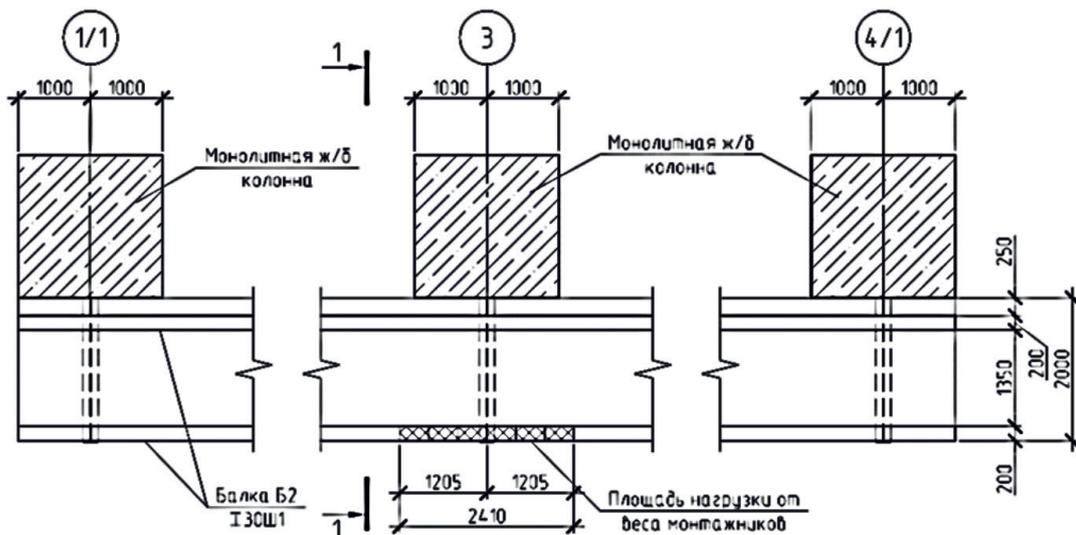


Рис. 2. Схема расположения элементов площадки и нагрузки от веса монтажников



Нагрузки на схему прикладывали в соответствии с табл. 1. Нагрузку от веса монтажников суммарной величиной 7,2 кН распределили по длине 2,41 м интенсивностью 2,99 кН/м. Нагрузку от настила и от ограждения прикладывали по пролетным балкам площадки в виде равномерно-распределенной нагрузки по длине соответствующей величины.

Расчет НДС элементов площадки выполнен с использованием программного комплекса (ПК) SCAD.

Для расчета элементов площадки в условиях, приближенных к реальным, часть элементов задавали с помощью оболочечных элементов (КЭ оболочки, тип 44), а именно (маркировка приведена в соответствии с рис. 1): закладная деталь МН, консольная балка Б1, пластины Ф1, Ф2, Ф3. Остальные элементы площадки заданы стержневыми конечными элементами (рис. 4).

Физическую нелинейность работы материалов в расчете не учитывали. Геометрическую нелинейность учитывали для контактного взаимодействия пластины закладной детали МН с телом колонны.

Фактическое расположение элементов исследуемого узла, толщины пластин, а также номер профиля швеллера были приняты на основании предоставленной проектной документации.

Сетка конечных элементов закладной детали МН построена таким образом, чтобы учесть предполагаемое проектом расположение анкерных стержней (рис. 5).

Закрепление расчетной схемы в пространстве выполнено на концах анкерных стержней закладной пластины МН через шарнирно-неподвижные связи (направление вдоль X, Y, Z), а в узлах соединения анкерных стержней с пластиной задавали шарнирно-подвижные связи (по направлению вдоль X, Z – закрепляли, по Y – освобождали). Подкосы закрепили через узлы пластины Ф3 по всей высоте (через жесткие связи).

Контактное взаимодействие пластины закладной детали МН с бетоном колонны решали через односторонние связи, жесткость которых на растяжение принимали нулевой (имитация свободного отрыва пластины от поверхности колонны), а жесткость на сжатие принимали эквивалентной жесткости на сжатие бетона В25 колонны.

Силу трения закладной детали МН с телом колонны не учитывали.

Результаты расчета усилий, действующих в наиболее нагруженных анкерных стержнях закладной детали МН, расположенной в оси «3», отражены в табл. 2. Расчетом учтены проектное и фактическое расположение анкерных стержней, а также присутствие и отсутствие подкосов П1 площадки обслуживания. Нумерация анкеров приведена в соответствии с рис. 3.

В табл. 2, 3 выделены подчеркиванием те анкерные стержни, внутренние усилия в которых превышают максимально допустимые исходя из расчета анкерных стержней по несущей способности в соответствии с формулами (6), (7), (9) [5].

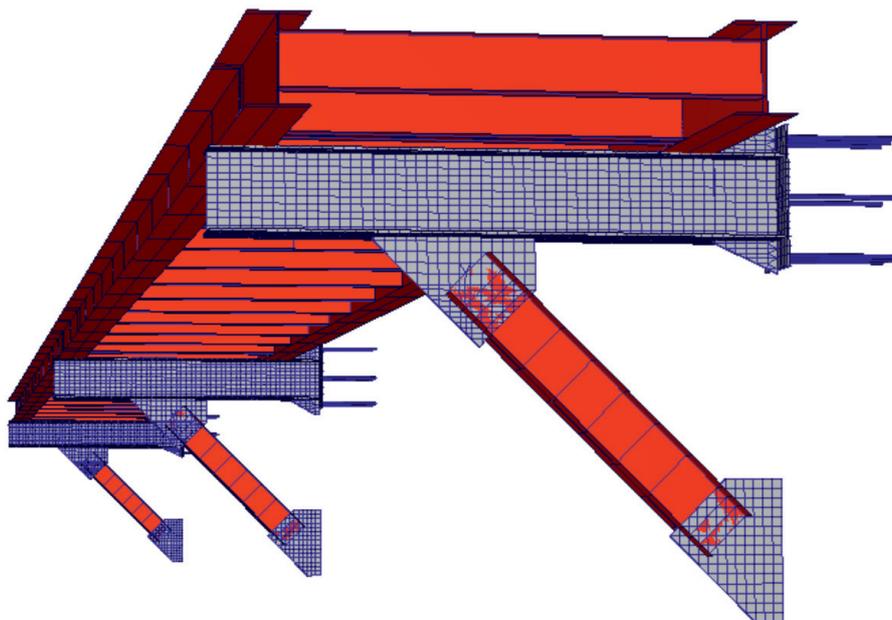


Рис. 4. Расчетная схема площадки с установленными подкосами

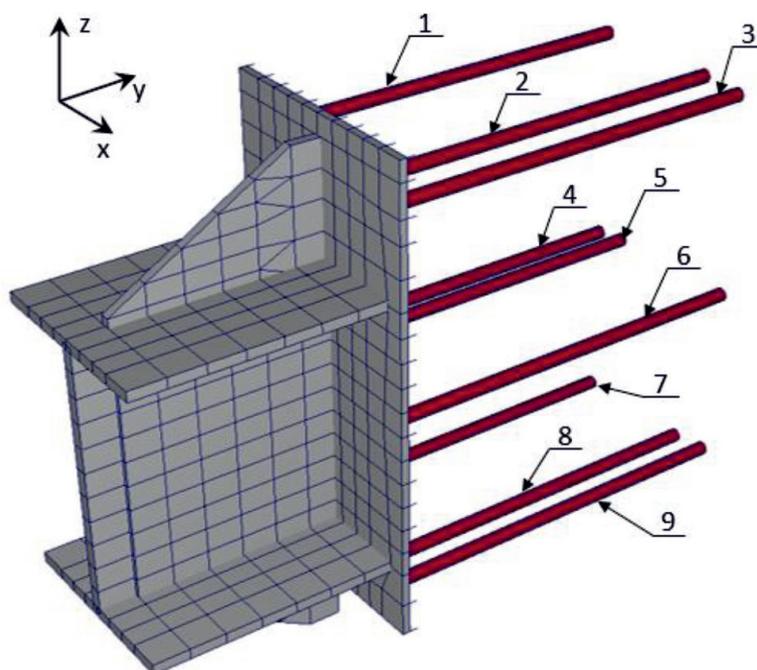


Рис. 5. Расчетная схема узла крепления консоли с фактическим положением арматурных стержней 1...9

Таблица 2

Результаты расчетов внутренних усилий в стержнях закладной детали МН

№ анк. стержня	Площадка с подкосами П1		Площадка без подкосов П1	
	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (факт.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (факт.)
1	0,316 / 0,054	0,403 / 0,088	2,221 / 0,086	3,386 / 0,603
2	1,218 / 0,153	0,679 / 0,179	<b>6,457 / 2,309</b>	<b>5,964 / 1,354</b>
3	0,316 / 0,054	0,136 / 0,04	2,221 / 0,086	1,038 / 0,237

Примечание. Все значения внутренних усилий даны по модулю.

Таблица 3

Результаты расчетов внутренних усилий в стержнях закладной детали МН без учета стержней № 2

№ анк. стержня	Площадка с подкосами П1		Площадка без подкосов П1	
	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (факт.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)
1	0,55 /	0,44 /	4,81 / 0,41	4,76 / 0,4
2	–	–	–	–
3	0,55 /	0,45 /	4,81 / 0,41	<b>4,98 / 0,47</b>

Примечание. Все значения внутренних усилий даны по модулю.

Анализ полученных результатов показал, что несущая способность анкерных стержней № 2 (а следовательно, и всей площадки обслуживания) при моделировании отсутствия подкосов не обеспечена. Отмечено, что стержень № 2 при фактическом расположении стержней в закладной детали

МН по сравнению с проектным расположением нагружен больше в 1,8 раза при исполнении с площадки подкосами и в 1,08 раза при исполнении без подкосов. Это обусловлено тем, что стержень № 2 при проектном расположении стержней в закладной детали МН установлен напротив верхнего ре-

бра жесткости  $\Phi 1$ , которое сосредотачивает изгибающий момент во всем узле, прежде всего на близлежащие стержни.

Исчерпание несущей способности узла площадки при варианте без подкосов наступает в стержнях № 2. Следующим этапом было моделирование работы площадки без учета этих стержней. Результаты представлены в табл. 3.

Анализ полученных результатов варианта площадки без подкосов показал, что отсутствие стержней № 2 распределило внутренние усилия на стержни № 1 и 3, а именно: в стержнях № 1 и 3 при проектном исполнении МН усилие возросло в 2,17 раза, при фактическом исполнении МН в стержне № 1 усилие возросло в 1,41, в № 3 в 4,8 раза. Заметим, что несущая способность стержней № 1 и 3, за счет более равномерного распределения внутренних усилий между ними, оказалась достаточной, чтобы площадка обслуживания продолжила эксплуатацию без подкосов.

### Выводы

1. Отсутствие подкосов на площадке обслуживания как вид № 1 отступления от правил эксплуатации или монтажа вызва-

ло преждевременное исчерпание наиболее нагруженных анкерных стержней № 2 в закладной детали МН.

2. Исчерпание несущей способности анкерных стержней № 2 ведет к исчерпанию несущей способности площадки обслуживания только в том случае, если имеет место вид № 2 отступления от проекта – не проектное положение анкерных стержней закладной детали МН.

### Список литературы

1. Шеин А.И. Некоторые причины отказа строительных конструкций / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – № 6(37). – С. 88.
2. Гукова М.И. Ошибки проектирования, изготовления и монтажа, приводящие к аварийному состоянию строительных конструкций производственных зданий и сооружений / М.И. Гукова, В.Г. Искендеров, М.И. Фарфель // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 10. – С. 25–28.
3. Свод правил: СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – М.: Минрегион России, 2011. – 125 с.
4. Свод правил: СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-23-81\*. – М.: Стандартинформ, 2017. – 145 с.
5. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1984. – 86 с.

УДК 681.518:004.89

**РАСПОЗНАВАНИЕ СИТУАЦИЙ И ОЦЕНКА РИСКОВ В ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД»****<sup>1</sup>Марьенков А.Н., <sup>2</sup>Выборнова О.Н., <sup>1</sup>Досмухамедов Б.Р.**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», Астрахань,  
*e-mail: MarenkovANI7@gmail.com, bulat@doslab.ru;*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань,  
*e-mail: olga.vyb.90@gmail.com*

В настоящей статье авторами представлен подход к созданию системы распознавания ситуаций и оценки рисков для информационной среды аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» с учетом имеющихся рекомендаций по его построению и развитию. Выявлены основные недостатки и проблемы подсистем мониторинга и наблюдения (большой объем данных, большое количество объектов наблюдения). Проанализированы современные интеллектуальные системы видеонаблюдения и их возможности с точки зрения предварительной интеллектуальной обработки данных. Разработан подход к распознаванию опасных ситуаций с помощью механизмов интеллектуального анализа данных в рамках аппаратно-программного комплекса «Безопасный город», позволяющий снизить влияние существующих недостатков систем наблюдения. Представлена математическая модель оценки рисков, которые несет происшествие с точки зрения безопасного функционирования города как единой системы. Предложенный подход может быть использован при внедрении системы обеспечения общественной безопасности и правопорядка в рамках мероприятий по развитию и внедрению аппаратно-программного комплекса «Безопасный город». Интеллектуальная система обработки данных строится в несколько этапов и предоставляет лицу, принимающему решения, результат в виде конкретной описанной ситуации и предварительной оценки рисков.

**Ключевые слова:** «Безопасный город», опасная ситуация, распознавание ситуаций, оценка рисков**RECOGNITION OF SITUATIONS AND RISK ASSESSMENT  
IN THE SINGLE INFORMATION ENVIRONMENT OF THE HARDWARE  
AND SOFTWARE COMPLEX «SAFE CITY»****<sup>1</sup>Marenkov A.N., <sup>2</sup>Vybornova O.N., <sup>1</sup>Dosmukhamedov B.R.**<sup>1</sup>*Federal State-funded Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State University»,  
Astrakhan, e-mail: MarenkovANI7@gmail.com, bulat@doslab.ru;*<sup>2</sup>*Federal State-funded Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical  
University», Astrakhan, e-mail: olga.vyb.90@gmail.com*

In this article, the authors presented an approach to the creation of a system for recognizing situations and assessing risks for the information environment of the hardware-software complex «Safe City», based on available recommendations for its construction and development. The main shortcomings and problems of the monitoring and observation subsystems have been identified. The modern intelligent video surveillance systems and their capabilities are analyzed from the point of view of preliminary intellectual data processing. An approach to the recognition of dangerous situations with the help of mechanisms of data mining within the hardware-software complex «Safe City» has been developed, which makes it possible to reduce the influence of existing deficiencies in surveillance systems. A mathematical model is presented for assessment of risks caused by the incident from the point of view of the safe functioning of the city as a unified system. The offered approach can be used at introduction of public safety and legal order system within the actions for development and introduction of hardware-software complex «Safe city». The intelligent data processing system is built in several stages and provides the decision maker with the result in the form of a specific described situation and a preliminary risk assessment.

**Keywords:** «Safe City», dangerous situation, recognition of the situation, risk assessment

Единая информационная среда аппаратно-программного комплекса (АПК) «Безопасный город» призвана создать условия для взаимодействия служб, ответственных за обеспечение как общественного порядка, так и природно-техногенной безопасности, помогать вовремя реагировать на опасные сигналы, поступающие от граждан, или выявлять их самостоятельно, используя имеющиеся в ней подсистемы мониторинга и контроля. Эти системы

передают информацию в дежурно-диспетчерские службы для анализа и оценки обстановки, по результатам которых делается вывод о наличии или отсутствии опасных сигналов.

Внедрение системы обеспечения общественной безопасности и правопорядка (в том числе систем интеллектуального видеонаблюдения) является одной из первоочередных задач в рамках мероприятий по развитию и внедрения аппарат-

но-программного комплекса «Безопасный город» [1].

При этом большое количество информации, поступающей от подсистем мониторинга, особенно видеоизображений, не позволяет оператору обрабатывать весь поток данных достаточно быстро и качественно, что снижает общую эффективность системы наблюдения. Другим важным параметром, влияющим на работу оператора, может быть его психофизическое состояние [2]. Также стоит отметить, что системы видеонаблюдения могут быть полезны при расследовании уже случившегося происшествия, но малоэффективны как средство предотвращения подобных инцидентов. Выделяют следующие основные недостатки систем видеонаблюдения [3]:

- большой объем обрабатываемых данных (количество камер в городе исчисляется тысячами);
- изображение с камеры наблюдения может содержать большое количество объектов.

В этой связи актуальной **задачей** является разработка интеллектуальных систем для предварительной обработки поступающих данных, с целью выявления потенциально опасных ситуаций, на которые необходимо обратить внимание оператора.

**Цель:** представить подход к созданию системы распознавания ситуаций и оценки рисков для АПК «Безопасный город».

#### *Решение задачи*

Для создания интеллектуальной системы предварительной обработки данных, поступающих от систем наблюдения, могут быть использованы механизмы поиска взаимосвязей в больших массивах данных (Data Mining) [4]. В этом подходе предлагается с помощью механизмов интеллектуального анализа данных решать задачи классификации и кластеризации объектов (человек, группа людей, транспорт и т.д.), выявлять часто встречающиеся совместно наборы объектов на основе анализа множества повторяющихся событий (зная, при каких условиях наиболее часто совершаются преступления, можно принять меры для их предотвращения).

Предварительная обработка данных, поступающих от систем мониторинга, может быть полезна для обнаружения объектов или потенциально опасных ситуаций [4]:

- распознавание оставленных предметов (сумки, коробки и др.);
- распознавание лиц;
- проникновение в «закрытую» зону и выход из нее;

- появление объекта в кадре;
- изменение сцен и др.

Помимо распознавания и классификации объектов видеонаблюдения, современные интеллектуальные системы видеонаблюдения позволяют отслеживать перемещение объекта видеонаблюдения. С помощью предварительного видеоанализа также решаются такие задачи охраны и контроля объектов видеонаблюдения, как [5]:

- определение интенсивности потока в определенной зоне;
- подсчет объектов видеонаблюдения;
- отслеживание путей объектов видеонаблюдения (например, маршрут движения нарушителя).

После обнаружения объектов и потенциально опасных ситуаций важно оценить риски, которые несет происшествие с точки зрения безопасного функционирования города как единой системы. Система распознавания ситуаций и оценки рисков для информационной среды аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» должна не только выявлять подозрительные объекты и отдельные опасные события или процессы, но и оценивать возможные последствия для города в целом.

Рассмотрим задачу распознавания опасной ситуации с помощью механизмов интеллектуального анализа данных в рамках аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» более подробно. Поскольку на первом этапе поступают данные от подсистем мониторинга в необработанном виде (видеопоток, данные с датчиков и другие сигналы), необходимо произвести предварительную обработку поступивших данных с целью поиска на изображении различных объектов: людей, автомобилей, сумок и т.д., а также событий или процессов, которые могут привести к опасности: пересечение линии, скопление людей и т.п. В связи с тем, что в дежурно-диспетчерские службы информация о происшествиях может поступать от граждан, в качестве первичных данных также могут быть использованы эти сообщения (*Z*). В качестве средств распознавания предлагается использовать системы интеллектуального видеонаблюдения, собирающие и обрабатывающие первичную информацию, например нейронные сети, осуществляющие поиск и распознавание объектов на изображении. Стоит отметить, что на данном этапе интересны любые объекты, попавшие в систему мониторинга, даже те, которые, на первый взгляд, не представляют опасности. Таким образом, в результате первичного анали-

за имеем некоторые множества объектов ( $O$ ) и потенциально опасных событий или процессов ( $S$ ).

$$O = F_o(V, P, Z),$$

$$S = F_c(V, P, Z),$$

где  $V$  – первичные данные, поступающие от видеокamer;

$P$  – первичные данные, поступающие от различных датчиков (датчики температуры, задымления и др.);

$Z$  – сообщения, поступающие от граждан (например, звонки дежурному о подозрительном скоплении людей);

$F_o$  – функция распознавания объектов;

$F_c$  – функция распознавания простейших ситуаций.

Далее полученные данные анализируются с точки зрения возникновения опасной ситуации. На данном этапе выявленные объекты ( $O$ ) и потенциально опасные события или процессы ( $S$ ) оцениваются относительно той местности, где они были обнаружены: район, парк, опасный перекресток, вокзал и т.п. – с целью поиска потенциально опасных ситуаций, присущих данному месту (обозначим информацию о местности через  $M$ ).

Таким образом, после обработки данных имеем некоторое распознанное множество объектов ( $O_i$ ) и потенциально опасных событий или процессов ( $S_i$ ), описывающих текущую общую ситуацию ( $U$ ) для местности ( $M_i$ ), в которой происходит сбор данных:

$$U = \langle O_i, S_i, M_i \rangle.$$

В качестве интеллектуальной подсистемы анализа текущей ситуации может служить продукционная база правил, содержащая в себе описание некоторых объектов, опасных событий и процессов, которые могут привести к опасности с учетом местности, в которой проводятся наблюдения [6]. База правил ( $B$ ) может быть описана следующим кортежем:

$$B = \langle O', S', M', X, Y \rangle,$$

где  $O'$  – множество объектов;

$S'$  – множество опасных событий или процессов;

$M'$  – информация о местоположении;

$X$  – множество условий;

$Y$  – множество действий.

Поиск опасных ситуаций в общем виде может быть представлен следующим образом:

если  $\exists b, b \in B$  и  $X(U, b)$ , то  $y$ , где  $y \in Y$ .

То есть если в базе правил существует такое правило  $b$ , которое применимо к текущей ситуации  $U$ , то в результате имеем на выходе некоторый частный результат  $y$ , содержащий в себе информацию об опасности или безопасности наблюдаемой ситуации.

Использование продукционных баз правил имеет ряд достоинств:

- простота создания, пополнения, модификации и понимания правил;

- простота механизма логического вывода;

- возможность параллельной и асинхронной обработки правил.

При проектировании продукционной базы правил важно понимать, что система распознавания опасных ситуаций будет функционировать в условиях неопределённости, из-за влияния антропогенного фактора, так как в процессе распознавания ситуации человек может являться непосредственным участником или причиной данной ситуации. Неопределенность обусловлена незнанием закономерностей протекания процессов ввиду их сложности и малоизученности. В этих условиях наиболее удобным математическим аппаратом для описания и исследования подобных систем может быть нечеткое когнитивное моделирование, которое позволяет формализовать численно неизмеримые факторы, использовать неполную, нечеткую и даже противоречивую информацию [7].

Кроме этого, можно выделить следующие преимущества нечетких систем [8]:

- возможность оперировать нечеткими данными (значения, которые невозможно задать однозначно);

- возможность формулировать критерии оценки в нечетком виде;

- возможность проведения качественных оценок входных данных и выходных результатов;

- возможность проведения сравнительного анализа сложных динамических систем с заданной степенью точности.

После проведения анализа текущей ситуации система делает выводы о наличии или отсутствии опасности. В случае обнаружения опасности необходимо оценить риски, которые несет данная опасная ситуация. Для этого необходимо выявить угрозы, которым могут быть подвергнуты объекты на рассматриваемой местности  $M_i$  в результате возникновения данной опасной ситуации. Затем следует оценить величины ущербов и вероятности их причинения со стороны всех угроз, которые возможны в данной ситуации, с учетом предпринятых защитных мер.

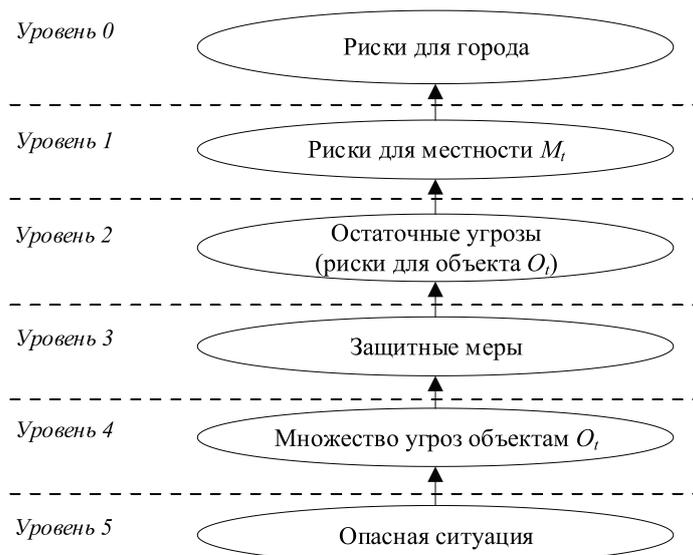


Рис. 1. Уровни графа  $G$  оценки рисков

Для оценки рисков предлагается использовать математическую модель, представленную коротжем:

$$RSK = \langle G, Q, \alpha, R \rangle,$$

где  $G$  – граф, отражающий взаимосвязь основных концептов, участвующих в оценке рисков (рис. 1);

$Q$  – множество оценок значений параметров (показателей ущерба и вероятности);

$\alpha$  – множество весов ребер графа  $G$ ;

$R$  – множество правил агрегирования влияния различных концептов нижнего уровня на концепт верхнего уровня [9, 10].

На нижнем, 5-м уровне располагаются концепты, отражающие характеристики опасной ситуации. Каждая опасная ситуация в общем случае может порождать множество угроз объектам. Концепты, отражающие вероятность и потенциальный ущерб от возникновения угроз, находятся на 4-м уровне. На 3-м уровне располагаются концепты, отражающие эффективность принятых защитных мер. 2-й уровень иерархии отражает риски для объектов (остаточные после воздействия защитных мер показатели вероятности и ущерба). Концепты предпоследнего, первого, уровня отражают риски для местности ( $M_i$ ), в которой происходит сбор данных. При этом каждая  $M_i$  имеет разную степень важности для безопасности города в целом. На нулевом уровне расположены риски для города в целом.

По результатам оценки каждая опасная ситуация будет представлена множеством пар чисел (ущерб; вероятность), характе-

ризующих риски нарушения безопасности города в целом.

Далее информация о ситуации, а также результаты оценки рисков передаются лицу, принимающему решение (ЛПР), для выработки управленческих решений.

Как было отмечено выше, одна опасная ситуация может породить целую гамму угроз с различными показателями ущерба и вероятности их возникновения. В итоге может получиться, что одному и тому же значению возможного ущерба соответствуют разные вероятности. На первый взгляд может показаться, что в таком случае, с целью сокращения количества вычислений, на 4-м и 2-м уровнях модели можно выбрать для каждого ущерба максимальное значение вероятности его возникновения и в дальнейших вычислениях использовать только их. Однако такое «отсеивание» некорректно, поскольку, во-первых, может исказиться результат оценки рисков на верхних уровнях модели, а во-вторых, ЛПР будет обладать неполной информацией об опасной ситуации, что повлияет на правильность принимаемых им решений. Не учитывать в процессе оценки и последующей выработки управленческих решений целесообразно лишь угрозы, показатели ущерба и (или) вероятности которых незначимы для ЛПР (т.е. ущербы и вероятности, не превышающие заранее заданное минимальное значение, принимаемое ЛПР во внимание).

Алгоритм распознавания ситуаций и оценки рисков для информационной среды аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» представлен на рис. 2.

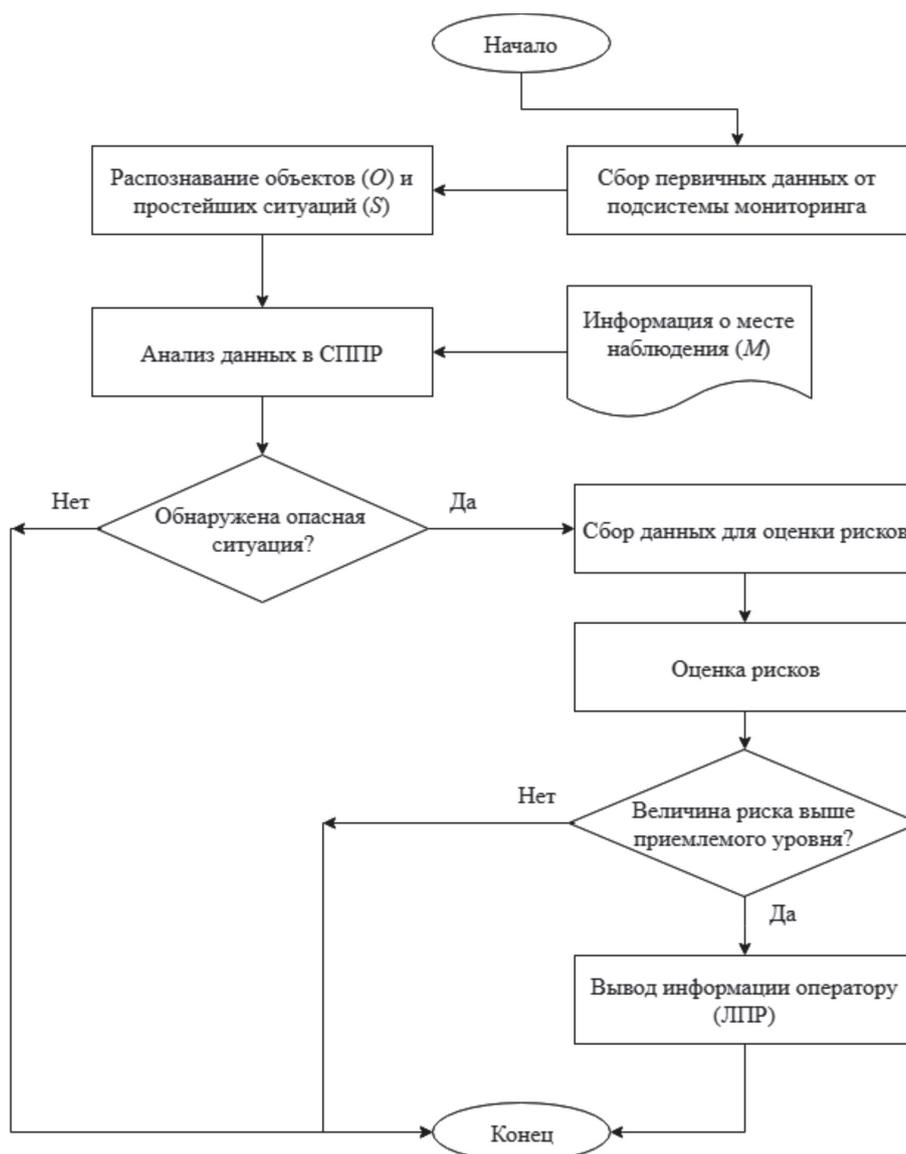


Рис. 2. Алгоритм распознавания ситуаций и оценки рисков

### Заключение

Таким образом, представлен подход к созданию системы распознавания ситуаций и оценки рисков для информационной среды аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» с учетом имеющихся рекомендаций по его построению и развитию. Система строится на основе интеллектуальных методов, реализует процесс распознавания и оценки рисков в несколько этапов и предоставляет результат ЛПР в виде конкретной описанной ситуации и предварительной оценки рисков, что позволит повысить качество работы подсистем мониторинга и уменьшить время реагирования на опасные ситуации.

### Список литературы

1. Методические рекомендации по построению и развитию АПК «Безопасный город» в субъектах Российской Федерации от 08 декабря 2016 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/document\\_file/ne7XCJAFMN.pdf](http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/ne7XCJAFMN.pdf) (дата обращения: 15.01.2018).
2. Савельев А.Н. Повышение достоверности первичных источников информации в социотехнических системах / А.Н. Савельев, Д.Ю. Учаев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 4. – С. 29–35.
3. Дуленко В.А. Анализ подходов к обеспечению безопасности на городских территориальных объектах в рамках реализации Концепции «Безопасный город» / В.А. Дуленко, В.А. Пестриков // Вестник ВЭГУ. – 2011. – № 4 (54). – С. 22–27.
4. Бокова О.И. К вопросу о внедрении механизмов интеллектуального анализа в информационную среду АПК

«Безопасный город» / О.И. Бокова, В.С. Дунин, Н.С. Хохлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. – 2015. – № 4 (11). – С. 18 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2015/12/BokovaSoavtori\\_4\\_15\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2015/12/BokovaSoavtori_4_15_1.pdf) (дата обращения: 15.01.2018).

5. Рыжова В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности: учебное пособие / В.А. Рыжова. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 157 с.

6. Долинина О.Н. Формальные модели структурных ошибок в базах знаний интеллектуальных систем / О.Н. Долинина, Н.К. Сучкова, А.Ф. Резчиков // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 7–11.

7. Ажмухамедов И.М. Синтез управляющих решений в слабо структурированных плохо формализуемых социотехнических системах / И.М. Ажмухамедов // Управление большими системами: сборник трудов – 2013. – № 42. – С. 29–54.

8. Ажмухамедов И.М. Программная реализация вычислений с нечеткими числами / И.М. Ажмухамедов, Н.А. Колесова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 68–73.

9. Ажмухамедов И.М. Введение метрических характеристик для решения задачи оценки и управления рисками / И.М. Ажмухамедов, О.Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4 (32). – С. 10–22.

10. Выборнова О.Н. Оценка информационных рисков на основе экспертной информации (на примере ГБУЗ АО «Центр медицинской профилактики») / О.Н. Выборнова, Н.В. Давидюк, К.Л. Кравченко // Инженерный вестник Дона. – 2016. – Т. 43, № 4 (43). – С. 86. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3840> (дата обращения: 15.01.2018).

УДК 621.771.014.2:665.765

## УДАРНОЕ РАЗРУШЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД31 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОКАТКИ В ВИНТООБРАЗНЫХ ВАЛКАХ

<sup>1</sup>Машеков С.А., <sup>1</sup>Нугман Е.З., <sup>1</sup>Тусупкалиева Э.А., <sup>2</sup>Машекова А.С., <sup>1</sup>Мауленова М.Р.

<sup>1</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, e-mail: mashekov.1957@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Назарбаев университет, Астана, e-mail: aigerim.mashekova@nu.edu.kz*

В настоящее время разработаны новые способы интенсивной пластической деформации (ИПД), позволяющие путем глубокой фрагментации зерен получить новую нанокристаллическую структуру с высокими прочностными свойствами. Установлено, что известными способами ИПД трудно изготовить листовой прокат с нанозернистой структурой. Поэтому в работе для получения высококачественных листовых заготовок с нанокристаллической структурой, без значительных изменений их размеров, предлагается инструмент, имеющий валки с винтообразными рабочими поверхностями, а для прокатки полос из данных заготовок пятиклетевой продольно-клиновый стан. Особое внимание уделено анализу влияния рациональных режимов прокатки в винтообразных валках и продольно-клиновом стане (ПКС) на формирование наноструктур в алюминиевом сплаве АД31. Используя рациональную технологию, в алюминиевом сплаве АД31 при прокатке в винтообразных валках двенадцатью проходами получена однородная, равновесная наноструктура со средним размером зерна менее 100 нм. Такая структура при одноосном растяжении показала высокую статическую прочность и хорошую пластичность. Отметим, что заготовки с неравномерной наноразмерной структурой имеют в 1,5...1,8 раза ниже значения ударной вязкости и твердости, чем заготовки с однородной структурой. При этом прокатка в винтообразных валках ведет к увеличению ударной вязкости (KCV), твердости и относительного удлинения в среднем на 30–40%, а разрушение проходит вязко в условиях плоского напряженного состояния с образованием ямочного микрорельефа.

**Ключевые слова:** интенсивно-пластическая деформация, алюминиевый сплав АД31, нанокристаллическая структура, винтообразные валки, твердость, ударное разрушение, микроструктура, зерна субструктуры, излом образцов

## SHOCK DAMAGING OF NANOSTRUCTURED AD31 ALUMINUM ALLOY AFTER VARIOUS TYPES OF HEAT TREATMENT AND ROLLING IN HELICAL ROLLS

<sup>1</sup>Mashekov S.A., <sup>1</sup>Nugman E.Z., <sup>1</sup>Tusupkalieva E.A., <sup>2</sup>Mashekova A.S., <sup>1</sup>Maulenova M.R.

<sup>1</sup>*Kazakh National Research Technical University after Satpaev, Almaty, e-mail: mashekov.1957@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Nazarbaev University, Astana, e-mail: aigerim.mashekova@nu.edu.kz*

At the present time, new methods of severe plastic deformation (SPD) have been developed, which allow deep fragmentation of grains to receive a new nanocrystalline structure with high strength properties. It is established that it is difficult to produce sheet products with a nanogranular structure by known SPD methods. Therefore, in the work to obtain high-quality sheet blanks with a nanocrystalline structure, without a significant change their dimensions, a tool, which has helical-shaped working surfaces, and for further processing a five-stand longitudinal-wedge mill are proposed. Particular attention is paid to the analysis of the effect of rational rolling regimes in helical-shaped rolls and a longitudinal-wedge mill on the formation of nanostructures in an aluminum alloy AD31. This article presents a new technology for the production of nanostructured sheet metal. The nanostructure is obtained by applying an intense plastic deformation developed by a helical roll. A rational technology for rolling AD31 aluminum alloy has been developed and tested under laboratory conditions. Particular attention is paid to the analysis of the effect of rolling regimes in helical rolls and longitudinal-wedge mill (LWM) on the formation of nanostructures in AD31 aluminum alloy. Using rational technology, a homogeneous, equilibrium nanostructure with an average grain size of less than 100 nm was obtained in AD31 aluminum alloy during rolling in helical rolls by twelve passes. Such a structure under uniaxial tension showed high static strength and good ductility. It has to be noted that blanks with a nonuniform, nano-dimensional structure have in 1.5 ... 1.8 times lower values of impact strength and hardness than blanks with a homogeneous structure. In this case, rolling in helical rolls leads to an increase in the toughness (KCV), hardness and elongation by an average of 30-40%, and the fracture passes viscously under conditions of a plane stressed state with the formation of a dimple microrelief.

**Keywords:** severe plastic deformation, aluminum alloy AD31, nanocrystalline structure, helical rolls, hardness, impact destruction, microstructure, substructure grains, fracture of samples

В исследованиях [1–3] показано, что измельчение зеренной структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) приводит к увеличению механических свойств алюминиевых сплавов. Кроме того, отмечается, что структурные необыкновенности и механические свойства ультрамелкозернистых (УМЗ) и на-

ноструктурированных (НС) алюминиевых сплавов кардинально зависят от рациональных режимов ИПД, а также от химического состава материала, влияющих на твердорастворное и дисперсионное упрочнение [4, 5]. Вместе с тем в УМЗ и НС металлах замечается улучшение зернограницной диффузии, что во многих случаях является при-

чиной понижения температуры и времени их старения, необходимых для образования выделений дисперсных частиц упрочняющих фаз [6]. Поэтому установление оптимальных параметров УМЗ и наноразмерной структуры, приводящих к увеличению прочностных свойств в алюминиевых сплавах, является трудной задачей.

Целью настоящей работы является разработка научных принципов повышения прочностных свойств НС алюминиевых сплавов АД31, полученных прокаткой в винтообразных валках (ВВ).

### Материалы и методы исследования

Для изготовления наноструктурированных полос из металлов и сплавов нами создан инструмент, содержащий верхние и нижние прокатные валки с винтообразными рабочими поверхностями [7]. Следует отметить, что винтообразные рабочие поверхности верхнего и нижнего валков выполнены по левой и правой винтовой линии соответственно, при этом винтообразные выступы и впадины верхнего валка расположены противоположно впадинам и выступам нижнего валка. Данный инструмент без изменения геометрических размеров исходной заготовки осуществляет ИПД.

На лабораторном стане провели прокатку полос из алюминиевого сплава АД31 в ВВ. При этом применили следующие режимы (таблица).

Согласно таблице прокатку полос проводили по 3-м режимам. Исходная толщина листа 8 мм во всех трех режимах, температура нагрева 380 °С, выдержка при данной температуре 120 минут, после чего полосу прокатали двумя проходами в ВВ, пока толщина листа не стала 7,6 мм. Далее полосу подогрели при температуре 380 °С и выдержали при данной температуре 30 минут, после чего прокатали полосу двумя проходами до толщины 7,6 мм. Режим 2 выполнялся по той же технологии, что и режим 1, одна-

ко данный режим отличается количеством проходов. В режиме 2 количество проходов увеличивается до 4 проходов прокатки в ВВ. Наряду с этим режим 3 отличается от 2-х предыдущих режимов тем, что заготовку дополнительно нагрели до 380 °С и прокатали 4 проходами в ВВ до толщины 7,4 мм.

После обработки алюминиевого сплава АД31 в ВВ и на продольно-клиновом стане (ПКС) произвели испытания образцов. При механическом испытании исследуемого сплава определяли стандартные характеристики, такие как  $\sigma_v$ ,  $\sigma_T$  ( $\sigma_{0,2}$ ),  $\delta$ , ударная вязкость, твердость.

Перед механическим испытанием образцы подвергали термической обработке, состоящей из отжига при температуре 200–500 °С, закалки с температуры 500 °С в масле и последующего старения. Старение осуществили при температуре 120 °С в течение 5 ч.

При металлографическом анализе применили энергодисперсный спектрометр JNCA ENERGY (Англия). Данный спектрометр смонтирован на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL (Джеол) при ускоряющем напряжении 25 кВ. Интервал увеличений прибора JEOL от 40 до 40000 крат. Структура прокатанных образцов также изучалась с помощью электронного просвечивающего микроскопа (ПЭМ) JEM-2100CX при ускоряющих напряжениях 200 кВ. Используя стандартную методику на микроанализаторе с электронным зондом JSM 6610LV фирмы JEOL, определили химический состав алюминиевого сплава АД31 после прокатки в ВВ.

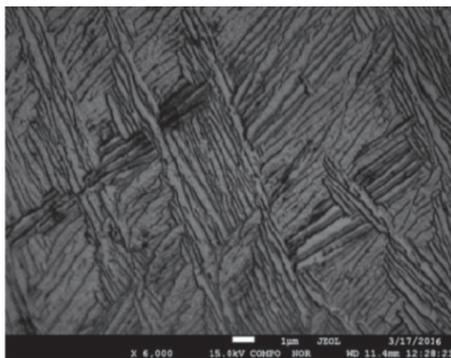
### Результаты исследования и их обсуждение

В работе разработана технология прокатки полос из алюминиевого сплава АД31 с наноструктурой. Разработанную технологию опробовали на лабораторном стане ДУО с винтообразными валками.

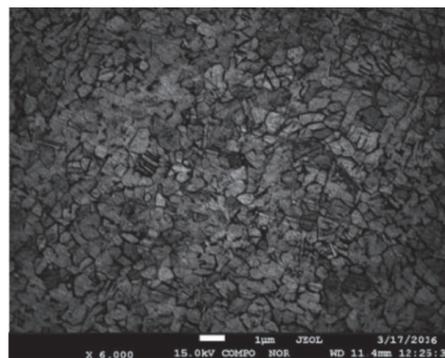
Режимы прокатки на лабораторном стане

№ режима	$h_0$ , мм	$T_1$ , °С	$t_1$ , мин	$n_1$ , раз	$h_1$ , мм	$T_2$ , °С	$t_2$ , мин	$n_2$ , раз	$h_2$ , мм	$T_3$ , °С	$t_3$ , мин	$n_3$ , раз	$h_3$ , мм
1	8	380	120	2	7,8	380	30	2	7,6	—	—	—	—
2	8	380	120	4	7,8	380	30	4	7,6	—	—	—	—
3	8	380	120	4	7,8	380	30	4	7,6	380	30	4	7,4

Примечание.  $h_0$  – начальная толщина заготовки;  $T_1$  – температура нагрева;  $t_1$  – время выдержки при температуре нагрева;  $n_1$  – количество проходов после нагрева и прокатки в ВВ;  $h_1$  – толщина полосы после нагрева и прокатки ВВ;  $T_2$  – температура первого подогрева;  $t_2$  – время выдержки при температуре первого подогрева;  $n_2$  – количество проходов после первого подогрева и прокатки в ВВ;  $h_2$  – толщина полосы после первого подогрева и прокатки в ВВ;  $T_3$  – температура второго подогрева;  $t_3$  – время выдержки при температуре второго подогрева;  $n_3$  – количество проходов после второго подогрева и прокатки в ВВ;  $h_3$  – толщина полосы после второго подогрева и прокатки в ВВ.

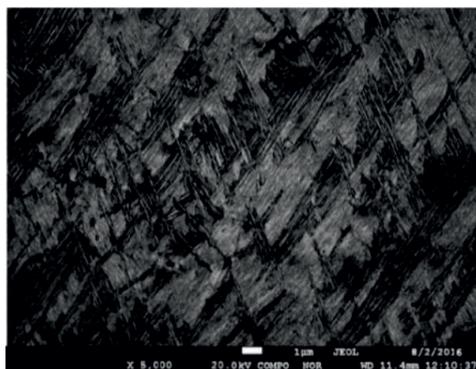


а)

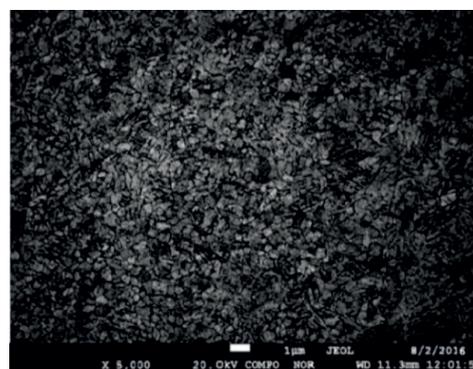


б)

Рис. 1. Микроструктура алюминиевого сплава АД31 после прокатки четырьмя проходами в ВВ: а – продольное сечение; б – поперечное сечение



а)



б)

Рис. 2. Микроструктура алюминиевого сплава АД31 после прокатки с восьмью проходами в ВВ: а – продольное сечение; б – поперечное сечение

Изучение исходной микроструктуры показало, что заготовка из сплава АД31 содержит неоднородную микроструктуру и имеет крупные зерна. При этом средний размер зерен в продольном направлении равнялся  $\sim 87$  мкм, а в поперечном направлении – 98 мкм. Следует отметить, что по границам крупных зерен располагались мелкие зерна размером  $\sim 14$ –18 мкм.

Исследование микроструктуры показало, что прокатка в ВВ при температуре  $380^\circ\text{C}$  четырьмя проходами приводит к сильной фрагментации зерен на тонкие пластины сдвига шириной 645–850 нм. Внутри пластины появляются поперечные границы, при этом деформация осуществляется множественным микродвойникованием, в результате которого структура интенсивно измельчается.

Проведенное исследование позволило установить, что после прокатки четырьмя проходами в ВВ в деформируемых полосах

образуется анизотропное субмикроструктурное состояние. При этом размеры зерен в различных направлениях отличаются в 3–4 раза. Так, в плоскости параллельной направлению прокатки размер зерен равняется 5820–6260 нм (рис. 1, а), а в плоскости перпендикулярной направлению прокатки –  $940 \div 1150$  нм (рис. 1, б). По нашему мнению, такое изменение структуры металла алюминиевого сплава АД31 характерно для деформации изгибом и кручением под давлением высокой анизотропии полей смещений и поворотов.

При прокатке алюминиевого сплава АД31 в ВВ восьмью проходами, получена другая картина формирования структур. Было обнаружено, что прокатка в ВВ восьмью проходами при температуре  $380^\circ\text{C}$  приводит к делению пластинчатой структуры на деформационные, промежуточные и микропластины, состоящие из субзерен, разделенных мало- и большеугловыми

границами. Следовательно, с увеличением числа проходов совершается деление микропластин на части за счет образования пластин сдвига, наблюдается умножение доли большеугловых границ и образуется смешанная структура. Прокатка заготовок в ВВ при температуре 380 °С восемью проходами приводит к дальнейшему дроблению зеренно-субзеренной структуры. При этом в продольном сечении полосы зерна субструктуры вытягиваются вдоль направления изгиба (рис. 2, а), а в поперечном – имеют равноосную форму со средним размером около 680–740 нм (рис. 2, б). Плотность дислокаций весьма большая, и по фотографиям структуры вычислить ее значение не представилось возможным.

Исследованием было установлено, что в алюминиевом сплаве АД31 формируется неоднородная зеренно-субзеренная структура после прокатки двенадцатью проходами в ВВ. Неравноосную форму имеют зерна и субзерна структуры, и данные зерна и субзерна растянуты вдоль направления изгиба и кручения. Средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры в поперечном и продольном сечении заготовки составляет ( $125 \pm 40$ ) нм (рис. 3, а). Изучение дифракционной картины показало, что нанозернистая структура имеет преимущественно высокоугловые границы зерен с неравновесной структурой. Известно, что такая структура приводит к увеличению энергии межзеренных границ.

Неоднородность микроструктуры в объеме полос алюминиевого сплава АД31 существенно снизилась в последующей прокатке полученных заготовок в ПКС с цилиндрическими валками. Деформирование с суммарным обжатием до 90% позволило формировать равноосную микроструктуру со средним размером  $95 \pm 20$  нм, что соответствует нанокристаллическому состоянию (рис. 3, б).

Безусловно, что прокатка на ПКС при температуре 100 °С дает возможность дополнительно деформационно упрочнять алюминиевый сплав АД31. Проведение отжига при температуре 200 °С на протяжении одного часа почти не меняет вид микроструктуры. Следовательно, нанокристаллическое состояние алюминиевого сплава АД31 сохраняется. При этом происходит небольшое увеличение среднего размера элементов зеренно-субзеренной структуры, достигая  $125 \pm 30$  нм. Увеличение температуры отжига до 300 °С при продолжительности выдержки 1 час приводит к прохождению процессов первичной рекристаллизации. Происходит более заметный рост среднего размера зеренно-субзеренной структуры.

Размер зеренно-субзеренной структуры приблизительно равняется  $145 \pm 10$  нм. Отжиг при температуре 400 °С незначительно увеличивает размер субзерен ( $180 \pm 45$  нм). Проведение отжига при температуре 450 °С привело к заметному увеличению величины зерна. Средний размер зерна равняется  $262 \pm 48$  нм. Особо следует отметить, что отжиг алюминиевого сплава АД31 при температуре 500 °С привел к существенному изменению структуры. Данная структура стала мелкокристаллической со средним размером зерна  $5,3 \pm 0,3$  мкм.

Механические свойства плоских образцов из сплава АД31 определяли при комнатной температуре на установке Instron 5882 при скорости деформации  $10^{-3}$  с<sup>-1</sup>. Испытанием установлено, что механические свойства алюминиевого сплава АД31, прокатанного в ВВ и ПКС, существенно выше, чем механические свойства исходных образцов. В частности, временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$  увеличивается на 20%, а пластичность в полтора раза превосходит соответствующий параметр исходных образцов. Такое достаточно высокое значение прочности ( $\sigma_B = 295$  МПа) и наилучшая величина пластичности ( $\delta = 24\%$ ) позволяет широко использовать этот материал на практике.

В работе был изучен механизм ударного разрушения алюминиевого сплава АД31, прокатанных в ВВ, после различных видов термической обработки (отжиг, закалка + старение) и прокатка в ВВ в нанокристаллическом состоянии.

В результате исследований было установлено, что очень маленькую твердость (46 НВ) алюминиевый сплав АД31 имеет после отжига, а самую значительную твердость (82НВ) – после закалки + старения сплава. После обработки в ВВ алюминиевый сплав АД31 имеет промежуточную величину твердости (63 НВ).

При испытании образцов на ударный изгиб было найдено, что маленькую ударную вязкость (KCV) алюминиевый сплав АД31 имеет после отжига ( $310$  кДж/м<sup>2</sup>), определено большое значение – после закалки + старения ( $510$  кДж/м<sup>2</sup>). Следует отметить, что самое большое значение ударной вязкости в алюминиевом сплаве АД31 получено после прокатки в ВВ ( $590$  кДж/м<sup>2</sup>).

Таким образом, видно, что прокатка в ВВ не позволяет достичь самой большой величины твердости сплава АД31, однако достигается максимальная величина ударной вязкости.

Исследованием изломов образцов алюминиевого сплава АД31 установлено, что излом данного сплава в отожженном состоянии волокнистый, равномерный, имеет

небольшую утяжку; губы среза не превышают 15%. Излом после закалки + старения сплава также равномерный, но менее волокнистый. Губы среза и утяжка практически отсутствуют. После прокатки в ВВ излом волокнистый, имеет большие утяжку и губы среза. Это показывает о вязком виде разрушения.

Изучение микрофрактографий показало, что при испытании на ударный изгиб образцов сплава АД31, после отжига и закалки с последующим старением, разрушение начинается с формирования вытяжки в очаге вязкой микрзоны (рис. 4, а, б). При маленьком увеличении видно, что микро рельефы изломов после указанных режимов обработки имеют ямочный вид. При большом увеличении было установлена, что при разрушении алюминиевого сплава АД31 после закалки с последующим старением образуется плоский, сравнительно крупный хрупкий фрагмент. В изломах отожженного алюминиевого сплава такие картины почти не были выявлены.

По сравнению с вышерассмотренным микро рельефом, микро рельеф изломов

алюминиевого сплава АД31 в нанокристаллическом состоянии немного отличается (рис. 4, в).

Анализ рис. 4, в, показывает, что после вязкой микрзоны вытяжки, в очаге разрушения, можно особо показать участки длиной около 25 мкм с плоскими зонами и мелкими ямками. Далее микро рельеф излома полностью принимает ямочный вид. Следует отметить, что исследования, проведенные при максимальном увеличении, показали, что большие по размерам хрупкие фрагменты, какие появлялись в изломах алюминиевого сплава АД31 в закаленном и состаренном состоянии, в анализируемом состоянии отсутствовали. Анализируемый микро рельеф определенно близко похож на микро рельеф излома алюминиевого сплава АД31 после отжига, однако с гораздо мелкими ямками.

Таким образом, поверхность ударного излома алюминиевого сплава АД31 после прокатки ВВ в нанокристаллическом состоянии отличается от других исследованных состояний более мелким ямочным микро рельефом и отсутствием хрупких фрагментов.

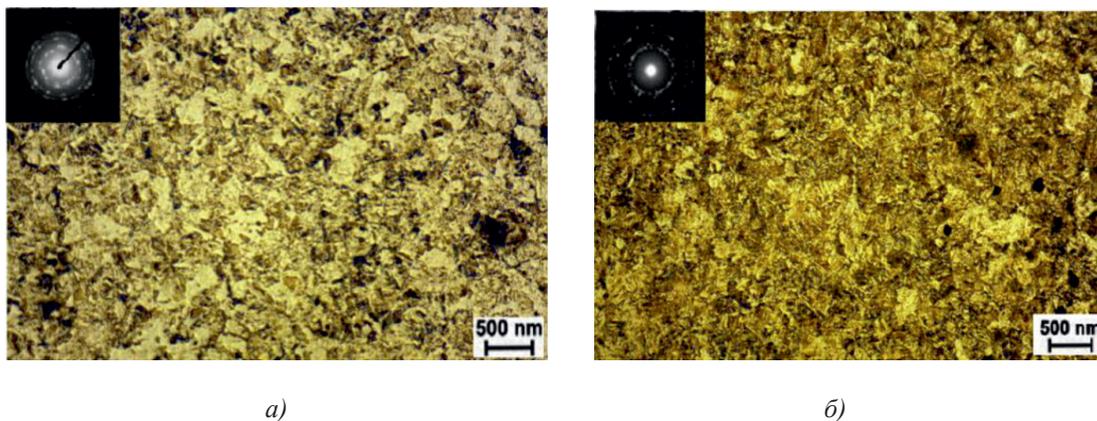


Рис. 3. Микроструктура алюминиевого сплава АД31 после прокатки двенадцатью проходами в ВВ и ПКС: а – после прокатки ВВ; б – после прокатки ВВ и ПКС

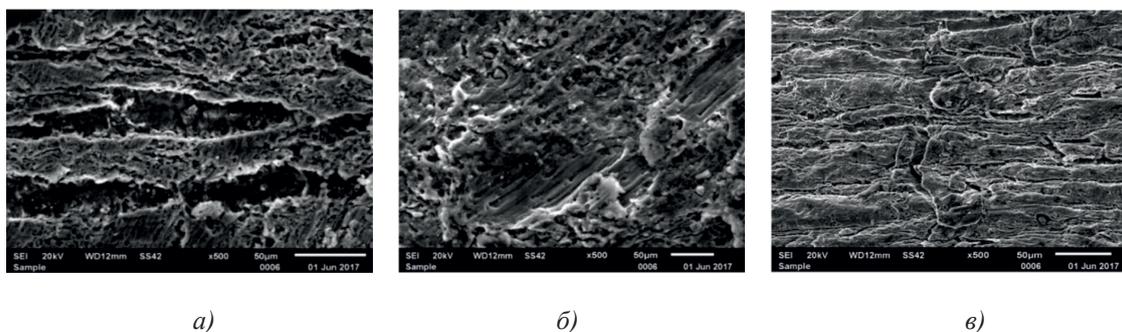


Рис. 4. Общий вид ударных изломов образцов из алюминиевого сплава АД31 после отжига (а), закалки и старения (б) и прокатки в ВВ (в), ×500

На основе металлографического анализа установлено, что:

– в листах из алюминиевого сплава АД31, прокатанных в ВВ, при отжиге в интервале температур 300–400 °С образуется неоднородная наноструктура (средний размер зерна 145–80 нм) со слабыми следами текстуры деформации;

– однородная УМЗ рекристаллизованная структура (средний размер зерна 5,5 мкм) получается в листах из алюминиевого сплава АД31, прокатанных в ВВ и закаленных по режиму: нагрев до температуры 500 °С, выдержка при этой температуре 2 ч, охлаждение в масле, старение при температуре 120 °С в течение 5 ч.

Анализ результатов, полученных после испытания на растяжение и ударный изгиб, показывает, что отожженные листы из сплавов АД31 с неоднородной УМЗ структурой имеют сравнительно низкие значения ударной вязкости и твердости. При этом ударная вязкость и твердость на листах с однородной УМЗ структурой в 1,5...1,8 раза выше, чем в листах с неоднородной нанозернистой структурой, со слабыми следами текстуры деформации.

Следует отметить, что в закаленных листах из алюминиевого сплава АД31 наблюдается снижение относительного удлинения с одновременным ростом ударной вязкости и твердости. По нашему мнению, при закалке легирующие компоненты не успевают раствориться в достаточной степени, выпадает избыточная фаза из твердого раствора, однако при этом происходит частичное удаление вакансий из твердого раствора и наблюдается существенное ослабление межзеренной связи. Это приводит к снижению относительного удлинения и увеличению зон с крупным хрупким фрагментом разрушения.

При отжиге листового материала из алюминиевого сплава АД31 происходит более полное растворение легирующих фаз и устраняется избыток вакансий, межзеренные связи укрепляются, обеспечивая максимальный уровень пластических свойств и образованием излома с мелким ямочным микрорельефом и отсутствием крупных хрупких фрагментов.

## Выводы

1. Показано, что после прокатки в ВВ двенадцатью проходами в алюминиевом сплаве АД31 можно сформировать относительно однородную, равновесную наноструктуру со средним размером зеренно-субзеренной структуры менее 100 нм. Эта структура обеспечивает высокую статическую прочность и хорошую пластичность алюминиевых полос из сплава АД31 при одноосном растяжении.

2. Листы из алюминиевого сплава АД31 с неравномерной наноразмерной структурой имеют сравнительно низкое значение ударной вязкости и твердости, при этом их значения в 1,5...1,8 раза ниже, чем в листах с однородной ультрамелкозернистой структурой.

3. Прокатка в ВВ алюминиевого сплава АД31 приводит к увеличению ударной вязкости (KCV), твердости и относительного удлинения в среднем на 30–40%. При этом после прокатки в ВВ в нанокристаллическом состоянии разрушение происходит вязко в условиях плоского напряженного состояния с образованием ямочного микрорельефа.

## Список литературы

1. Маркушев М.В. К вопросу об эффективности некоторых методов интенсивной пластической деформации, предназначенных для получения объемных наноструктурных материалов // Письма о материалах. – 2011. – Т. 1. вып. 1. – С. 36–42.
2. Утяшев Ф.З. Современные методы интенсивной пластической деформации. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 313 с.
3. Основные виды и области применения наноструктурированного высокопрочного листового проката / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков, С.В. Денисов, А.С. Кузнецова, Г.А. Бережная, М.С. Гушина // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4. – С. 41–44.
4. Стасовский Ю.Н., Страшна В.В. Исследование мирового уровня, анализ традиционных технологий и разработка концептуальных основ перспективного применения нанотехнологий и наноматериалов при изготовлении прецизионной металлопродукции // Металл и литье Украины. – 2010. – № 3. – С. 8–13.
5. Исследование разрушения образцов, полученных интенсивной пластической деформацией выдавливанием / Д.Л. Панкратов, В.Г. Шибиков, А.П. Андреев, С.И. Андреева, И.М. Ситдинов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5–3. – С. 531–537.
6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. Изд. 2-е, исправ. – М.: Физматлит, 2009. – 416 с.
7. Машеков С.А., Абсадыков Б.Н., Курмангалиева Л.А. и др. Инструмент для горячей прокатки металлов и сплавов // Патент РК № 16804. 2006. Бюл. № 1.

УДК 004.02

## ПОСТАНОВКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

**Овчинкин О.В., Пыхтин А.И., Сизов А.С.**

*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: aipykhtin@swsu.ru*

Эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования в настоящее время уделяется повышенное внимание. Ежегодно проводится соответствующий мониторинг Министерства образования и науки Российской Федерации по 7 показателям, а также производится внутренняя оценка деятельности вузов по расширенному перечню показателей с целью ранжирования вузов и их руководителей. С целью повышения эффективности образовательной деятельности вузов рассматривается вариант создания и внедрения специализированных программных средств поддержки принятия решений, для этого проблема представлена в виде задачи многокритериальной оптимизации. В качестве целевых функций задачи выступают: достижение максимально возможного количества показателей мониторинга эффективности, максимизация суммы баллов по результатам внутренней оценки Минобрнауки России и минимизация финансовых затрат вуза на изменение значений показателей. При этом накладываются ограничения на имеющийся в распоряжении вуза бюджет. Полученная математическая модель апробирована на данных Юго-Западного государственного университета 2017 г. Предложены полученные эмпирическим путем варианты задания функций, определяющих финансовые затраты вуза на повышение таких показателей образовательной деятельности, как средний балл единого государственного экзамена студентов, принятых на первый курс обучения, доля иностранных студентов, удельный вес численности магистров и аспирантов в общем приведенном контингенте обучающихся, процент трудоустройства выпускников.

**Ключевые слова:** эффективность, вуз, мониторинг, оптимизация, многокритериальная задача

## SETTING OF THE MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION TASK FOR THE EFFECTIVENESS IMPROVEMENT OF A UNIVERSITY EDUCATIONAL ACTIVITY

**Ovchinkin O.V., Pykhtin A.I., Sizov A.S.**

*Southwest State University, Kursk, e-mail: aipykhtin@swsu.ru*

The effectiveness of the higher educational institutions work is currently being given greater priority. Every year, the Ministry of Education and Science of the Russian Federation carries out an appropriate monitoring upon seven indications, along with an internal evaluation of the universities work on an expanded list of indicators for the purpose of ranking the universities and their managers. In order to improve the effectiveness of educational activity of higher educational institutions, the possibility of creating and implementing specialized software tools for decision taking support is being considered – in this regard, the problem is presented in the form of a multi-criteria optimization. The objective functions of the task are: to achieve the maximum possible number of performance monitoring indicators, to maximize the score based on the results of the internal evaluation of the Ministry of Education and Science of Russia and to minimize the financial costs of the university to change the indicators value. At the same time, there are some restrictions to the budget available to the university. The suggested mathematical model was tested on the data of the Southwest State University in 2017. The model empirically tested can determine the financial costs of the institution for raising such indicators of educational activity as the average score of the unified state exam of students admitted for the first year of study, the proportion of foreign students, the proportion of the number of masters and graduate students in the total number of students, the percent of graduates' employment.

**Keywords:** effectiveness, university, monitoring, optimization, multi-criteria

В настоящее время оценке эффективности деятельности образовательных организаций, прежде всего вузов, уделяется повышенное внимание. Примером служит ежегодный мониторинг эффективности деятельности организаций высшего образования, проводимый ежегодно Департаментом государственной политики в сфере высшего образования Минобрнауки России (<http://indicators.miccedu.ru/monitoring/>). Указанный мониторинг устанавливает 8 показателей эффективности, для каждого из которых установлено пороговое значение, в общем случае отличающееся для различных субъектов России: оценка образовательной де-

ятельности (средний балл ЕГЭ студентов, принятых на очную форму обучения, пороговое значение – 60), оценка научно-исследовательской деятельности (объем НИОКР в расчете на одного НПП), оценка международной деятельности (процент иностранных студентов), оценка финансово-экономической деятельности (доходы вуза в расчете на одного НПП), процент трудоустройства выпускников и дополнительный показатель, определяющийся в зависимости от специфики вуза. Цель мониторинга – разделить все вузы на 2 категории – эффективные и неэффективные. Эффективным признается вуз, выполнивший 4 и более показателей.

Неэффективным – выполнивший 3 и менее. Отметим, что показатели едины для любых категорий вузов (государственных и негосударственных, федеральных, национальных исследовательских, технических и т.д.).

В то же время действует приказ Минобрнауки России от 23.01.2018 г. № 41 «Об утверждении показателей эффективности деятельности федеральных бюджетных и автономных образовательных учреждений высшего образования и работы их руководителей, находящихся в ведении Министерства образования и науки Российской Федерации» (далее – Приказ 41), устанавливающий сходный, но более детализированный перечень показателей, причем для каждого показателя установлены возможные диапазоны его значений и соответствующие указанным диапазонам максимальные баллы. Сумма баллов, назначаемая экспертами Минобрнауки России по результатам оценки вуза в соответствии с диапазонами значений показателей Приказа 41, и является значением, определяющим относительную эффективность вузов (т.е. своего рода рейтинг вузов) и их руководителей. Пороговые значения диапазонов показателей различаются для вузов со статусом «федеральный» или «национальный исследовательский» (более высокие нормативы) и для всех остальных образовательных организаций.

Стоит отметить, что аналогичные показатели (за исключением среднего балла ЕГЭ) используются и в международных рейтингах QS, THE, RUR и т.д.

Каждый вуз в современных условиях должен строить свою деятельность таким образом, чтобы выполнять критерии эффективности мониторинга деятельности вуза и повышать свой рейтинг по результатам оценки эффективности в соответствии с Приказом 41. Для этого вузы разрабатывают долгосрочные и краткосрочные программы стратегического развития, дорожные карты и т.д.

Вопросы совершенствования управления эффективностью деятельности вуза на основе расширения информационно-аналитической базы принятия управленческих решений с целью роста конкурентоспособности на рынке образовательных услуг рассматривались в [1]. Вопрос несовершенства системы показателей эффективности с точки зрения оценки качества высшего образования раскрыт в [2]. Необходимость применения информационных технологий для повышения эффективности управления вузом рассмотрена в [3, 4]. Необходимость учета таких показателей эффективности, как средний балл ЕГЭ студентов, уровень доходов вуза, процент трудоустройства вы-

пускников, при планировании контингента студентов рассматривалась в [5]. В то же время акцент на повышение эффективности образовательной деятельности вузов путем внедрения специализированных программных средств поддержки принятия решений не затрагивались.

И в мониторинге Минобрнауки России, и в Приказе 41 классическое понятие эффективности как «относительной результативности процесса, определяемой как отношение результата к затратам обусловившим или обеспечившим его получение» [6] сводится к достижению заданных пороговых значений, т.е. относительность учитывается только при расчете отдельных показателей. В то же время повышение эффективности может достигаться не только за счет увеличения значений показателей, но и за счет уменьшения затрат. Поэтому в дальнейшей постановке задачи будут учтены финансовые затраты, связанные с изменением значения того или иного показателя.

Сформулируем проблему повышения эффективности деятельности вуза в виде задачи многокритериальной оптимизации. Пусть существует множество показателей

$$P = \bigcup_{i=1}^N p_i. \text{ Текущее значение показателей}$$

из множества  $P$  для вуза задается вектором  $\bar{x}^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_N^0)^T$ . Искомое значение показателей из множества  $P$  для вуза задается вектором  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ ,  $\forall j (x_j^0 \leq x_j)$  (так как нет смысла уменьшать достигнутые значения). Подмножество показателей мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций  $P^E \subset P$ .

Для каждого  $p_j \in P^E$ ,  $j = \overline{1, |P^E|}$  определяется пороговое значение  $r_j \geq 0$  и соответствующая функция, определяющая преодоление вузом порога  $r_j$ :  $fr_j(x) = 1$ , если  $x_j \geq r_j$ ,  $fr_j(x) = 0$ , если  $x_j < r_j$ . Подмножество показателей оценки деятельности вузов в соответствии с Приказом 41  $P^{41} \subset P$ .  $(P^E \cup P^{41}) = P$  в случае, если другие показатели не учитываются. Для каждого  $p_j \in P$  определяется оценочная функция (обычно кусочно-заданная)  $z_j(x)$ , которая определяет сумму баллов, назначаемую за достижение вузом значения показателя  $x$ . Причем, если  $p_j \in P^E$ , то  $z_j(x) = 0$ . Пример кусочно-заданной функции  $z_j(x)$  для показателя «Число публикаций организации, индексируемых в Web Of Science в расчете на 100 НПП»:

$$z_{wos}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 2,28 \\ 2, & \text{при } 2,28 \leq x \leq 5. \\ 4, & \text{при } x > 5 \end{cases} \quad (1)$$

Будем также считать, что для каждого показателя  $p_j \in P$  существует оценочная функция  $s_j(x)$ , которая определяет объем финансирования, который нужно вложить, чтобы увеличить значение показателя  $p_j \in P$  с 0 до  $x$ . Определение такой функции для каждого показателя – отдельная задача, причем для каждого вуза характер функции будет различен. Например, для показателя «Число публикаций организации, индексируемых в Scopus в расчете на 100 НПП» в Юго-Западном государственном университете, в котором численность НПП  $N_{\text{НПП}} = 500$  человек, а среднее вознаграждение, выплачиваемое автору за публикацию одной статьи в издании, индексируемом в Scopus составляет  $V_{\text{Scopus}} = 15000$  рублей, функция  $s_j(x)$  может иметь вид

$$s_{\text{Scopus}}(x) = \frac{x \cdot N_{\text{НПП}}}{100} \cdot V_{\text{Scopus}} = \frac{x \cdot 500}{100} \cdot 15000 = 75000 \cdot x, \quad (2)$$

То есть вузу нужно в среднем вложить 75 тыс. руб., чтобы увеличить значение этого показателя на 1.

Нахождение оптимального значения  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$  сводится к задаче многокритериальной оптимизации:

$$\max_{\bar{x} \in X} \{F_1(\bar{x}), F_2(\bar{x}), F_3(\bar{x})\}, \quad (3)$$

где  $F_1(\bar{x}) = \sum_{j=1}^N x_j \cdot z_j(x_j)$  – целевая функция вуза № 1, соответствующая итоговой оценке эффективности в соответствии с Приказом 41;

$F_2(\bar{x}) = \sum_{j=1}^N x_j \cdot f_j(x_j)$  – целевая функция

вуза № 2, соответствующая количеству выполненных показателей в мониторинге эффективности;

$$F_3(\bar{x}) = - \left( \sum_{j=1}^N x_j \cdot s_j(x_j - x_j^0) + C_{\min} \right)$$

– целевая функция вуза № 3, соответствующая минимизации затрат на изменение значений показателей,  $C_{\min}$  – затраты вуза на поддержание значений показателей на прежнем уровне.

При этом имеет место система ограничений:

$$F_3(\bar{x}) \leq F_3^{\max}, \quad \forall j (x_j^0 \leq x_j \leq x_j^{\max}). \quad (4)$$

То есть, во-первых, невозможно израсходовать на повышение эффективности средств больше, чем заложено бюджетом вуза ( $F_3^{\max}$ ), во-вторых, нет смысла превышать максимальные значения показателей эффективности в соответствии с Приказом 41, если только они не превышены изначально.

Дополнительное условие, которое необходимо выполнить, но только если это возможно в принципе:

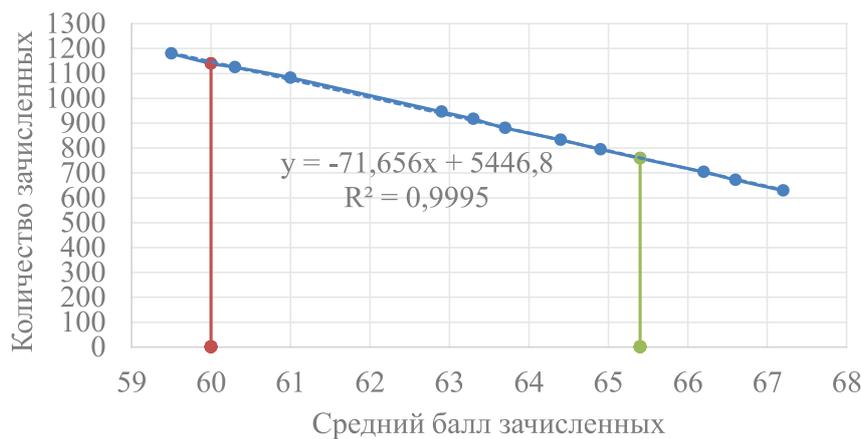
$$F_2(\bar{x}) \geq F_2^{\text{Порог}}, \quad (5)$$

где  $F_2^{\text{Порог}}$  – количество показателей, которые вуз должен выполнить, чтобы считаться эффективным (в настоящее время 4).

Апробируем представленную модель на данных Юго-Западного государственного университета (ЮЗГУ) 2017 г. Ограничимся следующими показателями образовательной деятельности (таблица).

Показатели образовательной деятельности ЮЗГУ 2017 г.

Обозначение и наименование показателя, единица измерения	$r_j$	$z_j(x_j)$	$x_j^0$
$p_1$ – средний балл ЕГЭ студентов, принятых на обучение по очной форме на программы бакалавриата и специалитета, балл	60	$\begin{cases} 0, & \text{при } x_j < 60 \\ 15, & \text{при } 60 \leq x_j \leq 65 \\ 20, & \text{при } x_j > 65 \end{cases}$	60,06
$p_2$ – удельный вес численности обучающихся по программам магистратуры и аспирантуры в общей численности приведенного контингента обучающихся по программам высшего образования, %	0	$\begin{cases} 0, & \text{при } x_j < 4 \\ 8, & \text{при } 4 \leq x_j \leq 6 \\ 13, & \text{при } x_j > 6 \end{cases}$	17,85
$p_3$ – удельный вес численности иностранных студентов (бакалавриат, специалитет, магистратура) в общей численности студентов, %	1	$\begin{cases} 0, & \text{при } x_j < 1 \\ 7, & \text{при } x_j \geq 1 \end{cases}$	4,77
$p_4$ – удельный вес выпускников, трудоустроившихся в течение календарного года, следующего за годом выпуска, в общей численности выпускников, обучавшихся по программам высшего образования, %	70	0	65



Зависимость количества зачисленных от среднего балла зачисленных при повышении минимального порогового балла

Начальные значения целевых функций:

$$F_1(\bar{x}^0) = 35, F_2(\bar{x}^0) = 3, F_3(\bar{x}^0) = -C_{\min}. \quad (6)$$

Повысить средний балл ЕГЭ студентов, принятых на первый курс обучения, можно двумя способами или их комбинацией: 1) повысить минимальные пороговые баллы по предметам, сдаваемым при поступлении; 2) стимулировать абитуриентов с высокими баллами выбирать вуз, предлагая им различные гранты, дополнительные образовательные услуги и т.д. [7]. Применение первого способа ведет в общем случае к уменьшению контингента студентов. Так, чтобы увеличить средний балл зачисленных в ЮЗГУ в 2017 г. с 60,1 до 65,1 (чтобы получить максимальный балл по показателю  $p_1$ ), необходимо увеличить средний пороговый балл с 39 до 55 (рисунок). Рисунок показывает, что линия тренда в диапазоне рассматриваемых баллов аппроксимируется линейной функцией с угловым коэффициентом  $K_{trend} = -71,656$ . При этом количество зачисленных студентов снизится с 1140 до 759, т.е. на 381 человека, что при средней стоимости обучения в  $PR_{avg} = 80$  тыс. рублей в год составит 30,480 млн руб. затрат.

Вариант со стимулированием кажется более перспективным. Расчеты показывают, что для увеличения среднего балла зачисленных с 60 до 61 необходимо дополнительно принять на обучение в университет 127 человек со средним баллом 70. Для увеличения среднего балла до 65,1 уже потребуется 1200 человек со средним баллом 70, что не представляется возможным, так как в Курской области отсутствует такое количество абитуриентов (из 5000 выпускников 2017 г. в ЮЗГУ подали заяв-

ление о приеме 2301 человек, из них средний балл ЕГЭ 70 и более имеют всего 357 человек). В любом случае будем считать, что затраты на поощрение 1-го поступающего с высоким баллом ЕГЭ сопоставимы с потерями от уменьшения численности студентов на 1 человека. Таким образом, с учетом уравнения линии тренда на рисунке, получим следующую оценочную функцию:

$$\begin{aligned} s_1(x) &= PR_{avg} \cdot (-K_{trend}) = \\ &= 80000 \cdot 71,656 = 5732480 \cdot x. \end{aligned} \quad (7)$$

То есть повышение среднего балла на 1 в указанном диапазоне обходится вузу в условиях Курской области примерно в 5,73 миллиона рублей.

Показатель  $p_2$  вузом выполняется с запасом. Выполнение показателя обусловлено мерами, направленными на стимулирование обучения в магистратуре и аспирантуре за счет системы скидок (до 50% от стоимости обучения в отдельных случаях). При приведенном контингенте студентов  $Q = 6500$  человек затраты на увеличение показателя будут оцениваться функцией:

$$\begin{aligned} s_2(x) &= \frac{Q}{100} \cdot \frac{PR_{avg}}{2} = \\ &= \frac{6500}{100} \cdot \frac{80000}{2} \cdot x = 2600000 \cdot x. \end{aligned} \quad (8)$$

Привлечение иностранных студентов обычно осуществляется на основании агентских договоров с комиссией 10–20% от стоимости обучения, но и стоимость обучения для иностранных граждан обычно

выше на 10–25%. Соответственно, оценочная функция для увеличения доли иностранных студентов:

$$s_3(x) = \frac{Q}{100} \cdot 0,2 \cdot \left( \frac{1,25 \cdot PR_{avg}}{100} \right) = \frac{6500}{100} \times \\ \times 0,2 \cdot \left( \frac{1,25 \cdot 80000}{100} \right) \cdot x = 1300000 \cdot x. \quad (9)$$

Затраты на трудоустройство одного выпускника можно оценить как бюджет вуза, затрачиваемый на данный процесс (для ЮЗГУ это 5 работников со средней заработной платой 25000 рублей в месяц),  $B$  в отношении к количеству трудоустроенных в течение года выпуска и следующего за ним  $T$  с учетом того, что общее количество выпускников равно  $V$ :

$$s_4(x) = \frac{B}{T} \cdot \frac{V}{100} \cdot x = \\ = \frac{5 \cdot 25000 \cdot 12 \cdot 1,3}{2208} \cdot \frac{3000}{100} \cdot x = 26495 \cdot x. \quad (10)$$

Для нахождения субоптимального значения  $\bar{x}$  в ЮЗГУ разработано соответствующее программное обеспечение, реализующее алгоритм полного перебора с заданным шагом дискретизации составляющих  $\bar{x}$  для небольшого количества показателей (2–7). Оптимальное решение при этом выбирается по принципу Парето по аналогии с [8].

Таким образом, в работе повышение эффективности образовательной деятельности вуза представлено в виде многокритериальной задачи оптимизации. С целью повышения эффективности образовательной деятельности вузов рассматривается вариант создания и внедрения специализированных программных средств поддержки принятия решений. В качестве целевых функций задачи выступают: выполнение максимально возможного количества показателей мониторинга эффективности деятельности вузов, максимизация суммы баллов по результатам внутренней оценки вузов со стороны Минобрнауки России и минимизация финансовых затрат вуза на увеличение значений показателей. При этом накладываются ограничения на имеющийся в распоряжении вуза бюджет. Полученная математическая модель апробирована на

данных Юго-Западного государственного университета 2017 г. Предложены полученные эмпирическим путем варианты задания функций, определяющих финансовые затраты вуза на повышение таких показателей образовательной деятельности, как средний балл единого государственного экзамена студентов, принятых на первый курс обучения, доля иностранных студентов, удельный вес численности магистров и аспирантов в общем приведенном контингенте обучающихся, процент трудоустройства выпускников.

*Работа выполнена в рамках Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-968.2018.8.*

### Список литературы

1. Прижигалинская Т.Н. Повышение конкурентоспособности вуза на основе совершенствования управления эффективностью деятельности / Т.Н. Прижигалинская, А.А. Осыков // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2013. – № 4 (48). – С. 56–61.
2. Сидорова А.А. Мониторинг эффективности деятельности вузов как инструмент повышения качества высшего образования / А.А. Сидорова // Государственное управление. Электронный вестник. – 2013. – № 41. – С. 248–259.
3. Кириллов А.Г. Технология повышения эффективности системы управления вузом на основе информационных технологий / А.Г. Кириллов // Педагогическое образование в России. – 2014. – № 10. – С. 160–165.
4. Бондарев Я.П. Интеллектуализация управления изменениями в деятельности вуза на основе мониторинговой информации / Я.П. Бондарев, Я.Е. Львович // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9162> (дата обращения: 06.03.2018).
5. Зарубина Н.К. Построение математической модели для планирования контингента студентов при приеме в вуз / Н.К. Зарубина, О.В. Овчинкин, А.И. Пыхтин // Тенденции и перспективы развития науки XXI века: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 55–57.
6. Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 479 с.
7. Зарубина Н.К. Исторические и методологические аспекты планирования контингента студентов при приеме в вуз (научный обзор) / Н.К. Зарубина // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 2. – С. 121.
8. Ширяев М.В. Многокритериальная оптимизация в задачах управления научно-образовательными кластерами / М.В. Ширяев, С.Н. Митяков, Д.Н. Лапаев, Н.Н. Яковлева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17766> (дата обращения: 06.03.2018).

УДК 62-82

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРАТЕГИИ ЗАМЕНЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Павлов А.И., Тарбеев А.А.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
Йошкар-Ола, e-mail: PavlovAI@volgatech.net

Представлен алгоритм действий для принятия решений о замене (ремонте) элементов гидропривода транспортно-технологических машин или продолжении их функционирования по назначению (на примере гидроцилиндров). Предложенная методика предполагает проведение расчетов с помощью простейших приемов теории марковских цепей по определению целесообразности дальнейшей эксплуатации элементов гидропривода по полученным значениям параметров диагностирования. В частности, с помощью переходной матрицы простой однородной дискретной цепи Маркова находится состояние гидроцилиндра, при котором перетечки рабочей жидкости внутри гидроцилиндра (утечки из штоковой полости гидроцилиндра) достигнут такого значения, при котором становится нецелесообразной дальнейшая эксплуатация машины из-за существенного снижения ее производительности (или увеличения стоимости ее содержания из-за необходимости постоянной дозаправки рабочей жидкостью). Методика предусматривает использование результатов диагноза технического состояния элементов гидропривода с помощью имеющихся методов диагностики. Например, для гидроцилиндров можно использовать метод утечек, основанный на определении количества жидкости, вытекшей из поршневой или штоковой полостей гидроцилиндра в крайних положениях поршня при подаче максимального давления рабочей жидкости в течение определенного времени. Расчетами доказано, что стратегия замены элементов гидропривода может быть основана на минимизации материальных затрат при предельно допустимых параметрах функционирования гидропривода, как и всей машины. Расчеты проведены на примере гидроцилиндра подъема стрелы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины Харвестер JD 1470F при ее эксплуатации на лесопромышленном предприятии ООО «Лузалес» в Республике Коми – опорном пункте Поволжского государственного технологического университета. Данный регион приравнен к районам Крайнего Севера, где зимний период эксплуатации превышает по срокам летний период, что весьма важно для исследования характера износа уплотнений гидроцилиндров и других резино-технических элементов гидропривода, подверженных воздействию отрицательных температур. Алгоритм определения стратегии замены элементов гидропривода основан на расчете полного суммарного дохода от эксплуатации машины.

**Ключевые слова:** марковская цепь, диагноз, ресурс, доход, гидропривод, эффективность функционирования

## THE METHOD OF DETERMINING THE STRATEGY OF REPLACING HIGH PRESSURE HOSES, HYDRAULIC TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Pavlov A.I., Tarbeev A.A.

*Povolzhsky State Technological University, Yoshkar-Ola, e-mail: PavlovAI@volgatech.net*

The algorithm of actions for making decisions on the replacement (repair) of hydraulic drive elements of transport-technological machines or the continuation of their functioning by purpose (for example, hydraulic cylinders) is presented. The suggested technique assumes carrying out of calculations by means of the elementary receptions of the theory of Markov chains on definition of expediency of the further operation of elements of a hydraulic drive on the received values of parameters of diagnosing. In particular, with the help of a transition matrix of a simple homogeneous discrete Markov chain, the state of the hydraulic cylinder is located, in which the leakage of hydraulic fluid inside the hydraulic cylinder (leakage from the rod cavity of the hydraulic cylinder) will reach such a value that it becomes inexpedient to continue to operate the machine due to a significant decrease in its productivity (or increase in the cost of its maintenance due to the need for constant refueling of the working fluid). The technique involves the use of the results of the diagnosis of the technical condition of the hydraulic drive elements using the available diagnostic methods. For example, for hydraulic cylinders, a leakage method can be used based on determining the amount of fluid leaking from the piston or rod cavity of the hydraulic cylinder in the extreme positions of the piston when the maximum pressure of the working fluid is applied for a certain time. It has been proved by calculations that the strategy of replacement of hydraulic actuator elements can be based on minimization of material costs at maximum permissible parameters of hydraulic drive functioning, as well as the whole machine. The calculations are based on the example of the hydraulic cylinder for lifting the jib of the felling and delimiting machine Harvester JD 1470F in its operation at the timber industry enterprise Luzales LLC in the Komi Republic, the mainstay of the Volga State Technological University. This region is equal to the regions of the Far North where the winter period of operation exceeds the summer period, which is very important for studying the nature of wear of the seals of hydraulic cylinders and other rubber-technical elements of the hydraulic drive exposed to negative temperatures. The algorithm for determining the strategy for replacing the elements of the hydraulic drive is based on calculating the total revenue from the operation of the machine.

**Keywords:** Markov chain, diagnosis, resource, income, hydraulic drive, efficiency of functioning

В Республике Коми условия эксплуатации харвестеров и форвардеров, имеющих в гидросистеме большое количество резино-технических изделий (уплотнения, тру-

бопроводы и др.), сопоставимы с климатом Финляндии, где изготавливаются данные машины. Возникает вопрос, почему в России данные лесные машины быстрее выходят из

стройка, несмотря на то, что правила эксплуатации на современных лесопромышленных предприятиях выполняются. Это подтверждает опыт эксплуатации данных машин [1], взятых под наблюдение в опорном пункте Поволжского государственного технологического университета – ООО «Лузалес», расположенном в Прилузском районе Республики Коми.

Увеличить срок службы машин (особенно в северных регионах) можно путем обнаружения и предупреждения отказов элементов гидропривода за счет своевременной замены (или ремонта), произведенной по результатам диагноза их технического состояния [2, 3]. Получение диагноза без принятия решения по замене элементов гидропривода не гарантирует их работоспособность при дальнейшей эксплуатации машины. Так, например, если имеем значение параметра диагностирования уплотнений гидроцилиндра, приближенное к предельному значению, встает вопрос, отправлять их в ремонт или продолжать эксплуатацию машины. Речь идет об экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации гидроцилиндра: если не отправлять гидроцилиндр в ремонт, то из-за утечки из его штоковой полости встанет необходимость дозаправки рабочей жидкостью, что приводит к дополнительным материальным затратам. Перетечки жидкости внутри гидроцилиндров, на первый взгляд не ведут к дополнительным затратам, однако доходы уменьшаются из-за перерасхода топлива в результате снижения производительности машины. В то же время, если провести замену или отправить в ремонт гидроцилиндр при имеющейся возможности его дальнейшей эксплуатации, то будем иметь недоиспользованный ресурс, что приводит также к дополнительным затратам.

В этой связи разработка методики определения стратегии (своевременности) замены или ремонта элементов гидропривода является актуальной.

**Цель исследования:** минимизация материальных затрат при допустимой эффективности функционирования гидропривода.

**Методы исследования:** методы статистики и моделирования, основные законы рыночной экономики.

Снижение эффективности функционирования транспортно-технологических машин, в том числе лесных, может быть связано не только с простоем машины, значительный материальный ущерб возникает также в связи с постепенной потерей рабочих свойств резино-технических изделий, связанных с воздействием отрицательных температур, в частности – уплотнений ги-

дроцилиндров [1, 3]. Своевременная замена уплотнений или ремонт гидроцилиндров при получении диагноза их технического состояния позволит значительно снизить материальные потери. В этой связи может быть предложена стратегия принятия решения о целесообразности проведения ремонтных работ или продолжения работы машины, обеспечивающая максимальную эффективность ее функционирования при минимизированных затратах на эксплуатацию. Для решения такой задачи предпочтительными являются два варианта:

1) максимальная эффективность функционирования машины при минимальных материальных затратах;

2) минимальные материальные затраты при предельной эффективности функционирования.

На наш взгляд, более привлекательной является задача обеспечения минимума материальных затрат (вариант 2). В этом случае предельное значение эффективности целесообразно выразить в соответствии с условиями равного времени безотказного функционирования данных вариантов.

В качестве примера сделаем расчеты гидроцилиндр подъема стрелы машины Харвестер JD 1470F. Состояние его уплотнений будем определять с помощью средств диагностики через отрезок времени  $\Delta t = 0 - t_0$ .

Допустим, что уплотнения гидроцилиндра будут иметь неработоспособное состояние только в течение отрезка времени  $\Delta t$ , поэтому можно допустить возможность появления двух событий:

1)  $X(t)$  – гидроцилиндр имеет дефект (вероятность достижения предельного состояния уплотнений  $Q$ );

2)  $F(t)$  – уплотнения гидроцилиндра находятся в работоспособном состоянии (вероятность  $1 - Q$ ).

Введем упрощенное обозначение событий –  $X$  и  $F$ .

Предположим, что возникновение событий  $X$  и  $F$  зависит только от значений диагностических параметров предыдущего контроля состояния уплотнений. Поэтому можно считать, что очередность диагностических испытаний гидроцилиндров через интервалы  $\Delta t$ , это – дискретная марковская цепь [4, 5], причем простая, обладающая свойством однородности. Известно, что данная цепь может быть описана следующей переходной матрицей [6]:

$$P_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ Q & 1-Q \end{vmatrix}.$$

Вероятности в соответствии с данной матрицей будут  $Q(X/X) = Q_{XX} = 1$ ,

$Q_{XF} = 0$ , то есть состояние  $X$  будет поглощающим (требуется замена уплотнений гидроцилиндра). Количество попаданий в неработоспособное состояние гидроцилиндра определяется по формуле

$$K = (I - G)^{-1},$$

где  $I$  – единичная матрица,  $G$  – неработоспособное состояние гидроцилиндра.

Для решения поставленной задачи интерес представляет нахождение оптимального количества и периодичность проведения технических осмотров для определения значений параметров диагностирования технического состояния гидроцилиндра.

Для определения целесообразности замены или ремонта гидроцилиндра под  $N$ -стратегией будем понимать оптимальное решение, которое необходимо принять оператору машины: заменять уплотнения или продолжить эксплуатацию машины на следующий период  $\Delta t$ . Вполне очевидно, что каждое решение оператора должно быть связано либо с доходами (получение прибыли от эксплуатации машины), либо с материальными затратами (простой, потери рабочей жидкости, стоимость замены уплотнений гидроцилиндра и т.д.). Так как при неработоспособном состоянии гидроцилиндра (по диагностическому параметру) можно принять единственно правильное решение (замена уплотнений), то за исходное принимается состояние  $F$  (работоспособное). Составим таблицу возможных состояний, стратегий и доходов от эксплуатации машины (табл. 1).

Среднюю величину прибыли (дохода) за весь период наработки машины  $t$  представим в виде выражения

$$u_i(n) = q_i + \bar{u}_i(n-1),$$

где  $q_i = \sum_{j=1}^n Q_{ij} \cdot u_{ij}$  – непосредственный ожидаемый доход (при одном  $\Delta t$ );  $\bar{u}_i(n-1) = \sum Q_{ij} \cdot u_j(n-1)$  – полный доход при  $n-1$  шагов (средний).

Данное выражение учитывает вероятность возникновения событий  $X$  или  $F$  при каждом шаге цепи Маркова и получаемые при этом доходы.

Как было сказано выше, оптимальной будет считаться стратегия принятия решений при получении максимальной прибыли (дохода), подсчитанной по последнему выражению.

Максимальный доход может быть получен при условии учета доходов при всех шагах  $\Delta t$ , а не только при шаге ожидаемого дохода. Это возможно при условии выполнения принципа оптимальности Беллмана [6, 7], согласно которому многошаговый процесс является оптимальным, если он оптимален на каждом шаге. В данной задаче рассматривается случайный процесс, что относится к задачам стохастического динамического программирования, поэтому необходимы конкретные исходные данные.

Вероятности перехода ( $Q_{ij}^k$ ) уплотнений гидроцилиндра из работоспособного состояния  $F$  в неработоспособное  $X$  будем определять для всего срока эксплуатации машины.

Доходы  $u_{ij}^k$  определяются следующим образом:

$$u_{FX}^{(1)} = u - (u_{np} + u_{p.ж.} + u_{mp}),$$

где  $u$  – доход от эксплуатации работоспособной машины в течение  $\Delta t = 250$  моточасов, руб.;  $u_{np}$  – стоимость потерь при простоях машины из-за неисправности, руб.;  $u_{p.ж.}$  – дополнительные материальные потери из-за утечки рабочей жидкости из штоковой полости гидроцилиндра, руб.;  $u_{mp}$  – стоимость уплотнений гидроцилиндра с учетом их замены, руб.

$$u_{np} = K_{np} \cdot T_{cp} \cdot K_p,$$

где  $K_{np}$  – затраты труда рабочих на устранение отказа, час;  $K_{cp}$  – тарифная ставка ремонтных рабочих (часовая), р/ч;  $K_p$  – районный коэффициент.

$$u_{mp} = C_y + t \cdot T_{cp} \cdot K_p,$$

где  $C_y$  – стоимость уплотнений гидроцилиндра, руб.;  $t$  – время устранения отказа, ч.

Таблица 1

Возможные состояния уплотнений гидроцилиндров и полученные доходы

Состояние $i$	Стратегия $N$	Вероятность перехода		Доходы	
		$Q_{iX}^k$	$Q_{iF}^k$	$u_{iX}^k$	$u_{iF}^k$
$F$	Замена уплотнений гидроцилиндра	$Q_{FX}^{(1)}$	$Q_{FF}^{(1)}$	$u_{FX}^{(1)}$	$u_{FF}^{(1)}$
	Уплотнения не менять	$Q_{FX}^{(2)}$	$Q_{FF}^{(2)}$	$u_{FX}^{(2)}$	$u_{FF}^{(2)}$

$$u = \Pi_{см} \cdot \Delta t \cdot C_{др}$$

где  $\Pi_{см}$  – сменная производительность лесосечной машины, м<sup>3</sup>/см;  $C_{др}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины, руб.

$$u_{FF}^1 = u - (u_{мп} + u_{выр}),$$

где  $u_{выр}$  – потери при снижении выработки машины за счет простоя, руб.

$$u_{FF}^2 = u - (u_{п.жс.} + u_{пр}); u_{FF}^2 = u$$

Таким образом, была получена следующая матрица доходов

$$R = \begin{vmatrix} u_{FX}^1 & u_{FF}^1 \\ u_{FX}^2 & u_{FF}^2 \end{vmatrix}$$

Зная соответствующие вероятности переходов для всего периода эксплуатации  $Q_{ij}^k = Q(X/F)$  можно определить ожидаемый доход:

$$Q_{ij}^k = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0,02 & 0,98 \end{vmatrix}$$

$$q_1^1 = Q_{FX}^1 \cdot u_{FX}^1 + Q_{FF}^1 \cdot u_{FF}^1;$$

$$q_2^2 = Q_{FX}^2 \cdot u_{FX}^2 + Q_{FF}^2 \cdot u_{FF}^2.$$

Расчет среднего ожидаемого дохода за период  $n - 1$  шагов процесса целесообразно начать с последнего этапа. Очевидно, что на последнем этапе процесса

$$\bar{u}_i(0) = u_2(0) = 0.$$

Значит за один шаг до окончания процесса величина полного дохода будет равна непосредственно доходу (ожидаемые):

$$\bar{u}_1(1) = q_1^1; \bar{u}_2(1) = q_2^2.$$

За два шага до окончания процесса

$$\bar{u}_1(2) = Q_{FX}^1 \cdot \bar{u}_1(1) + Q_{FF}^1 \cdot \bar{u}_2(1),$$

$$\bar{u}_2(2) = P_{FX}^2 \cdot \bar{u}_1(1) + P_{FF}^2 \cdot \bar{u}_2(1).$$

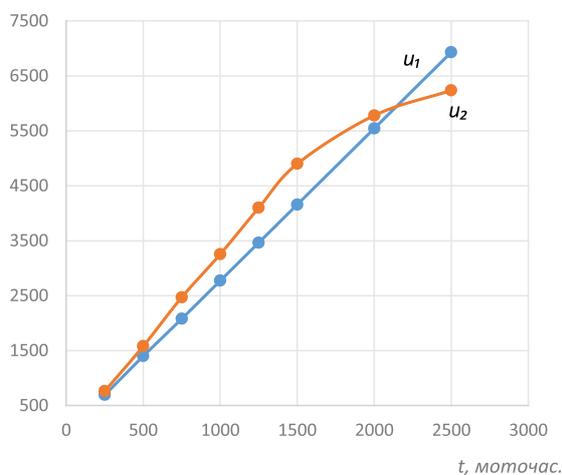
Суммарный доход (полный) за два шага до окончания процесса будет равен

$$u_1(1) = q_1^1 + \bar{u}_1(2), \quad u_2(2) = q_2^2 + \bar{u}_2(2).$$

В табл. 2 представлены значения полных суммарных доходов от эксплуатации машины Харвестер JD 1470F (гидроцилиндра подъема стрелы) в периоды эксплуатации.

По данным табл. 2 построены зависимости суммарных доходов от эксплуатации машины Харвестер JD 1470F за период круглогодичной эксплуатации, которые представлены на рисунке. Данные зависимости доказывают, что при снижении дохода от эксплуатации гидроцилиндров необходима замена их уплотнений, иначе могут возникнуть дополнительные затраты.

$u_i^F$ , руб.



Изменение суммарного дохода при эксплуатации машины Харвестер JD 1470F

### Выводы

1. При принятии решений о замене (ремонте) элементов гидропривода транспортных-технологических машин или продолжении их функционирования по назначению в расчетах можно использовать переходную матрицу простой, однородной, дискретной цепи Маркова, которая позволяет определять вероятности переходов гидроцилиндров из работоспособного в неработоспособное состояние по диагностическим параметрам предшествующих осмотров машин.

Таблица 2

Полные суммарные доходы от эксплуатации гидроцилиндров

$\Delta t$ , моточас.	250	500	750	1000	1250	1500	2000	2500
$Q(X/F)$	0,022	0,0411	0,11	0,18	0,32	0,46	0,72	1
$u_1^F$ , руб.	686	1389	2081	2769	3462	4161	5548	6927
$u_2^F$ , руб.	759	1521	2269	2998	3679	4490	5657	6241

2. Полученные графики суммарных доходов (полных) доказывают, что при определенных значениях доходов от эксплуатации машины необходимо проводить ремонтные работы по замене уплотнений гидроцилиндра (в представленном примере – при наработке 2250 моточасов), иначе возникнут дополнительные материальные затраты из-за возможной утечки рабочей жидкости или снижении производительности машины. При преждевременной замене уплотнений ожидаемый доход значительно уменьшится из-за простоя машины.

#### Список литературы

1. Павлов А.И. Надежность, диагностика и защита гидроприводов транспортно-технологических машин: монография / А.И. Павлов, А.А. Тарбеев, С.Л. Вдовин; под общ. ред. проф. А.И. Павлова. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 376 с.
2. Гринчар Н.Г. Прогнозирование остаточного ресурса гидроприводов по результатам диагностики / Н.Г. Гринчар // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 3. – С. 34–35.
3. Никитин О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов / О.Ф. Никитин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 312 с.
4. Денисенко Т.И. Использование марковских цепей при решении различных прикладных задач // Т.И. Денисенко // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 1. – С. 27–28.
5. Борисов А.В. Минимаксное оценивание в системах наблюдения с марковскими цепями по интегральному критерию / А.В. Борисов, А.В. Босов, А.И. Стефанович // Институт проблем информатики РАН. – М.: Автоматика и телемеханика, 2011. – № 2. – С. 48–54.
6. Gorban A.N. The Markov Ordering Approach. Entropy 12 / A.N. Gorban, P.A. Gorban, G. Judge. – 2010. – № 5. – P. 1145–1193.
7. Кельберт М.Я. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения // М.Я. Кельберт, Ю.М. Сухов. – М.: МЦНМО, 2010. – 295 с.

УДК 51-7:687.03

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ОБЪЕМНЫХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ

**Рукавишникова А.С.**

*ФБГОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,  
e-mail: annaru14@gmail.com*

При эксплуатации теплозащитной одежды с объемным несвязным утеплителем многие участки подвержены многочисленным деформациям сжатия, которые приводят к снижению исходной величины теплоизоляции. В статье представлена методика исследования процессов сжатия, которая позволяет определять время и скорость деформации при фиксированных нагрузках для утепляющих материалов. В ходе исследований была установлена зависимость между нагрузкой и предельными значениями времени, плотности и объемной деформации. С помощью компьютерных технологий определена зависимость скорости деформации от времени. Разработана квадратичная реологическая 3D модель напряженно-деформированного состояния объемных несвязных утеплителей, описывающая влияние объемной деформации и скорости объемной деформации на давление сжатия. Получена теоретическая зависимость между напряжением и деформацией при одноосном сжатии объемного несвязного утеплителя, учитывающая мгновенную скорость деформации. Разработана математическая модель, которая позволяет определить деформационные характеристики утеплителя и прогнозировать теплозащитные свойства материалов в процессе эксплуатации одежды под действием различных нагрузок. Проведена проверка полученной математической модели на адекватность. Предложенная модель позволяет достоверно описать кинетику сжатия несвязного объемного утеплителя. Она легко адаптируется под различные объемные несвязные утеплители за счет применения коэффициентов уравнения и доступности программного обеспечения.

**Ключевые слова:** математическая модель, физико-механические характеристики утеплителей, теплозащитная одежда, деформация сжатия

## MATHEMATICAL MODEL OF COMPRESSION PROCESS OF BULK INSULATIONS FOR DESIGNING HEAT PROTECTIVE CLOTHING

**Rukavishnikova A.S.**

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: annaru14@gmail.com*

Many parts of heat-protective clothing with a disconnected bulk insulation are subjected to numerous compressive deformations during use, which lead to a decrease in the initial value of insulation. The article presents a technique for researching of the compression processes, which allows to determine the time and deformation rate at fixed loads for insulating materials. According to the results of the research, the dependence between the load and the limit values of time, density and volume deformation was established. With the help of computer technology we defined the deformation rate depends of time. A quadratic rheological 3D model of the stress-strain state of disconnected bulk insulation is developed, which describes the effect of volume deformation and the deformation rate on the compression pressure. A theoretical relationship between stress and deformation is obtained for uniaxial compression of a bulk disconnected heater, which takes into account the instantaneous deformation rate. A mathematical model is developed, it determines the deformation characteristics of a heater and predicts the heat-protective properties of materials during the use of clothing under the influence of various loads. The mathematical model was tested for adequacy. The proposed model allows to reliably describe the compression kinetics of a disconnected bulk insulation. It adapts to various disconnected bulk insulations by applying the coefficients of equation and software availability.

**Keywords:** mathematical model, physicomechanical properties of heaters, heat-protective clothing, compressive deformation

При проектировании теплозащитной одежды определяющая роль в обеспечении необходимой величины теплоизоляции отведена утепляющим материалам. Современный ассортимент несвязных утеплителей отличается большим разнообразием материалов как натурального (перо-пуховая смесь), так и синтетического (hollowfiber, fibertech и др.) происхождения [1, 2]. Появление новых объемных несвязных материалов для одежды, разнообразных по строению, требует оценки и прогнозирования изменения теплофизических свойств в процессе эксплуатации [3].

Отдельные участки одежды подвергаются многократной деформации сжатия в результате воздействия ветра и движения

человека. Утеплитель сжимается даже под действием сравнительно небольших по величине сил, что приводит к уменьшению его толщины, уплотнению и влечет за собой ухудшение расчетных значений теплозащитных характеристик одежды. В настоящее время остаются нерешенными вопросы, связанные с учетом и прогнозированием этих изменений, а также автоматизацией процесса проектирования теплозащитной одежды для сокращения временных и материальных затрат при обеспечении ее качества [4].

Современные компьютерные технологии позволяют прогнозировать изменение свойств материалов с учетом деформационных характеристик, используя математические модели. Компьютерное моделирование

отличается универсальностью, не требует специального оборудования и является достаточно объективным [5]. Таким образом, разработка математической модели является актуальным направлением автоматизации проектирования теплозащитной одежды.

### Цель исследования

Разработать математическую модель для описания процесса сжатия несвязных утеплителей, устанавливающую зависимость между временем нагружения, давлением и изменением плотности, определяющую деформационные характеристики образца материала, с применением компьютерных технологий.

### Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо провести испытания утепляющих материалов и провести оценку результатов кинетики сжатия. В качестве объектов исследований выбраны объемные несвязные утеплители – гусиный пух категории «Экстра» (96% пух, 4% мелкое перо) и hollowfiber из синтетических волокон. Исследуемые теплоизоляционные материалы рассматриваются как вязкоупругое тело, которое в результате многократного сжатия изменяет свои физико-механические свойства [6]. Изменение объемной плотности утеплителя зависит от его реологических свойств, давления и времени воздействия на утеплитель.

Для проведения испытаний была разработана и изготовлена экспериментальная установка, реализующая метод одноосного сжатия. Получение информации о величине и скорости сжатия утеплителя основано на использовании датчика линейного перемещения. Данные передаются на персональный компьютер и обрабатываются программой [7], которая позволяет рассчитывать реологические характеристики исследуемого материала. В методике проведения исследований были учтены потери на трение исследуемого материала о боковые стороны цилиндра установки. При сжатии утеплителя выполняли расчет его текущей высоты в установке  $h_i$  по формуле (1), высотной деформации  $\varepsilon_h$  по формуле (2) и текущее значение плотности  $\rho_i$ , учитывая насыпную высоту  $h_0$ , изменение высоты образца  $\Delta h$  за время  $t$ :

$$h_i = h_0 - \Delta h, \quad (1)$$

$$\varepsilon_h = \ln \left( \frac{h_i}{h_0} \right). \quad (2)$$

При этом  $\varepsilon_h = \varepsilon_v$ , где  $\varepsilon_v$  – объемная деформация. Диапазон выбранных для исследования давлений от 0,041 до 2,0 кПа, что соответствует давлению человека на мате-

риалы при эксплуатации, а также воздействию ветровой нагрузки. Методика проведения исследования представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема проведения исследования

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно результатам исследований полученные зависимости  $\varepsilon_v(t, \sigma_{сж})$  и  $\rho(t, \sigma_{сж})$  влияния давления  $\sigma_{сж}$  и времени сжатия  $t$  на величину объемной деформации  $\varepsilon_v$  и плотности  $\rho$  показали, что существуют предельные значения времени  $t_{пред}$ , плотности  $\rho_{пред}$  и объемной деформации  $\varepsilon_{v,пред}$ . При этом при повышении нагрузки уменьшается предельное значение времени и объемной деформации, а также повышается предельное значение плотности.

Предельные нелинейные зависимости  $\varepsilon_{v,пред}(\sigma_{сж})$ ,  $\rho_{пред}(\sigma_{сж})$ ,  $t_{пред}(\sigma_{сж})$  могут быть описаны сигмоидальным уравнением

$$\varepsilon_{v,пред}, \rho_{пред}, t_{пред}(\sigma_{сж}) = a + \frac{b}{1 + \exp\left(\frac{-(\sigma_{сж} - c)}{d}\right)}, \quad (3)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – коэффициенты уравнений.

Нелинейные зависимости  $\varepsilon_v(t)$  при  $\sigma_{сж} = \text{const}$  могут быть описаны логистическим уравнением

$$\varepsilon_v = a + \frac{b}{1 + \left(\frac{t}{c}\right)^d}. \quad (4)$$

При этом параметры логистического уравнения  $a, b, c, d$  зависят от сжимающего напряжения  $\sigma_{сж}$ . Используя программу TableCurve, установили связь от  $0..t_{\text{пред}}$  влияния времени сжатия на изменение величин, обеспечивающих переход от динамики к статике объемной деформации при фиксированной  $\sigma_{сж}$ , используя логистическую зависимость, учитывающую предельные значения:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{v \text{ пред}} + \frac{\Delta\varepsilon_v}{1 + \left(\frac{t}{t_n}\right)^d}, \quad (5)$$

где  $t = 0..t_{\text{пред}}$  – время действия нагрузки, с,  
 $\varepsilon_v = 0.. \varepsilon_{v \text{ пред}}$  – объемная деформация при  $t = 0..t_{\text{пред}}$ ,  
 $t_{\text{пред}}$  – предельное значение времени сжатия, характеризующее переход от динамического состояния к статическому, с,  
 $\varepsilon_{v \text{ пред}}$  – предельное значение объемной деформации, достигнутое при  $t_{\text{пред}}$ ,  
 $\Delta\varepsilon_v$  – разность значений мгновенной и предельной деформации,

$t_n$  – время перехода кривой  $\varepsilon_v$  от выпуклой к вогнутой его части, с,  
 $d$  – определяет степень кривизны,  $\varepsilon_v$ .

При этом параметры логистического уравнения зависят от сжимающего напряжения  $\sigma_{сж}$  и описываются сигмоидальной функцией:

$$\varepsilon_{v \text{ пред}}, \Delta\varepsilon_v, t_n, d(\sigma_{сж}) = f + \frac{g}{1 + \exp\left(\frac{-\sigma_{сж} - k}{i}\right)}, \quad (6)$$

где  $f, g, k, i$  – коэффициенты уравнений.

Логистическую зависимость (5) записали в виде, учитывающем влияние  $\sigma_{сж}$  на коэффициенты уравнения:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{v \text{ пред}}(\sigma_{сж}) + \frac{\Delta\varepsilon_v(\sigma_{сж})}{1 + \left(\frac{t}{t_n(\sigma_{сж})}\right)^{d(\sigma_{сж})}}. \quad (7)$$

Для определения скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_v$  продифференцировали объемную деформацию (4) по времени  $t$  с использованием программы Mathcad 15:

$$\dot{\varepsilon}_v = \frac{d\varepsilon_v}{dt} = \frac{-\Delta\varepsilon_v}{\left(1 + \left(\frac{t}{t_n}\right)^d\right)^2} \cdot \left(\frac{t}{t_n}\right)^{d-1} \cdot \frac{d}{t}. \quad (8)$$

Используя полученное уравнение (8), построили зависимости  $\dot{\varepsilon}_v(t)$  при фиксированных  $\sigma_{сж}$  в среде «Statistica» (рис. 2).

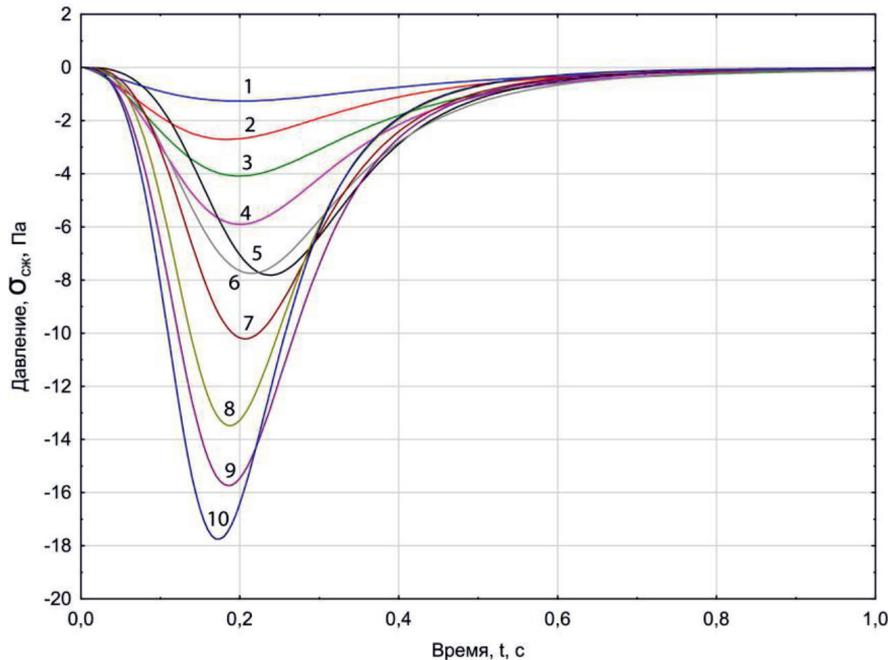


Рис. 2. Зависимость  $\dot{\varepsilon}_v$  от  $t$  при фиксированных значениях  $\sigma_{сж}$ , Па.  
 1 – 41, 2 – 83, 3 – 124, 4 – 165, 5 – 248, 6 – 330, 7 – 413, 8 – 826, 9 – 1652, 10 – 2064

Параметры уравнения сжатия

Вид утеплителя	Исследуемый диапазон	$a_0$	$a_{01}$	$a_{02}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{22}$
Перо-пуховая «Экстра»	$\varepsilon_v = 0..-3,6$	-739,99	-1085,35	-3,51	-385,59	-2,62	-7,37
Hollowfiber	$\varepsilon_v = 0..-1,6$	-471,18	-1231,70	-6,31	-905,55	-73,54	-8,69

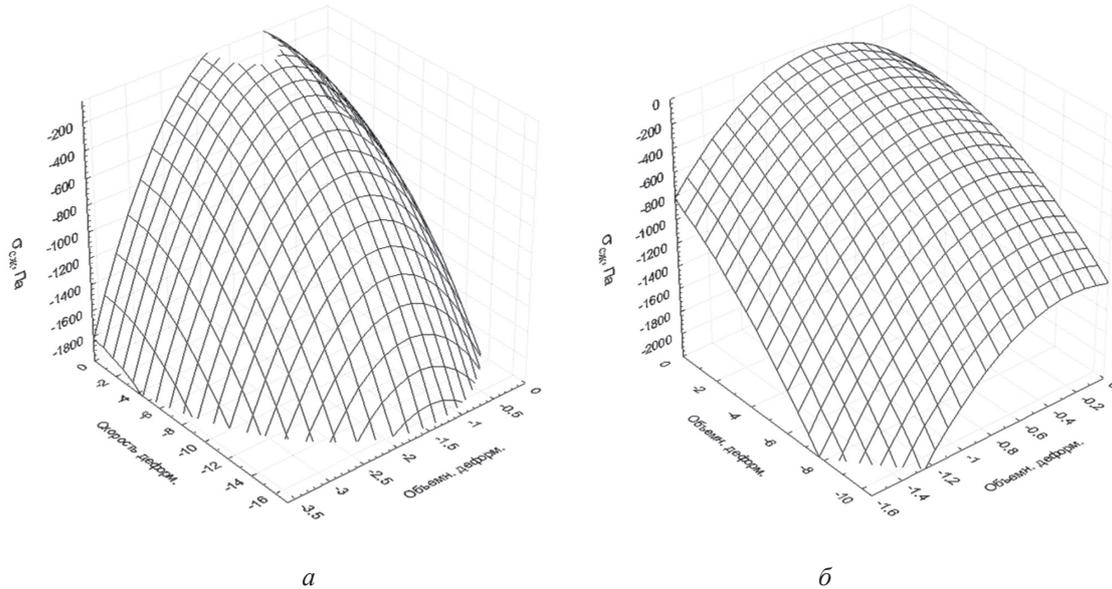


Рис. 3. 3D модель  $\sigma_{сж}(\dot{\varepsilon}_v, \varepsilon_v)$ : а – перо-пуховая смесь, б – hollowfiber

Зависимости  $\dot{\varepsilon}_v(t)$  (рис. 2) носят экстремальный характер. Минимальные значения  $\dot{\varepsilon}_v(t)$  наблюдаются при критическом времени  $t_{кр} = 0,17-0,22$ . Повышение давления приводит к увеличению абсолютного значения скорости деформации. С увеличением времени  $t > t_{кр}$  значения функции  $|\dot{\varepsilon}_v(t)|$  уменьшаются и стремятся к 0. Построили с помощью программы «Statistica» квадратичную 3D модель  $\sigma_{сж}(\dot{\varepsilon}_v, \varepsilon_v)$  при условиях  $t < t_{пред}$  и  $\varepsilon_v < \varepsilon_{v,пред}$  для натурального и синтетического утеплителя (рис. 3) и определили ее параметры:

$$\sigma_{сж} = a_0 + a_{01} \cdot \varepsilon_v + a_{02} \cdot \dot{\varepsilon}_v + a_{11} \cdot \varepsilon_v^2 + a_{12} \cdot \varepsilon_v \cdot \dot{\varepsilon}_v + a_{22} \cdot \dot{\varepsilon}_v^2, \quad (9)$$

где  $a_0, a_{01}, a_{02}, a_{11}, a_{12}, a_{22}$  – параметры уравнения сжатия.

Влияние  $\varepsilon_v$  на  $\sigma_{сж}$  носит экстремальный характер. Максимальные значения  $\sigma_{сж}$  наблюдаются для перо-пуховой смеси «Экстра» при  $\varepsilon_{v,пред} = -1,4$  (рис. 3, а). Максимальные значения  $\sigma_{сж}$  для hollowfiber наблюдаются при  $\varepsilon_{v,пред} = -0,7$  для  $\sigma_{сж} = -200$  и при  $\varepsilon_{v,пред} = -0,2$  для  $\sigma_{сж} = -1300$  (рис. 3, б). Параметры уравнения уплотнения при  $\varepsilon_v > \varepsilon_{v,пред}$ ,  $\varepsilon_v < \varepsilon_{v,пред}$  и для всего

исследуемого диапазона значений представлены в таблице.

Из представленных графиков видно, что характер зависимости синтетического утеплителя значительно отличается от характера зависимости натурального, которые имеют симметричный вид относительно предельной объемной деформации. Характер зависимости  $\sigma_{сж}(\dot{\varepsilon}_v, \varepsilon_v)$  для hollowfiber значительно меняется с увеличением объемной деформации выше критической. Данное явление характерно для исследуемого диапазона значений давления сжатия.

Зависимость влияния времени нагружения и деформации материала утеплителя на напряжение  $\sigma$  могут быть описаны уравнениями изохронных кривых. Для описания зависимости  $\sigma_{сж}(\varepsilon_v, t)$  для несвязного объемного утеплителя уравнение изохронных кривых представили в виде

$$\sigma_{сж} = \frac{\varphi(\varepsilon_v)}{\psi(t)}, \quad (10)$$

где  $\varphi(\varepsilon_v)$  – кривая мгновенного деформирования,  
 $\psi(t)$  – зависимость, учитывающая время.

Подставляя данные, рассчитанные по формуле (4) при  $t = 0$  в TableCurve, постро-

или кривую мгновенного деформирования (уплотнения)  $\varphi(\varepsilon_v)$ , используя импульсную зависимость, и определили коэффициенты уравнения:

$$\varphi(\varepsilon_v) = a_1 + b_1 \left( \frac{\varepsilon_v - c_1}{d_1} \right) \left( \left| \frac{\varepsilon_v - c_1}{d_1} \right| \right)^{-e_1}, \quad (11)$$

где  $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1$  – коэффициенты уравнения, зависимость, учитывающую время  $\psi(t) = 1 + \varepsilon_v(t)$ , с учетом (10), записали в виде

$$\varepsilon_v(t) = \psi(t) - 1 = \frac{\varphi(\varepsilon_v)}{\sigma_{сж}} - 1. \quad (12)$$

Отсюда в TableCurve построили кривую мгновенного деформирования и определили зависимость  $\varepsilon_v(t)$  и коэффициенты:

$$\varepsilon_v(t) = a_2 + b_2 \left( \frac{t - c_2}{d_2} \right) \left( \left| \frac{t - c_2}{d_2} \right| \right)^{-e_2}, \quad (13)$$

где  $a_2, b_2, c_2, d_2, e_2$  – коэффициенты уравнения. С учетом (11) и (13) уравнение (10) принимает вид

$$\sigma_{сж} = \frac{a_1 + b_1 \left( \frac{\varepsilon_v - c_1}{d_1} \right) \cdot \left( \left| \frac{\varepsilon_v - c_1}{d_1} \right| \right)^{-e_1}}{1 + \left[ a_2 + b_2 \left( \frac{t - c_2}{d_2} \right) \cdot \left( \left| \frac{t - c_2}{d_2} \right| \right)^{-e_2} \right]}. \quad (14)$$

Данное уравнение позволяет адекватно описать результаты экспериментальных исследований кинетики сжатия несвязного объемного утеплителя.

Заключительный этап анализа полученной математической модели предусматривает проверку ее адекватности. Уравнение (14) можно считать адекватным с 95% доверительной вероятностью, учитывая, что  $F_p < F_{табл}$ . Данная модель позволяет достоверно описать результаты экспериментальных исследований кинетики сжатия несвязного объемного утеплителя. Модель легко адаптируется под различные объемные несвязные утеплители за счет применения коэффициентов уравнения и доступности программного обеспечения.

## Выводы

Разработана методика и экспериментальная установка для исследования процессов сжатия утеплителя, которая позволяет определить время и скорость деформации при фиксированных значениях нагрузки.

В результате проведенного комплекса исследований установлен характер влияния давления и времени сжатия на величину объемной деформации. Выявлен экстремальный характер зависимости скорости деформации от времени.

Построена квадратичная реологическая 3D модель, описывающая влияние объемной деформации и скорости объемной деформации на давление сжатия.

Разработана математическая модель, которая позволяет определить деформационные характеристики утеплителя и прогнозировать теплозащитные свойства материалов в процессе эксплуатации одежды под действием различных нагрузок.

## Список литературы

1. Полимерные материалы в производстве костюма для военнослужащих Арктики (сообщение 3) / Р.Ф. Афанасьева [и др.] // Вестник технологического университета. – 2015. – № 22. – С. 89–93.
2. Исследование релаксационных свойств пуха от температуры / А.Н. Вылкова [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4673> (дата обращения: 22.02.2018).
3. Sovetnikov D.A., Mishakov V.Y., Kirsanova E.A. The study of deformation characteristics of heaters and packages of clothing for military personnel that apply in the arctic zone of the Russian federation // International scientific journal «Theoretical & Applied Science». – 2017. – vol. 48, Issue 04. – P. 145–150.
4. Тунгусова Н.А. Автоматизация проектирования пуховой одежды с использованием математических моделей теплозащитного пакета: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2009. – 18 с.
5. Иващенко И.Н. Регрессионные модели и оптимизация суммарного теплового сопротивления покровных материалов одежды для нефтяников / И.Н. Иващенко, С.П. Шмалько // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=13517> (дата обращения: 18.02.2018).
6. Лопатченко Т.П. Исследование деформационных свойств объемных утепляющих материалов для проектирования одежды и снаряжения специального назначения / Т.П. Лопатченко, А.С. Рукавишников. – Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2014. – 178 с.
7. Рукавишников А.С., Рукавишников А.А., Лопатченко Т.П. Расчет теплоизоляции комплекта одежды // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014615366.

УДК 004.932:616-079

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ МРТ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЗНАЧЕНИЙ, НОРМИРОВАННЫХ ПО ШКАЛЕ ХАУНСФИЛДА

Соловьева С.Н., Маткин А.Е.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
Екатеринбург, e-mail: mae664128@gmail.com

В настоящей статье рассмотрена проблема количественной оценки МРТ изображений с целью диагностики патологий позвоночника. Установлены критерии количественных признаков, используемых для оценки патологий позвоночника по МРТ изображениям. Поставлена и решена задача оценки МРТ изображений позвоночника на основе значений, нормированных по шкале Хаунсфилда. Сформулированы требования к количественным признакам полученных от МРТ изображений, для выполнения оценки анатомических структур. Осуществлен литературно-аналитический обзор методов оценки МРТ изображений с использованием интенсивности. Осуществлен литературно-аналитический обзор моделей по сопоставлению данных от медицинских изображений разной модальности с целью установления зависимости между ними. Предложена концепция модели оценки МРТ изображений на основе значений, нормированных по шкале Хаунсфилда. Представлены структурные и математические модели нормализации значений интенсивности МРТ в зависимости от различий настроек времен захвата в томографе и модели расчета значений шкалы Хаунсфилда по нормализованным значениям интенсивности от МРТ изображений. Представленная модель позволит извлечь из данных МРТ дополнительный диагностический признак, а также уменьшить количество сканирований КТ и связанные с ним затраты.

**Ключевые слова:** компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, шкала Хаунсфилда, псевдо КТ, модели смеси распределения

## DEVELOPMENT OF THE METHOD OF EVALUATION OF MRI IMAGES BASED ON THE VALUES RATED BY THE HOUNSFIELD SCALE

Soloveva S.N., Matkin A.E.

Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: mae664128@gmail.com

In this article, the problem of quantitative evaluation of MRI images for the diagnosis of spinal pathology is considered. The criteria for the quantitative traits used to assess the spinal pathology by MRI images are established. The problem of evaluation of MRI images of the spine based on the values normalized according to the Hounsfield scale was set and solved. A literature and analytical review of the models for comparing data from medical images of different modalities was carried out with the aim of establishing the relationship between them. Structural and mathematical models of the normalization of the MRI intensity values are presented depending on the differences in the settings of the capture times in the tomograph and the model for calculating the values of the Hounsfield scale from the normalized intensity values from the MRI images. The presented model will allow to extract from the MRI data an additional diagnostic feature, as well as to reduce the number of CT scans and associated costs.

**Keywords:** computer tomography, magnetic resonance imaging, Hounsfield scale, pseudotemporal CT, mixture models

При исследовании позвоночника с целью диагностики грыж межпозвоночных дисков, внутримозговых опухолей спинного мозга и других процессов используют как компьютерную, так и магнитно-резонансную томографию. При этом МРТ является более предпочтительным методом исследования, так как позволяет визуализировать мягкие ткани с высокой контрастностью. Наиболее часто, для диагностики получают T1-, T2-взвешанные изображения.

При работе с МРТ изображениями заключение врача-рентгенолога строится на визуальном сравнении окружающих тканей на снимке, а применяемые методы оценки основываются на различиях в контрасте, размерах и пространственном положении патологий на изображениях. Такой подход может привести к неверной интерпретации данных и, как следствие, к неправильному диагнозу, из-за схожести визуальной МРТ

картины для разных патологий или различий визуальной картины органов в норме, полученной с разных томографов. Данные, подтверждающие возможные ошибки в интерпретации визуальной МРТ картины, были приведены во многих работах [1–2].

Одной из составляющих, ограничивающей методы оценки для диагностики по классической МРТ (позволяющей получать T1-, T2-взвешанные изображения), является то, что интенсивность пикселя на изображении зависит не только от биофизических свойств ткани, но и от примененных протоколов и времен захвата (TE, TR) при настройке томографа [3]. Протоколы и времена захвата различаются у разных производителей томографа, а также могут быть изменены лаборантом по усмотрению врача-радиолога. В связи с этим интенсивность пикселей на полученном изображении, отраженная в оттенках серого (grey value), мо-

жет сильно различаться для одного пациента, обследованного на разных томографах.

В связи с численным различием интенсивности пикселей на снимках МРТ, полученных с разных томографов, для врача-радиолога МРТ изображение предоставляет только качественную информацию. Значения интенсивности не позволяют численно оценивать области интереса на снимке и сравнивать численные значения интенсивности между разными пациентами, или со значениями для ткани в норме и при патологии.

Для повышения точности постановки диагноза по МРТ изображениям врачу-радиологу, к качественной информации о различии контраста (в терминах гипер-, гипо-интенсивный) и пространственному положению, необходимо ввести количественный признак [4]. Такой признак должен оцениваться как характеристика ткани в норме и при патологии. Задача получения количественного признака на основе интенсивности пикселей МРТ изображения не является тривиальной и требует решения нескольких локальных задач.

Для применения в диагностике количественные признаки должны быть воспроизводимы, то есть измеренные параметры должны определяться взаимной близостью, при исследованиях, выполненных с различными условиями, такими как разные фирмы томографов и различные времена захвата, и импульсные последовательности. Как было сказано ранее, значения интенсивности, полученные при классических МРТ (T1-, T2-взвешанные изображения), различаются между собой в изображениях в зависимости от использования разных настроек томографа. Отсюда следует, что интенсивность пиксела от T1-, T2-взвешанных изображений не могут быть использованы в качестве количественного признака в диагностике в чистом виде. Так как воспроизводимость является важным требованием к количественным признакам, то для использования значений интенсивности в качестве оценочного признака необходимо осуществить обработку, направленную на восстановление интенсивности относительно параметров томографа. Проблема, связанная с восстановлением интенсивности на МРТ изображениях, осложняется не только многообразием томографов и их настроек, но и изменениями интенсивности, вызванными неоднородностью магнитного поля и нелинейностью градиента.

Другой характеристикой количественного признака является его способность идентифицировать патологический процесс, путем сравнения численных значений

с принятыми нормами для здоровой или поражённой ткани. В ходе литературного обзора были найдены шкалы классификации патологического процесса, при диагностике по МРТ изображениям. Они основаны на разности контраста (в терминах гипер-, гипоинтенсивный) в сочетании с формой и размером образования. Данные шкалы являются визуальными и ни одна из них не использует численные значения интенсивности МРТ изображения. Таким образом, из-за того, что значения интенсивности численно не соотносятся с стандартизированной оценочной шкалой, необходимо рассмотреть методы сопоставления восстановленной интенсивности МРТ с значениями, нормированными по оценочной шкале. В данной работе предлагается сопоставлять восстановленную интенсивность МРТ с радиологическими свойствами ткани, такими как коэффициент ослабления рентгеновского излучения с последующей их привязкой к оценочной шкале Хаунсфилда.

В качестве примера, в компьютерной томографии на этапе диагностики врач-радиолог, помимо качественной информации о визуальной картине патологической области на снимке и ее пространственном расположении, имеет возможность получить дополнительный признак, выполнив количественные измерения, заключающиеся в определении плотности в единицах шкалы Хаунсфилда [5]. Каждой здоровой ткани (органу) в теле человека или патологии ставится в соответствие определенный диапазон плотностей в единицах шкалы Хаунсфилда, тем самым у врача-радиолога появляется дополнительная опора при постановке диагноза.

В соответствии с поставленными критериями к количественному признаку, для использования значений интенсивности от МРТ изображений в качестве дополнительного диагностического признака, необходимо решить две группы задач:

- уменьшить влияние томографа и его настроек на изменчивость интенсивности, а также устранить артефакты неоднородности магнитного поля и нелинейности градиента, которые вносят изменения в интенсивность;

- получить модель перевода МРТ данных в другую модальность, путем сопоставления восстановленной интенсивности МРТ с рентгенологической плотностью (от КТ), используя методы математической статистики.

*Модель перевода модальности.* При МРТ и КТ исследованиях сканируется один и тот же объект, однако сигналы, зарегистрированные с МРТ, не соответствуют

значениям, полученным в результате КТ. Интенсивности МРТ коррелируют с плотностью протонов и временами магнитной релаксации, но не коэффициентом ослабления рентгеновских лучей. Отсутствие соответствия между интенсивностью МРТ и рентгенологическими свойствами ткани приводит к необходимости рассмотрения подходов математической статистики по сопоставлению результатов исследования КТ и МРТ.

В ходе литературно-аналитического обзора были проанализированы подходы к сопоставлению данных от медицинских изображений разной модальности. Целью таких подходов является как определение общих свойств или различий между исследуемой областью интереса, так и установление зависимости между ними по выбранному признаку.

Рассмотренные подходы к сопоставлению и установлению зависимости можно разделить на следующие:

1 подходы, основанные на сегментации областей интереса со статическим распределением значений;

2 подходы, основанные на использовании атласов;

3 подходы, основанные на методах обучения нейронных сетей;

4 подходы, основанные на функции отображения.

#### *Подход на основе сегментации*

Данный подход заключается в сегментировании изображения по разным типам тканей и назначении сегментированным областям заранее определенных значений. В частности, по результатам сегментации МРТ изображения каждой сегментированной области может быть назначено значение в единицах Хаунсфилда. Подход на основе сегментации рассмотрен в работах [6–7]. Такой подход ограничивается областью применения из-за сложности анатомической структуры в теле человека. Также такой подход действителен лишь для небольшого значения типов тканей с ранее известными значениями плотности Хаунсфилда и не обеспечивает определение значений для несегментированных структур.

#### *Подход на основе использования атласов*

Данный подход заключается в наличии базы данных с набором изображений, полученных при разном виде неинвазивного исследования. В ходе такого подхода выполняется поиск наиболее схожего атласа в базе данных, по морфологическим признакам [8–9]. В отличие от методов сегментации рассмотренных ранее, под-

ход основанный на атласах, позволяет назначить не заранее установленный диапазон значений плотности для выбранной области, а множество значений из схожего клинического случая, входящего в набор атласа. Недостатком такого подхода является необходимость использования большой базы данных изображений от разных исследований и решения задач арбитража между несколькими схожими снимками из атласа.

#### *Подход на основе методов обучения нейронных сетей*

Использование методов машинного обучения в рамках рассматриваемых подходов заключается в выявлении закономерностей между наборами данных, путем обучения на прецедентах, на основе ранее рассмотренных медицинских изображений. Такой подход может использоваться для определения вероятности нового значения для каждого пикселя. Подходы на основе машинного обучения различаются в соответствии с используемыми алгоритмами обучения [10–11]. Достоверность подходов на основе машинного обучения определяется наличием большого количества учебных данных, а также правильного подбора учебных данных и эффективности обучения.

#### *Подход на основе функции отображения*

Подход на основе функции отображения заключается в расчете и применении функции для преобразования значений интенсивности. Данный подход состоит в попиксельном присвоении интенсивности МРТ новых значений, таких как электронная плотность. В таком подходе применяются методы математической статистики для описания зависимости данных на небольшой выборке и использование полученной зависимости к данным, не вошедшим в выборку. В работе Rank SM et al. [12] был рассмотрен метод анализа дискретной функции, заключающийся в прогнозировании одной категориально-зависимой переменной к одной или нескольким независимым переменным. Метод регрессии на основе смесей распределения был рассмотрен в работах [13]. В данной работе в качестве функции распределения была выбрана гауссова функция. Точность полученных результатов напрямую зависит от количества выбранных смесей и правильности поиска экстремума в целевой функции. Такие методы не берут во внимание пространственное положение, а действуют пиксель за пикселем.

Для решения задачи по переводу данных в новую модальность, к подходам, по сопоставлению восстановленной интенсивности

МРТ с плотностью в единицах Хаунсфилда, предъявляются следующие критерии:

1. Область применения (ОП) – критерий определяет применимость подхода для одной отдельной выделенной области интереса или нескольких.

2. Объём обучающей выборки (ООВ) – критерий, определяющий количество необходимых исходных данных для произведения настройки (оптимизации параметров) модели зависимости.

3. Ресурсоемкость (Р) – критерий, определяющий количество данных, хранимых в памяти компьютера и используемых для получения результата.

4. Сложность реализации (СР) – критерий, определяющий сложность алгоритмического описания рассматриваемого подхода.

5. Точность подхода (ТП) – критерий, определяющий возможность определить достоверность полученных результатов.

В ходе оценки рассмотренных подходов по сопоставлению данных МРТ данным КТ, при парных сравнениях использовалась шкала словесных определений уровня важности.

Общая картежная модель оценки аналогов (ОА) методов к сопоставлению данных от медицинских изображений разной модальности:

$$O_{\text{Ап}} = \langle O(\text{ОП}), O(\text{ООВ}), O(\text{Р}), O(\text{СР}), O(\text{ТП}); R \rangle, \quad (1)$$

где  $O$  – оценка;  $R$  – матрица связей.

*Область применения.* Данный критерий будем оценивать по двухбалльной шкале:

$$I_{\text{оп}} = \begin{cases} 1, & \text{подход применим для разных областей} \\ 0, & \text{подход применим для одной конкретной области} \end{cases}$$

*Объём обучающей выборки.* Данный критерий будем оценивать по трехбалльной шкале:

$$I_{\text{оов}} = \begin{cases} 1, & \text{не требуется обучающей выборки} \\ 0,5, & \text{достаточно небольшого числа выборки} \\ 0, & \text{требуется большое число обучающей выборки} \end{cases}$$

*Ресурсоемкость.* Данный критерий будем оценивать по двухбалльной шкале:

$$I_{\text{р}} = \begin{cases} 1, & \text{если не использует заранее подготовленные атласы} \\ 0, & \text{если использует заранее подготовленные атласы} \end{cases}$$

*Сложность реализации.* Данный критерий будем оценивать по трехбалльной шкале:

$$I_{\text{ср}} = \begin{cases} 1, & \text{если уровень сложности низкий} \\ 0,5, & \text{если уровень сложности умеренный} \\ 0, & \text{если уровень сложности высокий} \end{cases}$$

*Точность подхода.* Данный критерий будем оценивать по двухбалльной шкале:

$$I_{\text{тп}} = \begin{cases} 1, & \text{если оцениваемый подход высокой точности} \\ 0, & \text{если оцениваемый подход низкой точности} \end{cases}$$

Таким образом формула для оценки аналогов принимает вид

$$O_{\text{Ап}} = O(\text{ОП}) * \alpha(\text{ОП}) + O(\text{ООВ}) * \alpha(\text{ООВ}) + O(\text{Р}) * \alpha(\text{Р}) + \\ + O(\text{СР}) * \alpha(\text{СР}) + O(\text{ТП}) * \alpha(\text{ТП}), \quad (2)$$

где  $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$ ;  $\alpha_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го критерия.

Оценка подходов сопоставления данных МРТ и КТ по критериям

	ОП	ООВ	Р	СР	ТП	$\alpha$
Интегральная оценка	0,22	0,21	0,10	0,05	0,42	1
подходы, основанные на сегментации областей интереса с статическим распределением значений;	0	0,21	0,10	0,05	0	0,36
подходы, основанные на использовании атласов;	0	0,21	0,10	0	0,42	0,73
подходы, основанные на методах обучения нейронных сетей;	0,22	0	0	0	0,42	0,64
<b>подходы, основанные на функции отображения</b>	<b>0,22</b>	<b>0,105</b>	<b>0,10</b>	<b>0,025</b>	<b>0,42</b>	<b>0,87</b>

Оценка производилась с использованием методики Томаса Саати. Итоговая оценка рассмотренных групп подходов по критериям представлена в таблице.

Проведенная оценка подходов позволяет сделать следующий вывод. Наиболее удовлетворяющим заданным критериям является подход, основанный на функции отображения полученной как результат использования алгоритмов регрессии математической статистики. Такой подход позволяет получить математическую модель, описывающую зависимость между данными разной модальности, используя небольшой набор пар входных данных для исследования. Однако точность сопоставления данных МРТ и КТ при использовании данного подхода будет зависеть от правильности подготовки исходных данных для расчета коэффициентов регрессии. Таким образом, на подготовительном этапе статистических расчетов необходимо дополнить данный подход алгоритмами устранения перепадов интенсивности, вызванных неоднородностью магнитного поля и алгоритмами усреднения интенсивности относительно параметров томографа, и использовать данные алгоритмы на этапе оценки. Также подход, основанный на обработке по пиксельно, использует информацию лишь об интенсивности пикселей и не использует информацию о пространственном расположении пикселя, то есть не учитывает, от какой анатомической структуры были получены значения интенсивности.

Таким образом, проблема в области медицинской визуализации на этапе диагностики, связанная с отсутствием стандартизированной оценочной шкалы для значений интенсивности на МРТ, и их численным различием между изображениями, полученными с разных томографов, и настройками, является предпосылкой к выдвигению гипотезы: разработать модель оценки МРТ изображений на основе значений интенсивности, нормированных по шкале Хаунсфилда, используя функцию отношения между значениями МРТ и КТ. Данная модель должна быть способна нормализовать значения интенсивности от разных МРТ изображений и соотнести их с соответствующими им плотностными значениями в единицах Хаунсфилда с учетом их пространственного положения. Предполагается, что создание такой модели позволит повысить качество диагностики путем получения информации о рентгенологической плотности по результатам МРТ без использования КТ. Кроме того, использование такого метода уменьшит количество сканирований КТ и связанный с ними дискомфорт для пациентов и уменьшит связанные со сканированием затраты.

Для описания специфики предлагаемого решения нами был разработан пакет структурных и математических моделей.

Общая схема предлагаемого решения по извлечению из МРТ изображения количественных признаков и оценки их в соответствии со шкалой Хаунсфилда приведена на рис. 1.

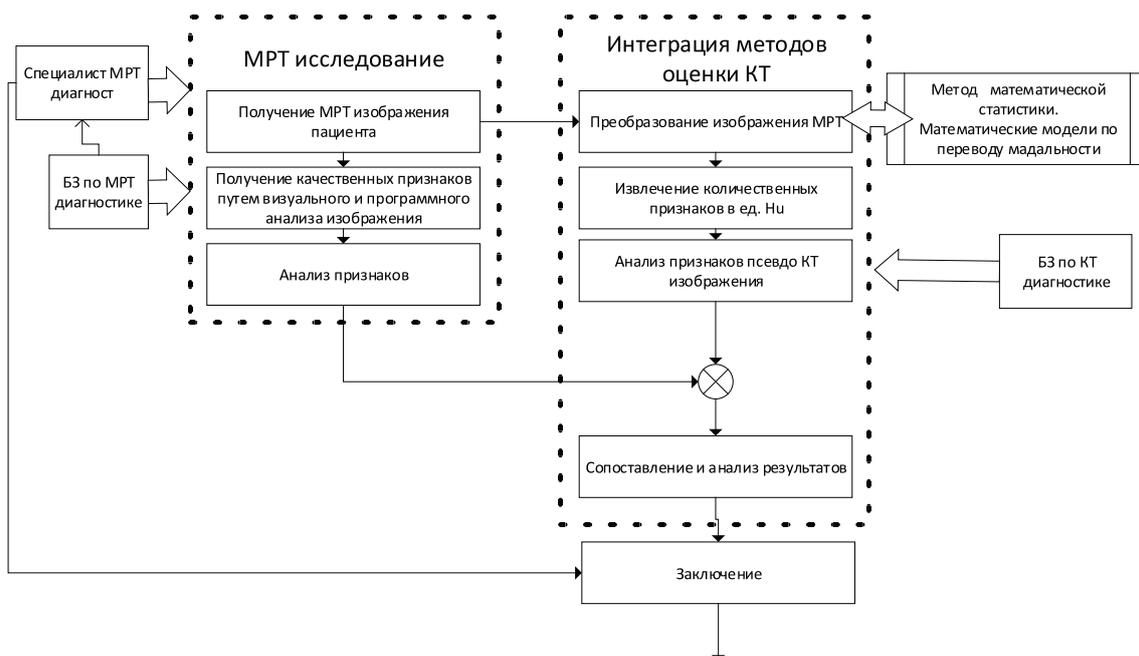


Рис. 1. Общая схема предлагаемого решения

Для наиболее полного понимания процесса функционирования разрабатываемого метода оценки была создана функционально-структурная модель в соответствии с Р50.1.028-2001. Для построения моделей использовано программное средство AllFusion Process Modeler 7.3.

На рис. 2 приведена функционально-структурная модель проектируемого решения нулевого уровня, отображающая

входящие и исходящие данные на этапе работы с МРТ изображением, а также механизмы управления и функционирования в целом.

На рис. 3 приведена функционально-структурная модель проектируемого решения первого уровня. На ней отображены основные направления деятельности системы, представляющие собой подсистемы данной системы.

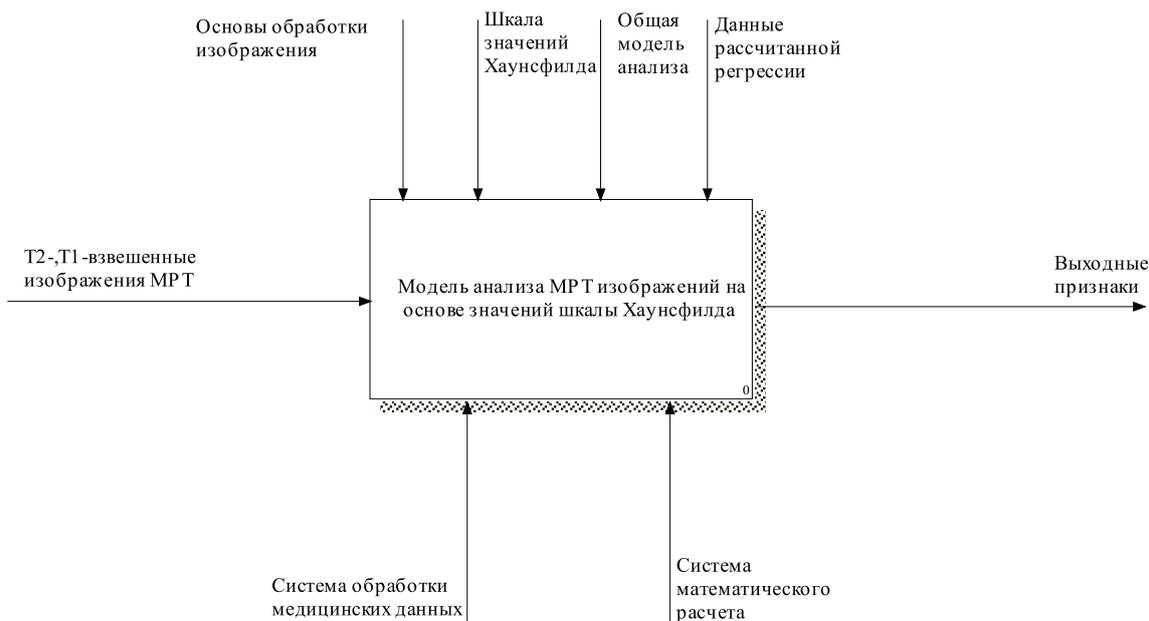


Рис. 2. IDEF0-модель TO-VE нулевого уровня

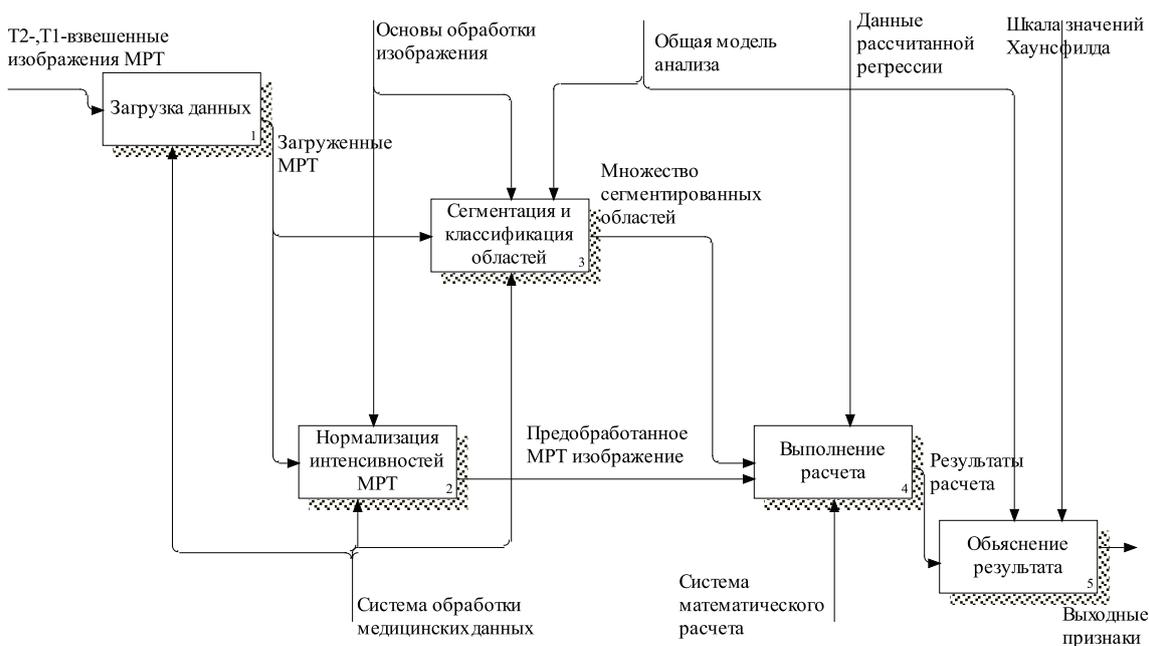


Рис. 3. IDEF0-модель TO-VE первого уровня

Описываемая модель состоит из следующих подсистем:

1. Подсистема загрузки данных.
2. Подсистема нормирования интенсивностей.
3. Подсистема сегментации.
4. Подсистема объяснений.
5. Подсистема расчета.

#### *Подсистема загрузки данных*

Подсистема должна принимать на вход МРТ изображения одного пациента, для расчета плотностных значений шкалы Хаунсфилда, используя ранее рассчитанную модель. Загружаемые файлы должны находиться в формате DICOM, при необходимости подсистема должна преобразовывать входную информацию для дальнейшей работы других подсистем.

#### *Подсистема нормирования интенсивностей*

На вход подсистемы подается матрица интенсивностей изображения и данные о параметрах сканирования из тегов DICOM. Выполняются алгоритмы по устранению искажения интенсивности, полученные при МРТ исследованиях с применением различных импульсных последовательностей и с различными настройками времен захвата. Устраняются перепады интенсивности, вызванные неоднородностью магнитного поля, и усредняются интенсивности относительно параметров томографа.

#### *Подсистема сегментации*

Подсистема классифицирует анатомические структуры на изображении, получая сетки для каждого класса. Для каждой сетки используется свой набор смесей распределения для выполнения расчетов в следующей подсистеме.

#### *Подсистема расчета*

На вход, в систему расчета, поступает множество значений интенсивности и множество сеток (сегментированных областей). При расчете значений шкалы Хаунсфилда от значений интенсивности МРТ одной сегментированной области выполняется итеративное сложение значений от весов вероятности и элементов ковариационной матрицы в соответствии с примененным математическим аппаратом. Все веса вероятности и матрицы были рассчитаны по тестовой выборке с применением порождающей модели смеси распределения [14]. При расчете параметров модели по набору пар значений выполняется EM-алгоритм. Условием для прекращения итераций алгоритма является заданный порог для логарифмической вероятности. На выход из подсистемы

поступают данные необходимые для анализа, в виде значений шкалы Хаунсфилда.

Также нами был предложен пакет математических моделей. Основная идея, изложенная в модели, заключается в возможности определения рентгенологической плотности в единицах шкалы Хаунсфилда только лишь по результатам МРТ.

Дано: набор пар изображений МРТ и КТ одного пациента.

Требуется: синтезировать математическую модель метода определения рентгенологической плотности в значениях шкалы Хаунсфилда по МРТ изображению.

Порядок проведения эксперимента. Были получены серии изображений КТ и МРТ одного и того же пациента. Каждое изображение представлено множеством значений интенсивности. Область на снимках – шея. Из-за того, что связь между значениями коэффициента ослабления в КТ и интенсивностью в МРТ не может быть получена по уравнениям, описывающим рентгеновские явления и явления ЯМР, для получения регрессионной функции предлагается использовать статистические методы регрессии, опираясь на совместное сопоставление значений КТ и МРТ от одной и той же области интереса. К изображениям применяются алгоритмы устранения артефактов, вызванных неоднородностью магнитного поля, нелинейности градиента, артефакты химического сдвига. На изображении выделяются основные анатомические структуры, такие как спинномозговая жидкость, спинной мозг, пульпозное ядро, жир, мышцы шеи, воздух. Для каждой из сегментированных анатомических структур выполняется фиксация значений интенсивности  $I_i$ , где  $i$  – номер области захвата на изображении, и вычислено среднее значение в каждой из структур  $\bar{I}_k$ , где  $k$  – номер класса анатомической структуры. Для выбранного в аналогах протокола исследования влияние времен релаксации T1 сводится к минимуму, из-за большого TR, что позволяет оценить сигнал уравнением

$$S \approx k\rho e^{-\frac{TE}{T2}}, \quad (3)$$

где  $k$  – константа, зависящая от используемого томографа,

TE – время эхо, величина характеризующая настройки выбранного протокола.

Из уравнения видно, что контраст между тканями определяется величиной T2 и  $\rho$ . Самую наибольшую протонную плотность и наименьшую разницу значения времен релаксации T2, полученных в разных экспериментах согласно данным, приведенным в статье J.Z. Wojciquez [15], имеют жировые

структуры, что делает его наименее чувствительным к различиям МР-исследования.

Поскольку значения интенсивности в МРТ изображениях варьируются, при разных настройках протокола (переменная TE для выбранных настроек протокола), необходимо для каждого значения интенсивности МРТ рассчитать интенсивность  $I_i^*$  в долях относительно средней интенсивности, полученной от жира в этом изображении:

$$I_i^* = (-100) * \frac{I_i - \bar{I}_{\text{жир}}}{\bar{I}_{\text{жир}}}. \quad (4)$$

Полученные значения  $I_i^*$  для разных тканей сравнимы между T2-взвешенными МРТ изображениями, полученными при разных временах захвата и силы магнитного поля.

Сопоставив совместно значения плотности в единицах шкалы Хаунсфилда по КТ изображениям и значения интенсивности\* МРТ изображения в каждой из областей было получено множество пар значений  $(x, y)$ , где  $x$  – значение  $I_i^*$  МРТ изображения, а  $y$  –

соответствующее ему значение КТ, для дальнейшего расчета регрессии в соответствии с выбранным аналогом.

Для описания сложных форм распределений полученных пар значений воспользуемся уравнением порождающей модели смеси распределения [14]:

$$p(x, y) = \sum_{k=1}^K w_k p_k(x, y; \theta_k), \quad (5)$$

где  $p_k(x, y; \theta_k)$  – функция правдоподобия  $k$ -й компоненты;

$w_k$  – веса  $k$ -й компоненты модели;

$\theta_k$  – вектор параметров распределения.

Параметр  $\theta_k = (\mu_k, \Sigma_k)$ , где  $\mu_k$  – математическое ожидание,  $\Sigma_k$  – ковариационная матрица. Использование смеси распределения позволит описать сложные формы распределения пар значений. В качестве функции плотности распределения в модели смеси используется гауссова функция распределения (6), а модель смеси называется гауссовой смесью.

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2(x-\mu_x)(y-\mu_y)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2}\right)}, \quad (6)$$

где  $\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y}$  – коэффициент корреляции.

При разделении смеси происходит подбор параметров  $\theta$  и  $w$ , таким образом, чтобы доставить максимум функции правдоподобия. Для оценки параметров используем алгоритм EM, состоящих из двух этапов:

1) оценка параметров:

$$g_{ij} = \frac{w_j p_j(\bar{x}_i; \theta_j)}{\sum_{k=1}^K w_k p_k(\bar{x}_i; \theta_k)}, \quad (7)$$

где  $\bar{x}_i$  –  $i$ -й вектор значений  $(x, y)$  в выборке;  $i = 1, \dots, m$  – номер вектора в выборке;  $j = 1, \dots, K$  – номер компоненты смеси.

2) подбор параметров:

$$\theta_j = \arg \max_{\theta} \sum_{i=1}^m g_{ij} \ln p_j(\bar{x}_i; \theta), \quad (8)$$

$$w_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m g_{ij}. \quad (9)$$

После оценки параметров для заданных пар значений уравнение (5) можно использовать для регрессии. Для этого представим двумерную функцию распределения плотности как произведение условной плотно-

сти  $y$  и плотности  $x$  и выразим условную плотность  $y$ :

$$p(y|x) = \frac{p(x, y)}{p(x)} = \frac{\sum_{k=1}^K w_k p_k(x, y; \theta_k)}{\sum_{k=1}^K w_k p_k(x; \theta_k)}. \quad (10)$$

Запишем уравнение (10) в следующем виде:

$$p(y|x) = \sum_{k=1}^K w_k(x) p_k(y), \quad (11)$$

где

$$w_k(x) = \frac{w_k p_k(x)}{\sum_{i=1}^K w_i p_i(x; \theta_i)}. \quad (12)$$

Предполагаемое значение в единицах шкалы Хаунсфилда по заданному значению интенсивности МРТ можно получить как условную среднюю:

$$\hat{y} = f(x) = \sum_{k=1}^K w_k(x) \bar{\mu}_k(x), \quad (13)$$

где

$$\bar{\mu}(x) = \mu_y + \sum_{YX} \sum_{XX}^{-1} (x - \mu_x). \quad (14)$$

Используя рассчитанные значения матрицы ковариации и веса вероятности, для

исходного набора данных, становится возможным рассчитать плотностные значения в единицах шкалы Хаунсфилда для нового МРТ изображения, не входящего в исходную выборку, используя уравнение (13), где  $x$  – нормализованные значения интенсивности МРТ.

### Выводы

Таким образом, научная новизна заключается в том, что предлагаемое решение позволяет получить дополнительный количественный диагностический признак из МРТ изображений, нормированный по оценочной шкале Хаунсфилда.

В ходе работы были получены как научные, так и практические результаты:

1. Рассмотрены особенности задачи оценки классических МРТ изображений (T1-, T2-взвешенных изображений), направленных на диагностику патологий позвоночника. Проанализированы требования к количественным диагностическим признакам. Показана перспективность и актуальность предлагаемой разработки.

2. Проведен литературно-аналитический обзор существующих методов восстановления интенсивности с учетом настроек томографов и артефактов неоднородности и нелинейности и подходов по сопоставлению данных разной модальности. Была выдвинута гипотеза предлагаемого решения.

3. Предложена концепция модели оценки МРТ изображений на основе значений, нормированных по шкале Хаунсфилда.

### Список литературы

1. Herzog R. Variability in diagnostic error rates of 10 MRI centers performing lumbar spine MRI examinations on the same patient within a 3-week period // *The Spine Journal*. – 2016. – Vol. 17, № 4. – P. 554–561.
2. Дифференциальная диагностика миелитов при демиелинизирующих заболеваниях / И.С. Бакулин [и др.] // *Нервные болезни*. – 2015. – № 4. – С. 9–17.
3. Хорнак Д.П. Основы МРТ // Российский государственный медицинский университет. – 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside-r.htm> (дата обращения: 16.03.2018).
4. Маткин А.Е. О требованиях к методу количественной оценки МРТ исследований / А.Е. Маткин // *Современные тенденции развития науки и технологий*. – 2017. – С. 142.
5. Статистический анализ влияния типа патологии на количественные характеристики медицинских изображений / И.В. Молодкин [и др.] // *Медицинская физика*. – 2014. – № 3. – С. 43–47.
6. Le Goff-Rougetet R., Frouin V., Mangin J.F. Segmented MR images for brain attenuation correction in PET // *Medical Imaging International Society for Optics and Photonics*, 1994. – P. 725–736.
7. Berker Y. et al. MRI-based attenuation correction for hybrid PET/MRI systems: a 4-class tissue segmentation technique using a combined ultrashort-echo-time/Dixon MRI sequence // *Journal of nuclear medicine*. – 2012. – Vol. 53, № 5. – P. 796–804.
8. Казанкова О.С. Возможности программных пакетов для сегментации томограмм головного мозга и количественной оценки тканей / О.А. Казанкова, А.О. Казначеева // *Альманах современной науки и образования*. – 2015. – № 5. – С. 75–78.
9. Burgos N., Cardoso M.J., Guerreiro F., Veiga C., Modat M., McClelland J. Robust CT synthesis for radiotherapy planning: application to the head and neck region // *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. – Springer International Publishing, 2015. – P. 476–484.
10. Jog A., Roy S., Carass A., Prince J.L. Magnetic resonance image synthesis through patch regression // *Biomedical Imaging (ISBI), 2013 IEEE 10th International Symposium on*. – IEEE, 2013. – P. 350–353.
11. Iglesias J.E., Konukoglu E., Zikic D., Glocker B., Van Leemput K. Is synthesizing MRI contrast useful for inter-modality analysis? // *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – P. 631–638.
12. Rank C.M., Tremmel C., Hunemohr N., Nagel A.M., Jakel O., Greilich S. MRI-based treatment plan simulation and adaptation for ion radiotherapy using a classification-based approach // *Radiat Oncol*. – 2013. – Vol. 8. – P. 51.
13. Jonsson J.H., Akhtari M.M., Karlsson M.G., Johansson A., Asklund T., Nyholm T. Accuracy of inverse treatment planning on substitute CT images derived from MR data for brain lesions // *Radiation Oncology*. – 2015. – Vol. 10, № 1. – P. 13.
14. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности: справочное издание / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, Е.С. Енюков. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
15. Bojorquez J.Z., Bricq S., Acquitter C., Brunotte F., Walker P.M., Lalande A. What are normal relaxation times of tissues at 3T // *Magnetic Resonance Imaging*. – 2017. – Vol. 35. – P. 69–80.

УДК 621.43.068:621.431

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПО СОСТАВУ И КОНЦЕНТРАЦИЯМ МЕТАЛЛОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ

Третьяк Л.Н., Кеян Е.Г., Вольнов А.С.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,  
e-mail: [tretyak\\_ln@mail.ru](mailto:tretyak_ln@mail.ru), [keyan1959@mail.ru](mailto:keyan1959@mail.ru), [Volnov\\_AS@mail.ru](mailto:Volnov_AS@mail.ru)

На основе системного анализа и специальных исследований авторами предложено оценивать техническое состояние цилиндро-поршневой группы по составу и концентрациям твёрдых частиц в отработавших газах двигателей автомобилей. Обосновано, что отдельные металлы в составе отработавших газов двигателя могут быть индикаторами износа деталей цилиндро-поршневой группы. Разработана методика и алгоритм оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания по составу и концентрациям металлов в отработавших газах. В основу методики положено определение массы взвешенных твёрдых частиц отработавших газов, задержанных аналитическими аэрозольными фильтрами, с последующим определением состава и концентрации металлов в пробах атомно-адсорбционным методом. Методика апробирована на примере дизельного двигателя КамАЗ 740.10 на различных этапах его эксплуатации: до капитального ремонта, после ремонта (на обкаточно-тормозном стенде КИ-5274) и при пробеге 1500 км после ремонта. Концентрации металлов определены по М-01В/2011 «Измерение массовой концентрации металлов в выбросах загрязняющих веществ в атмосферу и в воздухе рабочей зоны промышленных предприятий» на атомно-адсорбционном спектрометре «Квант-2АТ». При оценке технического состояния цилиндро-поршневой группы авторами предложен комплексный индикатор степени изнашивания – концентрации железа.

**Ключевые слова:** техническое состояние, двигатель внутреннего сгорания, цилиндро-поршневая группа, отработавшие газы, методика, твёрдые частицы, металлы, индикаторы изнашивания, моторные топливо и масло

## DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE CYLINDER-PISTON MOTOR OF AUTOMOBILE ENGINES ON THE COMPOSITION OF METALS IN PROCESS GASES

Tretyak L.N., Keyan E.G., Volnov A.S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «The Orenburg State University»,  
Orenburg, e-mail: [tretyak\\_ln@mail.ru](mailto:tretyak_ln@mail.ru), [keyan1959@mail.ru](mailto:keyan1959@mail.ru), [Volnov\\_AS@mail.ru](mailto:Volnov_AS@mail.ru)

On the basis of system analysis and special studies, the authors proposed to evaluate the technical state of the cylinder-piston group for the composition and concentrations of solid particles in the exhaust gases of car engines. It is substantiated that individual metals in the engine exhaust can be indicators of wear of cylinder-piston group parts. The technique and algorithm for assessing the technical condition of the cylinder-piston group of internal combustion engines based on the composition and concentration of metals in the exhaust gases is developed. The method is based on the determination of the mass of suspended solids of exhaust gases trapped by analytical aerosol filters, with subsequent determination of the composition and concentration of metals in the samples by the atomic-adsorption method. The technique is tested using the example of the KamAZ 740.10 diesel engine at various stages of its operation: before overhaul, after repair (at the KI-5274 wheel-brake bench) and at 1500 km after repair. The metal concentrations were determined according to M-01B/2011 «Measurement of the mass concentration of metals in emissions of pollutants into the atmosphere and in the air of the working zone of industrial enterprises» using the «Kvant-2AT» atomic absorption spectrometer. In assessing the technical condition of the cylinder-piston group, the authors proposed a complex indicator of the degree of wear – the concentration of iron.

**Keywords:** technical condition, internal combustion engine, cylinder-piston group, exhaust gases, technique, solid particles, metals, wear indicators, motor fuel and oil

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является наиболее сложным и важным агрегатом автомобиля. Работа двигателя зависит от технического состояния (ТС) его механизмов и систем, которые, воздействуя между собой, обеспечивают требуемый уровень выходных параметров – мощность, крутящий момент, частоту вращения коленчатого вала, расход топлива и масла [1, 2]. Среди узлов и деталей двигателей автомобилей цилиндро-поршневая группа (ЦПГ) наиболее подвержена эксплуатационному износу.

Поэтому оценке технического состояния ЦПГ необходимо уделять особое внимание. При диагностировании ЦПГ согласно ГОСТ 23435-79 должны контролироваться прямые или косвенные параметры. Прямой – структурный параметр (например, износ, зазор в сопряжении и др.), который непосредственно характеризует ТС объекта. Косвенный параметр (давление масла, содержание оксида углерода в отработавших газах (ОГ) и др.) косвенно характеризует ТС ЦПГ. Наиболее широкое применение при

оценке ТС ЦПГ получили косвенные методы, что объясняется возможностью диагностики ДВС без дефектовки. Однако ни один из диагностических параметров не позволяет однозначно установить неисправность в ЦПГ конкретного элемента.

В таких неопределенных и сложных условиях очень важно правильно выбрать метод диагностирования, среди которых наиболее перспективен качественный и количественный анализ состава элементов износа в ОГ. В частности, на кафедре метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета (МСиС ОГУ) предложено проводить диагностирование ТС ДВС по составу и концентрациям металлов в ОГ на основе атомно-адсорбционной спектрофотометрии. Как установлено [3, 4], обнаружение в составе ОГ избыточных концентраций металлов (Fe, Cd, Mn, Pb, Ni, Co, Cu, Cr, Zn) – составных элементов ДВС – свидетельствует о степени износа деталей ЦПГ. По мнению авторов статьи, по концентрациям алюминия можно судить об износе поршней, по наличию хрома – об износе хромированных поршневых колец и т.д. Эти данные подтверждаются результатами исследования твёрдых частиц (ТЧ) с использованием нейтронной томографии [5, 6], позволившими выявить, что в составе минеральной фракции содержится: Са порядка 37%, Zn – 19%, S – 15%, P – 8% и Cu – 2%, а также Fe, Ni, Co, Pb, Sn, Cd, Bi, Sb, Hg. Однако ТЧ, присутствующие в составе ОГ современных дизелей, содержат не только продукты изнашивания двигателя, но и систем нейтрализации [7], ингредиенты присадок к топливу и к моторному маслу, а также частицы пыли, поступающие в цилиндр с воздухом.

#### Цель и объект исследования

На основе вышеприведённых фактов определена **цель исследования** – разработка методики оценки ТС двигателя автомобиля по составу ТЧ в ОГ с дальнейшим определением концентраций металлов, необходимых для наиболее достоверного учёта степени изнашивания элементов ЦПГ. **Объект исследования** – ТЧ в составе ОГ ДВС.

#### Материалы и методы исследования

Применены теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретические исследования базируются на методах системного анализа. Для экспериментальной оценки ТС двигателя разработана авторская методика, описание и апробация которой приводится ниже.

Проведённые нами специальные исследования показали, что оценить ТС ЦПГ возможно по углублённому анализу состава ОГ двигателей автомобилей. В связи с отсутствием прямых методов измерения ТЧ в выбросах ДВС нами разработана методика оценки ТС ЦПГ двигателей автомобилей по составу частиц металлов в ОГ. За основу методики принят гравиметрический метод определения пыли и атомно-адсорбционный метод измерений концентраций металлов в выбросах загрязняющих веществ в атмосферу и в воздухе рабочей зоны промышленных предприятий. Основными преимуществами выбранных методов являются возможность обеспечения требуемой погрешности при отборе пробы исследуемого объема ОГ; высокая чувствительность метода, определяемая классом точности весов; возможность точного учета влияющих факторов, а также эксплуатационные преимущества.

Ниже приводится содержание основных разделов предлагаемой методики:

##### 1. Область применения

Методика предназначена для оценки ТС ДВС в условиях эксплуатации по составу и концентрациям металлов в выбросах ОГ.

##### 2. Метод измерений

Метод основан на отборе проб и определении массы взвешенных ТЧ ОГ, задержанных аналитическими аэрозольными фильтрами (АФА), с последующим определением состава и концентрации металлов в пробах атомно-адсорбционным методом.

##### 3. Требования к средствам измерений, вспомогательным устройствам и материалам

При выполнении отбора проб должны применяться следующие средства измерений, вспомогательные устройства и материалы:

3.1. Средства измерений и вспомогательные устройства: весы электронные МС210Р; набор гирь (1 мг – 1 кг) класс точности Е1; электроаспиратор ЭА-2С или ЭА-2СМ погрешность  $\pm 5\%$  (ТУ 25-11.1591-81); спектрофотометр атомно-адсорбционный «Квант 2АТ» с программным обеспечением (ТУ 4434-030-29903757), эксикатор.

3.2. Материалы: аналитические аэрозольные фильтры АФА (ТУ 95-740-80); бумажное защитное кольцо с выступом; фильтродержатель «ИРА»; сетка опорная СО-20; прокладка ПФ-20; чашки Петри (ГОСТ 23932-90 «Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Общие технические условия»), используемые как транспортная упаковка фильтров, силикагель крупнопористый гранулированный крупный силикагель (КСКГ).

##### 4. Требования безопасности

4.1. Отбор проб производят с учетом инструкций по технике безопасности, элек-

робезопасности и пожарной безопасности, действующих на каждом предприятии.

4.2. Запрещается при включенном электроаспираторе производить ремонт, снимать и устанавливать фильтры. Запрещается включать электроаспиратор без фильтра в фильтродержателе.

#### 5. Условия выполнения измерений

При проведении измерений ТЧ в ОГ автомобиля должны выполняться следующие условия: температура окружающего воздуха – от минус 7 °С до плюс 35 °С; атмосферное давление – не ниже 92,0 кПа (690 мм рт. ст.). Если в паспорте используемых средств измерений указаны более узкие диапазоны, то они должны быть соблюдены.

#### 6. Подготовка к выполнению измерений

6.1. Перед началом отбора проб необходимо внести в протокол исходную информацию об автотранспортном средстве (АТС) и его двигателе (регистрационный знак, идентификационный номер (VIN), марка, модель, тип транспортного средства, категория, год выпуска, модель, номер, мощность и рабочий объём двигателя, пробег, отметки в сервисной книжке).

6.2. Используемые для отбора пробы ОГ фильтры должны быть пронумерованы. Порядковый номер наносят карандашом на бумажное защитное кольцо каждого фильтра АФА.

6.3. Перед отбором пробы ТЧ из ОГ должна быть определена масса фильтров. В целях сохранности рабочей поверхности фильтров при всех операциях следует пользоваться пинцетом, держась им за край фильтра. Масса обезвоженных фильтров измеряется 5 раз на электронных весах МС210Р через каждые 20 с. Процедура обезвоживания в эксикаторе должна проходить в течение 24 ч. В качестве влагопоглотителя могут быть использованы высушенный перхлорат магния  $Mg(ClO_4)_2$ , медный купорос  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  или силикагель, например, типа КСКГ. Для получения исходной массы каждого фильтра строятся графики зависимости массы от времени. Экстраполяция графиков в нулевой момент времени даёт значения исходной массы фильтра на момент извлечения из эксикатора. Чистые фильтры известной массы вкладывают в чашки Петри, эти чашки помещают в полиэтиленовые пакеты, на которые карандашом наносят номер фильтра и его исходную массу ( $m_0$ ).

6.4. Подготовленные по п. 6.3 фильтры устанавливают в фильтродержатели для дальнейшего отбора проб ТЧ из ОГ.

6.5. Для отбора проб на электроаспираторе устанавливают скорость, равную 100 л/мин.

6.6. Перед началом измерений ТЧ из ОГ ДВС автомобиля прогревают до температуры не ниже рабочей температуры моторного масла или охлаждающей жидкости, указанной в инструкции по эксплуатации автомобиля, но не ниже 60 °С.

6.7. Необходимо убедиться в исправности выпускной системы автомобиля и системы нейтрализации ОГ, которые являются основными факторами, влияющими на результат наблюдений.

6.8. После прогрева двигателя проводят следующие операции: устанавливают рычаг коробки передач в нейтральное положение; затормаживают автомобиль стояночным тормозом и заглушают двигатель; устанавливают противооткатные упоры под ведущие колеса АТС; фильтродержатель подносят к выхлопной трубе автомобиля на расстоянии 10–15 см.

#### 7. Выполнение измерений

Отбор проб производят на холостом ходу на минимальной ( $n_{\min}$ ) и повышенной ( $n_{\text{пов}}$ ) частотах вращения коленчатого вала, установленных заводом-изготовителем.

7.1. Порядок отбора проб при повышенной ( $n_{\text{пов}}$ ) частоте вращения коленчатого вала:

- включают электроаспиратор, устанавливают время отбора, равное 10 мин, и нажимают кнопку «Пуск». Для определения ТЧ в пробах на электроаспираторе необходима прокачка ОГ в объёме 1000 л (1 м<sup>3</sup>);

- по завершении отбора проб выключают электроаспиратор;

- фильтр АФА с отработанной пробой осторожно вынимают из фильтродержателя, перегибая его пополам запыленной стороной внутрь, и помещают в чашку Петри, а затем – в полиэтиленовый пакет. На пакет карандашом наносят следующие данные: дата и время отбора проб, начальная масса фильтра, марка ТС, температура и атмосферное давление во время отбора пробы;

7.2. Отбор проб на минимальной ( $n_{\min}$ ) частоте вращения коленчатого вала проводят аналогично п. 7.1.

7.3. Определение массы фильтров после отбора проб. Отработанный фильтр с накопленными на нём ТЧ извлекают пинцетом из полиэтиленового пакета и чашки Петри, обезвоживают и определяют массу ( $m_1$ ) по п. 6.3. Взвешивание фильтров необходимо проводить с особой осторожностью, чтобы его не повредить или рассыпать содержимое. После чего отработанные фильтры известной массы вкладывают в чашки Петри, эти чашки помещают в полиэтиленовые пакеты, на которые карандашом наносят массу фильтра с ТЧ ( $m_1$ ). Чтобы не испортить рабочую поверхность фильтров, их следует брать за край.

7.4. Определение массы ТЧ в составе ОГ. Массу ТЧ в составе ОГ определяют по разности масс чистого и отработанного обезвоженных фильтров в нулевой момент времени.

7.5. Определение концентрации металлов в составе ОГ. Фильтры после отбора проб и взвешивания передаются в аккредитованную лабораторию, где по методике М-01В/2011 (Методика измерения массовой концентрации металлов в выбросах загрязняющих веществ в атмосферу и в воздухе рабочей зоны промышленных предприятий) атомно-адсорбционным методом на приборе «Квант-2АТ» определяют концентрации металлов в пробах ОГ. По результатам измерений в протоколе, выданном аккредитованной лабораторией, должны быть указаны состав и концентрации металлов, обнаруженных в пробах ОГ, а также методика выполнения измерения, по которой определялись концентрации металлов.

8. Оценка технического состояния ЦПГ двигателей автомобилей

По концентрациям металлов (приведены в протоколе) и сведениям о химическом

составе используемых сплавов и материалов элементов для конкретного ДВС делается вывод о степени изнашивания или неисправности определенного узла ЦПГ.

Алгоритм предлагаемой методики оценки ТС ДВС по составу и концентрациям металлов в ОГ представлен на рис. 1.

### Результаты исследования и их обсуждение

Объектом исследования выбран автомобиль КамАЗ модели 55111 2001 г. выпуска с дизельным двигателем КамАЗ 740.10 и пробегом 370000 км. Перед тем как определить концентрации металлов в ОГ, нами с учётом справочных данных о материале основных деталей двигателя и химического состава применяемых сплавов (табл. 1) [8, 9] определены предполагаемые индикаторы износа деталей ЦПГ в двигателе КамАЗ 740.10. Обнаружение в составе ОГ избыточных концентраций металлов составных элементов двигателя будет свидетельствовать о степени износа элементов ЦПГ.

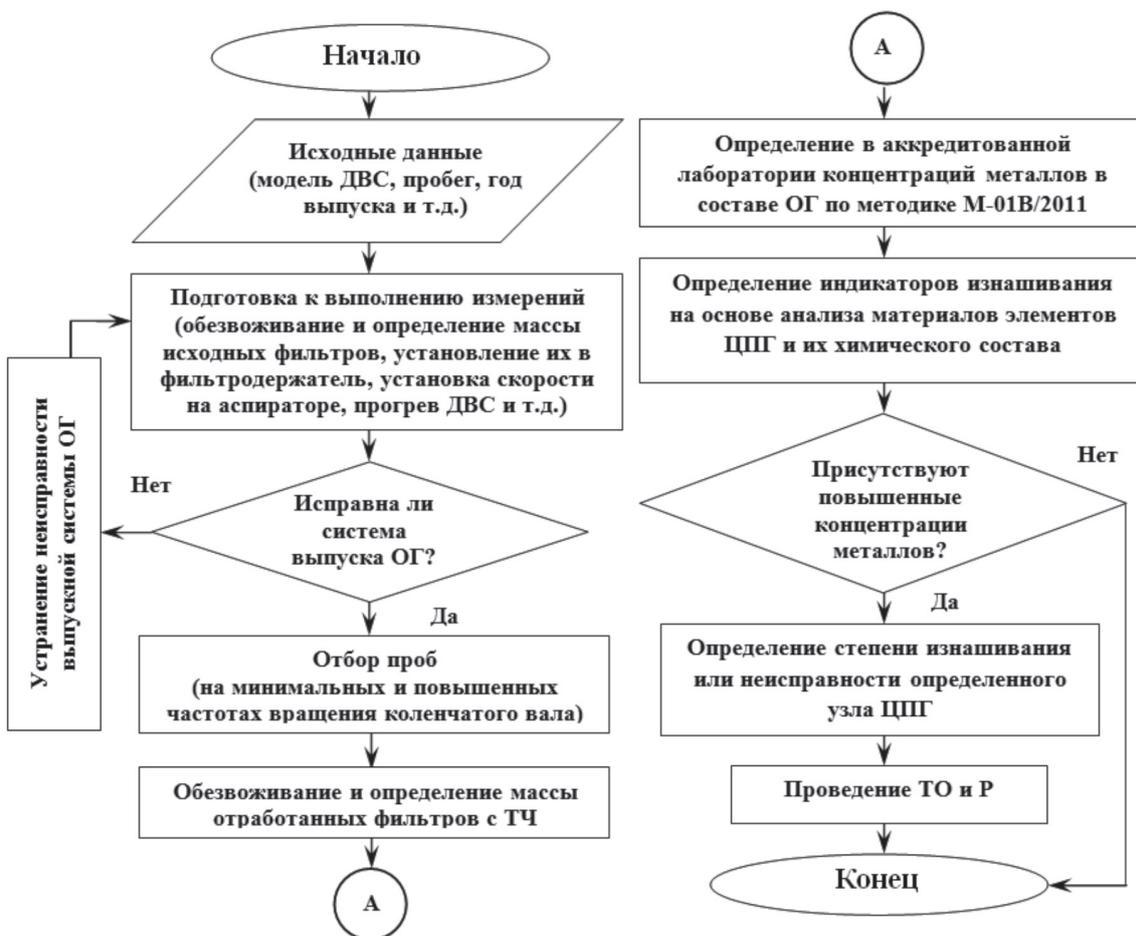


Рис. 1. Алгоритм оценки ТС ДВС по составу и концентрации металлов в ОГ

Таблица 1

Материалы и химический состав основных деталей ДВС КамАЗ 740.10 [8, 9]

Наименование деталей	Материал	Химический состав, %
Блок цилиндров	Чугун СЧ20 (чугун с пластинчатым графитом)	Fe около 93; C от 3,3 до 3,5; Si от 1,4 до 2,4; Mn от 0,7 до 1; P до 0,2; S до 0,15;
Гильзы цилиндров	Легированный и малолегированный чугун	Fe около 94; C от 2,9 до 3; Si от 1,2 до 1,5; Mn от 0,7 до 1,1; P до 0,2; S до 0,12
Головка блока цилиндров	Алюминиевый литейный сплав АЛ4	Al от 87,2 до 91,63; Si от 8 до 10,5; Fe до 1; Mn от 0,2 до 0,5; Mg от 0,17 до 0,3; Zn до 0,2; Cu до 0,1; Pb до 0,05; Be до 0,1; Sn до 0,01
Впускной/выпускной трубопровод	СЧ15 (чугун с пластинчатым графитом)	Fe около 93; C от 3,5 до 3,7; Si от 2 до 2,4; Mn от 0,5 до 0,8; P до 0,2; S до 0,15
Коленчатый вал	Сталь 42 ХМФА (хромомолибденовая сталь)	Fe около 97; Cr от 0,8 до 1,1; Mn от 0,4 до 0,7; C от 0,37 до 0,44; Si от 0,17 до 0,37; Mo от 0,2 до 0,3; V от 0,1 до 0,18; S до 0,025; P до 0,025
Шатун	Сталь 40ХН2МА (хромоникель-молибденовая)	Fe около 95; Ni от 1,25 до 1,65; Mn от 0,5 до 0,8; Cr от 0,6 до 0,9; C от 0,37 до 0,44; Si от 0,17 до 0,37; Mo от 0,15 до 0,25; Cu до 0,3; S до 0,025; P до 0,025
Поршневой палец	Хромоникелевая сталь 12ХН2	Fe около 96; Ni от 1,5 до 1,9; Cr от 0,6 до 0,9; Mn от 0,3 до 0,6; Si от 0,17 до 0,37; Cu до 0,3; C от 0,09 до 0,16; S до 0,035; P до 0,035
Поршень	Алюминиевый деформируемый сплав АК18	Al от 75,94 до 79,5; Si от 17 до 19; Ni от 0,8 до 1,3; Cu от 0,8 до 1,5; Mg от 0,8 до 1,3; Fe до 0,5; Mn до 0,2; Ti до 0,2; Pb до 0,05; Zn до 0,2; Sn до 0,01; примеси 1,1
Компрессионные кольца	Высокопрочный чугун	Fe около 91; C от 3,2 до 3,6; Si от 2,6 до 2,9; Mn от 0,4 до 0,7; Ni до 0,6; Cu до 0,6; Cr до 0,15; P до 0,1; S до 0,01
	Покрытие сталь 20Х13	Fe около 84; Cr от 12 до 14; Si до 0,6; Mn до 0,6; Ni до 0,6; C от 0,16 до 0,25; S до 0,025; P до 0,03
Впускной клапан	Сталь 40Х10С2М	Fe около 84; Cr от 9 до 10,5; Si от 1,9 до 2,6; Mo от 0,7 до 0,9; Mn до 0,8; Ni до 0,6; C от 0,35 до 0,45; Ti до 0,2; Cu до 0,3; S до 0,025; P до 0,03
Выпускной клапан	Сталь 55Х20Г9АН4	Fe около 64; Cr от 20 до 22; Mn от 8 до 10; Ni от 3,5 до 4,5; N от 0,3 до 0,6; C от 0,5 до 0,6; Si до 0,45; Cu до 0,3; P до 0,04; S до 0,03
Распределительный вал	Хромо-марганцевая сталь 18ХГТ	Fe около 96; Cr от 1 до 1,3; Mn от 0,8 до 1,1; Si от 0,17 до 0,37; Ni до 0,3; Cu до 0,3; C от 0,17 до 0,23; Ti от 0,03 до 0,09; S до 0,035; P до 0,035

С целью подтверждения возможности применения предложенной методики для оценки ТС ЦПГ двигателей автомобилей по составу и концентрациям металлов в ОГ нами было принято решение о проведении отбора проб на прогревом до рабочей температуры ДВС при повышенной частоте вращения коленчатого вала (2000 об/мин) на различных этапах исследования: до капитального ремонта, после ремонта (на испытательном стенде), в процессе эксплуатации.

Дефектовка двигателя проводилась на предприятии ООО «Авторемонтный завод». На первом этапе (до капитального ремонта) перед демонтажом ДВС с АТС мы осуществили отбор проб ТЧ в ОГ при частоте вращения коленчатого вала в 2000

об/мин (рис. 2). Для исключения влияния внешних факторов нами были определены фоновые концентрации металлов в окружающем воздухе. После снятия с АТС ДВС был установлен на стенд для сборки – разборки ДВС (рис. 3).

При разборке ДВС было выявлено, что на наружных поверхностях поршней и гильз присутствуют характерные задиры, следы прогара и глубокие трещины (рис. 4, 5). После разборки все детали ДВС были тщательно промыты и просушены. Проведена дефектовка, по итогам которой было принято решение о замене поршневой группы.

На АТС был установлен поршневой комплект 740.10000128-10К-44 (Дальнобой фирмы «Kolbenschmidt»). Данный комплект

применяется на ДВС: КамАЗ – 740.10, – 740.20, – 7409.10, – 7401-5, – 7402, – 7408, – 750 и состоит из следующих деталей: комплект поршневых колец – 740.1000106; гильза – 740.30-1002021; поршень – 7401004015-10К; поршневой палец – 740.60-1004020; кольцо уплотнительное – 740.1002031; кольцо упорное – 740.1004022; кольцо уплотнительное – 740.1002024.

После капитального ремонта и сборки ДВС устанавливался на обкаточно-тормозной стенд КИ-5274 (рис. 6) с целью проведения горячей обкатки и приемо-сдаточных испытаний. В процессе обкатки осуществляется приработка узлов и агрегатов ДВС. На данном этапе отбор проб осуществлялся из выпускного коллектора ДВС. После испытаний на стенде ДВС установили на АТС для дальнейшей эксплуатации. На этом этапе (в условиях эксплуатации АТС с пробегом в 1500 км) проводили последний, третий отбор проб (рис. 2).

Исследование состава и концентрации ТЧ в ОГ проводили в два этапа: измерение массы ТЧ на фильтрах АФА и определение

концентраций металлов, характеризующих износ деталей ЦПГ.

Измерение массы ТЧ на фильтрах проводилось на весах МС210Р, зав. № 81205169 с погрешностью до 0,06 мг (Свидетельство о поверке № 12/71-2017 до 16.01.2018 г.). Результаты взвешиваний исследуемых фильтров (рис. 7) наглядно показывают, что на технически исправном обкатанном двигателе концентрации ТЧ в ОГ значительно меньше, чем до ремонта.

Определение концентраций металлов на фильтре выполнялось по методике М-01В/2011 на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2АТ» (Свидетельство о поверке № 9/3947-2017 до 15.05.2018 г.). Результаты исследований, а также зависимости изменения концентрации содержащихся в ТЧ металлов в составе ОГ до ремонта, после ремонта и в процессе эксплуатации с пробегом в 1500 км представлены в табл. 2 и на рис. 8. Примеры изменения содержания металлов в ОГ дизеля в зависимости от этапа исследования приведены на рис. 9 и 10.



Рис. 2. Фильтры с отобранными пробами ТЧ



Рис. 3. Стенд для сборки-разборки ДВС



Рис. 4. Задиры на поршнях ДВС



Рис. 5. Задиры на гильзах



Рис. 6. ДВС КамАЗ 740.10 на стенде КИ-5274

Таблица 2

Результаты исследований обнаруженных концентраций металлов в выбросах ОГ

Металлы	Проба № 1 концентрации металлов до ремонта ДВС, мг/м <sup>3</sup>	Проба № 2 концентрации металлов после ремонта на испытательном стенде, мг/м <sup>3</sup>	Проба № 3 концентрации металлов в процессе эксплуатации пробег 1500 км, мг/м <sup>3</sup>	Проба № 4 Фоновые концентрации, мг/м <sup>3</sup>
Cu	0,000841 ± 0,000168	0,000818 ± 0,000164	0,000245 ± 0,000049	0,000032 ± 0,000005
Pb	0,001690 ± 0,000340	0,000704 ± 0,000140	0,000696 ± 0,000139	0,000012 ± 0,000002
Cd	0,000014 ± 0,000003	0,000011 ± 0,000002	0,000010 ± 0,000002	0,000034 ± 0,000005
Zn	0,005370 ± 0,001070	0,001550 ± 0,000031	0,000586 ± 0,000112	0,000140 ± 0,000020
Mn	0,000997 ± 0,000199	0,000561 ± 0,000112	0,000560 ± 0,000112	0,000088 ± 0,000013
Ni	0,000473 ± 0,000095	0,000384 ± 0,000077	0,000244 ± 0,000049	0,000012 ± 0,000002
Co	0,000334 ± 0,000067	0,000067 ± 0,000013	0,000062 ± 0,000012	0,000084 ± 0,000013
Cr	0,002640 ± 0,000530	0,001750 ± 0,000350	0,001130 ± 0,000230	0,000050 ± 0,000007
Fe	0,013500 ± 0,002700	0,010200 ± 0,002000	0,004060 ± 0,000810	0,000410 ± 0,000060

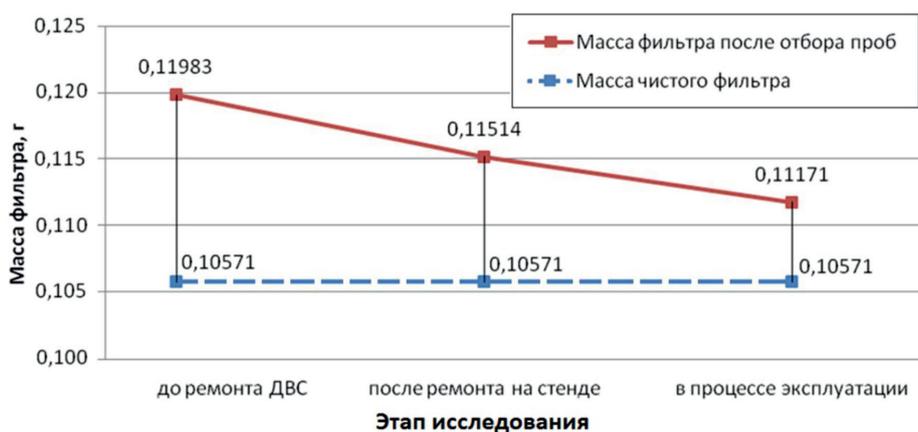


Рис. 7. Изменение массы фильтра от условий эксплуатации двигателя

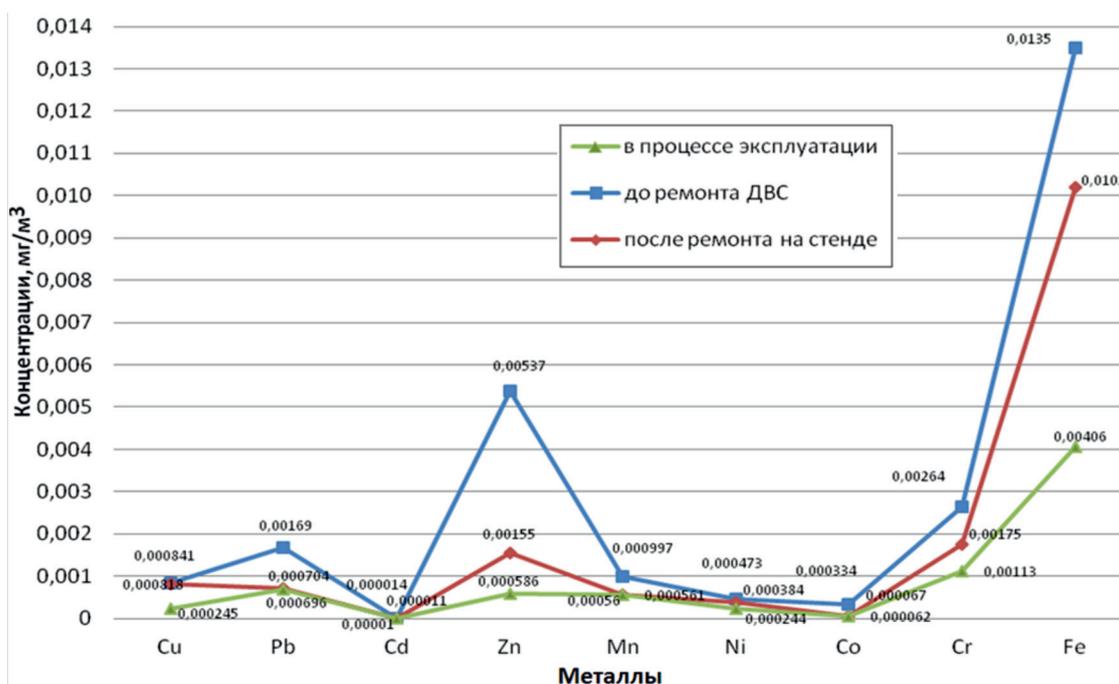


Рис. 8. Изменение концентраций металлов в ОГ ДВС КАМАЗ 740.10 на различных этапах исследования



Рис. 9. Изменение концентрации Fe в ОГ на различных этапах исследования



Рис. 10. Изменение концентрации Si в ОГ на различных этапах исследования

По данным аккредитованной лаборатории об обнаруженных концентрациях металлов и априорной информации о химическом составе сплавов и материалов, применяемых в ДВС, можно сделать вывод, что из девяти обнаруженных в фильтрате металлов только цинк может быть представителем присадок масел. Существенные концентрации железа в составе ОГ свидетельствуют об износе механизма газораспределения, а именно впускных и выпускных клапанов. Обнаруженные концентрации свинца в составе ОГ свидетельствуют о применении его в качестве антидетонаторов углеводородного топлива. Этот факт дает основание считать их обнаружение в составе ОГ при-

знаком низкого качества моторного топлива. По концентрациям хрома можно судить об износе хромированных поршневых колец. Концентрации этих химических соединений в составе ОГ могут служить показателем критического износа элементов ЦПГ (табл. 3). При этом в качестве комплексного индикатора степени изнашивания ЦПГ авторами предложены концентрации железа как основного химического элемента в составе узлов и агрегатов двигателя. Повышенные концентрации железа в составе ОГ могут свидетельствовать о комплексном износе деталей ЦПГ, что мы и предлагаем учитывать при техническом обслуживании (ТО) двигателя.

**Таблица 3**

Предлагаемые индикаторы износа по составу металлов в ОГ ДВС КамАЗ 740.10

Индикатор износа	Узлы ДВС	Причина износа
Железо	Впускной/выпускной клапан, блок цилиндров, гильзы цилиндров, шатун, поршневой палец, компрессионные кольца, распределительный вал	Если в пробе ОГ обнаружено содержание железа, превышающее уровень нормального износа, а концентрации других металлов – в норме, это указывает на комплексный износ деталей газораспределительного механизма (ГРМ) и ЦПГ
Алюминий	Головка блока цилиндров (ГБЦ), поршни	Износ поршней зачастую вызван абразивными частицами (пыль, грязь), попадающими в масло. Другая причина – перегрев двигателя. Попадание топлива в масло снижает его смазывающие свойства, а это увеличивает трение и, следовательно, износ поршней
Никель	Шатун, поршневой палец, поршень, поршневые кольца, впускной и выпускной клапан	Высокая концентрация никеля сопровождается износом шатунов и поршневых колец
Кремний	Поршни, поршневые кольца, блок и гильза цилиндров	Высокая концентрация кремния сопровождается износом поршней и головки блока цилиндров (ГБЦ), незначительная концентрация свидетельствует об износе поршневых колец, блока и гильз цилиндров
Медь	Поршни, компрессионные кольца	Высокая концентрация меди указывает на износ поршней
Хром	Поршневые кольца, впускной/выпускной клапан	Износ колец определяется по концентрации хрома и вызывается абразивным износом от частиц грязи и пыли
Марганец	Выпускной клапан	Высокая концентрация марганца сопровождается износом выпускных клапанов

Примечание. Цинк – индикатор присадок масла; свинец – антидетонатор углеводородного топлива (признак низкого качества моторного топлива).

### Заключение

1. Разработана новая методика и алгоритм оценки ТС двигателя автомобиля, позволяющие при проведении ТО определять состав и концентрации металлов, являющихся продуктами износа деталей двигателя, ингредиентами присадок к топливу и моторным маслам.

2. На этапе предварительного обоснования методики оценки ТС ЦПГ двигателей автомобилей по составу и концентрациям металлов в ОГ нами проведена дефектовка подверженных наибольшему износу деталей ЦПГ дизельного двигателя КамАЗ 740.10. При дефектовке установлено, что на наружных поверхностях поршней и гильз присутствуют характерные задиры и глубокие трещины, свидетельствующие о существенном образовании металлических частиц в местах трения, что обуславливает необходимость более подробного исследования.

3. Апробация разработанной методики позволила определить состав и концентрации этих металлических частиц в ОГ: Fe, Cu,

Mn, Ni, Cr. Применение аттестованной методики измерений (М-01В/2011) при определении концентраций металлов на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2АТ» обеспечило необходимую точность и достоверность результатов. При этом пробы металлов отбирались на прогретом до рабочей температуры двигателе при повышенной частоте вращения коленчатого вала (2000 об/мин) на различных этапах исследования: до капитального ремонта, после ремонта (на обкаточно-тормозном стенде КИ-5274), в процессе эксплуатации (этап приработки).

4. Сравнительный анализ химического состава основных изношенных деталей ДВС (установленных при дефектовке) и фактических концентраций металлов в ОГ, полученных с применением разработанной методики, позволил выявить основные индикаторы износа элементов ЦПГ. В качестве индикаторов износа для деталей ЦПГ двигателя КамАЗ 740.10 предлагается принять повышенные концентрации отдельных металлов: алюминия и кремния для поршней и головок блока цилиндров; хрома для поршневых колец; никеля для

шатунов и поршневых колец; железа и марганца для впускных и выпускных клапанов; меди для гильз цилиндров.

5. Нами предложен комплексный индикатор степени изнашивания ЦПП – концентрации железа в ОГ как основного химического элемента в составе узлов и агрегатов двигателя. При технической диагностике оценку ТС двигателя АТС предлагается проводить с учётом этого комплексного индикатора. Для практического применения автотранспортным предприятиям рекомендуется направлять АТС с повышенными концентрациями железа в составе ОГ на внеплановое ТО, что должно способствовать предотвращению преждевременного износа ЦПП.

#### Список литературы

1. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для студ. высш. учебн. заведений / В.А. Зорин. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 208 с.
2. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для вузов / А.И. Федотов. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2012. – 468 с.
3. Третьяк Л.Н. Состав и концентрации твердых частиц в отработавших газах как критерий технического состояния двигателей внутреннего сгорания / Л.Н. Третьяк, А.С. Вольнов, Д.А. Косых // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2–21. – С. 4625–4634.
4. Третьяк Л.Н. Состав отработавших газов двигателя внутреннего сгорания как показатель технического состояния транспортного средства / Л.Н. Третьяк, А.С. Вольнов // *Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник статей XI международной научно-практической конференции (24–26 апреля 2013 г.)*. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2013. – С. 490–495.
5. Парсаданов И.В. Определение состава твердых частиц отработавших газов дизелей / И.В. Парсаданов, И.П. Васильев // *Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ»*. – Харьков, 2013. – № 2. – С. 97–101.
6. Поливянчук А.П. Повышение точности гравиметрического метода измерений удельного выброса твердых частиц с отработавшими газами дизеля / А.П. Поливянчук // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2010. – № 2. – С. 110–113.
7. Третьяк Л.Н. Новые подходы к очистке отработавших газов двигателей внутреннего сгорания / Л.Н. Третьяк, Е.М. Герасимов, А.С. Вольнов // *Вестник Оренбургского государственного университета*. – 2014. – № 10. – С. 36–43.
8. Мотовилин Г.В. Автомобильные материалы: справочник – 3-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов. – М.: Издательство «Транспорт», 1989. – 464 с.
9. Кузнецов А.С. Автомобили КамАЗ с колесной формулой 6×4 и 6×6. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту / А.С. Кузнецов. – М.: Третий Рим, 2012. – 268 с.

УДК 519.711.3

## КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ ОКРЕСТНОСТНЫЕ СИСТЕМЫ

Шмырин А.М., Мишачёв Н.М., Канюгина А.С.

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк,  
e-mail: amsh@lipetsk.ru, nmish@lipetsk.ru, kosarewanastya@yandex.ru

В статье дается определение статических и динамических окрестностных систем на языке метаграфов. Управление сложным производственным процессом вблизи номинального режима обычно осуществляется в предположении, что такому режиму соответствует стационарная точка гипотетической глобальной динамической модели, и потому статические окрестностные системы в этом случае являются удобным средством локального моделирования. Достаточно типичной является ситуация, когда номинальных режимов несколько и переходы между ними осуществляются дискретно или непрерывно в зависимости от входных данных. Мы рассматриваем задачу объединения локальных статических окрестностных систем (моделей) в общую квазистатическую систему с коэффициентами, зависящими от входных данных. Предлагаются две версии такого объединения: дискретная и непрерывная. Обе они основаны на кластеризации входных данных окрестностной системы. В дискретной версии выбор текущей локальной модели определяется центром кластера. В непрерывной версии используются линейные комбинации локальных моделей с весами, образующими ассоциированное с кластеризацией разбиение единицы. В качестве примера применения решается задача объединения локальных окрестностных моделей стадии диффузии производства сахара, полученных в результате параметрической идентификации на основе выборки данных производства АО АПО «Аврора» «Боринский сахарный завод».

**Ключевые слова:** окрестностные структуры, окрестностные системы, метаграфы, квазистатические системы, кластеризация, параметрическая идентификация, производство сахара

## QUASI-STATIC NEIGHBORHOOD SYSTEMS

Shmyrin A.M., Mishachev N.M., Kanyugina A.S.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: amsh@lipetsk.ru,  
nmish@lipetsk.ru, kosarewanastya@yandex.ru

In this paper, we define static and dynamic neighborhood systems in the language of metagraphs. The control of production process near a nominal mode is usually carried out on the assumption that this mode corresponds to a stationary point of a hypothetical global dynamic model, and therefore static neighborhood systems in this case are a convenient means of local modeling. A typical situation is that when there are several nominal modes and the transitions between them are carried out discretely or continuously depending on the input data. We consider the problem of integration of local static neighborhood systems (models) into a combined quasi-static system with coefficients that depend on the input data. Two versions of this integration are proposed: discrete and continuous. Both are based on the clustering of the input data of the neighborhood system. In the discrete version, the choice of the local model is determined by the cluster center. In the continuous version, linear combinations of local models are used with weights forming the partition of unity associated with clustering. As an example of the application, the problem of integration of local neighborhood models for the stage of diffusion of sugar production, obtained by the parametric identification based on a sample of production data of JSC «Avrora», Borinsky Sugar Plant, is considered.

**Keywords:** neighborhood structures, neighborhood systems, metagraphs, quasi-static systems, clustering, parametric identification, sugar production

### Цели и задачи исследования

Окрестностные системы, или окрестностные модели – это статические или дискретные динамические системы уравнений на графе. Уравнения окрестностной системы могут соответствовать либо вершинам графа, либо его ребрам (см. [1]). В первом случае мы называем окрестностную систему вертексной, во втором – реляционной. Уравнения окрестностной системы структурно идентифицированы по наборам входящих в них переменных: этот уровень структурной идентификации задается графом. В задачах управления производственными процессами такие системы возникают на этапе перехода от структурной схемы производства (графа) к математической модели. Для моделирования вблизи номинальных режимов, как правило, достаточно

рассматривать статические линейные или билинейные системы уравнений. При наличии нескольких номинальных режимов во многих случаях имеет смысл, вместо усложнения уравнений, перейти к квазистатической схеме. В данной статье мы обсуждаем общую теоретическую задачу объединения нескольких локальных статических окрестностных систем в квазистатическую систему и, далее, применяем предлагаемую схему объединения в задаче моделирования стадии диффузии производства сахара, рассматривавшейся в [2].

*Окрестностные структуры  
и окрестностные системы*

*Окрестностные структуры (см. [1]) являются средством формализации связей между элементами моделируемой систе-*

мы. На их основе удобно строить математические модели следующего уровня (системы уравнений). *Окрестностной структурой* мы называем *ориентированный граф*  $\mathfrak{N} = (\hat{V}; E)$ , содержащий вершины  $\hat{V} = U \cup W \cup V$  трех типов: *входы*  $U$ , *узлы*  $V$  и *выходы*  $W$ , при этом:

- каждые два узла  $v', v'' \in V$ , могут быть соединены между собой не более чем двумя противоположно ориентированными ребрами-связями  $e(v', v'')$  и  $e(v'', v')$ ;
- каждый узел  $v \in V$  имеет петлю  $e(v, v)$ ;
- каждый узел  $v \in V$  имеет входящие и выходящие ребра (помимо петель);
- каждый вход  $u \in U$  имеет только выходящие ребра  $e(u, v)$ ;
- каждый выход  $w \in W$  имеет только входящие ребра  $e(v, w)$ .

Как обычно, *источниками* вершины называются все входящие в нее вершины и *стоками* – все исходящие. Все узлы (то есть вершины  $v \in V$ ) из-за наличия петель являются своими стоками и источниками, все входы имеют только стоки и все выходы – только источники.

*Окрестностные системы* удобно описывать с помощью понятия *метаграфа* (см., например, [3]). Нам потребуется только определение метаграфа: *метавершины*  $MV$  метаграфа  $\mathfrak{M}$  называются подмножества некоторого конечного множества  $V$ , а *метаребрами*  $ME$  – пары метавершин. Или, на языке теории множеств: метавершины метаграфа – это элементы первого булеана  $\mathfrak{B}(V)$ , то есть  $MV \subset \mathfrak{B}(V)$ , а метаребра метаграфа – это двухэлементные подмножества второго булеана  $\mathfrak{B}\mathfrak{B}(V)$ , то есть  $ME \subset \mathfrak{B}_2\mathfrak{B}(V)$ . По аналогии с обычными графами можно определить *ориентированные метаграфы* и *двудольные метаграфы*. В окрестностной структуре  $\mathfrak{N} = (\hat{V}; E)$  каждый узел  $v \in V$  порождает метавершину источников (*метаисточник*)  $v^+ \in \mathfrak{B}(U \cup W)$  и метавершину стоков (*метасток*)  $v^- \in \mathfrak{B}(V \cup W)$ , при этом  $v \in v^+ \cap v^-$ . Обозначим через  $V^+$  и  $V^-$  множества всех метаисточников и метасток. Добавим еще к множеству метавершин все узлы  $v \in V$ . Каждый узел  $v \in V$  порождает метаребро  $(v^+, v)$ , соединяющее метаисточник узла с этим узлом, и метаребро  $(v^+, v^-)$ , соединяющее метаисточник узла и его метасток. Таким образом, каждая окрестностная структура  $\mathfrak{N}$  порождает ориентированные двудольные метаграфы  $\mathfrak{M}_V = \mathfrak{M}_V(\mathfrak{N}) = (V^+, V^-; V)$  и  $\mathfrak{M}_R = \mathfrak{M}_R(\mathfrak{N}) = (V^+, V^-; V)$ . Метаграф  $\mathfrak{M}_V$  мы будем называть *вертексным*, а метаграф  $\mathfrak{M}_R$  – *реляционным*. Эти метаграфы соответствуют вертексным и реляционным окрестностным системам над окрестност-

ной структурой  $\mathfrak{N} = (\hat{V}; E)$ , или системам для узлов и для ребер (см. [1]). Опишем подробнее эти системы. Обозначения множеств вершин  $U, V, W$  и метаузлов  $v^+, v^-$  можно понимать и как обозначения соответствующих наборов чисел – номеров вершин. Каждому ребру  $e(i, k)$ , включая петлю, соответствует переменная  $Y(i, k) \in \mathbb{R}^{n(i,k)}$  *входа-выхода* из  $i$ -го узла в  $k$ -й. Переменные  $Y(i, k) = U(i, k)$  с  $i \in U$  мы называем *входами*, переменные  $Y(i, k) = W(i, k)$  с  $k \in W$  – *выходами*, переменные  $Y(i, k) = V(i, k)$  с  $i, k \in V$  – *внутренними переменными*. Для петель  $e(i, i)$  положим  $Y(i, i) = X(i)$  и  $\mathbb{R}^{n(i,i)} = \mathbb{R}^{n(i)}$ . Переменную  $Y(i, i) = X(i)$  мы называем *состоянием узла*. В вертексной модели вход-выход  $Y(i, k)$  не зависит от  $k$ , то есть узел  $v_i \in V$  передает по всем исходящим связям одну и ту же переменную своего состояния  $X(i) = Y(i, i)$ , а вход  $u_i \in U$  – одну и ту же переменную входа  $U(i) = U(i, k) = Y(i, k)$ . Далее, метаисточникам  $v_i^+$  узлов  $v_i \in V$  соответствуют переменные *состояния метаисточника*  $Y_+(i) \in \mathbb{R}^{N(i,+)}$ , где  $\mathbb{R}^{N(i,+)}$  – это произведение всех пространств  $\mathbb{R}^{n(k,i)}$  с  $k \in v_i^+$ . В вертексном случае мы полагаем  $Y_+(i) = X_+(i) \in \mathbb{R}^{N(i,+)}$ , где  $\mathbb{R}^{N(i,+)}$  – это произведение всех пространств  $\mathbb{R}^{n(k,i)}$  с  $k \in v_i^+$ . Метастокам  $v_i^-$  узлов  $v_i \in V$  соответствуют переменные *состояния метастока*  $Y_-(i) \in \mathbb{R}^{N(i,-)}$ , где  $\mathbb{R}^{N(i,-)}$  – это произведение всех пространств  $\mathbb{R}^{n(k,i)}$  с  $k \in v_i^-$ . Вертексному метаграфу  $\mathfrak{M}_V$  соответствует набор (мета)функций

$$F_i : \mathbb{R}^{N(i,+) } \rightarrow \mathbb{R}^{n(i)}, \quad i \in V, \quad (1)$$

каждая из которых преобразует состояние  $X_+(i)$  метаисточника узла в состояние  $X(i)$  этого узла. Реляционному метаграфу  $\mathfrak{M}_R$  соответствует набор (мета)операторов

$$\mathbb{F}_i : \mathbb{R}^{N(i,+) } \rightarrow \mathbb{R}^{N(i,-)}, \quad i \in V, \quad (2)$$

каждый из которых преобразует состояние  $Y_+(i)$  метаисточника узла  $i$  в состояние  $Y_-(i)$  метастока этого узла. Уравнения статической вертексной системы имеют вид

$$X(i) = F_i(X_+(i)), \quad i \in V, \quad (3)$$

здесь  $n_V$  уравнений, а уравнения статической реляционной системы имеют вид

$$Y_-(i) = \mathbb{F}_i(Y_+(i)), \quad i \in V, \quad (4)$$

здесь  $n_r$  операторных уравнений. Подробнее:

$$X(i) = F_i(\{X(k) | k \in v_i^+\}), \quad i \in V, \quad (5)$$

$$Y(i, m) = F_{im} \left( \left\{ Y(k, i) \mid k \in v_i^+ \right\} \right),$$

$$i \in V, m \in v_i^-. \quad (6)$$

В последнем случае количество уравнений равно  $\sum_{v \in V} |v^-|$ , где  $|v^-|$  – это количество вершин в метастоке  $v^-$ . Динамические версии систем (3) и (4) имеют соответственно вид

$$X^{t+1}(i) = F_i(X_+^t(i)), i \in V, \quad (7)$$

$$Y_-^{t+1}(i) = \mathbb{F}_i(Y_+^t(i)), i \in V. \quad (8)$$

*Квазистатические окрестностные системы*

При моделировании производственного процесса вблизи номинального режима во многих случаях можно считать, что такому режиму соответствует стационарная точка гипотетической глобальной динамической модели процесса, и потому в качестве локальной модели можно использовать статическую линейную или билинейную окрестностную систему. Далее, достаточно типичной является ситуация, когда номинальных режимов несколько и диспетчер производства изменяет управляющие переменные в зависимости от входных данных. Построения более сложной динамической модели, описывающей переходные режимы (а не только номинальные) на основе данных наблюдений, то есть регрессионными методами, обычно не дает хороших результатов. Поэтому при моделировании процессов с несколькими номинальными режимами имеет смысл, вместо усложнения уравнений, перейти к следующей квазистатической схеме. Множество вершин-входов  $U$  можно считать состоящим из независимых внешних входов  $\hat{U}$  и зависимых (управляемых) входов  $\check{U}$ . Соответственно, переменные  $U(i, k)$  бывают двух типов: внешние  $\hat{U}(i, k)$  и управляемые  $\check{U}(i, k)$ . Обозначим через  $D = (D^U, D^V, D^W) = (\hat{D}, \check{D}, D^V, D^W)$  множество всех кортежей состояний системы (то есть значений входов, внутренних переменных и выходов) во все моменты наблюдения. Пусть  $N_U$  – размерность пространства всех входов. Тогда  $N_U = \hat{N} + \check{N}$ , где  $\hat{N}$  – размерность пространства внешних входов, и  $\hat{D} \in \mathbb{R}^{\hat{N}}$ . Можно предполагать, что множеству номинальных режимов соответствует кластеризация множества входных данных  $\hat{D} = \hat{D}_1 \cup \dots \cup \hat{D}_S$  с центрами кластеров  $d_1, \dots, d_S \subset \mathbb{R}^{\hat{N}}$ . Для определенности мы рассматриваем далее только случай реляционных систем (для вертексных все аналогично). Обозначим через  $\bar{Y}_- = \bar{\mathbb{F}}^r \circ \bar{Y}_+$

регрессионные модели, то есть системы вида (4), построенные для каждого из номинальных режимов  $r = 1, \dots, S$  в результате параметрической идентификации по соответствующим кортежам данных («номинальные» модели). Здесь  $\circ$  – покомпонентное действие вектора метаоператоров  $\bar{\mathbb{F}}^r$  на вектор метаисточников  $\bar{Y}_+$  (операторное произведение Адамара). Очевидным образом определены линейные комбинации  $\bar{Y}_- = \alpha_1 \bar{\mathbb{F}}^1 \circ \bar{Y}_+ + \dots + \alpha_S \bar{\mathbb{F}}^S \circ \bar{Y}_+$  этих моделей. Квазистатической окрестностной системой мы называем систему вида

$$\bar{Y}_- = \alpha_1(d) \bar{\mathbb{F}}^1 \circ \bar{Y}_+ + \dots + \alpha_S(d) \bar{\mathbb{F}}^S \circ \bar{Y}_+ \quad (9)$$

с коэффициентами, зависящими  $d \subset \mathbb{R}^{\hat{N}}$ , такими что  $\alpha_1(d) + \dots + \alpha_S(d) = 1$ ,  $\alpha_r \geq 0$ . Для  $d \subset \mathbb{R}^{\hat{N}}$  обозначим через  $s(d)$  номер ближайшего к  $d$  центра кластера; если таких центров несколько, то  $s(d)$  – наименьший из номеров. Пусть  $\mathbb{R}^{\hat{N}} = \mathfrak{D}_1 \cup \dots \cup \mathfrak{D}_S$  – соответствующее разбиение пространства  $\mathbb{R}^{\hat{N}}$  (разбиение Дирихле – Вороного) и  $\chi_r(d)$  – характеристические функции множеств  $\mathfrak{D}_r$ . *Дискретной композицией* номинальных моделей  $\bar{Y}_- = \bar{\mathbb{F}}^r \circ \bar{Y}_+$  мы называем квазистатическую систему

$$\bar{Y}_- = \chi_1(d) \bar{\mathbb{F}}^1 \circ \bar{Y}_+ + \dots + \chi_S(d) \bar{\mathbb{F}}^S \circ \bar{Y}_+. \quad (10)$$

Для внешнего входа  $d \in \mathfrak{D}_r$  эта система совпадает с номинальной  $\bar{Y}_- = \bar{\mathbb{F}}^r \circ \bar{Y}_+$ . Далее, для каждого из множеств  $\hat{D}_1, \dots, \hat{D}_S \subset \mathbb{R}^{\hat{N}}$  вычислим ковариационную матрицу и обозначим через  $\varphi_1, \dots, \varphi_S$  соответствующие  $\hat{N}$  – мерные нормальные плотности с центрами  $d_1, \dots, d_S \subset \mathbb{R}^{\hat{N}}$ . Положим

$$\bar{\varphi}_r(d) = \frac{\varphi_r(d)}{\varphi_1(d) + \dots + \varphi_S(d)}. \quad (11)$$

Функции  $\bar{\varphi}_r(d)$  образуют разбиение единицы на пространстве  $\mathbb{R}^{\hat{N}}$ . *Непрерывной нормальной композицией* номинальных моделей  $\bar{Y}_- = \bar{\mathbb{F}}^r \circ \bar{Y}_+$  мы называем квазистатическую систему

$$\bar{Y}_- = \bar{\varphi}_1(d) \bar{\mathbb{F}}^1 \circ \bar{Y}_+ + \dots + \bar{\varphi}_S(d) \bar{\mathbb{F}}^S \circ \bar{Y}_+. \quad (12)$$

*Замечание.* Вместо многомерного нормального распределения можно, если это удобно по каким-либо соображениям, использовать любое другое унимодальное многомерное распределение. Описанную конструкцию можно, при желании, интерпретировать как нечеткую модель Такаги – Сугено [4, 5], но в данном случае язык нечетких моделей Такаги – Сугено, отягощенный логическими обозначениями, является излишним.

*Квазистатическая реляционная модель  
стадии диффузии производства сахара*

Сахарное производство (см. [6, 7]) является сложным многостадийным производственным процессом. В работе [2] была предложена реляционная окрестностная модель стадии диффузии производства сахара и были приведены результаты параметрической идентификации этой модели в предположении линейности и на основе месячной выборки данных производства АО АПО «Аврора» «Боринский сахарный завод» с временным интервалом 10 минут, объем выборки  $n = 3472$ . При локальной идентификации регрессионных коэффициентов по данным, относящимся как к разным дням, так и к разным интервалам времени в течение одного дня, наблюдались значимые отклонения этих коэффициентов от глобальных, вычисленных по всей выборке. Кроме того, в некоторых случаях наблюдались изменения наборов значимых предикторов. В то же время все получен-

ные локальные линейные регрессионные зависимости соответствовали технологии сахароварения, а изменения коэффициентов достаточно хорошо объяснялись изменениями параметров свекловичной стружки. Поэтому, сохраняя структуру реляционной окрестностной модели, предложенной в [2], мы рассмотрели квазистатическую линейную модель, в которой коэффициенты зависят от входных параметров: дигестии (сахаристости)  $S$  и длины  $L$  свекловичной стружки (в [2] эти параметры обозначались соответственно,  $Y_4(0,1)$  и  $Y_2(0,1)$ ). На рис. 1 приведены точки рассеяния двумерного вектора входных данных, где  $L$  – длина 100 г стружки (в метрах),  $S$  – дигестия сахарной стружки (в процентах). Гистограммы каждой из координат имеют по две достаточно хорошо заметных моды, и потому при кластеризации по методу  $k$ -средних мы полагали  $k = 4$ . Средние кластеров указаны в таблице; на рис. 2 четыре кластера выделены разными цветами.

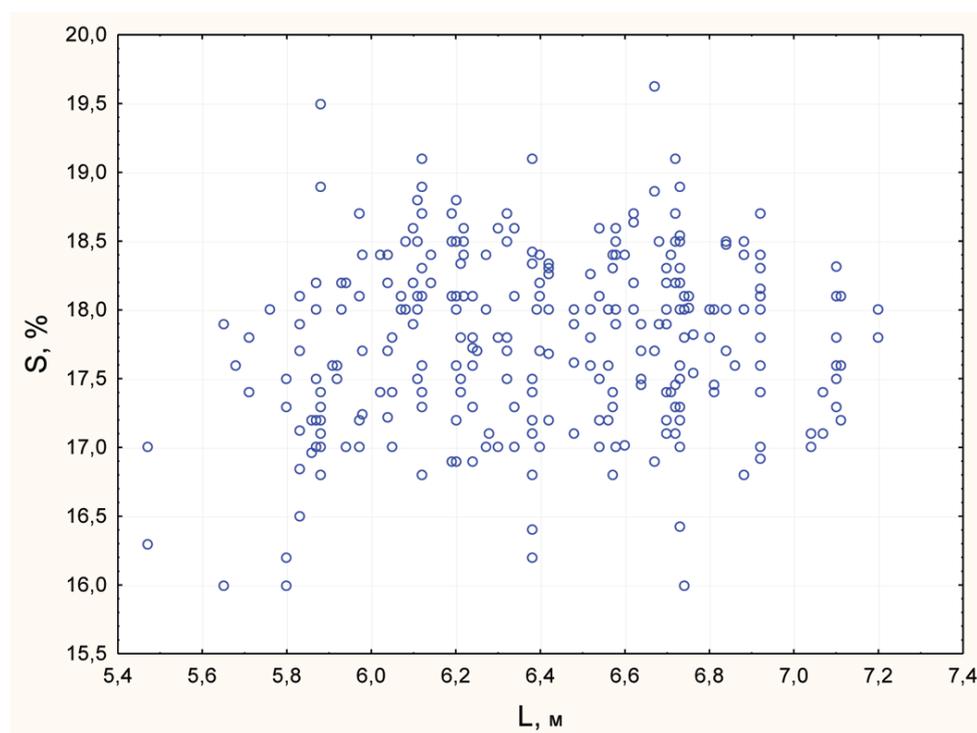


Рис. 1. Точки рассеяния двумерного вектора входных данных

Средние кластеров

	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4
$L$	6,68	6,20	6,71	5,99
$S$	18,07	18,40	17,25	17,13

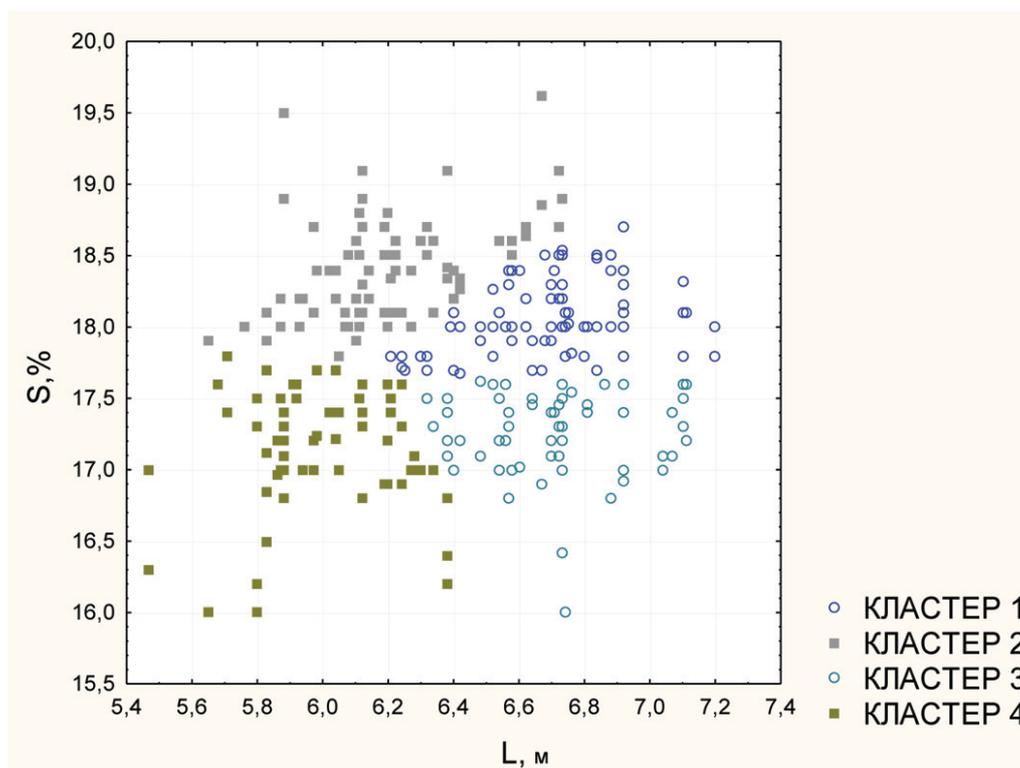


Рис. 2. Кластеры входных данных

В каждом из кластеров не обнаружены значимые корреляции между координатами, и потому можно считать, что соответствующие ковариационные матрицы диагональны. Аппроксимирующие нормальные плотности для кластеров имеют вид

Для кластера 1:

$$\varphi_1 = \frac{1}{2\pi * 0,22 * 0,25} * \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(L - 6,68)^2}{0,22^2} + \frac{(S - 18,07)^2}{0,25^2} \right] \right\};$$

Для кластера 2:

$$\varphi_2 = \frac{1}{2\pi * 0,24 * 0,36} * \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(L - 6,20)^2}{0,24^2} + \frac{(S - 18,40)^2}{0,36^2} \right] \right\};$$

Для кластера 3:

$$\varphi_3 = \frac{1}{2\pi * 0,23 * 0,30} * \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(L - 6,71)^2}{0,23^2} + \frac{(S - 17,25)^2}{0,30^2} \right] \right\};$$

Для кластера 4:

$$\varphi_4 = \frac{1}{2\pi * 0,22 * 0,43} * \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(L - 5,99)^2}{0,22^2} + \frac{(S - 17,13)^2}{0,43^2} \right] \right\}.$$

Результаты параметрической идентификации коэффициентов уравнений для каждого из кластеров, по сравнению с опубликованными ранее в [2] результатами идентификации по всей выборке, оказались более устойчивыми относительно временных сдвигов.

### Выводы

Квазистатические окрестностные системы являются удобным средством моделирования объектов с несколькими номинальными режимами, зависящими от входных данных. В случае, когда каждый из номинальных режимов достаточно хорошо описывается линейной моделью, их квазистатическая композиция (дискретная или непрерывная) сохраняет преимущества линейности, критически важные в задаче управления.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00854).*

### Список литературы

1. Шмырин А.М. Окрестностные системы и алгоритм Качмажа / А.М. Шмырин, Н.М. Мишачёв // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21, Вып. 6. – С. 2113–2120.
2. Шмырин А.М. Параметрическая идентификация линейной блочно-регрессионной окрестностной модели стадии диффузии производства сахара / А.М. Шмырин, Н.М. Мишачёв, А.С. Канюгина, А.А. Канюгин, В.О. Богатырёв // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis: Proceedings of the XXII-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2017). – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House. – 2017. – P. 360–365.
3. Basu A., Blanning R. Metagraphs and their applications. – Springer, 2007. – 174 p.
4. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. – 1985. – vol. 15, no. 1. – P. 116–132.
5. Zsofia Lendek, Thierry Marie Guerra, Robert Babuska, Bart De Schutter. Stability Analysis and Nonlinear Observer Design Using Takagi-Sugeno Fuzzy Models. – Springer, 2010. – 196 p.
6. Бугаенко И.Ф. Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара / И.Ф. Бугаенко, В.И. Тужилкин. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 512 с.
7. Сапронов А.Р. Технология сахара / А.Р. Сапронов, Л.А. Сапронова, С.В. Ермолаев – СПб.: Профессия, 2015. – 296 с.

УДК 62-503.5:004.02

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА БАЛАНСИРОВКИ СФЕРИЧЕСКИХ УЗЛОВ

<sup>1,2</sup>Юльметова О.С., <sup>1</sup>Щербак А.Г.

<sup>1</sup>АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург, e-mail: olga@yulmetova.ru;

<sup>2</sup>НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

В работе рассмотрены вопросы системного моделирования процесса прецизионной балансировки сферических узлов на стадии напыления тонкопленочного покрытия за счет смещения центра сферы покрытия относительно геометрического центра узла в направлении, определяемом вектором начального дисбаланса. Показано, что формализация исходной модели посредством последовательных преобразований позволяет получить альтернативные варианты целевых функций в виде математических зависимостей, связывающих переменную толщину покрытия с кинематикой перемещения сферического узла. Предложена схема регулируемого распределения массы покрытия по сфере, что обеспечивается путем изменения расстояния от источника напыляемого материала до вращающейся сферы за счет ее циклического возвратно-поступательного перемещения, которое синхронизировано с угловой скоростью вращения сферы. Представлены примеры целевых функций в виде аналитических и эмпирических выражений. Приведены результаты оценки их адекватности по отношению к объекту моделирования. Обоснованы преимущества использования математических моделей с представлением целевых функций в виде эмпирических зависимостей, в которых используются константы, определяемые условиями процесса формирования покрытия и учитывающие интегральную зависимость изменения толщины покрытия от угла поворота сферического узла относительно потока напыляемого материала.

**Ключевые слова:** целевая функция, сферический узел, дисбаланс, напыление покрытия, разнотолщинность

## INTERPRETATION OF ALTERNATIVE OBJECTIVE FUNCTIONS DURING MODELING THE BALANCING PROCESS OF SPHERICAL DETAILS

<sup>1,2</sup>Yulmetova O.S., <sup>1</sup>Scherbak A.G.

<sup>1</sup>Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, e-mail: olga@yulmetova.ru;

<sup>2</sup>ITMO University, St. Petersburg

The paper describes modeling of the process of precision balancing of a spherical detail at the stage of deposition of a thin-film coating. The correction of imbalance is achieved by the displacement of the center of the coating sphere relative to the geometric center of the spherical detail in the direction determined by the vector of imbalance. Formalization of the initial model by means of mathematical transformations allows to obtain alternative variants of objective functions, which are the mathematical dependences that connects the difference of the coating's thickness with the geometric parameters of the equipment developed for realization of regulated redistribution of coating masses. The controlled distribution of the coating mass over the sphere is provided by changing the distance from the source of the deposited material to the rotating sphere by means of its cyclic reciprocating displacement which is synchronized with the angular velocity of rotation of the sphere. Examples of objective functions in the form of analytical and empirical expressions are presented. The results of the estimation of function's adequacy in relation to the object of modeling are given. The advantages of using mathematical models with the representation of objective functions in the form of empirical dependencies are shown.

**Keywords:** objective function, spherical detail, imbalance, coating deposition, difference of thin-film thicknesses

Применение математических методов при моделировании сложных процессов предполагает построение математической модели, формализованно представляющей проблемную ситуацию, где выявляется целевая функция, по сути, являющаяся формализацией цели моделирования. Очевидно, что возможно выделение нескольких вариантов решения или целевых альтернатив [1], которые являются логически непротиворечивыми и могут быть осуществлены, после чего осуществляется сравнение альтернатив, где наиболее объективной является оценка, получаемая путем вычислений и проведения экспериментов. Для задач принятия решений (задач оптимизации)

в условиях определенности, компонентами такой модели являются множество всех (альтернативных) решений, из которых и делается выбор одного наилучшего или оптимального решения.

### Постановка задачи

Наибольший интерес представляет моделирование технологических процессов [2, 3], когда математические модели охватывают весь процесс со сложными взаимосвязями между технологическими параметрами, что делает их основой для проведения расчетных экспериментов и позволяет проверить корректность решений и условий поставленных задач управле-

ния процессом. Методы получения математических моделей подразделяются на теоретические и экспериментальные. Теоретический метод заключается в аналитическом исследовании физической сущности процесса, а экспериментальный метод связан с обработкой данных, полученных непосредственно на физической модели процесса, с получением эмпирических выражений. Наиболее эффективным методом получения математической модели является сочетание теоретического и экспериментальных методов. Примерами использования теоретического метода являются моделирование процесса прецизионной корректировки дисбаланса цилиндрических инерционных тел и сферических узлов [4–6], что обеспечивается формированием на детали тонкопленочного покрытия с требуемым характером распределения массы покрытия по ее поверхности. В данном случае моделирование процесса, исходя из схемы корректировки дисбаланса  $\bar{\epsilon}_0$ , при которой в поперечном сечении цилиндра, или в диаметральной сечении сферического узла, центр окружности  $O^*$  покрытия 2 смещен относительно геометрического центра  $O$  детали 1 на заданную величину  $\delta$  в сторону, противоположную направлению вектора дисбаланса  $\bar{\epsilon}_0$  (рис. 1), позволяет получить аналитическую зависимость смещения  $\delta$

от величины дисбаланса  $\delta = \epsilon_0 \left( \frac{\rho_{\text{покp}}}{\rho_{\text{дет}}} - 1 \right)^{-1}$ ,

где  $\rho_{\text{покp}}$  и  $\rho_{\text{дет}}$  – плотности материалов детали и покрытия [4, 6]. Для балансировки цилиндрической детали [4], задавая исходное условие в виде переменной скорости вращения цилиндра, математическое моделирование позволяет с известными допущениями получить целевую функцию, однозначно определяющую совокупность аргументов, выбор которых обеспечивает решение задачи. Конечные математические зависимости скорости напыления покрытия от угла поворота детали или времени процесса являются эмпирическими, поскольку учитывают экспериментальное определение используемых при моделировании констант.

Однако в ряде случаев возникают ситуации, когда в процессе моделирования появляются альтернативные варианты математических преобразований, позволяющие получить различные выражения для целевой функции. Это может быть связано с принятыми допущениями и предпочтениями при выборе аргументов. Поэтому важным аспектом моделирования сложного технологического процесса является корректная интерпретация возможных альтернативных целевых функций, полученных при формализации модели.

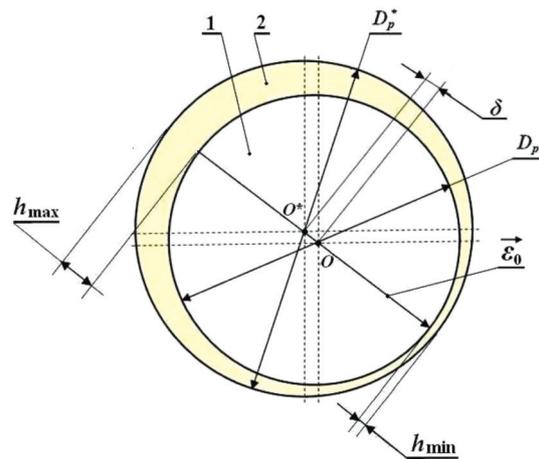


Рис. 1. Поперечное сечение детали с покрытием. 1 – деталь, 2 – покрытие,  $D_p$  и  $D_p^*$  – диаметры до и после напыления,  $h$  – толщина покрытия,  $\delta$  – разнотолщинность покрытия,  $\epsilon_0$  – исходный дисбаланс

Цель работы заключалась в сравнительной оценке адекватности представленных в виде аналитических и эмпирических выражений целевых функций, полученных при моделировании технологического процесса корректировки дисбаланса сферических узлов.

*Формирование целевых функций при моделировании процесса прецизионной балансировки сферических узлов*

*Определение аналитической зависимости.* Моделирование процесса корректировки дисбаланса сферических узлов связано с решением задачи получения методом магнетронного напыления покрытия переменной толщины на поверхности узла [6] и основано на использовании обратной квадратичной зависимости скорости напыления  $v_n$  от  $L$  – расстояния от сферического узла до источника напыляемого материала:  $v_n = \frac{A \cos \Omega}{L^2}$  [7], где  $\Omega$  – угол между направлением потока напыляемого материала и нормалью к поверхности ротора,  $A$  – размерная константа, определяемая параметрами процесса напыления. Исходное условие построения процесса напыления связано с управляемым изменением расстояния  $L$  от источника до вращающегося узла, т.е. с циклическим возвратно-поступательным перемещением узла. При этом амплитуда  $\Delta L$  этого перемещения будет задавать характер изменения толщины покрытия, т.е. величину смещения  $\delta$ , которая определяется как разность максимальной  $h_{\text{max}}$  и минимальной  $h_{\text{min}}$  толщины (рис. 1). Очевидно, что должна быть обеспечена согласованная вза-

имная ориентация вектора дисбаланса  $\vec{\varepsilon}_0$  и участков покрытия с толщинами  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$ , определяемая с учетом требуемой величины конечного диаметра  $D^*$  (рис. 1). Можно представить выражение для изменения угла  $\Omega$  для произвольной точки на сфере при ее вращении:  $\Omega(t) = \frac{2\pi}{T_0}t + \Omega_0$ , где  $t$  – данный момент

времени,  $T_0$  – период вращения,  $\Omega_0$  – начальное угловое положение рассматриваемой точки. А поскольку за один оборот сферы угол  $\Omega$  меняется в пределах от  $\Omega_0$  до  $2\pi + \Omega_0$ , и угол  $\Omega_0$  лежит в пределах от 0 до  $2\pi$ , тогда диапазон изменения угла  $\Omega$  составит  $[\Omega_0; 2\pi + \Omega_0]$  в области от 0 до  $4\pi$ , в которой и нужно определить функцию  $v_{ii}$ . Тогда

$$v_i(t) = \begin{cases} \frac{A \cos \Omega(t)}{L^2}; & 0 \leq \Omega \leq \frac{\pi}{2}, \quad \frac{3\pi}{2} \leq \Omega \leq \frac{5\pi}{2}, \quad \frac{7\pi}{2} \leq \Omega \leq 2\pi \\ 0; & \frac{\pi}{2} \leq \Omega \leq \frac{3\pi}{2}, \quad \frac{5\pi}{2} \leq \Omega \leq \frac{7\pi}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

Закон возвратно-поступательного движения сферического узла, синхронизированного с его вращением, можно описать выражением  $L_c(t) = L_0 + \Delta L \cos(\Omega(t) + \pi)$ , где  $L_c$  – текущее расстояние от источника до центра сферы, а  $L_0$  – среднее расстояние. А так как это выражение написано с учётом того, что в начальный момент времени сфера находится на минимальном расстоянии от источника, то можно написать:

$$L(t) = L_c(t) - R \cos(\Omega(t)) = L_0 + \Delta L \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \pi\right) - R \cos(\Omega(t)),$$

где  $R$  – радиус сферы.

В итоге получается зависимость для толщины напыления за один оборот:

$$h = \int_0^{T_0} v_{dep} dt = A \int_0^{T_0} \frac{\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \Omega_0\right)}{\left(L_0 + \Delta L \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \Omega_0 + \pi\right) - R \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \Omega_0\right)\right)^2} dt, \quad (2)$$

Выносим в знаменателе  $R$  за знак интеграла и, вычисляя дифференциал от выражения  $\Omega(t) = \frac{2\pi}{T_0}t + \Omega_0$ , переходим к угловой переменной  $d\Omega = \frac{2\pi}{T_0}dt$  и  $\Omega(t) = \frac{2\pi}{T_0}t + \Omega_0$ :

$$h = \frac{AT_0}{2\pi R^2} \int_{\Omega_0}^{\Omega_0+2\pi} \frac{\cos(\Omega)}{\left(\frac{L_0}{R} + \frac{\Delta L}{R} \cos(\Omega + \pi) - \cos(\Omega)\right)^2} d\Omega. \quad (3)$$

Обозначая  $h_0 = \frac{AT_0}{2\pi R^2}$ , интеграл (4) можно преобразовать в выражение

$$h = h_0 \int_{\Omega_0}^{\Omega_0+2\pi} \frac{\cos(\Omega)}{\left(\frac{L_0}{R} + \frac{\Delta L}{R} \cos(\Omega + \pi) - \cos(\Omega)\right)^2} d\Omega, \quad (4)$$

Здесь  $h_0$  является масштабной размерной константой, зависящей от радиуса сферы, периода вращения и параметров источника. Очевидно, что в интеграле (4) подынтегральное выражение равно нулю для угловых диапазонов, приведённых в выражении (1). С их учётом получаем конечное выражение для толщины покрытия за один оборот:

$$h(\Omega_0) = h_0 \int_{\Omega_0}^{\Omega_0+2\pi} \frac{I(\Omega) \cos(\Omega)}{\left(\frac{L_0}{R} + \frac{\Delta L}{R} \cos(\Omega + \pi) - \cos(\Omega)\right)^2} d\Omega, \quad (5)$$

где  $I(\Omega)$  – функция-индикатор:

$$I(\Omega) = \begin{cases} 1; & 0 \leq \Omega \leq \frac{\pi}{2}, \quad \frac{3\pi}{2} \leq \Omega \leq \frac{5\pi}{2}, \quad \frac{7\pi}{2} \leq \Omega \leq 2\pi \\ 0; & \frac{\pi}{2} \leq \Omega \leq \frac{3\pi}{2}, \quad \frac{5\pi}{2} \leq \Omega \leq \frac{7\pi}{2}. \end{cases} \quad (6)$$

Поскольку интеграл (5) не выражается через простые функции, что ограничивает его практическую применимость, важно получить простое эмпирическое выражение, определяющее зависимость  $\delta(L_0, \Delta L)$ . Пренебрегая всеми угловыми множителями

в выражении (5), запишем  $h_{\max} = \frac{B}{(L_0 - \Delta L)^2}$  и  $h_{\min} = \frac{B}{(L_0 + \Delta L)^2}$ , где  $B$  – некий численный коэффициент, зависящий от угловых множителей в выражении (5). Из очевидных геометрических соображений следует

$2\delta = h_{\max} - h_{\min} = \frac{B}{(L_0 - \Delta L)^2} - \frac{B}{(L_0 + \Delta L)^2}$ , откуда после приведения к общему знаменателю получаем

$$\delta = \frac{2BL_0\Delta L}{(L_0 - \Delta L)^2(L_0 + \Delta L)^2}. \quad (7)$$

Для заданного значения  $\delta$  можно определить величину  $\Delta L$ , исключив константу  $B$  из конечной зависимости, т.е. представляя аналитическую зависимость амплитуды  $\Delta L$  от требуемого смещения  $\delta$  и задавая при этом значения расстояния  $L_0$  и средней толщины покрытия  $h$ . Согласно (рис. 1) смещение  $\delta$  составляет величину

$\delta = \frac{1}{2}(h_{\max} - h_{\min})$ , а средняя толщина покрытия  $h = \frac{1}{2}(h_{\max} + h_{\min})$ , тогда их соотношение  $\frac{\delta}{h}$  после очевидных преобразований, разделив выражение  $h_{\max} = \frac{B}{(L_0 - \Delta L)^2}$

на  $h_{\min} = \frac{B}{(L_0 + \Delta L)^2}$  и представив соотношение  $\frac{h_{\max}}{h_{\min}}$  в виде  $\frac{h_{\max}}{h_{\min}} = \left(\frac{L_0 + \Delta L}{L_0 - \Delta L}\right)^2$ , можно получить в виде зависимости

$$\frac{\delta}{h} = \frac{2L_0\Delta L}{L_0^2 + \Delta L^2}, \quad (8)$$

которая не содержит константы  $B$  и из которой определяется зависимость  $\Delta L$  от  $\delta$  и  $h$ .

Выражение (8) преобразуется в квадратное уравнение вида  $\Delta L^2 + 2L_0\Delta L \frac{h}{\delta} + L_0^2 = 0$ , решение которого определяет требуемую зависимость

$$\Delta L = L_0 \left( \frac{h}{\delta} - \sqrt{\left(\frac{h}{\delta}\right)^2 - 1} \right). \quad (9)$$

Очевидно, что второй корень квадратного уравнения (9) не имеет физического смысла, так как выражение в скобках больше единицы, что соответствует  $\Delta L > L_0$ ,

чего быть в принципе не может. Представленная зависимость позволяет установить требуемые значения амплитуды  $\Delta L$ , поскольку использует выявленную на первом этапе величину смещения  $\delta$ , определяемую дисбалансом  $\epsilon_0$ , и основана на задаваемом значении средней толщины покрытия  $h$ .

*Определение эмпирической зависимости.* Вместе с тем, предполагая, что допущения, основанные на исключении константы  $B$ , не позволяют получить требуемую точность расчета процесса балансировки, целесообразно экспериментально определить значение этой константы и использовать для расчетов эмпирические зависимости. Можно считать, что выражение (5) определяет толщину покрытия за 1 оборот для каждой точки поверхности сферического узла, и, следовательно, форму сферического узла после нанесения покрытия. Для получения численных результатов необходимо определить константу  $h_0$ , используя эмпирические данные. Предположим, что без возвратно-поступательного движения за 30 минут на поверхности ротора осаждается слой вещества толщиной 1 мкм. Период вращения равен 3 сек, тогда за 30 минут сфера совершает 600 оборотов.

При значениях параметров:  $L_0 = 80$  мм,  $R = 5$  мм,  $\Delta L = 0$  мм (поступательное движение отсутствует), получаем численное значение интеграла из выражения (5), равное 0,0086. Тогда  $h_0 \approx \frac{1 \text{ мкм}}{600 \cdot 0,0086} \approx 0,19$  мкм.

Таким образом, выражение (5) позволяет определить толщину напыления в любой точке поверхности сферы, включая значения  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$ . Определив величину  $\delta$  как разность  $\delta = \frac{1}{2}(h_{\max} - h_{\min})$ , из выражения

(5) можно построить зависимости смещения  $\delta$  центра сферы от амплитуды  $\Delta L$  возвратно-поступательного движения ротора при различных значениях  $L_0$ , представленную на рис. 2. Чтобы определить константу  $B$ , аппроксимируем зависимости, полученные из выражения (5), выражением (7). Аппроксимация приведена на рис. 2, и с разумной точностью можно считать, что зависимость  $\delta$  от  $\Delta L$  и  $L_0$  определяется эмпирическим выражением ( $\Delta L$  и  $L_0$  в мм):

$$\delta[\text{мкм}/1000 \text{ об}] = \frac{1,65 \cdot 10^4 L_0 \Delta L}{(L_0 - \Delta L)^2 (L_0 + \Delta L)^2}, \quad \text{т.е.}$$

константа  $B = 0,825 \cdot 10^4$ .

*Интерпретация альтернативных целевых функций.* Очевидный интерес представляет сопоставление результатов вычислений по зависимости (5), которые носят численный характер, и по аналитическому

выражению (9), которое является приближенным, так как там используется допущение только обратной квадратичной зависимости величин  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$  от максимального и минимального расстояния до источника, тогда как реальная функция предполагает зависимость от общего характера поступательно-вращательного движения, что и выражено интегралом по всему периоду в формуле (5).

Из рис. 3 видно, что разница в величинах  $\Delta L$  для численного и аналитического вариантов расчета при конкретных значениях  $L_0$  и соотношений  $h/\delta$  достигает ~ 25–30% от данного  $\Delta L$ . Поэтому использование выражения (9) возможно для приблизительной

оценки условий формирования покрытия. Таким образом, приведенное аналитическое выражение хоть и не является точным математическим описанием объекта моделирования, но позволяет приблизительно оценивать параметры процесса корректировки дисбаланса на уровне десятых долей микрометра без применения численных вычислений. Для более точных оценок (до тысячных долей микрометра) необходим расчет процесса по выражению (5). Основой для построения алгоритмов при реализации модели может являться эмпирическая зависимость (7), наименее общая, но наиболее удобная в применении.

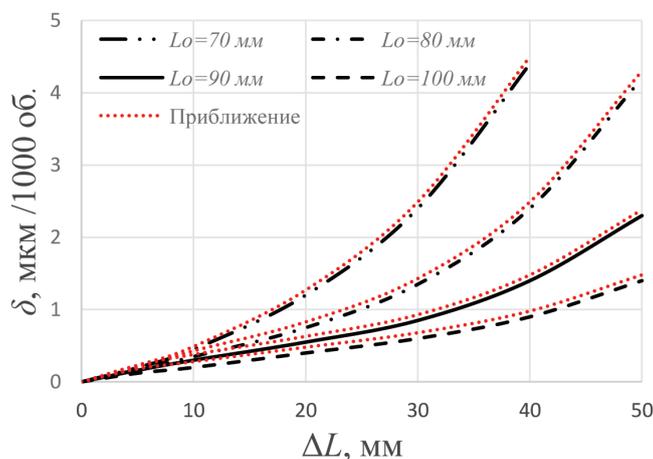


Рис. 2. Зависимости  $\delta$  от  $\Delta L$  для различных  $L_0$ , полученные численным расчетом и приближением (пунктир)

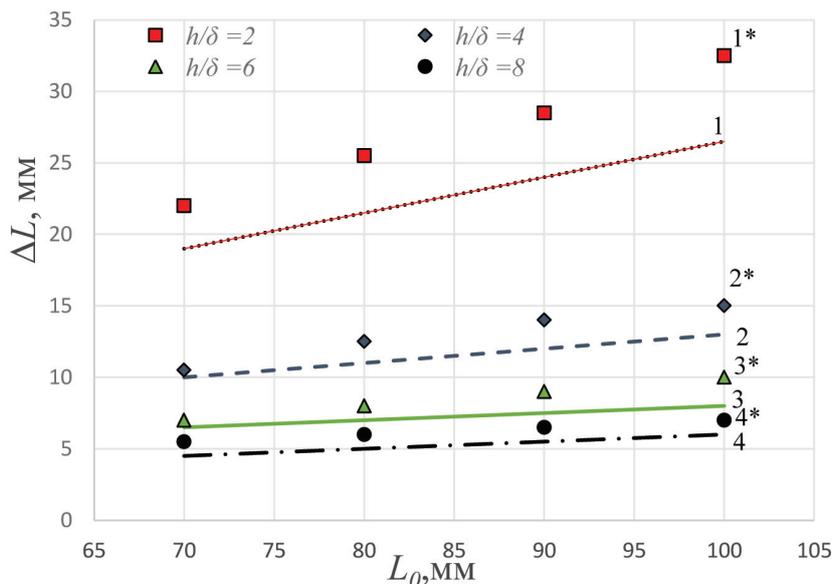


Рис. 3. Зависимость  $\Delta L$  от  $L_0$  для заданных отношений  $h/\delta$ . Линии 1, 2, 3, 4 – расчет согласно формуле (9), линии из фигурных точек 1\*, 2\*, 3\*, 4\* – результат, полученный по формуле (5)

### Заключение

Определены условия моделирования процесса балансировки сферических узлов с интерпретацией альтернативных целевых функций и отработкой модели до достижения приемлемого уровня адекватности. Проверка адекватности модели доказала правомерность принятых при моделировании положений и требуемую точность моделирования, с получением как качественного, так и количественного согласия результатов. Обоснованы преимущества использования математических моделей, в том числе и посредством экспериментальной проверки, выраженных в виде эмпирических зависимостей, в которых используются константы, определяемые условиями процесса формирования покрытия и учитывающие интегральную зависимость изменения толщины покрытия от угла поворота сферического узла относительно потока напыляемого материала.

### Список литературы

1. Микони С.В [и др.]. Сопоставление классификаций моделей, основанных на двух альтернативных подходах // Известия Петербургского ун-та путей сообщения. – 2017. – № 4. – С. 747–758.
2. Ротт А.Р. Моделирование и расчеты производственно-технических систем: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. – 224 с.
3. Мальков М.В., Олейник А.Г., Федоров А.М. Моделирование технологических процессов: методы и опыт // Труды Кольского научного центра РАН. – 2010. – № 3. – С. 93–101.
4. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Туманова М.А., Щербак С.А. Моделирование процесса прецизионной балансировки цилиндрических инерционных тел // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 9. – С. 82–87.
5. Крушенко Г.Г., Голованова В.В. Балансировка некоторых агрегатов космических аппаратов // Сибирский журнал науки и технологий. – 2014. – № 3 (55). – С. 178–184.
6. Юльметова О.С. [и др.]. Способ изготовления ротора электростатического гироскопа и устройство для осуществления этого способа // Патент России № 2 638 870. 2017. Бюл. № 35.
7. Yves Pauleau (ed.) Materials and Processes for Surface and Interface Engineering. – Springer, 1995. – 641 p.

УДК 004.9

## ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ В АСПЕКТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Алабин А.В., Свищева М.А., Коловертнова Д.Т., Каурова П.И.**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, e-mail: alabinav@mgsu.ru*

В статье рассматривается возможность использования информационных технологий для разработки проекта реконструкции строительного объекта. Рассмотрены основные отличия проекта реконструкции здания или сооружения от проектирования вновь возводимого объекта. Причины принятия решения о реконструкции и требования к объекту реконструкции. Определены основные ограничения проекта реконструкции в аспекте использования современных информационных технологий при решении подобных задач. В качестве примера приведены отечественный и зарубежный опыт использования отдельных функций информационных систем для поиска рационального решения. Затрагивается тема получения информации о текущем состоянии строительного объекта с целью создания полноценной информационной модели. Приведена схема алгоритма работы с информационной моделью здания и её актуализации. Перечислены наиболее рациональные пути развития строительных информационных технологий для автоматизации поиска оптимального решения. В целях упрощения и унификации предлагается использовать зарубежные стандарты по уровням проработки информационной модели. Описаны пути поиска решения для формализованных и неформализованных параметров. Делается вывод о возможности использования информационных систем для принятия оптимального решения при реконструкции строительных объектов. Решение подобных задач возможно только в случае системотехнического подхода, а также наличии полной и актуальной информации об объекте реконструкции.

**Ключевые слова:** автоматизация, вариантное проектирование, информационные технологии, лазерное сканирование, принятие решений, реконструкция зданий, BIM, LOD

## LIMITATIONS OF A RECONSTRUCTION PROJECT IN THE SCOPE OF USE OF MODERN IT

**Alabin A.V., Svishcheva M.A., Kolovertnova D.T., Kaurova P.I.**

*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: alabinav@mgsu.ru*

In this article, the possibility of using IT for the development of a reconstruction project of an engineering development is considered. The main differences between a reconstruction project and the development of a new engineering project are addressed. The reasons influencing the decision about the reconstruction and the requirements for reconstruction. The main limitations of a reconstruction project in the scope of use of modern IT for this type of problem solutions were determined. As an example, the domestic and foreign experience of utilization of discrete functions of information systems for the search of an efficient solution is used. The topic of receiving information about the current state of the building project with the purpose of acquiring a complete information model is brought up. The most rational ways of development of constructional IT are listed for the automation of the search of optimal solutions. For the purpose of simplification and unification, we suggest the use of foreign standards on the levels of development work on the information models. The ways of finding solutions to formal and informal settings are described. The conclusion about the feasibility of utilizing IT systems for the optimal problem resolution in reconstruction projects is made. Only in the case when a system engineering approach to the resolution of such problems is used and full and current information about the reconstruction project is available the problem appears solvable.

**Keywords:** automatization, multivariate design, IT, laser scanning, decision making, building renovation, BIM, LOD

Современные информационные технологии проектирования развиваются высокими темпами, и их использование позволяет значительно увеличить производительность процесса проектирования. К сожалению, все современные коммерческие решения в этой отрасли нацелены на рассмотрение задач, связанных с проектированием нового строительства, и ориентированы, в основном, на рынок общественных и жилых зданий. Но всё же в последнее десятилетие в строительной отрасли заметно растёт интерес к осуществлению проектов реконструкции, так как многие здания и сооружения уникальны и для владельцев гораздо выгоднее перестроить свой объ-

ект, чем осуществлять новое строительство на новом месте. Однако объединение этих двух направлений развития строительной отрасли хоть и является актуальным, ещё недостаточно освещено в современных научных разработках и насчитывает ряд ещё не решенных вопросов.

Проекты реконструкции значительно сложнее с точки зрения организации процесса проектирования, в том числе и в части использования современных информационных технологий, и требуют другого подхода к оценке проектных решений. В статье мы сформулируем основные проблемы разработки проектов реконструкции с использованием информационных технологий.

В современной практике уже существуют коммерчески успешные примеры использования информационных технологий для осуществления проектов реконструкции, но эти случаи уникальны и не систематизированы. Наша задача разработка единого системотехнического подхода к осуществлению таких проектов, что, в свою очередь, поможет избежать дополнительных затрат на поиск оптимального решения.

Сейчас реконструкция включает в себя комплекс строительных работ и организационно-технических мероприятий, направленных на приведение конструкций и самого здания в соответствие современным требованиям, таким как повышение энергоэффективности, безопасности, комфорта и экологичности объекта проектирования. Реконструкция промышленного объекта является сложной задачей для проектировщиков, так как при работе над проектом необходимо решить ряд специфических задач. Также объект реконструкции зачастую выполнен с использованием устаревших технологий и не отвечает современным нормативным актам, что тоже необходимо учитывать при проработке вариантов проектирования. Поэтому для успешной реализации таких проектов важно подходить к решению поставленных задач комплексно – учитывать общую инфраструктуру города, технические характеристики здания, приводить параметры здания в соответствие действующим нормам и правилам, разносторонне проводить обследование и с высокой точностью исследовать стоимостные характеристики объекта реконструкции [1].

Из вышесказанного следует, что реконструкция применима только к уникальным и технически сложным в осуществлении проектам, в которых преодоление вышеупомянутых трудностей будет оправдано в плане затрат труда, а также затраты на реализацию реконструкции не будет превышать 65% от осуществления нового строительства [2].

Как отмечается в различных исследованиях, системы автоматизированного проектирования могут оказать значительную помощь в сборе и наглядном предоставлении информации. Но для проектов реконструкции основной задачей является принятие полноценного оптимального решения о возможности и целесообразности реконструкции, а также максимально рациональных методах её проведения. Для этого необходима актуальная и полная информация об объекте существующей застройки, для чего обычной системы автоматизированного проектирования будет недостаточно.

Все современное программное обеспечение в строительной области использует в своей основе концепцию BIM, которая в свою очередь и нацелена на решение подобных технически сложных задач.

BIM – аббревиатура от Building Information Modeling, что переводится как информационное моделирование зданий. Первые упоминания о BIM появились на рынке в конце 80-х годов прошлого века, а первое широкое применение информационных моделей в реальных объектах осуществлялось при строительстве стадионов и других зданий для Олимпиады-2012 в Лондоне. Поэтому Великобритания среди всех мировых держав является «локомотивом» в развитии BIM, и с 2016 года все государственные заказы должны быть реализованы исключительно с его использованием. Несмотря на то, что лишь в некоторых странах внедрение BIM стимулируется со стороны государства, используется оно уже во всем мире. Конечно внедрение BIM вызывает глубокие изменения процессов и информационных потоков, но также оно насчитывает значительные преимущества (например, в смягчении рисков или улучшении управления данными, а также прогнозирование затрат на дальнейшую эксплуатацию). По статистическим данным, основанным на опыте строительных компаний, реализация объекта с использованием информационной модели позволяет сэкономить около 50–70% времени на этапе проектирования и на 80–90% снижается вероятность возникновения ошибок на этапе строительства, так как программа жестко контролирует появление коллизий в модели [3].

Хорошим примером, на котором можно прочувствовать эти преимущества может стать Шанхайская Башня (Shanghai Tower). Проект здания, высота которого составляет 632 метра, а полезная площадь – 420 тыс. кв.м, был реализован на основе концепции BIM с помощью продуктов компании Autodesk. На сайте компании опубликовано резюме проекта [4], в котором генеральный менеджер Shanghai Tower Construction & Development Co., Ltd., Цзяньпин Гу (Jianping Gu) говорит о том, что реализация такого масштабного объекта с помощью традиционных средств и методов проектирования не представляется ему возможной. Осуществление проекта продолжалось 72 недели. Чтобы оценить временные затраты в своём интервью [5] Гэ Цин (Qing Ge), вице-президент и главный инженер вышеупомянутой компании, приводит в пример срок строительства в том же районе здания со аналогичными конструкциями, но примерно в 2 раза уступающего размером

Шанхайской башни и осуществлённого без применения BIM, который составил 70 недель. Как видно, сроки практически совпадают. Как заявляет сам Гэ Цин, оптимизация строительных процессов и устранение неточностей в передаче информации между этапами проектирования и строительства позволило сэкономить около 5% от общей стоимости проекта (500 млн. юаней).

Проектирование зданий при реконструкции безусловно отличается от проектирования нового строительства. Важнейшим этапом создания проекта является анализ и оценка существующих конструкций, и сразу мы сталкиваемся с серьёзной и громоздкой в решении проблемой – обработка и моделирование неопределённых данных, объектов и процессов, происходящих в существующих зданиях, которые еще не рассматриваются в BIM. В Европе 80% жилых зданий, построенные до 1990 года, не имеют строительной документации в формате BIM [6], что отражает в целом ситуацию в строительной отрасли. Относительно промышленных зданий таких сведений нет, но картина схожая. Чтобы создать информационную модель и сократить затраченное на это время и труд сотрудников, разрабатывается огромное количество атрибутов и интеграция методов, таких как семантическое мышление, имеющих важное значение для обеспечения однозначных определений атрибутов и улучшения сбора и обработки информации о здании. Это поможет обеспечить совместимость между BIM и прилагаемыми экспертными функциями и облегчить внедрение BIM в существующих зданиях.

Одним из инновационных способов решение вышеупомянутой задачи является осуществление лазерного 3D сканирования существующего объекта, что позволяет снизить трудозатраты и затраты времени на «ручное» создание информационной модели здания. Помимо зданий, не обладающих документацией в формате BIM, существуют и такие, информационная модель которых уже была создана на этапе проектирования. Но и в таких проектах чаще всего преобладает неполная, устаревшая или фрагментированная информация о здании [7]. Отсутствующая или устаревшая информация о здании может привести к принятию неправильного решения при выборе варианта реконструкции, а затем и увеличенным затратам на переработку проекта. Если такие проблемы не были обнаружены на стадии принятия решения, то подобные ошибки приводят к увеличению стоимости в процессе эксплуатации или даже к потери несущей способности конструкций. Поэтому

к зданиям, имеющим необходимую проектную документацию, требуется повышенное внимание в сверке нынешнего состояния с тем, что отображено «на бумаге», поэтому для некоторых организаций является более оптимальным создание информационной модели заново с помощью уже упомянутого лазерного сканирования [8].

Таким образом этот этап можно изобразить в виде схемы (рисунок).

Первостепенной целью сравнения и анализа созданных вариантов является определение экономической эффективности и целесообразности данного проекта. Для этого необходимо выделить факторы, влияющие на принятие решения об окончательном варианте реконструкции. Например, экономическую эффективность зданий позволят оценить и увеличить такие аспекты, как:

- *непосредственно технологический процесс, который происходит в здании.* Ведь большинство проектов реконструкции связаны с совершенствованием технологического процесса и заменой оборудования на более современное или производительное. Оборудование определяется технологами и не зависит от строителей. При разработке проекта с заменой оборудования необходимо знать массо-габаритные характеристики используемого и планируемого оборудования. Также необходимо учитывать разницу в потребляемых мощностях оборудования, так как для вновь устанавливаемого оборудования зачастую требуются более производительные коммуникации. Также массо-габаритные характеристики влияют на изменение значений и точки приложения нагрузок.

- *возможность максимально использовать существующие конструкции здания с минимальным их усилением, либо дополнением.* При этом необходимо учитывать:

- 1) *старение строительных конструкций* – процесс изменения в процессе эксплуатации физико-химических свойств материалов конструктивного элемента под воздействием агрессивных факторов окружающей среды и механических нагрузок [9]. Так в бетонных и каменных конструкциях образуются трещины, которые под нагрузкой могут раскрыться шире вплоть до разрушения конструкции, а в металлических конструкциях под нагрузкой возникают пластические деформации, которые могут перерасти в пластический шарнир и также привести к разрушению конструкции. Поэтому необходимо своевременно выявлять дефекты существующих конструкций, чтобы обеспечить их усиление или замену на новые.



Схема алгоритма работы с информационной моделью здания

2) *изменение и ужесточение требований к надежности строительных конструкций*: так как уже существующие объекты построены, как правило, несколько десятков лет назад с использованием устаревших технологий и с опорой на нормативные документы, которые скорее всего уже были актуализированы или отменены. Они не отвечают требованиям современной нормативной базы, поэтому нужно строго отслеживать и восстанавливать это соответствие.

• *возможность использования более современных материалов*, с тем чтобы снизить влияние, оказываемое на окружающую среду, или уменьшить последующие эксплуатационные затраты. Сейчас вопросы энергоэффективности и экологичности строительных объектов обсуждаются на уровне правительства. Во многих крупных городах страны проводится оценка теплотеря жилых зданий с целью увеличения эффективности их обогрева. Экологический ущерб, наносимый окружающей среде, также строго отслеживается государственными органами. Уже существует множество

технологий изготовления строительных материалов с использованием вторичного сырья, как например использование отходов металлургической промышленности в остывшем виде в качестве заполнителей для бетона, а также изготовление из жидкотекучих шлаков цементного клинкера, что позволяет уменьшить объёмы захораниваемых отходов, отравляющих в последствии почвы [10]. В США, например, активно строятся небоскребы из металлоконструкций вторичного изготовления, то есть переплавленных из металлолома, а процент таких конструкций в общем объёме здания может достигать 80%.

Для обеспечения сравнимости моделей на различных этапах разработки проекта реконструкции необходимо, чтобы они обладали одинаковым набором параметров, а также эти параметры должны быть отображены в одном виде. Сравнение различных архитектурных и проектных решений необходимо для поиска наиболее рационального варианта реконструкции, это позволяет ещё до выхода на строительную площадку про-

играть различные сценарии работ. Также подобный подход позволяет аргументировать заказчику целесообразность принятых решений. Особенности реконструкции вытекают из выше описанных ограничений, связанных с работой над существующей информационной моделью реального объекта.

Принятие решения для различных аспектов проекта требует различной степени проработки информационной модели объекта реконструкции, так для оценки обеспеченности площадями уровень проработки может быть достаточно низким, но, если мы принимаем решения об использовании существующих строительных конструкций, потребуется более глубокая детализация модели. Предлагается использовать уже разработанные методики, где описываются уровни проработки модели, которые нормируют, насколько детализированной она должна быть для достижения различных целей.

Уровень проработки или LOD – от английского Level of Development – приём в трёхмерной графике, который заключается в создании нескольких вариантов одного объекта с различными уровнями проработки. В большинстве научных работ различают 5 основных разрядов LOD.

Соответственно необходимо выделить подходящий LOD, в котором будут учтены все необходимые показатели, и обеспечить их оценку. При оценке проектных решений выделяют формализованные и неформализованные.

Проблематика использования современных информационных средств при реконструкции зданий и сооружений весьма актуальна. Предлагаемая методика подразумевает общую концепцию автоматизации процесса разработки проектов реконструкции. Рекомендуется использовать итеративный подход при разработке проектов реконструкции с увеличением процесса детализации информационной модели строительного объекта. Использование современных мировых тенденций в области теоретической формализации реконструк-

ции возможно только с учетом особенностей этого процесса. Необходима апробация и верификация научных разработок и внедрение в процесс проектирования соответствующего инструментария. Продвижению научных разработок в области применения BIM может способствовать создание новых, тщательно продуманных нормативных документов, которые будут регламентировать применение данной концепции.

### Список литературы

1. Полётова Е.В. Экономические проблемы ресурсосбережения при реконструкции промышленных зданий / Е.В. Полётова, Р.Г. Абакумов, А.Е. Наумов // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2016. – № 2 (12). – С. 201–205.
2. Жариков И.С. Комплексная реконструкция зданий, состояние и перспективы / И.С. Жариков // Научные труды SWorld. – 2014. – № 4 (26). – С. 3–6.
3. Козлов Н.А. Проблемы внедрения технологий BIM проектирования в России / Н.А. Козлов, К.А. Попова // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 1 (15). – С. 18–21.
4. Rising to new highs with BIM [Электронный ресурс]. – URL: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/case-studies/shanghai-tower/shanghai-tower-customer-story.pdf> (дата обращения: 18.03.2018).
5. Большое интервью с руководителем строительства Шанхайской Башни [Электронный ресурс]. – URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=16481](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16481) (дата обращения: 18.03.2018).
6. Economidou M., Laustsen J., Ruysevelt P., Staniszek D., Strong D., Zinetti S. Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. – Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011.
7. Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N., Calis G. Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management // Journal of Construction Engineering and Management. – 2012. – № 138. – P. 431–442.
8. Gursel I., Sariyildiz S., Akin O., Stouffs R. Modeling and visualization of lifecycle building performance assessment // Advanced Engineering Informatics. – 2009. – № 23. – P. 369–417.
9. Дементьева М.Е. Техническая эксплуатация зданий: оценка и обеспечение эксплуатационных свойств конструкций зданий: учебное пособие для студентов специальности 270105 «Городское строительство и хозяйство» / М.Е. Дементьева. – М.: МГСУ, 2008. – 227 с.
10. Романова И.П. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности / И.П. Романова, О.Б. Бегунов // Территория науки. – 2016. – № 2. – С. 53–57.

УДК 378.14(470)

## «ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ» В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ – РЕАЛЬНОСТЬ ИЛИ ИЛЛЮЗИЯ? (КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В СИСТЕМЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ)

**Зубарев В.Ф., Бондарев Г.А.**

*ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет», Курск,  
e-mail: meg200683@mail.ru*

Российская система высшего образования переживает болезненный период. Кто-то считает это естественным следствием «болезни роста», кому-то кажется, что это – начало окончательного краха когда-то самодостаточной отечественной системы высшей школы. Приводятся вполне весомые аргументы с обеих искренне заинтересованных сторон. Начало категорическому расхождению общественного мнения положено присоединением России к Болонскому процессу, нынешняя ситуация связана с внедрением в образовательную практику заимствованного на Западе «компетентностного подхода». Малопонятная, неуклюжая суeta аппаратных работников Минобрнауки в плане разработки и внедрения уже не поддающихся подсчёту «новых поколений» образовательных стандартов с искусственной привязкой к ним «компетенций» вызывает лишь недоумение и неприязнь к новой для нас дидактической парадигме. Приживётся ли она окончательно в непредсказуемой российской образовательной действительности или её ждёт участь тихо умирающего Болонского процесса? Ответ на этот далеко не риторический вопрос могут дать не тенденциозная дискредитация, а объективный анализ сильных и слабых сторон нововведения, а также разработка надёжных объективных методов контроля его эффективности.

**Ключевые слова:** высшее профессиональное образование, образовательные стандарты, компетенции, компетентностный подход

## «IMPORT SUBSTITUTION» IN THE DOMESTIC HIGHER SCHOOL – REALITY OR ILLUSION? (CRITICAL ANALYSIS OF SOME ASPECTS OF THE COMPETENCY APPROACH IN THE SYSTEM OF RUSSIAN HIGHER EDUCATION)

**Zubarev V.F., Bondarev G.A.**

*Kursk State Medical University, Kursk, e-mail: meg200683@mail.ru*

The Russian system of higher education is experiencing a painful period. Someone considers it to be a natural consequence of the «growth illness», some others regard it as the beginning of an ultimate collapse of the once-self-sufficient domestic system of higher school. Both sincerely interested parts suggest quite telling arguments. The start to the categorical divergence of the public opinion was given by the joining of Russia to the Bologna process, while the current situation is connected with the introduction into the educational practice of the borrowed from the West «competency approach». The recondite clumsy bustling of the officers of the Ministry of education and science while devising and introducing the already uncountable «new generations» of educational standards with the artificial binding to them of «competences» causes merely some bewilderment and resentment toward a novel didactic paradigm. Will it ultimately survive in the unpredictable Russian educational reality or will it share the lot of the gradually dying Bologna process? The answer to this far from rhetorical question can be given not by the tendentious discredit, but by an objective analysis of the strengths and weaknesses of the innovation as well as by devising reliable objective methods of its efficiency control.

**Keywords:** higher professional training, educational standards, competences, competency approach

Компетентностный подход в системе высшего образования (ВО) в России является самой злободневной, чрезвычайно противоречивой, почти скандально обсуждаемой на разных уровнях темой и, наряду с этим, реально свершившимся фактом внедрения этой дидактической парадигмы в отечественную образовательную практику. Очень неоднозначное понятие «компетентностный подход» обязано своим происхождением ещё более неоднозначному термину «компетенция», неоднозначность которого обусловлена неточностями смысловой интерпретации английских терминов *competence* и *competency*.

О том, когда появилось множественное число термина «компетенция», история умал-

чивает, хотя основанием для этого, вероятнее всего, явился изначально заложенный в этот термин и одинаково понимаемый в нашем отечестве и за рубежом двойной смысл:

1) компетенция как личностная характеристика индивидуума, выражающая его *способность* применять знания, умения и практический опыт для успешной трудовой деятельности (в этом смысле понятие «компетенция» тесно сопрягается с понятием «компетентность»);

2) комплекс ожидаемых *критериев* эффективности обучения (набор эталонов, стандартов, качеств и т.п.). В первом случае множественное число термина «компетенция» не имеет смысла, во втором оно, безусловно, оправдано.

История возникновения и эволюции компетентностного подхода как социально-профессиональной данности хорошо известна. Ещё в 1970-х гг. американцем Дэвидом Макклелландом (David Mc Clelland) [1] была разработана «поведенческая компетенция» как подход, ориентированный на дифференциацию управленческого поведения *успешных руководителей*. Ричард Боятцис (Richard Boyatzis) [2] в 1980-е годы продолжил работу в этом направлении. Проанализировав личностные качества и профессиональное поведение 2000 чел., занимавших руководящие должности в 12 компаниях, он дал четкое определение понятию «компетенция», определив его как совокупность потенциальных возможностей человека, включающую мотивы, индивидуальные характерологические особенности, знания, поведенческие и профессиональные навыки, видение себя, социальную роль. Им составлен список из 19 наиболее общих компетенций руководителя, обладание которыми, по логике вещей, приводит к профессиональному успеху.

Британский «функциональный» вариант компетентностного подхода, в отличие от американского «поведенческого», сделал акцент на культивировании «профессиональных стандартов», легших в основу системы кадрового профессионального отбора [3].

Принадлежность компетентностного подхода к профессионально-деловой социальной сфере оказалась недолгой. Уже в 1970-х гг. в США начало формироваться ориентированное на компетенции высшее профессиональное образование. Компетентностный подход в образовании явился ответом бизнесу на вопрос: «Как учить так, чтобы на выходе получать компетентного профессионала?» [4]. Основанием этому послужило введение в 1965 г. Н. Хомским термина «компетенция» в контексте своей трансформационной грамматики [5]. Впервые упомянутый в образовательной сфере в столь узком смысле, этот термин вскоре приобрел более широкое толкование, включающее такие аспекты, как ориентация на социально-личностные качества, культурные и этические нормы, межличностные поведенческие навыки и др. Интерпретируемый в таком качестве термин «компетенция» породил понятие «компетентностный подход». Важную роль в его окончательном утверждении в образовательной сфере сыграл подготовленный в 1996 г. доклад Комиссии ЮНЕСКО по образованию для XXI века, известный как «доклад Делора» по имени возглавлявшего эту комиссию бывшего председателя Европейской комиссии Жака Делора [5].

Значительный вклад в дальнейшее развитие компетентностного подхода как такового внес международный проект «Настройка образовательных структур» («Tuning Educational Structures»), в котором принимают участие более 200 вузов Европы, Латинской Америки и некоторых стран постсоветского пространства. Наряду с безусловным признанием важности формирования и развития специфических предметных профессиональных компетенций как основы университетских основных образовательных программ, проект «TUNING» подчеркивает необходимость развития так называемых общих компетенций (универсальных, базовых, ключевых, надпрофессиональных и т.п. в разных авторских интерпретациях, сходных по своей сути), позволяющих адекватно готовить студентов к их будущей роли в обществе в качестве эффективных профессионалов и полноценных граждан [6]. Выделяемые проектом три типа общих компетенций – инструментальные, межличностные, системные – по своим характеристикам относятся в большей степени или ещё к школьно-семейному, или уже к постдипломному воспитательному и образовательному уровням и лишь отчасти вписываются в систему ВО.

Следует сразу оговориться, что попытка терминологической унификации одних только общих компетенций на сегодняшний день является самым неблагоприятным занятием, поскольку их число лавинообразно нарастает в самых разных авторских интерпретациях.

По выражению Е.Ю. Есениной, на рубеже XX–XXI веков теория и практика профессионального образования в России «...были просто взорваны «компетенциями», «компетентностями» и «компетентностным подходом», пришедшими в отечественную педагогику из-за рубежа» [7, с. 89].

Пик увлечения пришёлся на 2006–2010 гг., когда значительная часть публикаций и, судя по авторефератам, почти половина диссертационных исследований были посвящены этой тематике. В настоящее время можно без труда привести добрый десяток определений понятия «компетенция», начиная с индивидуальных авторских вариантов и кончая такими авторитетными источниками, как «Рекомендации разработчикам образовательных стандартов нового поколения для высшей школы, утвержденные Департаментом государственной политики и нормативно-правового регулирования Минобрнауки РФ от 01.09.2008 г.» [цит. по Ю.Г. Татур, 8] или «Словарь-справочник современного российского профессионального образования» [9, с. 10].

Радикальная переориентация системы российского высшего образования на компетентностный подход не была случайной. Этому предшествовал ряд знаковых событий, явившихся следствием социальных потрясений 1990-х гг. Начало этому процессу положил введенный в 1992 г. ведомственным актом переход на двухуровневую (бакалавриат – магистратура) систему подготовки специалистов высшей квалификации. Принятые в 1996 и 2000 гг. стандарты первого и второго поколения еще не имели федерального статуса и содержали общие требования к основным образовательным программам (ООП), сроки их освоения, объемы учебной нагрузки студентов всех ступеней высшего профессионального образования.

Апофеозом эффективности системы высшего профессионального образования на тот период было успешное освоение практических навыков в рамках сохранения традиционной ориентации на информационно-знаниевую дидактическую модель. Никаких контекстных и терминологических намеков на компетенции и компетентностный подход в них не содержалось. Быть может, этим бы все и ограничилось, если бы не присоединение России в качестве полноправного члена к Болонскому процессу в 2003 г., породившее наивные иллюзии широкого обмена с Западом учебными программами, студентами и педагогическими кадрами. Сейчас эти проекты тихо умерли, а тогда они вызывали острые публичные и кулуарные дискуссии, совпавшие по времени с упомянутым выше «компетентностным взрывом».

Итог был предрешен – в 2009 г. был принят Федеральный государственный стандарт третьего поколения (ФГОС ВО 3), предполагающий стандартизацию не собственно дидактического процесса, а его результатов – компетенций и согласование их с общеевропейскими подходами в рамках проекта «TUNING». Этой же цели служат переход расчета учебной нагрузки студентов и преподавателей в зачетных единицах ECTS (в Европейской системе – кредиты) и изменение приложения к диплому о высшем образовании по типу Diploma Supplement (пока еще в качестве намерения) [10].

С этого момента термин «компетенции» прочно занял свое почти законное место в документах, регламентирующих организацию учебного процесса в отечественной образовательной сфере. Мы не оговорились, употребив определение «почти» в отношении термина «компетенции», потому что обнаружили одну удивительную вещь. В Федеральном законе от 29 декабря 2012 г.

№ 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» в формулировках 34-х основных понятий, используемых в настоящем законе, шесть раз употребляется слово «компетенция» (единственное число, родительный или творительный падеж) в *общепотребительном*, если не сказать *бытовом* смысле этого слова, не имеющем никакого отношения к проекту «TUNING» (гл. 1; ст. 2; пп. 1, 3, 5, 11–13; с. 2–5) [11]. Наряду с этим, федеральные государственные образовательные *стандарты* в современном варианте приобретают свой законный статус (гл. 1; ст. 11). Правда, в последнее время их разработка и внедрение в образовательную практику стали несколько пробуксовывать, свидетельством чему являются странные версии «ФГОС ВО (3+)», «ФГОС ВО (3++)», «ФГОС ВО (3+++))» с довольно зыбкой надеждой на появление «нормальной» версии «ФГОС 4», (кстати сказать, цифровые и «плюсовые» формулировки ФГОС ВО не фигурируют ни в одном *официальном документе*, будучи деликатно закамуфлированными под «стандарты нового поколения». В связи с этим следует заметить, что на сегодняшний день сложилась чрезвычайно запутанная ситуация в смысловых и утилитарных «взаимоотношениях» понятий «стандарты», «компетенции» и «учебные задачи». В качестве примера приведем близкий нам по профессии Приказ Минобрнауки РФ от 9 февраля 2016 г. № 95 «Об утверждении Федерального государственного стандарта высшего образования по направлению подготовки 31.05.01 Лечебное дело (уровень специалитета)» (так называемый, ФГОС ВО (3++)) [12]. В утверждённом этим приказом Федеральном стандарте по трём обозначенным видам профессиональной деятельности (медицинская, организационно-управленческая, научно-исследовательская) перечислены 22 *задачи*, решать которые должен быть готов выпускник, освоивший программу специалитета (гл. IV, п. 4.4, стр. 4–6). По странному совпадению уже в следующей главе перечислены 22 *профессиональных компетенции* (ПК), по своей сути немногим отличающиеся от *задач* (гл. V, п. 5.4, стр. 8–10). Возникает естественный вопрос о целесообразности такого дублирования.

При сравнении ФГОС ВО (3++) по специальности «Лечебное дело» из укрупнённой группы «Клиническая медицина» (уровень специалитета) с таковым по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» (специалитет) из далёкой от медицинской специальности укрупнённой группы «Машиностроение» ситуация оказалась аб-

солютно идентичной – на 168 задач по 24 специализациям (по 7 задач на каждую) пришлось ровно столько же *профессионально-специализированных компетенций* (ПСК) с мало чем отличающимися формулировкам [13]. Складывается впечатление, что Минобрнауки спустило на низовые образовательные структуры нормативный шаблон, к которому в качестве дани современной западной моде довольно нелепо привязаны профессиональные компетенции, без которых до недавнего времени отечественное образовательное пространство вполне обходилось, довольствуясь *задачами*. Тема введения приложения к диплому о высшем образовании по типу Diploma Supplement во всех ВГОС ВО нового поколения даже не упоминается.

Энергичное внедрение компетентного подхода в российскую образовательную сферу было неоднозначно встречено научно-педагогической общественностью. Показательными в этом смысле являются, например, высказывания В.С. Сенашенко с соавт.: «Вместо выявления и понимания истинного смысла понятия «компетенция» в контексте отечественной системы высшего профессионального образования, происходит его мистификация, поиск чего-то такого, что заведомо находится за пределами системы образования» [14, с. 38] или «В результате внедрения ФГОС ВПО на основе «компетентного подхода» высшая школа погружается сегодня в режим имитации весьма странной околообразовательной деятельности» [14, с. 39]. Примерно такого же мнения придерживается О.К. Крокинская с соавт.: «...то, что называется реформой образования, превратилось в перманентный способ существования всей системы» [15, с. 70].

В противоположность доминирующему ныне засилию иностранных научных терминов, в современной отечественной литературе существует немало аргументированных мнений о необходимости употребления хорошо известных и точных понятий, которые не нужно подменять «компетенциями» или «компетентностями»: правовая, экологическая, профессиональная культура; совершенствование профессиональной подготовки; формирование правосознания учащихся; совершенствование речевой культуры и т.д. [7].

Сегодня даже самые одержимые сторонники внедрения «компетентного подхода» в отечественное образовательное пространство вынуждены признать сложность этого процесса, и дело не только в терминологической неразберихе. С ранжированием компетенций в дисциплинарных или модульных рабочих программах универси-

теты как-то справляются по своему разумению, возможно, в ряде случаев далекому от идеала, а вот реального использования в учебной практике зачетных единиц (з. е.) до сих пор не просматривается, хотя они фигурируют в количестве 360 в ФГОС ВО (3++) по направлению подготовки 31.05.01 Лечебное дело (уровень специалитета) [12]. Уместно заметить, что на Западе они являются одним из основных дидактических рабочих «инструментов». Еще более туманной перспективой представляется внедрение приложения к диплому о высшем образовании по типу Diploma Supplement.

Кроме технологических сложностей и чисто эмоционального «притяжения» или «непритяжения» зарубежного дидактического подхода, существуют объективные причины, затрудняющие его внедрение в образовательную сферу, в числе которых следует назвать:

1. Изначально двойственная сфера применения: а) социальная и профессионально-деловая среда; б) образовательное пространство.

2. Во всех академических моделях компетентного подхода одним из главных элементов его функционального блока является автоматически перенесенный туда из профессионально-деловой сферы «профессиональный опыт», который, естественно, не может быть приобретен студентом в процессе обучения.

3. Отсутствие реальной преемственности школьного и высшего профессионального образования [4].

Но настоящим «камнем преткновения» в процессе культивирования компетентного подхода на отечественной образовательной «ниве» стало пока еще плохо нами осознаваемое отсутствие реальных инструментов адекватной (т.е. полной) оценки эффективности этого подхода. В связи с этим следует напомнить, что компетентный подход со структурной точки зрения представляет собой два блока компонентов:

- 1) гностический и функциональный;
- 2) ценностно-этический (социально-личностный).

Первый из них включает мотивацию, знания, умения, навыки, доступный учащемуся практический опыт. Главными компонентами второго блока являются культурные и этические нормы, уровень интеллекта, личностные качества, межличностные навыки. Технологии контроля эффективности гностического и функционального блоков давно известны и хорошо отработаны (академическая успеваемость, рейтинги, паспорт учета практических навыков, государственная итоговая аттеста-

ция в ее традиционной форме). Второй сущностный блок – ценностно-этический (социально-личностный) фактически остается вне всякого объективного контроля, исключая, таким образом, возможность глобальной оценки эффективности *результата образования* (в отличие от *результата обучения*, реализуемого блоками компетентностного подхода).

Предлагаемые до сих пор подходы к контролю уровня сформированности *базовых* компетенций являются или неадекватными в силу недостаточного понимания сущности этого блока компетенций (М.Б. Гитман с соавт. [16], например, предлагают для этих целей известную стандартную схему – балльную систему (компьютерные тесты), ситуационные задания (кейсы) и совсем уж загадочное «суммирование результатов контроля знаний, умений и владений», т.е. всё, чем оценивается профессиональный блок компетенций) или суперсложными, громоздкими методами, такими, например, как предлагаемая Н.Ф. Ефремовой [4] многокомпонентная схема внутривузовой службы оценивания образовательных достижений студентов, безукоризненно обыгранная с технологической точки зрения и вряд ли реализуемая в повседневной вузовской практике, или разработанные Ю.Г. Татур и Ю.Г. Фокиным таксономические таблицы, представляющие собой в совокупности тарификатор, названный авторами «ТАФО» [8].

Квалиметрических технологий измерения уровня культурных и этических норм, равно как и социально-личностных качеств, насколько нам известно, на сегодняшний день не существует и сама попытка внедрения таковых в университетскую образовательную сферу кажется абсурдной, хотя элементарная логика подсказывает, что фактическая бесконтрольность этой важной составляющей компетентностного подхода лишает результаты контроля эффективности университетского образования полной объективности. Попытки возложить глобальные контрольные функции компетентностного подхода на формирование портфолио представляются нам малоубедительными.

### Заключение

Последнее десятилетие породило странную, парадоксальную ситуацию в системе отечественного высшего образования. С одной стороны, Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» формально предоставляет образовательным учреждениям широчайшие возможности

для принятия автономных административных и нормативно-правовых решений. С другой стороны, высшие административные образовательные структуры, фактически без обсуждения и согласования с научно-педагогическим сообществом, волевым решением внедрили в учебную практику заимствованную за рубежом, уже не новую дидактическую парадигму – «компетентностный подход» со всеми его методологическими атрибутами и терминологией. По нашему мнению, несмотря на широко развернутый процесс внедрения нововведения в учебную практику, общественные и профессиональные дискуссии на эту чрезвычайно злободневную тему должны:

1) убедить отечественный научно-преподавательский корпус в действительной практической необходимости заимствованного нововведения или побудить его к созданию собственных инновационных образовательных технологий, учитывая громадный интеллектуальный и творческий потенциал работников российской системы высшего образования;

2) способствовать разработке законодательной взамен существующей ныне рекомендательной формы внедрения компетентностного подхода в отечественную образовательную практику с целью придания ей формальной стабильности, если этому будет способствовать общественное мнение;

3) обязать Минобрнауки РФ разобраться с представленной в последних «поколениях» Федерального образовательного стандарта запутанной терминологической ситуацией («стандарты», «компетенции», «учебные задачи») и определиться наконец с окончательным хотя бы на какое-то время вариантом его очередного «поколения»;

4) способствовать разработке согласованных, надёжных, практически выполнимых технологий объективного контроля эффективности компетентностного подхода, в частности его ценностно-этического (социально-личностного) компонента, без чего практическое использование нововведения теряет всякий смысл.

### Список литературы

1. McClelland D.C. Testing for competence rather than for intelligence // American Psychologist. – 1973. – № 28. – P. 1–14.
2. Boyatzis Richard E. The competent manager: a model for effective performance. – N.Y.: John Wiley & Sons, 1982. – 308 p.
3. Определение понятия «компетенция» (обзор) // Электронный журнал «HR-Portal». URL: <http://www.hr-portal.ru/article/opredelenie-ponyatiya-kompetentsiya> (дата обращения: 15.03.2018).
4. Ефремова Н.Ф. Подходы к оцениванию компетенций в высшем образовании: учебное пособие. – М.: Исследова-

тельский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. – 216 с.

5. Андреев А.Л. Перспективы образования: компетенции, интеллектуальные среды, трансдисциплинарность // Высшее образование в России. – 2014. – № 3. – С. 30–41.

6. Пискунова Е.В. Определение компетенций в образовательных программах // Pandia.org. Энциклопедия знаний. URL: <http://www.pandia.ru/text/77/192/20521.php> (дата обращения: 15.03.2018).

7. Есенина Е.Ю. «Терминотворчество» в российском профессиональном образовании // Высшее образование в России. – 2012. – № 11. – С. 89–93.

8. Татур Ю.Г. Как повысить объективность измерения и оценки результатов образования // Высшее образование в России. – 2010. – № 5. – С. 22–31.

9. Блинов В.И., Волошина И.А., Есенина Е.Ю., Лейбович А.Н., Новиков П.Н. Словарь-справочник современного российского профессионального образования // ФИРО. – М., 2010. Вып. 1. URL: <http://fgosvro.ru/uploadfiles> (дата обращения: 15.03.2018).

10. Смирнов С.А. Болонский процесс: Перспективы развития в России // Высшее образование в России. – 2004. – № 1. – С. 43–51.

11. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ. – 404 с.

12. Об утверждении Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 31.05.01 Лечебное дело (уровень специалитета): Приказ Минобрнауки России от 9 февраля 2016 г. № 95. – URL: <http://base.garant.ru/71345004/> (дата обращения: 15.03.2018).

13. Об утверждении Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов (уровень специалитета): Приказ Минобрнауки России от 28 октября 2016 г. № 1343. – URL: <http://base.garant.ru/71542430/> (дата обращения: 15.03.2018).

14. Сенашенко В.С., Медникова Т.Б. Компетентностный подход в высшем образовании: миф или реальность // Высшее образование в России. – 2014. – № 5. – С. 34–46.

15. Крокинская С.Ю., Трапицын С.Ю. Студент как «потребитель образования»: содержание категории // Высшее образование в России. – 2015. – № 6. – С. 65–75.

16. Гитман М.Б., Данилов А.Н., Столбов В.Ю. Об одном подходе к контролю уровня сформированности базовых компетенций выпускников вуза // Высшее образование в России. – 2012. – № 4. – С. 13–18.

УДК 372.881.161.1(470.41)

## **ОБУЧЕНИЕ РУССКОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ В КАЗАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПОСОБИЯ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ ДЛЯ II КУРСА)**

**Ибрагимова Л.Г., Светлова Р.М.**

*ФГБОУ ВПО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства  
здравоохранения РФ, Казань, e-mail: leysan-mam@yandex.ru, habibi.rozana@mail.ru*

Создание учебных материалов для студентов определенных специальностей, которые отвечали бы современным требованиям и стандартам, является одной из актуальных задач, стоящих перед профессиональными учебными заведениями. В статье подробно излагается структура самого учебно-методического пособия «Русский язык в медицинском вузе. Часть 2», а также дается поэтапное описание урока. Рассматриваются примеры предтекстовых и послетекстовых упражнений, которые ориентированы на преодоление языковых трудностей, предупреждение и предотвращение грамматических и речевых ошибок, формирование навыков работы со словарем у студентов и способствуют более глубокому пониманию текста. В исследовании дается обоснование обращения авторов к ситуативному типу текста, концентрирующегося вокруг образа главного героя. Авторы учебно-методического пособия обращают внимание на такие методические положения, как коммуникативность, практическая направленность в обучении, ситуативно-тематическое построение учебного материала, учет лингвострановедческих и культурологических особенностей. В статье обосновывается обращение к грамматическому блоку, представляющему собой грамматические пояснения в виде таблиц и упражнений на закрепление теоретического материала. В работе рассматривается пособие «Русский язык в медицинском вузе. Часть 2», предназначенное для работы в англоязычной аудитории.

**Ключевые слова:** русский язык как иностранный, методика преподавания, Казанский ГМУ, научный текст, второй курс

## **TEACHING RUSSIAN LANGUAGE FOR FOREIGN STUDENTS IN KAZAN STATE MEDICAL UNIVERSITY (EXPERIENCE OF THE ELABORATION OF TEXTBOOKS ON RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE FOR THE SECOND YEAR STUDENTS)**

**Ibragimova L.G., Svetlova R.M.**

*Kazan State Medical University Ministry of Health of the Russian Federation, Kazan,  
e-mail: leysan-mam@yandex.ru, habibi.rozana@mail.ru*

Elaborating teaching materials for students of certain specialties, which would meet modern requirements and standards, is one of the urgent tasks faced by professional educational institutions. The article details the structure of the teaching manual «Russian language in medical school. Part 2» and provides a step-by-step description of the lesson. Examples of pre-texting and after text exercises that focus on overcoming language difficulties, prevention and grammatical and speech mistakes, the skills of dictionary among students and promote deeper understanding of the text are considered. The study explains the rationale for the treatment of the authors to a situational type of text focused around the image of the main character. The authors of the manuals draw attention to such technical aspects as communication, practical training, situational-thematic structure of educational material, consideration the linguistic and cultural features. The article substantiates the reference to the grammatical block which is a grammatical explanation in the form of tables and exercises to consolidate the theoretical material. This paper examines the textbook «Russian language in medical school. Part 2» that is aimed at working in an English-speaking audience.

**Keywords:** Russian as a foreign language, methods of teaching, Kazan State Medical University, scientific text, the second course

Разработка учебно-методических пособий для практических курсов русского языка как иностранного для студентов не-филологических специальностей на сегодня является одним из приоритетных направлений и выдвигает актуальные задачи: совершенствовать преподавание иностранных языков, особенно в отсутствие языковой среды; сформировать научно-методическую и психолого-педагогическую платформу и структуру учебного процесса; выделить профессиональные компетенции, имеющие отношение к специальным дис-

циплинам и позволяющие получать будущим специалистам новейшую информацию в профессиональной деятельности.

Студентами-иностранцами дисциплина РКИ в Казанском государственном медицинском университете изучается с первого по четвертый курсы. Каждый из четырех этапов имеет свою специфику.

В данной статье описывается опыт составления качественно нового для медицинского вуза учебно-методического пособия «Русский язык в медицинском вузе. Часть 2», предназначенного для студентов II

курса, обучающихся в англоязычных группах. Уроки разработаны с учетом специальности обучающихся – предназначены для обучения будущих медиков. Опыт разработки учебно-методического пособия «Русский язык в медицинском вузе. Часть 1», также предназначенного для студентов II курса, обучающихся в англоязычных группах, описан в статье «Преподавание РКИ в медицинском вузе (опыт обучения студентов-иностранцев на II курсе)» [1, с. 596]. Целью пособия является развитие лексико-грамматических навыков на материале устной и письменной профессиональной речи, подготовка иностранных студентов к общению с больными и медперсоналом больницы [2, с. 4].

Данное пособие разработано на кафедре русского и татарского языков Казанского государственного медицинского университета и предназначено для преподавателей русского языка как иностранного и студентов, обучающихся на языке-посреднике в условиях языковой среды. Основной целью является оказание методической помощи преподавателям в подготовке учебного

материала для студентов-иностранцев II курса, проходящих клиническую практику в городских больницах и поликлиниках. Авторы пособия «Русский язык в медицинском вузе. Часть 2» преследуют задачу – разработать материал, необходимый иностранным студентам-медикам в их профессиональной деятельности в условиях медицинского учреждения. Другой задачей является включение в структуру пособия лексико-грамматического материала в виде пояснений, таблиц, упражнений, которые способствовали бы повторению и углублению знаний, полученных на первом курсе. Пособие состоит из 36 уроков по специальности, которым сопутствуют темы по грамматике и развитию речи, и представляет собой четко распланированные разработки, подчиняющиеся определенной структуре. Содержание пособия для II семестра посвящено изучению научного текста, который также сопровождается грамматическими пояснениями и упражнениями. В таблице приведены фрагменты плана поурочных разработок.

Фрагмент плана поурочных разработок учебно-методического пособия «Русский язык в медицинском вузе. Часть 2»

№	Тема по специальности	Кол-во уроков	Тема по грамматике	Кол-во уроков
1	Специалисты в больнице	1		1
2	Больница	3	Сложносочиненные предложения с союзным словом <i>который</i> в форме Именительного падежа. Идти, ходить, пойти; ехать, ездить, поехать.	3
3	Приемное отделение больницы	2	Идти, ходить, пойти; ехать, ездить, поехать. Сложносочиненные предложения с союзным словом <i>который</i> в форме Винительного падежа.	2
4	Лечебное отделение больницы	2	Сложносочиненные предложения с союзным словом <i>который</i> в форме Родительного падежа. Сложносочиненные предложения с союзным словом <i>который</i> в форме Предложного падежа.	2
5	Процедурный кабинет	2	Сложносочиненные предложения с союзным словом <i>который</i> в форме Дательного падежа. Сложносочиненные предложения с союзным словом <i>который</i> в форме Творительного падежа.	2
6	Больничная палата	2	Обобщение предложений с союзным словом <i>который</i>	2
~	~	~	~	~
9	Методы исследования больного	4	Однонаправленные и разнонаправленные глаголы. Глаголы движения	4
10	Энтеральное введение лекарственных средств	2	Прямая и косвенная речь.	2
~	~	~	~	~
14	Измерение температуры, пульса и артериального давления	2	Отрицательные, вопросительные, неопределенные местоимения.	2
~	~	~	~	~

Авторы-составители учебно-методических пособий по РКИ, работающие с научным текстом, часто задаются вопросами: как должен быть репрезентирован текст, чтобы студенту было интересно работать с ним, в какой форме и в какой последовательности должны быть введены предтекстовые и послетекстовые задания, чтобы на уроке были достигнуты поставленные цели – понимание студентом новой информации и умение выстроить информативные блоки на русском языке с целью использования знаний в профессиональной сфере. В пособии предпринята попытка реализовать эти идеи творчески, включив в структуру и содержание научного текста «художественные зарисовки», переданные устами очевидца, тем самым отступив от нормированности научного стиля и упростив процесс понимания. Материал пособия «Русский язык в медицинском вузе. Часть 2» опирается на «ситуативно-тематический принцип организации учебного материала» [3, с. 40] и концентрируется вокруг красочных рассказов главного героя – индийского студента Кумара из города Бангалор, поступившего в прошлом году на лечебный факультет Казанского медицинского университета для изучения медицины. Учебный материал предваряет вступительное слово студента-иностранца, который представляется читателям и объясняет, как он оказался в роли рассказчика:

*«Меня зовут Кумар. Я, как и вы, студент второго курса, учусь в Казанском медицинском университете. Раньше я жил в Индии, в городе Бангалор. <...> После окончания школы я приехал в Казань изучать медицину.*

*Я хочу стать врачом, специалистом в области кардиологии, чтобы помогать людям. После получения диплома я мечтаю вернуться в мой родной город и работать в современных клиниках, какие есть в Казани. Но сейчас я только на втором курсе. Я изучаю анатомию, гигиену, хирургию, прохожу практику в Республиканской клинической больнице № 16. Я изучаю русский язык уже два года, поэтому достаточно хорошо говорю и пишу по-русски. На практике преподаватели, студенты, медицинский персонал и пациенты разговаривают только по-русски, поэтому я советую очень серьезно изучать этот предмет.*

*Друзья, учиться в Казани очень интересно. Я очень рад, что приехал получать профессию в Казань, потому что в России современная система здравоохранения. Я хочу рассказать вам о ней, а также познакомить с устройством российских больниц. Предлагаю отправиться вместе со мной на практику в российскую клинику и усовершенствовать свой русский язык. Вперёд!»*

Структура урока в пособии включает в себя традиционные для занятия в иностранной аудитории этапы. Это и проверка домашнего задания, и подготовка к восприятию новой темы, и знакомство с новым материалом, и закрепление нового при помощи тренировочных упражнений и заданий на развитие речи и т.д. На изучение одной темы может отводиться один или несколько уроков. Например, тема «Больница» состоит из двух уроков, первый из которых подготавливает учащихся к восприятию художественного текста (словарная работа, предтекстовые упражнения), а второй – направлен на изучение текста, закрепление полученного материала (послетекстовые задания).

Одним из этапов предтекстовой работы является формирование потенциального словаря учащихся. В начале каждого урока студентам предлагается ознакомиться с новой лексикой с переводом на английский язык. Это способствует лучшему пониманию текстов по специальности учащимися, а также экономит время преподавателя. Целью предтекстовых заданий является подготовка студента-иностранца к пониманию и воспроизведению текста. Ниже приведены несколько примеров предтекстовых упражнений.

*Упражнение 1.* Определите часть речи у следующих слов:

Лечение, лечить, палата, палатный, больной (зуб), больной, светло, светлый.

*Упражнение 2.* Прочитайте однокоренные слова, запомните их значения.

а) больница – боль – больной – болеть – тяжелобольной – больно – обезболить – безболезненный;

б) медик – медицина – медицинский.

*Упражнение 3.* Объясните значения сложных слов.

Экспресс-диагностика, кресло-каталка, противовоспалительный, многопрофильный, круглосуточный, нейрохирургический, тяжелобольной.

После закрепления новой лексики начинается работа с текстом по специальности. «Любой текст сначала должен быть воспринят студентом целиком – не следует спешить переводить каждое слово, комментировать текст... Сначала надо приучать студентов «схватывать» общий смысл» [4, с. 41]. Как было отмечено выше, рассказ ведется от имени индийского студента. Ниже приводятся отрывки из разных уроков.

*«Я очень не люблю болеть. Но если это случается, без помощи квалифицированного специалиста – врача – трудно обойтись. Сегодня я хочу рассказать вам о больницах в России.*

*Если человек заболел, он обращается в поликлинику, которая находится недалеко от его дома. Поликлиника – это медицинская органи-*

зация, где больные получают консультацию врача, направление на диагностические процедуры, рецепт на лекарства. <...> Больницы делятся на городские и республиканские.

Городские больницы обслуживают городских жителей. Например, в городе Казань это: г/б № 4 (ул. Боевая д. 4), г/б № 11 (ул. Максимова д. 34) и другие.

Республиканские больницы обслуживают сельских жителей республики. Например, РКБ, ДРКБ. Это огромные лечебные комплексы, в которых легко потеряться.

Больницы, в которых обучаются студенты медицинских университетов, называются клиническими. Например, ГКБ № 2, ГКБ № 7, ГКБ № 12 и др. Я и мои одногруппники с большим удовольствием посещаем практические занятия в клинических больницах» (из урока по теме «Больница»).

«<...> На остановке я увидел многоэтажное здание и вывеску «Городская больница № 4». На первом этаже мы переодели обувь, надели халаты и поднялись на третий этаж. На практике мы должны помочь медсестрам, поэтому место нашей работы – сестринский пост и процедурный кабинет. Наша группа разделилась на подгруппы. Одну неделю я и мои друзья будем трудиться на сестринском посту, а вторую неделю – в процедурном кабинете.

<...> На сестринском посту есть всё необходимое: шкаф и холодильник, где хранят лекарства; стол и кресло медсестры; передвижной столик; телефон; связь с тяжелобольными (световое табло, звонок)» (из урока по теме «Лечебное отделение больницы»).

Послетекстовые задания ориентированы на привлечение внимания студентов к содержанию текста и направлены на проверку точности понимания информации:

**Упражнение 1.** Найдите в тексте следующие части речи:

Существительные – врач, отделение, палата...

Прилагательные – медицинский, диагностический...

Глаголы – обучаться, делиться... [5, с. 57].

**Упражнение 2.** Расставьте пункты плана текста правильно.

1. Общие больницы.
2. Способы поступления больных в больницы.
3. Республиканские больницы.
4. Больница.
5. Состав больницы.
6. Поликлиника.
7. Работники больницы.
8. Специализированные больницы.
9. Городские больницы.
10. Клинические больницы.

**Упражнение 3.** Вставьте необходимые по смыслу слова.

1. В больнице очень ... режим.
2. Инъекции больным делают в ... кабинете.
3. Чистое постельное белье хранится в ... комнате.
4. Во время ... больные спят в своих палатах.
5. Студенты проходят ... в больницах.
6. Медсестры ... лекарства в специальных шкафах.
7. Студенты, которые приходят на практику в больницу, ... белые халаты и ... обувь.

**Упражнение 4.** Найдите ошибки в предложениях, исправьте и запишите правильный вариант.

1. Аускультация помогает установить изменение физиологических звуков в печени.
2. Среди методов исследования больного можно выделить основной – это расспрос пациента.
3. Перкуссия выявляет болезненность органа.

**Упражнение 5.** Вставьте пропущенные слова в предложения.

1. Для постановки правильного диагноза проводится ... больного.
2. Расспрос начинают с выявления личных данных больного: ..., ..., ..., местность, в которой проживает больной, ..., наличие инвалидности.
3. При осмотре врач устанавливает ... больного (нормостенический, гиперстенический, астенический типы).
4. ... позволяет определять размеры, границы и форму органов по перкуторному звуку.
5. При осмотре врач сразу может отметить ... особенности больного (пучеглазие, зоб), которые помогут при постановке диагноза.
6. Выделяют (различают) ... и ... методы исследования.

Представленное учебно-методическое пособие является не единственным, применяемым на кафедре русского и татарского языков в Казанском государственном медицинском университете для обучения студентов-иностранцев и подготовки их к клинической практике [6, с. 6], но наиболее точно отвечает поставленным перед преподавателем задачам, которые связаны с теоретической частью курса и отражены в Рабочей программе II семестра II курса дисциплины.

#### Список литературы

1. Ибрагимова Л.Г., Светлова Р.М. Преподавание РКИ в медицинском вузе (опыт обучения студентов-иностранцев на II курсе) // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12–3. – С. 594–598.
2. Якубова Л.С. Идем на практику в больницу: учебное пособие / Л.С. Якубова. – Казань: КГМУ, 2008. – 34 с.
3. Лебединский С.И., Гербик Л.Ф. Методика преподавания русского языка как иностранного: учебное пособие / С.И. Лебединский, Л.Ф. Гербик. – Мн., 2011. – 309 с.
4. Акишина А.А. Учимся учить. Для преподавателей русского языка как иностранного / А.А. Акишина, О.Е. Коган – М.: Русский язык. Курсы, 2010. – 256 с.
5. Светлова Р.М. Русский язык в медицинском вузе. Часть 1. Учебно-методическое пособие / Р.М. Светлова, Л.Г. Ибрагимова. – Казань: КГМУ, 2017. – 178 с.
6. Фидаева Л.И. Биология: Человек (Введение в научный стиль речи): сборник текстов по русскому языку для иностранных студентов 2 курса лечебного факультета / Л.И. Фидаева, И.Б. Вагапова, Л.С. Якубова, Л.Г. Юсупова. – Казань: КГМУ, 2015. – 96 с.

УДК 37.034:372.851

**ДУХОВНО-НРАВСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ  
В ПРОЦЕССЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ****Иванова А.В., Бугаева А.П., Иванова Н.А.***Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, e-mail: ivaya@mail.ru*

Проблема духовно-нравственного развития младших школьников актуальна и заключается в разрешении противоречий между современными требованиями, обоснованными в Концепции духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина России и недостаточностью конкретных методических разработок по эффективной организации духовно-нравственного развития средствами учебных предметов начальной школы. В статье рассматриваются вопросы духовно-нравственного развития учащихся на уроках математики начальных классов. Показываются возможности использования текстовых задач и бесед воспитательной направленности в деле решения задачи духовно-нравственного воспитания учащихся через реализацию следующих подходов: расширения представления о математике как средстве приобщения к культурным ценностям, познания окружающей действительности и расширения картины мира на основе показа, что математика – часть общечеловеческой культуры. Определены педагогические условия, обеспечивающие духовно-нравственное развитие у младших школьников в процессе математического образования посредством текстовых задач, включающих заранее продуманные беседы, обогащающие духовный мир и способствующие развитию нравственных ценностей у младшего школьника. Показана реализация предложенных педагогических условий в учебно-воспитательном процессе на материале дисциплины «Математика» в начальной школе. Представленная статья может быть полезна студентам педагогических учебных заведений, учителям начальных классов и всем тем, кто занимается вопросами духовно-нравственного развития подрастающего поколения.

**Ключевые слова:** духовность, нравственность, математика, образование, ценности, культура, задача, беседа**SPIRITUAL AND MORAL DEVELOPMENT OF JUNIOR SCHOOLCHILDREN  
DURING MATHEMATICAL EDUCATION****Ivanova A.V., Bugaeva A.P., Ivanova N.A.***North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: ivaya@mail.ru*

The problem of the spiritual and moral development of junior schoolchildren is relevant and consists in resolving the contradictions between modern requirements which are grounded Concept of spiritual and moral development and education of the personality of a Russian citizen and insufficiency of specific methodological developments for the effective organization of spiritual and moral development by the instruments of elementary school subjects. The article reveals spiritual and moral development of students at the primary school mathematics lessons. The opportunities of using text tasks and educational conversations in solving the problem of spiritual and moral education of students through the implementation of the following approaches are shown: the expansion of the notion of mathematics as a means of familiarizing with the cultural values, understanding the surrounding reality and expanding the picture of the world on the basis of showing that mathematics is part of the universal Culture. Pedagogical conditions that provide spiritual and moral development for younger schoolchildren in the process of mathematical education through textual tasks, including preconceived conversations that enrich the spiritual world and contribute to the development of moral values in the younger schoolchild, are defined. The realization of the proposed pedagogical conditions in the teaching and educational process based on the Mathematics discipline in the primary school is shown. The presented article can be useful to students of pedagogical educational institutions, primary school teachers and all those who are engaged in issues of spiritual and moral development of the younger generation.

**Keywords:** spirituality, moral, mathematics, education, worth, culture, task, conversation

Сегодняшняя ситуация, когда наблюдается социально-экономический кризис, сопровождающийся деформацией существовавшей системы духовно-нравственных ценностей, вытеснением приоритета ценностных ориентиров бескорыстного служения Родине, стремлением подрастающего поколения к богатству, индивидуализму, актуализирует проблему духовного оздоровления нации, требующую изменения образовательной стратегии всей системы образования. Негативные тенденции духовно-нравственного развития подрастающего поколения и необходимости их преодоления нашли отражение в Концепции духовно-нравственного развития и вос-

питания личности гражданина России [1]. Как было отмечено в предыдущих исследованиях авторов данных строк, А.В. Ивановой, Н.А. Ивановой, и В.Н. Эверстовой, проблеме единства нравственных и эстетических ценностей посвящены исследования современных философов (А.И. Арнольдова, А.И. Бурова, А.Ф. Ершеева, М.С. Каган, В.А. Разумный, В.Я. Синенко, В.К. Скатерщиков, Л.Н. Столович, В.И. Толстых и др.), а также педагогов (Е.С. Григорьев, Е.В. Квятковский, Т.С. Колесниченко, Б.Т. Лихачев, Л.Я. Рубина и др.) [2].

Анализ научной литературы по избранной теме позволяет заключить, что, хотя

вопросам духовно-нравственного развития учащихся уделяется огромное внимание в исследованиях философов, педагогов, нами обнаружено, что данной проблеме в основном посвящены исследования по гуманитарным предметам, в частности по литературе, истории. Возникает необходимость исследовать влияние предметов естественнонаучного цикла, в частности, математики, на духовно-нравственное развитие личности младшего школьника.

Вопросы воспитания нравственных качеств у младших школьников при обучении решению текстовых задач привлекают внимание математиков-методистов. «В младшем школьном возрасте дети в различных ситуациях овладевают простыми нормами нравственности. В условиях современной школы, когда содержание образования значительно увеличилось в объеме и усложнилось по своей внутренней структуре, особенно возрастает роль учебного процесса в нравственном воспитании. Поскольку нравственные знания имеют не меньшее значение для общего развития школьников, чем знания по конкретным учебным предметам» [3, с. 110].

Остановившись на вопросах воспитания нравственных качеств у младших школьников в процессе обучения решению текстовых задач, А.В. Тихоненко указывает на важность использования следующих видов деятельности: «вводные беседы для разбора и уточнения содержания арифметических задач, которые должны соответствовать социальному опыту младших школьников, быть краткими; составление учащимися задач по определённой теме, связанной с жизнью и опытом людей города, района, фермерского хозяйства, данной местности, которые служат источником знаний, обогащают нравственный опыт учащихся; организация коллективной работы учащихся на уроке; проведение внеклассной работы по математике, предусматривающей развитие творческих способностей младших школьников; иллюстративный материал учебников, который имеет немаловажное значение для нравственного воспитания учащихся, он делает содержание задач наглядным, доступным, помогает формировать творческое воображение, воспитывает чувство красоты, пропорции, чёткости выполнения заданий и др.» [4].

«Наше будущее зависит от того, какие ценности будет исповедовать человек XXI века. Концепция устойчивого развития рассматривает перспективы человека не только в экономических («материалистических») параметрах, но и, прежде всего, в ценностных категориях достойной человеческой жизни» [5, с. 70].

В материале нашего исследования под духовно-нравственным развитием средствами математики мы понимаем определенным образом организованный педагогический процесс, в ходе которого формируется личность, умеющая строить свою деятельность в соответствии с морально-этическими нормами поведения.

**Цель исследования:** определить педагогические условия деятельности учителя начальных классов по духовно-нравственному развитию учащихся посредством использования задач, включающих заранее продуманные беседы, обогащающие духовный мир и способствующие развитию нравственных ценностей у младшего школьника.

**Гипотеза исследования.** Процесс духовно-нравственного развития личности учащихся начальных классов будет эффективным, если в учебно-воспитательном процессе реализовать следующие педагогические условия:

- организация учебно-воспитательного процесса по духовно-нравственному развитию личности учащихся базируется на основе приобщения их к общечеловеческим культурным ценностям с учетом того, что математика – часть общечеловеческой культуры;

- система задач включает в себя заранее продуманные беседы, обогащающие духовный мир и знания о морально-этических нормах поведения, и способствует активизации познавательной деятельности учащихся.

В процессе духовно-нравственного развития личности приоритетное значение имеет младший школьный возраст, так как в этом возрасте идет начальный этап становления личности, где происходит первая фаза (адаптация) социализации школьника, формирование интереса к учебной деятельности, мотивов учения, закладываются механизмы преобразования, саморазвития самого себя для позитивного роста.

В курсе математики начальных классов текстовые задачи являются связующим звеном между теорией и практикой обучения. Система расположения текстовых задач подчинена логике развертывания вводимых понятий, ознакомления с арифметическими действиями и их свойствами и т.д., так как усвоение теоретических знаний идет через решение задач. На решение задач не отводится отдельное время, а органически связывается с арифметикой целых неотрицательных чисел и основных величин, элементами алгебры и геометрии.

### Результаты исследования и их обсуждение

Базой исследования явились начальные классы СОШ № 33 г. Якутска. В эксперименте приняли участие 126 учащихся (63 из экспериментальной группы, 63 из контрольной группы) в 2016–2017 учебном году.

Для того, чтобы определить уровень духовно-нравственного развития у учащихся, мы выбрали критерии, выделив три уровня их проявления:

I. Высокий – ученики имеют знания о значимости духовно-нравственных ценностях (любовь, доброта, сочувствие, долг и ответственность и т.д.), могут самостоятельно дать оценку явлениям, поступкам людей, умеют руководствоваться имеющимися знаниями в поведении.

II. Средний – ученики имеют знания о духовно-нравственных ценностях, но могут руководствоваться ими не всегда, для них важно мнение окружающих.

III. Низкий – ученики к духовно-нравственным ценностям относятся равнодушно, им присуща склонность к негативному поведению.

Следует отметить, что перед проведением экспериментальной работы был проведен констатирующий эксперимент. По его результатам учащиеся и экспериментальной, и контрольной групп по уровню духовно-нравственного развития существенно не различались. Для диагностики результатов исследования использовались следующие методы: наблюдение, анкетирование, беседа. Наблюдение за учащимися в различных видах коллективной деятельности обнаружило разницу в поведении учащихся. Умение строить свою деятельность в соответствии с морально-этическими нормами поведения проявляется в умении работать в коллективе, проявляя уважение и терпимость к другим людям, соблюдая морально-этические нормы поведения, в осознании того, что данные ценности являются основой их образа жизни. После проведения опытно-экспериментальной работы по результатам контрольного этапа исследования выявлено, что в экспериментальной группе большой интерес стали вызывать решение задач с духовно-нравственным содержанием и беседы с воспитательной направленностью, соответственно, значительно возросло число учащихся, которым интересно изучать математику (с 54% до 72%). Экспериментальная группа существенно превосходит контрольную по количеству учащихся, у которых духовно-нравственные ценности сформированы на высоком уровне (с 26% до 43%), а процент находящих-

ся на среднем уровне уменьшился (с 66% до 57%), в то время как учащиеся с низким уровнем сформированности духовно-нравственного развития в экспериментальной группе отсутствовали, а в контрольной группе таких учеников оказалось 8%.

Учителя-экспериментаторы (Камшеккина Нина Михайловна, Голокова Вера Александровна) старались научить младших школьников принять каждого человека таким, какой он есть, уважать его индивидуальность, самобытность, находить в нем ценные положительные качества, особое внимание уделяли формированию мировоззрения – одного из основополагающих направлений духовно-нравственного развития личности ученика, что выражалось в освоении социального опыта через познание самого себя, затем его усвоение, показателем которого является умение строить свою деятельность в соответствии с морально-этическими нормами поведения.

Как показали результаты опытно-экспериментальной работы, реализация предложенных педагогических условий деятельности учителя по использованию задач и бесед с воспитательной направленностью повышают уровень восприятия духовно-нравственного содержания изучаемого материала, пробуждают ассоциативное состояние ученика, способствуют тому, что духовно-нравственные ценности становятся личностно значимыми.

Размышляя над сюжетами задач и бесед при их анализе, ученики приходят к выводу о том, что математика как часть общечеловеческой культуры способствует развитию самосознания, причастности ко всеобщему процессу существования, познавательной самостоятельности и творческой деятельности. Через математику можно воспитать в себе отзывчивость, доброту, уважительное отношение к окружающим, ценностное отношение к жизни.

Учителя-экспериментаторы отмечают, что ученики на этапе ознакомления с условием задач с духовно-нравственным содержанием и в процессе бесед с воспитательной направленностью осваивают их содержание на личностно значимом уровне, постигают мотивы поступков персонажей через переживание, соучастие, что позволяет организовать и активизировать познавательную активность, повышает мотивацию учения, приводящую к развитию интереса к изучению предмета, что способствует осознанному усвоению учебного материала. Учащимся в процессе опытно-экспериментальной работы систематически предлагалось составить задачи в качестве домашнего задания. Предварительно уче-

никам объяснялось, как составляются задачи, что они могут включать в себя сведения из окружающей жизни и содержать математический смысл.

Рассматривая математические задачи, включающие заранее продуманные беседы обогащающие духовный мир и способствующие развитию нравственных ценностей у младшего школьника, как средство духовно-нравственного развития личности младшего школьника, их педагогические возможности, выявили путем анкетирования и в процессе доверительных бесед следующее:

- во-первых, учеников привлекает интересная подача материала во время ознакомления с сюжетом задач, содержащих интересные факты из окружающей действительности, способствующих эмоциональному восприятию математических объектов, задач, решений, рассуждений;

- во-вторых, большинство опрошенных видят в занятиях математикой средство, позволяющее им регулировать контакты между сверстниками, отношение к происходящим событиям в жизни, деятельности человека, где проявлялись его лучшие качества, воспитать в себе такие качества, как доброта, любовь, чуткость и милосердие, умение выражать свое мнение;

- в-третьих, ученики отметили, что им нравится, что на уроках происходит обмен мнениями между учителем и учениками об услышанных фактах во время беседы перед тем, как они приступали к решению задачи, обсуждение тех или иных мыслей и предложений. Детям нравилось, что учитель не назидает, а ведет разговор на равных, не навязывая, советует, помогает, отвечает на возникающие вопросы.

Воспитывающий потенциал математики, как показали результаты опытно-экспериментальной работы, можно усилить, проведя беседы, способные поднимать проблемы нравственного выбора поступка, поведения во время обсуждения текстового содержания задачи. После проведения беседы обсуждаются смысловые действия персонажей, например, при изучении темы «Формирование временных представлений» в 3 классе при решении задачи «Полёт первого в мире космонавта Юрия Гагарина продолжался 108 минут. Сколько это часов и минут?» (с. 75 учебника М.И. Моро, С.И. Волковой и др.) проводится беседа: Дети, все вы знаете полковника, Героя Советского Союза Юрия Алексеевича Гагарина, который 12 апреля 1961 года на борту советского космического корабля первым в мире облетел Землю за 108 минут. Этот день отмечается как день космонавтики. Проведя беседу,

учитель формирует у учащихся чувство гордости за свою родину, достижения в освоении космоса. Такой подход пробуждает положительный эмоциональный настрой школьников к нахождению способа решения задач, развивает интерес к изучению предмета, основного мотива учения, что приводит в целом к осознанному усвоению математического материала.

В 4 классе при изучении раздела «Числа от 1 до 1 000 000» по теме «Умножение и деление» решаются задачи в 3, 4 действия, содержащие сложение, вычитание, умножение, деление. В процессе их решения были проведены беседы – «знакомства» с русским математиком, создателем неевклидовой геометрии Н.И. Лобачевским, с первой в мире женщиной – профессором математики С.В. Ковалевской, с древнегреческим ученым Архимедом, французским философом и математиком Рене Декартом, с Великим князем Московским и Владимирским Дмитрием Донским (с детьми проводится беседа: «Его заслуга состоит в том, что он объединил разрозненные русские княжества в единое государство. При нем в 1367 г. был построен Кремль в Москве. Он известен тем, что возглавил вооруженную борьбу против монголо-татар, также в 1380 г. в Куликовской битве (верховья Дона) показал выдающийся полководческий талант. И за это был прозван Донским»), с государственной Третьяковской галереей – крупнейшим в мире музеем русского искусства (беседа: «Ее основателем является русский купец Павел Михайлович Третьяков, который посвятил всю свою жизнь коллекционированию произведений отечественной школы. Галерея расположена в доме Третьяковых, в ней хранятся шедевры, созданные в течение более тысячи лет, сокровищница национального изобразительного искусства, хранящая шедевры, созданные более чем за тысячу лет. Коллекция музея насчитывает более 100 тысяч единиц хранения»).

Такие беседы способствуют формированию чувства гордости за выдающиеся открытия в науке, за трудовой подвиг и т.д. и показывают положительный пример.

Итак, анализ полученных данных свидетельствует о том, что целенаправленное использование задач, включающих заранее продуманные беседы с духовно-нравственным содержанием, на уроках начального курса математики способствует развитию гуманистически ценных человеческих качеств, что приводит к формированию личности, умеющей руководствоваться в своей деятельности морально-этическими нормами поведения.

### Заключение

В исследовании показана педагогическая целесообразность, возможность и реализуемость осуществления деятельности по духовно-нравственному развитию личности младшего школьника на уроках математики посредством текстовых задач, включающих заранее продуманные беседы с воспитательной направленностью, и реализации предложенных педагогических условий: расширение представления о математике как средстве приобщения к культурным ценностям, познания окружающей действительности и расширения картины мира на основе показа, что математика – часть общечеловеческой культуры.

Благодаря реализации предложенных педагогических условий в учебно-воспитательном процессе на уроках математики решается ряд образовательных и развивающих задач: формирование интереса к изучению математики, расширение кругозора и развитие познавательной активности, воспитание духовно-нравственных качеств на примере героев, представленных в сюжетах задач и бесед.

Результаты опытно-экспериментальной работы показывают, что в процессе изучения начального курса математики посредством задач и бесед с воспитательной направленностью формируется личность, умеющая строить свою деятельность в со-

ответствии с морально-этическими нормами поведения.

В целом реализация предложенных педагогических условий позволяет активное включение учащихся в специально организованную математическую среду на уроках для их духовно-нравственного развития, где школьники убеждаются в том, что математика отражает реальный мир, учатся применять ее в решении конкретных практических задач на основе нравственного выбора поступка.

### Список литературы

1. Данилюк А.Я. Концепция духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина России / А.Я. Данилюк, А.М. Кондаков, В.А. Тишков. – М.: Просвещение, 2010.
2. Иванова А.В., Эверстова В.Н., Иванова Н.А. Нравственно-эстетическое воспитание учащихся средствами математики на уроках геометрии // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12–2. – С. 349–353.
3. Тихоненко А.В., Пуйлова М.А. Решение текстовых задач как механизм развития и воспитания нравственных качеств младших школьников // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. – 2013. – № 1. – С. 109–117.
4. Тихоненко А.В. Воспитание нравственных качеств младших школьников в процессе обучения решению текстовых задач // Наука и образование без границ. – 2013. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rusnauka.com/35\\_NOBG\\_2013/Pedagogica/3\\_152710.doc.htm](http://www.rusnauka.com/35_NOBG_2013/Pedagogica/3_152710.doc.htm) (дата обращения: 01.02.18).
5. Единое социокультурное пространство: теоретические проблемы: [Сб. материалов] междунар. науч.-практ. конф. 27 марта 2009 г. / Челябин. гос. акад. Культуры и искусств, Челяб. инт-т Урал. акад. гос. службы; ред. кол. Т.Ф. Берестова, С.С. Сокоиков. – Челябинск: ЧГАКИ, 2009. – С. 70.

УДК 378.048.2(07)

## МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ АСПИРАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ

**Лакман И.А., Иванова А.Д., Муругова О.В.**

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, e-mail: alla.ivanova@mail.ru, lackmania@mail.ru, murugova.oxana@mail.ru*

Согласно ФГОС ВО образовательная программа подготовки кадров высшей квалификации содержит обязательное прохождение педагогической практики. Эта новая дисциплина для технических и экономических направлений непосредственно готовит аспирантов к будущей профессиональной учебно-педагогической работе и формирует общепрофессиональную компетенцию «готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования». В данной статье исследуются особенности организации и методическое обеспечение педагогической практики аспирантов технических и экономических направлений Уфимского государственного авиационного технического университета. В УГАТУ разработан и издан практикум «Педагогическая практика аспирантов» – методическое руководство – сопровождение подготовки и прохождения педпрактики, ориентированное на самостоятельное изучение основ педагогики высшей школы и методики преподавания. Изучение практикума способствует формированию профессиональных компетенций, повышает уровень методико-педагогической подготовки, воспитывает у аспирантов методическую культуру, формирует активные навыки самообучения и саморазвития. Самостоятельное проведение занятий с бакалаврами, подготовка воспитательного мероприятия и написание учебно-методической статьи по итогам педагогической практики – важный аспект работы аспирантов. Участие аспирантов в Международном студенческом форуме – хорошая традиция плодотворного сотрудничества УГАТУ и Российской Академии Естественных наук.

**Ключевые слова:** педагогическая практика, кадры высшей квалификации, технические и экономические направления, компетенции, методическая культура, педагогическое самосознание

## METHODOLOGICAL SUPPORT OF THE PEDAGOGICAL PRACTICES OF GRADUATE STUDENTS OF TECHNICAL AND ECONOMIC DISCIPLINES

**Lakman I.A., Ivanova A.D., Murugova O.V.**

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: alla.ivanova@mail.ru, lackmania@mail.ru, murugova.oxana@mail.ru*

According to the Federal educational standard of higher education program of training personnel of higher qualification compulsory teaching practice. This new discipline for technical and economic areas directly prepares graduate students for future professional pedagogical work and forms of General competence «readiness to teaching at the basic educational programs of higher education.» This article examines the features of organization and methodological support of the pedagogical practices of graduate students of technical and economic trends, Ufa state aviation technical University. In USATU developed and published Workshop «Teaching practice of graduate students» – a complete methodological guide-support for the preparation and passing of internship-based independent study of the fundamentals of higher education pedagogy and methods of teaching. The study of workshop promotes the formation of professional competencies, increases the level of methodical-pedagogical training, educates graduate students and teaching culture, generates an active-learning skills and self-development. Self-study with bachelors, preparation of an educational event and writing an educational-methodical article on the basis of pedagogical practice is an important aspect of the work of graduate students. The participation of graduate students in the International Student Forum is a good tradition of fruitful cooperation between the USATU and the Russian Academy of Natural History.

**Keywords:** pedagogical practice, highly qualified personnel, technical and economic disciplines, competences, methodical culture, pedagogical consciousness

В рамках современной парадигмы образования Российской Федерации развитие высших учебных заведений неразрывно связано с формированием интеллектуального потенциала выпускников, усвоением и закреплением ими новых знаний, умений и навыков, выработкой актуальных и востребованных в обществе профессиональных и общекультурных компетенций, воспитанием личности посредством вовлечения ее в учебно-исследовательскую и научную деятельность.

8 сентября 2015 г. Министерство труда и социальной защиты РФ опубликовало

приказ № 608н об утверждении профессионального стандарта «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования» [1], а с 1 июля 2016 г. применение профессиональных стандартов стало обязательным [2, 3]. В этой связи в общей системе образования, профессиональной переподготовки и повышения квалификации профессорско-преподавательского состава вузов России обязательными учебными дисциплинами становятся педагогика, методика преподавания и психология. На основании этого в ФГОС ВО по

подготовке кадров высшей квалификации (поколение 3+) определены виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу аспирантуры:

- преподавательская деятельность по образовательным программам ВО [4];
- разработка учебных курсов по областям профессиональной деятельности;
- преподавание и учебно-методическая работа по областям профессиональной деятельности;
- ведение научно-исследовательской работы в образовательной организации, в том числе руководство научно-исследовательской работой студентов [5].

В соответствии с фундаментальной и специальной подготовкой кадров высшей квалификации и согласно требованиям ФГОС ВО, прохождение педагогической практики сегодня является обязательным и одним из важнейших видов учебно-воспитательного процесса. Именно педпрактика непосредственно готовит аспирантов всех направлений к будущей профессиональной научно-педагогической деятельности. Однако подготовке к данному виду деятельности в политехнических и отраслевых университетах традиционно уделяется меньше внимания, по сравнению с классическими и педагогическими учреждениями высшего образования. В этой связи возникает необходимость создания методического обеспечения педагогической практики кадров высшей квалификации с учетом особенностей ведения образовательной деятельности в технических вузах.

Цель данной работы: исследовать методическое обеспечение педагогической практики кадров высшей квалификации, обучающихся по техническим и экономическим направлениям, и определить ее цели и задачи с учетом новых запросов системы высшего образования.

Педпрактика является идеальной базой для приобретения первичного опыта самостоятельной педагогической деятельности и формирует общепрофессиональную компетенцию: «готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования» [4]. На первый взгляд, в проведении педпрактики особых сложностей нет – и эти учебные часы отдаются в нагрузку преподавателям выпускающих технических и экономических кафедр, которые, по сути, являются научно-педагогическими работниками, но зачастую сами не имеют профессиональной методико-педагогической подготовки. Основная цель принятия такого решения является вполне утилитарной – не

выпускать за пределы «своих» подразделений учебную нагрузку [6]. Это порождает проблемы в восприятии и организации педагогической практики:

- непонимание ее сути, роли и значимости;
- «невидимость» практического использования полученных знаний в будущей профессиональной (не педагогической) деятельности;
- отсутствие даже поверхностного «знакомства» с современными образовательными технологиями.

Поэтому для достижения образовательных результатов, заявленных ФГОС ВО в виде педагогических компетенций, необходимо целевым образом подходить к подбору руководителей практики. Преподаватели технических и экономических дисциплин дают качественные и глубокие знания по своему предмету, но обучить педагогике, воспитать и привить методическую культуру способен только профессиональный педагог-методист с профильным педагогическим образованием [7]. Только в этом случае аспирант приобретет комплекс знаний, умений и владений, необходимых для будущей работы в вузе. Так, например, в Уфимском государственном авиационном техническом университете (УГАТУ) сформирована дуальная модель руководства педагогической практикой: общее руководство и формирование педагогических компетенций осуществляет педагог-методист, а учебное (предметное) сопровождение практики в разрезе конкретного технического/экономического направления осуществляет непосредственно научный руководитель аспиранта.

Педагогика – одна из важнейших наук, связанных с развитием и становлением человека как личности и входящих в профессиональный набор компетенций преподавателя высшей школы, но в учебных планах подготовки технических и экономических специалистов (бакалавриат, специалитет и магистратура) крайне мало внимания уделяется предметам психолого-педагогического цикла. Поэтому при прохождении педпрактики закономерно возникают дидактические трудности, связанные с нехваткой базовых знаний. Необходимо найти возможность быстро и качественно заполнить пробелы в педагогическом и методическом образовании «технарей» и «экономистов», сформировать у будущих преподавателей высшей школы владение современными педагогическими технологиями.

Для решения этой задачи в УГАТУ издан практикум «Педагогическая практика аспирантов» (автор А.Д. Иванова) [8] – методическое руководство-сопровождение

подготовки и прохождения педпрактики. Практикум охватывает главные аспекты вузовского преподавания, чтобы аспиранты быстро и в «концентрированной» форме могли получить необходимую информацию. В каждой из 11 практических работ содержатся базовые теоретические сведения, задания с методическими указаниями к выполнению работы (или проверочные контрольные вопросы) и список дополнительной литературы для самостоятельного изучения. Темы, включенные в практикум:

- Основы педагогики высшего образования.
- Дидактическое обеспечение учебного процесса.
- Методика подготовки и проведения учебных занятий в вузе.
- Организация дополнительной и самостоятельной работы студентов.
- Оценивание знаний студентов.
- Современные методики и технологии преподавания в вузе.
- Педагогический анализ учебного занятия.
- Воспитательная работа в вузе.

Данные темы создают цельную модель высшего профессионального образования, расширяют педагогический кругозор и формируют методическую культуру аспирантов – оптимальную форму психолого-педагогического воспитания, предусматривающую реализацию таких принципов обучения, как преемственность, интегративность и междисциплинарность [6].

«Педагогическая практика аспирантов» – это учебное пособие, прежде всего ориентированное на самостоятельное изучение основ педагогики высшей школы и методики преподавания. Дидактическая роль данного практикума – повышение психолого-педагогической и методической компетенции кадров высшей квалификации, а также формирование у них активных навыков самообучения и саморазвития.

Педагогическая практика кадров высшей квалификации проводится на старших курсах аспирантуры и является по своей структуре либо выделенной, либо распределенной. Во время прохождения педпрактики аспирантам необходимо углубить и закрепить свои теоретические знания, приобрести практические умения и навыки преподавания в вузе. Можно определить следующие задачи педагогической практики:

- изучение основ педагогической и учебно-методической работы в вузе;
- знакомство со спецификой профессиональной деятельности преподавателя;

- формирование умений разработки дидактических и учебно-методических материалов;

- овладение методикой подготовки и анализа учебных занятий;
- получение навыков использования современных образовательных технологий;
- приобретение опыта проведения воспитательной работы в вузе [8, с. 5].

По ходу прохождения практики от руководителей требуется заинтересовать аспирантов преподавательским трудом, показать необходимость использования педагогических и методических знаний в их будущей профессиональной деятельности. Для этого в УГАТУ перед началом педпрактики проводится вводный инструктаж, где подробно разъясняются цели и задачи практики; права и обязанности практиканта; график занятий и консультаций. Чтение обзорных лекций по педагогике высшей школы и методике преподавания также дает хороший эффект по выходу аспирантов на новый, преподавательский уровень восприятия и осознания учебно-методической работы.

Содержание практики включает:

- 1) ознакомление с учебно-методическим обеспечением дисциплин, читаемых на кафедре;
- 2) посещение всех видов аудиторных занятий ведущих преподавателей и знакомство с применяемыми ими новейшими образовательными технологиями;
- 3) разработку дидактических материалов и методической документации по профильной дисциплине;
- 4) непосредственную педагогическую деятельность – самостоятельное проведение лабораторных или практических занятий, семинаров, чтение пробных лекций, консультирование бакалавров по учебным вопросам и курсовому проектированию;
- 5) взаимное посещение занятий практикантами, с последующим их обсуждением (выработка навыков анализа и саморефлексии);
- 6) изучение воспитательной работы, проводимой в УГАТУ, и проведение мероприятия воспитательного характера со студентами
- 7) написание методической статьи для участия в научной конференции.

Продуктивным условием для выполнения задач педагогической практики является участие кадров высшей квалификации в разнообразных учебно-научных и общественно-воспитательных формах педагогической деятельности. Посещение всех видов аудиторных занятий ведущих преподавателей и взаимное посещение занятий практикантами – важнейший шаг в фор-

мировании педагогического самосознания у кадров высшей квалификации. Аспиранты начинают по-новому относиться к занятиям, переходят на более осмысленный уровень восприятия педагогического процесса, вырабатывают умения и навыки анализа занятий и рефлексии. Практиканты учатся оценивать профессиональные компетенции и личные качества преподавателя; умение строить структуру занятия; методы педагогического воздействия на аудиторию; использование (или пренебрежение) новейшими образовательными технологиями; активность и вовлеченность студентов в совместную работу; способы организации самостоятельной учебно-познавательной деятельности обучаемых [9].

В Законе РФ «Об образовании» [3] указано, что воспитательная работа – это важная составляющая учебного процесса. «Исторически в нашем техническом вузе воспитательной работе со студентами всегда уделялось особое внимание. Воспитательные функции в УГАТУ возлагаются на всех преподавателей. Одной из форм учебно-воспитательной работы со студентами является кураторство. Многолетний опыт УГАТУ показывает, что кураторство – это эффективная система взаимодействия преподавателей и студентов» [10, с. 87]. На кураторов возлагается основная нагрузка по психолого-педагогической адаптации иностранных студентов в России. В силу своей возрастной близости к студентам, именно молодые преподаватели чаще всего становятся кураторами студенческих групп [11]. Во время прохождения педпрактики аспиранты получают возможность почувствовать себя в этой новой роли, «изнутри» изучить воспитательную работу, подготовить и провести внеучебное мероприятие с бакалаврами.

Написание собственной учебно-методической статьи по итогам педагогической практики – это еще один важный аспект работы аспирантов. При написании происходит целостное и ценностное осмысление преподавательского труда и осознание возникших трудностей, делаются выводы, повторно переживаются свои победы и неудачи, формируются профессиональные педагогические компетенции. В Уфимском государственном авиационном техническом университете сложилось плодотворное сотрудничество с Российской Академией Естественных наук. В целях увеличения объема и расширения сферы учебной, научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов и молодых ученых РАЕ ежегодно проводит Международную студенческую научную конференцию «Студенческий научный форум». Секция

«Педагогическая практика в техническом вузе» стала уже традиционной. В 2017 г. в конференции принял участие 41 аспирант УГАТУ, а в 2018 г. 38 практикантов опубликовали результаты своих исследований на площадке «Студенческого научного форума». Приведем выдержки из работ – как оценивают прохождение педпрактики аспиранты УГАТУ:

- «Для аспирантов, чья трудовая деятельность не связана с преподаванием или другой работой в пределах вуза, педагогическая практика становится большим испытанием, которое заставляет серьезно волноваться из-за отсутствия опыта в подобной сфере» [12].

- «Преодоление трудностей на первом этапе становления педагога во многом предопределяет дальнейший рост человека. У одних – такие преграды могут вызвать интерес, а у других разочарование в выбранной профессии» [13].

- «Главным спорным аспектом выступает компетентность молодого преподавателя в предметной области – знание предмета, который предстоит вести. Ведь нередко ситуация, когда аспиранту предстоит проводить занятие по предмету, в котором у него есть «пробелы», ведь он сам еще недавно был студентом. Помимо этого, молодой преподаватель с большой долей вероятности не обладает должной глубиной знаний в предметной области, в то время как пылкий ум студента в любой момент может сгенерировать вопрос, который поставит преподавателя в тупик» [14].

- «Педагогическая практика, прежде всего, дает возможность почувствовать себя в иной роли. Первые два года обучения в аспирантуре воспринимаешь как шестой и седьмой год обучения в целом – зачеты, экзамены, сессия и ты все тот же студент. Третий год, или конкретно педагогическая практика, переносят тебя «по ту сторону баррикад», ты уже не студент, тебе предоставляется возможность на время стать действующим преподавателем кафедры. Профессия преподавателя – это возможность реализовать творческие способности, это живое общение со студентами, это возможность быть частью коллектива образованных, интересных, постоянно развивающихся людей. Педагогическая практика заставила меня задуматься о том, не выбрать ли профессию преподавателя как основную» [15].

Грамотная организация и целенаправленное управление процессом психологической адаптации начинающих педагогов способствуют профессиональному самоопределению и формированию компетент-

ности молодого специалиста. От того, как пройдет педагогическая практика, найдены ли общий язык с коллективом и студентами, зависит становление аспиранта как преподавателя.

### Список литературы

1. Приказ Минтруда России от 08.09.2015 № 608н «Об утверждении профессионального стандарта «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования». URL: <http://base.garant.ru/71202838/> (дата обращения: 10.02.2018).
2. Федеральный закон от 2.05.2015 № 122-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://base.garant.ru/71001244/> (дата обращения: 10.02.2018).
3. Федеральный Закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 29.12.2017) «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://base.garant.ru/70291362/> (дата обращения: 10.02.2018).
4. ФГОС ВО. Уровень высшего образования. Подготовка кадров высшей квалификации. Направление подготовки 15.06.01. Машиностроение. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420215580> (дата обращения: 10.02.2018).
5. ФГОС ВО. Уровень высшего образования. Подготовка кадров высшей квалификации. Направление подготовки 38.06.01 Экономика. URL: <https://www.sgu.ru/sites/default/files/documents/2014/ekonomika.pdf> (дата обращения: 10.02.2018).
6. Иванова А.Д. Педагогические аспекты разработки курса «Методические основы преподавания экономических дисциплин» // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12–3. – С. 599–603.
7. Кунгурцева Г.Ф., Иванова А.Д., Шамсутдинова Д.Ф. Компетентностный подход к формированию профессиональной культуры будущих экономистов // Управление экономикой: методы, модели, технологии: Материалы XV межд. конф., Т. 2. – Уфа: УГАТУ, 2015. – С. 212–215.
8. Иванова А.Д. Педагогическая практика аспирантов: практикум по дисциплине «Педагогическая практика». – Уфа: РИК УГАТУ, 2017. – 84 с.
9. Лакман И.А., Горшечникова А.В. Панельное моделирование оценок знаний студентов на основе их субъективного подхода // Региональные проблемы преобразования экономики: интеграционные процессы и механизмы формирования и реализации социально-экономической политики устойчивого развития. Материалы V Всерос. научно-практ. конф. – М: ИСЭИ ДНЦ РАН, 2014. – С. 730–735.
10. Иванова А.Д., Шамсутдинова Д.Ф. Проблемы психолого-педагогической адаптации первокурсников // Оптимизация процесса социальной адаптации студентов к новым условиям жизнедеятельности: теоретические и методические аспекты. Материалы всерос. заочн. науч.-практ. конф. с межд. уч. – М.: ООО «РС Дизайн», 2013. – С. 87–90.
11. Зотикова Н.А. Особенности педагогической деятельности куратора в группе будущих педагогов профессионального обучения // Среднее профессиональное образование. – 2007. – № 11. – С. 19–25.
12. Даутов Р.А. Методика проведения учебных занятий аспирантами в технических вузах при прохождении педагогической практики // Материалы X Межд. студ. эл. научн. конф. «Студенческий научный форум». URL: <http://www.scienceforum.ru/2018/2847/44> (дата обращения: 10.02.2018).
13. Латыпов А.Р. Проблемы психолого-педагогической адаптации молодых педагогов // Материалы IX Межд. студ. эл. научн. конф. «Студенческий научный форум». URL: <http://www.scienceforum.ru/2017/2338/27314> (дата обращения: 10.02.2018).
14. Казаков М.А. Основные ошибки молодого педагога при приобретении первого преподавательского опыта в техническом вузе // Материалы IX Межд. студ. эл. научн. конф. «Студенческий научный форум». URL: <http://www.scienceforum.ru/2017/2338/29692> (дата обращения: 10.02.2018).
15. Яминова Е.М., Газизуллина С.М. «По ту сторону баррикад», или педагогическая практика аспирантов // Материалы X Межд. студ. эл. научн. конф. «Студенческий научный форум». URL: [www.scienceforum.ru/2018/2847/325](http://www.scienceforum.ru/2018/2847/325) (дата обращения: 10.02.2018).

УДК 796.325

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОЧНЫХ НАГРУЗОК ПЛИОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРЫЖКОВОЙ ПОДГОТОВКИ В ВОЛЕЙБОЛЕ

<sup>1</sup>Марков К.К., <sup>2</sup>Николаева О.О., <sup>2-5</sup>Кудрявцев М.Д.

<sup>1</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, e-mail: k\_markov@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: nikolaeva-ok@mail.ru;*

<sup>3</sup>*Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, Красноярск;*

<sup>4</sup>*Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, Красноярск;*

<sup>5</sup>*Сибирский юридический институт МВД России, Красноярск, e-mail: kumid@yandex.ru*

В статье рассмотрены проблемы совершенствования скоростно-силовой подготовки в волейболе на основе использования плиометрической методики тренировки. В эксперименте принимали участие 14 игроков женской волейбольной команды на этапе специальной физической подготовки. Основной задачей работы было в течение двух месяцев экспериментально определить оптимальные тренировочные нагрузки – высоты прыгивания с разновысотных опор, при которых спортсмен достигает максимальной скорости и высоты прыжка с минимизацией времени опорной реакции. Для регистрации данных показателей использовалась контактная платформа с электронно-регистрирующим блоком, позволяющим определять интервал времени на опоре и в прыжке до приземления, на основании которых определялась начальная скорость выпрыгивания и высота прыжка. В результате эксперимента были получены данные, свидетельствующие о достоверном различии уровней скоростно-силовой подготовки игроков основного и запасного составов, что определило величины нагрузок на начальном этапе. Статистически достоверные экспериментальные данные подтверждают наличие оптимальных высот, спрыгивание с которых и последующее выпрыгивание позволяет получить значимый тренировочный эффект. Представлены практические рекомендации для эффективного использования плиометрической тренировки в совершенствовании скоростно-силовой подготовленности игроков в волейболе.

**Ключевые слова:** спортивная тренировка, волейбол, прыжок, плиометрия

## EXPERIMENTAL STUDY OF OPTIMAL TRAINING LOADS IN PLYOMETRIC JUMPING PREPARATIONS IN VOLLEYBALL

<sup>1</sup>Markov K.K., <sup>2</sup>Nikolaeva O.O., <sup>2-5</sup>Kudryavtsev M.D.

<sup>1</sup>*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: k\_markov@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: nikolaeva-ok@mail.ru;*

<sup>3</sup>*Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk;*

<sup>4</sup>*Krasnoyarsk State Pedagogical University, Krasnoyarsk;*

<sup>5</sup>*Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Krasnoyarsk, e-mail: kumid@yandex.ru*

The article deals with the problem of improving speed-strength training volleyball through the use of plyometric training methods. 14 players of the women's volleyball team take part in experiment at the stage of special physical training. The main objective of the study was experimentally within two months to determine the optimal training load – jump off with different heights under which an athlete reaches the maximum speed and jump height with minimization of time supporting reactions. For the registration of data indicators used contact platform with electron-recording unit, which allows to determine the time interval at the contact and jump before landing on the platform of which determined the initial velocity of jumping and the height of the jump. As a result of the experiment there were received date of authentic difference levels of speed-strength training the players basic and spare team compositions that determined loads initially. Statistically reliable experimental data confirm the existence of the optimal height, drop jumping from which and the subsequent jump up allows to get meaningful speed-strength training effect.

**Keywords:** athletic training, volleyball, jump, pliometrija

Широкое использование плиометрических тренировок в спорте представляет значительный интерес в научном и практическом аспектах, достаточно широко отраженных в ряде научных и методических исследований [1–3]. В последние годы в работах по теории и методике спортивной тренировки в разных видах спорта и отдельных спортивных дисциплинах были проведены научные и экспериментальные

исследования, свидетельствующие о высокой эффективности данного метода, особенно у подготовленных спортсменов, и позволяющие в более короткие сроки и с меньшими энергетическими затратами получить заметный прирост уровня скоростно-силовой подготовленности [4–6]. Важно также отметить, что идея и принципиальное содержание плиометрической тренировки находятся в общем методоло-

гическом направлении, определяющем оптимальность тренировочных скоростно-силовых нагрузок в спорте, исходя из единой триады «сила – скорость – мощность» [7]. Особое значение проблема скоростно-силовой подготовки имеет в видах спорта, в которых результативность и успешность соревновательной деятельности определяется способностью спортсмена к проявлению максимальных усилий в жестких временных рамках, особенно в вариативных условиях их ответных действий, что имеет место в волейболе.

При оптимальной тренировочной программе плиометрия позволяет улучшить быстроту игрока, общее гармоничное развитие силы мышц ног, обеспечивающих выполнение прыжковых действий и их общую мышечную мощность. Плиометрические упражнения предназначены для тренировки быстрых мышечных волокон с позитивным влиянием на быстроту и прыгучесть [8–10]. Кроме таких, достаточно очевидных изменений механических двигательных возможностей спортсменов, плиометрическая тренировка, в которой эксцентричные и концентрические действия объединяются в упражнениях с единым мышечным циклом растяжение-сокращение и стреч-фактором, предшествующем позитивной работе, оказывает существенное влияние на такие важные физиологические и биохимические факторы как ферментативная активность прыжковых мышц, повышая механическую эффективность прыжковых действий, когда расходы энергии малы по сравнению с механической работой [11; 12].

Основным тренирующим фактором в плиометрических упражнениях, реализующих в едином двигательном акте прыгивание с определенной высоты и мгновенное выпрыгивание, в первую очередь является высота прыгивания, индивидуально оптимальная величина которой определяет эффективность такой подготовки. Дополнительными влияющими факторами являются: характер опорной поверхности, на которую приземляется спортсмен, ее жесткость и амортизационные свойства, поглощающие энергию приземления, время нахождения спортсмена на опоре (временной интервал между моментом касания опоры на приземлении и отрывом при выпрыгивании) и психологический фактор мотивации спортсмена на достижение максимальной высоты выпрыгивания в каждой тренировочной попытке [2; 3].

Критерием оптимальности сочетаний тренирующих факторов является такая высота прыгивания, при которой на данном

индивидуальном уровне скоростно-силовой подготовки спортсмена он способен:

- в фазе амортизации погасить энергию падения за счет сгибания коленей до оптимального для данного спортсмена угла;
- находясь в опорной фазе, обеспечить оптимальное время контакта с опорой, необходимое для эффективного перехода к выпрямлению ног и выталкиванию;
- в фазе отталкивания и разгона тела действовать максимально мотивированно.

#### Материалы и методы исследования

В эксперименте участвовали 14 спортсменок женской волейбольной команды «Политехник» на этапе специальной физической подготовки после шестинедельной общефизической тренировки в условиях летнего лагерного сбора. Эксперименты проходили в рамках единого недельного тренировочного процесса с общим объемом 4,5 часа трижды в неделю на протяжении двух месяцев. В связи с принципиальным отсутствием контрольной группы для оценки динамики результатов и достоверности изменений использовался непараметрический парный критерий Т-Вилкоксона.

Для оперативной вариации индивидуально оптимальной высоты прыгивания были изготовлены два легких деревянных параллелепипеда с разными размерами сторон: один – 30–40–50 см и второй для более подготовленных игроков – 60–70–80 см, что охватывало обозримый и практически необходимый диапазон размеров. Путем их простого переворачивания оперативно менялась индивидуально необходимая для спортсмена высота прыгивания.

Техническое обеспечение тренировочного процесса состояло из металлической контактной платформы достаточной жесткости с тонким резиновым покрытием рабочей поверхности, контактного устройства под этим покрытием и измерительного контактно-электронного блока, позволявшего регистрировать первый момент контакта спортсмена с опорой, промежуточный момент его отрыва от платформы и заключительный момент приземления в одной попытке. Компьютерная обработка позволяла в реальном масштабе времени получать и регистрировать время нахождения спортсмена на опоре, время безопорной фазы полета, а также расчетным путем определять начальную скорость отрыва спортсмена от опоры и высоту прыжка. Из теоретической механики [13, с. 21] известны закономерности свободного падения тела, связывающие начальную скорость  $V_0$ , время движения  $t$  и вертикальную высоту  $h$ .

## Экспериментальное исследование эффективности плиометрической подготовки в волейболе

Значения	Группа 1 – Основной состав n = 7						Группа 2 – Запасной состав n = 7					
	$V_0$ , м/с		$H$ , см		$T_{оп}$ , с		$V_0$ , м/с		$H$ , см		$T_{оп}$ , с	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
$X$	3,04	3,17	47,4	51,4	0,19	0,17	2,82	2,91	40,7	43,3	0,25	0,22
$s$	0,15	0,17	4,7	5,6	0,05	0,04	0,12	0,13	3,5	3,9	0,07	0,05
$m$	0,06	0,06	1,77	2,1	0,01	0,01	0,05	0,05	1,3	1,5	0,02	0,02
Стьюдент 1–2 до	2,75 $p < 0,05$	–	3,05 $p < 0,05$	–	2,7 $p < 0,05$	–	2,75 $p < 0,05$	–	3,05 $p < 0,05$	–	2,7 $p < 0,05$	–
T-Вилкоксон	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p < 0,05$	

Для усиления мотивации, кроме сообщения спортсмену о достигнутой в попытке высоте прыжка, перед ним на различной, но доступной высоте находились отметки для их доставания в полете. Дополнительной психологической особенностью такого тренировочного процесса был также и достаточно высокий уровень соревнования между спортсменами команды, особенно между игроками первого и второго составов, подкрепляемый пунктуальной, оперативной информацией о результатах и различными педагогическими приемами стимуляции и награждения достигших наилучших тренировочных результатов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В начале экспериментального периода для определения исходного уровня прыжковой подготовленности вся группа спортсменов была протестирована по единой методике на контактной платформе с определением максимально возможной высоты выпрыгивания с двух ног и начальной скорости выталкивания для вертикального прыжка. В результате статистической обработки полученных первичных результатов (таблица) было выявлено наличие в команде двух подгрупп из игроков основного и запасного составов со статистически достоверным ( $p < 0,05$ ) по критерию Стьюдента различием оцениваемых параметров. Этот факт послужил дополнительным доводом в пользу индивидуализации тренировочных нагрузок плиометрического характера с помощью описанных выше регулируемых по высоте опор для прыгивания. В дальнейшем обе подгруппы тренировались в общей группе по единой методике, но регистрация и анализ результатов производились отдельно (таблица) для каждой подгруппы с использованием непараметрического парного критерия Т-Вилкоксона.

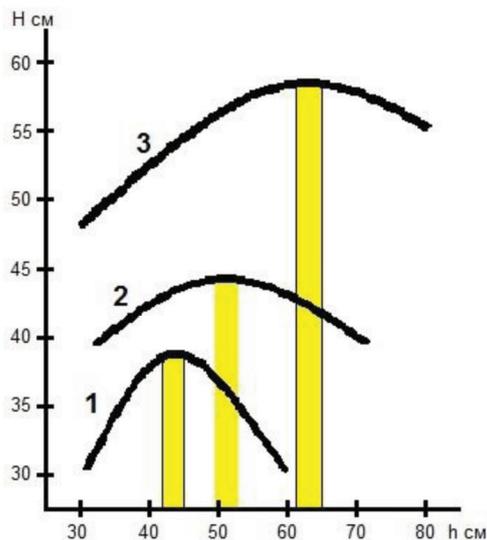
Следующим этапом подготовки было определение оптимальных плиометриче-

ских нагрузок, значений высот прыгивания, при использовании которых спортсменом достигается максимальная на данный момент высота выпрыгивания. Основываясь на ряде теоретических работ [9–11], предполагалось, что при малых высотах прыгивания стреч-эффекты и биохимическая активация ряда ферментов прыжковых мышц будут недостаточными для реализации положительных эффектов плиометрического метода, особенно для спортсменов высокого класса. С другой стороны, предельные для возможностей конкретного спортсмена высоты прыгивания значительно удлиняют фазу амортизации (в данном случае время на опорной поверхности) и при более глубоком подседе уменьшаются углы сгибания коленей. Это снижает эффективность плиометрического метода развития скоростно-силовых возможностей спортсмена и высоты прыжка, особенно для игроков менее подготовленных для данной тренировочной работы.

Учитывая доминирующий групповой метод тренировки в волейболе, в том числе и в специальной физической подготовке, основной задачей этого этапа была классификация всех игроков относительно их оптимальных индивидуальных возможностей в упражнении «спрыгивание с выпрыгиванием». Для этой цели, используя возможности быстро менять разновысотные опоры, все спортсмены последовательно прошли начальное тестирование по описанной выше методике на высотах прыгивания от 30 до 80 см с шагом 10 см по три попытки на каждой высоте с полной регистрацией всего комплекса параметров: время на опоре в фазе амортизации, время полета от выталкивания до приземления – и автоматическим компьютерным расчетом скорости отталкивания и достигнутой высоты прыжка.

В результате этих исследований было установлено, что зависимость между высотой прыгивания  $h$  (нагрузка уступающего характера) и высотой последующего прыж-

ка  $H$  (преодолевающая нагрузка) имеет параболический характер, индивидуальный в зависимости от генетических факторов и начального уровня скоростно-силовой подготовки конкретного спортсмена. На рисунке представлены характерные формы зависимости указанных характеристик для трех спортсменов разной подготовленности: 1 – низкой, 2 – средней и 3 – высокой.



Определение оптимальной плиометрической нагрузки

Полученные результаты послужили практической основой для начала планирования и организации плиометрической подготовки игроков команды в реальном тренировочном режиме. По окончании экспериментов было также достоверно установлено, что величины начальных оптимальных высот за счет роста специальной физической тренированности сдвигаются в сторону ее повышения.

Важной особенностью описываемого экспериментального исследования было дополнительное рассмотрение такой значимой в ряде видов спорта характеристики скоростно-силовой работы спортсмена, как время опорной реакции при контакте его ступней с рабочей поверхностью. К сожалению, в практической тренерской работе в разных видах спорта этот показатель фигурирует довольно редко и, как правило, у тренера и спортсмена нет технических средств для ее измерения и оценки, а также и методик совершенствования. Во введении в работу была обоснована особая значимость времени контакта с опорой в конкретной плиометрической методике прыжковой тренировочной работы в волейболе.

Технические возможности экспериментальной контактной платформы позволяют

измерять, регистрировать и анализировать реактивную способность спортсмена в проявлении скоростно-силовых качеств, что дает возможность установить корреляцию между временем опорной реакции и двигательным результатом, в данном случае высотой прыжка. Очевидно, что в выборе критериев оптимальности времени спортсмена на опоре тренеру приходится оперировать двумя разными соображениями.

С одной стороны, рационально стремление к снижению этого показателя, и в ряде классических отечественных работ по скоростно-силовой подготовке [1; 2] именно этим фактором характеризуется реактивная способность к мышечной работе. С другой стороны, учитывая биомеханику спортивных движений в беговых видах легкой атлетики (особенно в спринте), в большинстве различных прыжковых специализаций и целом ряде технических приемов в спортивных играх, очевидно, что время опорного контакта должно быть **достаточным** для сгибания и разгибания отдельных частей тела спортсмена в эффективной реализации нужного движения (выталкивания, выпрыгивания, в бросках и метаниях, в ударных действиях и т.д.).

Математико-статистическая обработка результатов (таблица) свидетельствует, прежде всего, о достоверных различиях ( $p < 0,05$ ) в начале эксперимента в скоростно-силовой подготовке спортсменов основной и запасной составов по всем основным критериям: скорости и высоте выпрыгивания, а также во времени опорной реакции при спрыгивании с возвышения и последующим свободным вертикальным выпрыгиванием. Это делает актуальными определенные коррективы в тренировочном процессе с акцентом на второй состав.

Технологически и концептуально подтверждена эффективность использования в типовом тренировочном процессе волейбольной команды мобильной разновысотной опоры, позволяющей достаточно просто реализовать идею оптимизации плиометрической тренировки игроков в зависимости от уровня их скоростно-силовой подготовленности.

Для оценки динамики каждого из тестируемых показателей в каждой группе отдельно использовался парный критерий Т-Вилкоксона, применяемый для оценки различий экспериментальных данных, полученных в двух разных условиях в начале и в конце эксперимента на одной и той же выборке испытуемых. Анализ «оси значимости» по всем трем тестам в двух различных группах показал, что величина нетипичного сдвига  $T_{эмп}$  находится во всех

случаях в зоне 5% значимости, что свидетельствует о закономерности изменений, произошедших в результате применения эффективной тренировочной методики.

Представленные на рисунке экспериментальные индивидуальные характеристики зависимости высоты выпрыгивания от высоты спрыгивания для спортсменов различной скоростно-силовой подготовленности подтверждают гипотезу о наличии оптимальной высоты спрыгивания для каждого игрока. Это дает тренеру необходимую информацию для реализации максимально эффективной тренировочной работы в данном направлении.

Многoletние экспериментальные данные, полученные в Центре медико-биологических исследований Иркутского государственного технического университета [14; 15] при тестировании функциональной подготовки обширного контингента спортсменов в различных видах спорта показали также высокую значимость временных характеристик опорной реакции, их достоверную корреляцию с реактивными качествами спортсменов, с высотой выпрыгивания в самых разнообразных спортивных дисциплинах и соревновательных ситуациях. Тестирование опорной реакции спортсмена в указанных работах проводилось в двух прыжковых движениях на контактной платформе по описанной выше методике: в однократном выпрыгивании с места для определения максимальной высоты отрыва и в серийных прыжках, мышечная работа в которых идентична плиометрической методике спрыгивания с выпрыгиванием. У высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в скоростно-силовых видах, время опорной реакции находилось в пределах 0,1–0,15 с, в игровых видах спорта – 0,16–0,20 с. Дополнительно при этих тестированиях была также обнаружена высокая информативность времени опорной реакции о степени природной одаренности, которая может служить надежным маркером на стадии первичного отбора юных спортсменов. У некоторых из них уже в возрасте 10–12 лет обнаруживались высокие задатки реактивной способности организма.

Представляется обоснованным на данном уровне наших знаний о природе исследуемого показателя ограничиваться стремлением к разумному снижению времени опорного контакта, постоянно сопоставляя его динамику с результативностью основных соревновательных действий. Анализ экспериментальных данных (таблица) подтвердил гипотезу о существенной корреляционной связи в данном тренировочном

упражнении между временем нахождения на опоре после приземления и высотой выпрыгивания. Используя критерий Пирсона, были получены значения коэффициента корреляции в пределах  $r = 0,64-0,82$ , причем важно отметить, что для группы 1 основного состава команды он был статистически достоверно более высоким, чем в группе 2 запасного состава. Это также подтверждает необходимость использования наиболее эффективных методик прыжковой подготовки.

### Список литературы

1. Верхошанский Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов. – М.: ФИС, 2009. – 264 с.
2. Верхошанский Ю.В. Принципы построения тренировки в скоростно-силовых видах легкой атлетики // Легкая атлетика. – 1979. – № 8. – С. 8–10.
3. Марков К.К., Николаева О.О., Янов В.В. Специальная силовая подготовка в современном волейболе: монография. – Красноярск, КГПУ, 2008. – 140 с.
4. Марков К.К., Николаева О.О., Сидорова Е.Н. Психомоторные особенности двигательных действий спортсмена в прыжках в высоту // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–14. – С. 3159–3163.
5. Markov K.K., Nikolaeva O.O. Theoretical and methodological problems of psychomotor qualities formation in volleyball // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2013. – Т. 6. № 7. – С. 1043–1056.
6. Марков К.К., Николаева О.О. Проблемы плиометрической тренировки в скоростно-силовой подготовке прыгунов в длину // В сборнике: Основные направления развития физической культуры и спорта в регионе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции факультета физической культуры и спорта. – Калининград, 2006. – С. 99–102.
7. Марков К.К., Николаева О.О. Определение тренировочных скоростно-силовых нагрузок на основе кривых «сила – скорость – мощность» // В сборнике: Физическая культура и спорт в системе образования. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2006. – С. 225–231.
8. Aura O., Komi P.V. Effects of pre-stretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise // *Int. J. Sports Med.* – 1986. – № 7(3). – P. 137–143.
9. Bobbert M.F. Drop jumping as a training method for jumping ability // *Sports Medecine.* – 1990. – № 9 (1). – P. 7–22.
10. Marullo F. Plyometrics – the link between speed and strength training // *The Coach.* – 2008. – № 1. – P. 18–21.
11. Kyrolainen H. (and all) Effects of power training on mechanical efficiency in jumping // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2014. – № 91. – P. 155–159.
12. Joyce D., Lewindon D. High-performance training for sports. – *Human Kinetics*, 2014. – 377 p.
13. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть 2. Динамика. – М.: Высшая школа, 2015. – 171 с.
14. Сивохов В.Л., Сивохова Е.Л., Иванова О.А., Кириллов Ю.К. Использование инновационных технологий в медико-биологическом обеспечении физической культуры и спорта: монография. – Иркутск: ООО Призма, 2016. – 210 с.
15. Сивохов В.Л., Сивохова Е.Л., Миролевич Д.В. Современное медико-биологическое обеспечение занимающихся физической культурой и спортом. – Иркутск: Центр медико-биологических исследований ИрГТУ, 2010. – 164 с.

УДК 378:17:159.923

## О ПРОБЛЕМЕ ЭТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА

**Мокрицкая Е.А.**

*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: helenafine@rambler.ru*

Настоящая статья посвящена проблеме повышения общекультурной компетенции студента, способного работать в едином мультикультурном пространстве, с учетом требований современной этики. Высшие учебные заведения призваны сыграть важную роль в подготовке молодого поколения к благоприятному будущему. Образовательное поле университета должно отражать духовный аспект будущей профессиональной сферы деятельности студента. Особое место в этическом образовании студентов должна занимать профессиональная этика, так как именно в университете закладывается фундамент профессиональной культуры будущего специалиста, частью которой является ответственность специалиста и следование нормам профессиональной деятельности. Образование, вводя человека в мир нравственных ценностей, способствует вхождению всего окружающего в сферу моральной ответственности личности. Человек, имеющий определенные этические знания, обладающий чувством ответственности за свои поступки, способен качественно изменить систему взаимоотношений, сформировать целостный образ мира, обеспечить его восприятие в гармонии ума, чувства и свободы. Развитие этически грамотной и культурной личности, ее самоопределение и самореализация в социуме должны стать обязательными условиями для современного профессионально-этического образования. Этические знания являются ориентиром познания и самосовершенствования, успешности профессиональной деятельности и самоактуализации.

**Ключевые слова:** этические знания, моральные нормы, этика в мультикультурном пространстве, нравственные ценности, этические категории, моральный выбор, ценностное отношение, профессиональная этика

## ON THE PROBLEM OF STUDENTS' ETHICAL EDUCATION IN THE UNIVERSITY

**Mokritskaya E.A.**

*Orenburg State University, Orenburg, e-mail: helenafine@rambler.ru*

This article discusses a problem of students' cultural competence increase. The student must be capable to work in the multicultural space, taking into account requirements of modern ethics. Higher educational institutions are directed to play an important role in training of the younger generation for the favorable future. The educational field of the university has to reflect a spiritual aspect of future professional field of students' activity. The professional ethics should take a special place in the ethical education of students at the university. The University lays the foundation for professional culture of a future specialist, which parts are responsibility of the specialist and following the norms of professional activity. Education, introducing a person into the world of moral values, contributes to the entry of all around in the sphere of personal moral responsibility. The development of ethically educated personality, self-determination and self-realization in society have to become indispensable conditions for modern professional and ethical education. Ethical knowledge is a reference point of cognition and self-improvement, success of professional activity and self-updating.

**Keywords:** ethical knowledge, moral standards, ethics in multicultural space, moral values, ethical categories, the moral choice, the valuable relation, professional ethics

В настоящее время на международном уровне широко обсуждаются вопросы перехода от индустриального общества к научно-коммуникационному, перехода от действий, имеющих локальное значение, к глобализации. Сегодня имеется острая необходимость социума в специалистах, отличающихся социально-профессиональной мобильностью, этической культурой, готовностью к освоению новых знаний, умений, практического опыта и развитию моральных ценностей в различных сферах деятельности. Отсюда требования к образованию в университете должны складываться с учётом этих тенденций развития общества. Важно отметить, что современное образование предполагает формирование личности с твердой жизненной позицией, человека, обладающего не только профес-

сиональными, но и этическими знаниями, необходимыми для диалога культур, принятия решения, совершения выбора в этически-сложных ситуациях, в частности профессионально-этических. Следовательно, для того, чтобы будущий специалист стал профессиональной личностью, необходимо на занятиях формировать у него понимание значимости этических норм, ценностей, т.е. обращаться к этическим знаниям. По нашему мнению, этические знания предполагают верное суждение с точки зрения этических категорий как ценностей о поведении человека и понимание того, что любой человек всегда находится в ситуации морального выбора. К этическим категориям мы относим добро и зло в нравственной жизни человека, проблему морального выбора поступков, долг и ответственность, достоин-

ство и честь человека, проблемы справедливости и свободы, совесть как нравственный самоконтроль личности, а также высшие жизненные ценности, к которым относятся счастье, радость, любовь, смысл жизни.

В данной статье мы хотим проанализировать реальные знания студентов университета не о правах и нормативных обязанностях, а об основных этических, нравственных понятиях (категориях), представление студентов о нормах морали, их ориентацию в мире этических ценностей. В целях выявления актуального уровня сформированности теоретических этических знаний студентов, как возможности нравственного выбора, мы провели исследование в Оренбургском государственном университете. Программа изучения этических знаний студентов была составлена таким образом, чтобы можно было:

1) выявить отношение к понятию этики и представление об этических нормах, нравственном поведении;

2) уточнить знания основных этических категорий;

3) определить этическую (нравственную) ориентацию, как взгляд на проблему ситуации морального выбора.

Отметим, что в ходе анализа эксперимента был зарегистрирован в целом низкий уровень этической образованности студентов, т.е. студенты практически не имеют специальных этических знаний, слабо ориентируются в этических понятиях и ценностях, не осознают их важности в структуре профессиональных качеств специалиста, в ситуациях морального выбора действуют интуитивно, затрудняются сформулировать и объяснить мотивы выбора.

С учетом результата эксперимента, показывающего когнитивный уровень этических знаний студентов, эмоционально-ценностный и практический уровни, т.е. степень их этического осмысления, ориентирования в ситуациях морального выбора, можно выделить три уровня этической образованности студентов (высокий, средний, низкий) и соответственно выделить три группы студентов.

В первую группу мы отнесли студентов, которые имеют достаточные теоретические этические знания, обладают собственными оценочными суждениями и способностью анализа своего поведения и поведения окружающих, имеют осмысленную этическую позицию, готовы идти на компромисс и к поиску альтернативных решений. Джон К. Максвелл подчеркивает, что «каждый руководствуется своими собственными эталонами, которые меняются от ситуации к ситуации. Усложняет ситуацию тот факт,

что человек склонен снисходительно относиться к себе, оценивая свои поступки скорее с нестрогих позиций, чем наоборот. При этом он использует в других более высокий стандарт и судит их по худшим поступкам» [1, с. 17]. Мы полагаем, что знающий человек, делая выбор в сложной ситуации, руководствуется «золотым правилом этики», которое гласит: «любое твое действие в этом мире найдет ответ, или поступайте по отношению к другим так, как Вы хотели бы, чтобы другие поступали по отношению к Вам», при этом пытается найти оптимальный путь решения проблемы, проявляет заинтересованность в изучении и осмыслении нравственных норм поведения.

Во вторую группу вошли студенты, которые обладают недостаточным объемом этических знаний, затрудняются в четком представлении этических понятий, ценностей и оперировании ими в проблемных ситуациях и дискуссиях, категоричны в своих решениях, действуют эгоистично, ориентируясь на собственную выгоду и интересы. Прослеживается явное недооценивание данными студентами роли этики, моральных ценностей в жизни человека и его взаимоотношениях с окружающим миром.

В третью группу мы определили студентов с низким уровнем этических знаний и неопределенной этической позицией, которые в своих ответах на поставленные вопросы и задачи предпочитали отвечать «не знаю» или оставляли вопрос без ответа, т.е. не проявляли интереса, способности к анализу, размышлениям. Данный уровень мы трактуем как отсутствие этических знаний. Студенты характеризуются малой активностью и неустойчивой нравственной позицией.

Анализ результатов эксперимента показал, что среди опрошенных (120 студентов) 50% имеют низкий уровень теоретических этических знаний, у 29% студентов отмечался средний уровень, 21% обладают относительно достаточным объемом этических знаний.

Теперь рассмотрим, на какие вопросы студенты затруднялись ответить, а какие не вызвали особых сложностей при ответе.

В определении термина «этика», области ее знаний и предмете изучения у студентов возникли затруднения. Положительно на вопрос: «Что такое «этика» и какова область ее знаний?» ответили только 12% респондентов. Приведем лучшие ответы:

– «Этика – это наука о морали, подразумевает тактичное и гуманное отношение друг к другу».

– «Этика – это наука о нравственных законах, которые регулируют поведение людей в различных жизненных ситуациях».

– «Этика рассматривает нравственные отношения, т.е. те, которые отвечают нормам морали».

В ходе эксперимента было выявлено, что многие студенты, представляют этику как определенный набор правил поведения в обществе, культуру общения и считают ее наукой о поведении, относящейся к области культурологии или психологии, не отличают понятие этики от юридического законодательства, ассоциируют этику с законом, подменяют понятие «этика» «этикетом». К примеру: «Этика произошла от слова «этикет» и предполагает правила изучения этикета».

Мы обратили внимание студентов на то, что понятия «этика» и «этикет» значительно различаются. Современными мыслителями этика трактуется как раздел философии, изучающий поведенческий аспект человека, в котором усматриваются фундаментальные основания. Этика является философской наукой о морали, которая рассматривает человека в ситуации морального выбора и является областью деятельности человека, направленная на внутреннее совершенствование его личности и общества в целом (А.А. Гусейнов, Е.В. Золотухина, А. Швейцер и др.) [2–4]. При этом понятия «этическое» (от греч.), «моральное» (от лат.), «нравственное» (от рус.) часто выступают синонимами, или близкими по смыслу. Слово «этикет» означает установленный порядок поведения в определенной социальной сфере. Таким образом, «этикет» представляет собой свод прописанных правил поведения в различных профессиональных и жизненных ситуациях, а «этика» – это ядро философского знания, знание тех понятий, норм и ценностей, которое дает человеку ориентиры, помогающие осознанно совершить моральный выбор, по большому счету учит, как сделать свой жизненный путь более удачным с помощью знаний и воспитания личностной культуры. Этика является востребованной и необходимой, поскольку является наукой о ценностях человеческого бытия, о добре и зле в жизни людей. Студентам было дано разъяснение, что мораль, нравственные ценности существуют веками, как способ регуляции отношений человека с другими людьми, с природой. А правила этикета вторичны, они вырабатываются на принципах морали, права. В этом смысле современный этикет может выступать в роли современной «малой этики». Следовательно, «этика» не может подменяться «этикетом».

Среди ответов студентов встречалось мнение, что «этика – форма торможения основных человеческих инстинктов и приве-

дение его к общему стандарту, что убивает нашу индивидуальность». Данное утверждение свидетельствует о недостаточном знании и недооценивании студентами осознания того, что человек живет в мире сложных взаимосвязей с природой и обществом, важности поведенческого аспекта, который определяет во многом линию жизни человека. Этика всегда стремилась к теоретическому осмыслению практических смысловых и поведенческих проблем.

Наряду с недопониманием важности этики нами выявлено, что знание и осознание этических категорий, таких как достоинство, долг, ответственность, совесть, свобода, и других у студентов является неполным.

Большинство студентов подчеркивали безусловную важность этической категории достоинства, отмечали, что достоинство должно быть присуще каждой личности, но затруднялись объяснить, что такое «достоинство».

– «Достоинство должно быть у каждого человека независимо от статуса».

– «Достоинство возвышает человека».

Отметим, что достоинство – это, прежде всего, внутренняя уверенность в собственной ценности, чувство самоуважения, проявляющееся в собственной индивидуальности и определенной независимости в свободе выбора. В.М. Хвостов считает важным, что в сравнении с долгом и счастьем именно чувство человеческого достоинства является основным психологическим фундаментом нравственного принципа и подчеркивает, что мотивом действий для нравственного человека служит – достоинство и ему стыдно отступить от идеала, даже если служение добру ведет к утрате счастья [5, с. 273].

Нами выявлено, что вместе с недопониманием категории «достоинства» знание такой этической ценности, как «долг», у студентов является неполным, однако студенты отмечали важность данной категории в регуляции человеческих отношений.

– «Долг – это необходимость человеческих отношений, долг помогает сделать мир справедливым».

– «Долг – необходимое чувство, без долга не было бы взаимодействия между людьми и люди не чувствовали бы себя членами единого общества».

Мы видим, что студенты хотя и затрудняются в определении понятия «достоинство», «долг», но чувство достоинства, долга и осознание их необходимости присутствует в ответах.

Однако встречались и такие ответы:

– «Долг – это предрассудок, так как человек от рождения никому ничего не дол-

жен. Его можно заменить понятием «общественное рабство».

– «Это та ноша, которую мы несем на плечах всю жизнь, а она очень трудная и тяжелая. Она нам мешает, не стоит на этом закидываться».

– «Долг – это пустой звук для моего поколения, чтобы это понятие ни значило».

– «Это некая обязанность, мешающая счастливому существованию».

– «Я никому ничего не должен!».

Такую позицию можно рассматривать как самообман, отказ от чувства долга по отношению к другим свидетельствует об отсутствии элементарных этических знаний, ценностей. Долг трактуется как личная нравственная задача конкретного лица в определенной ситуации, которую человек решает сам на основе своих этических знаний и нравственных убеждений. Согласно И. Канту поступать нужно «так, чтобы ты всегда относился к человечеству и в своем лице, и в лице всякого другого также как к цели и никогда не относился бы к нему только как к средству» [6, с. 270]. Следовательно, необходимо осознанно подходить к любому своему суждению, решению или действию.

Отметим, что нравственные нормы, которые существуют в нашем обществе, не зависят от желания каждого отдельного человека. Человек вступает в жизнь, где моральные нормы уже существуют и когда человек становится способным к самостоятельным действиям, он сталкивается с границами, которые нельзя переступать, которые нужно элементарно знать.

Подобную картину недостаточных этических знаний мы наблюдаем при осмыслении понятия «совесть». Только 39% человек смогли правильно оценить и сформулировать понятие «совесть». Встречались такие ответы как:

«Совесть – душа человека».

«Совесть – это контроль над собой и своими действиями».

«Совесть – это такое качество человека, которое помогает ему переступать свои желания».

«Совесть не оставляет человека равнодушным, заставляет его переживать...»

Однако встречались и следующие ответы:

«Совесть – бесполезное качество человека».

«Совесть – нехорошая вещь. От греха не спасет, но потом отравляет все удовольствие от него».

«Совесть – это петля на шее. Когда ты творишь добро, ее не заметно, но стоит только сделать шаг в сторону зла, бессердечия, безразличия, как петля начинает потихоньку затягиваться».

«Совесть – это предрассудок, для меня нет такого понятия».

Следует отметить, что «совестливость», являясь нравственной основой всей жизнедеятельности человека, представляет собой критическое осмысление и переживание своих поступков. Совесть является категорией этики, которая характеризует возможность человека осуществлять нравственный самоконтроль, внутренний самоанализ с точки зрения соответствия собственных действий моральным требованиям, самостоятельно определять для себя нравственные задачи и требовать от себя их выполнения. Русский философ Н.О. Лосский считал, что «совесть можно назвать «голосом Божиим в человеке» [7, с. 101]. Совесть – субъективное осознание личностью своего долга и ответственности перед обществом, другими людьми, выступающее как долг и ответственность перед самим собой.

Мы привели ответы студентов на некоторые вопросы, и в целом наш эксперимент показал незнание и существенное недооценивание студентами роли этических ценностей и значимости этических категорий, поэтому не удивительно, что повсюду мы наблюдаем грубость, неуважение друг к другу. Большинство современной молодежи не имеет достаточных моральных знаний. Однако во все времена нравственные ценности, знания выражали глубочайшие устремления человечества, открывали перспективу совершенствования общества, придавали человеческой жизни смысл. Совесть и доброта, честь и достоинство, долг и ответственность всегда образовывали и образуют ценностный каркас нравственной культуры человека и общества.

Таким образом, мы хотим подчеркнуть, что нравственность, мораль, добро должны перестать быть отвлеченными понятиями, а должны стать необходимой составляющей жизни. С нашей точки зрения, процесс непосредственного формирования специалиста как личности и профессионала представляет собой внутренний разносторонний процесс и должен включать в себя обогащение и накопление не только профессиональных, но и этических знаний, а также передавать студентам опыт ценностного отношения к действительности. Будущему специалисту необходимо сформировать в процессе обучения в университете твердые нравственные убеждения, активную жизненную позицию, умение определить свою роль в обществе и овладеть способностью к адекватной нравственной оценке собственных профессиональных действий и решений. Социально-личностные качества выпускников, нравственно-ценност-

ные ориентации, коммуникабельность являются первостепенными критериями при устройстве на работу в организации, так как большие технологические возможности современного общества приводят к тому, что результаты действий сотрудников имеют колоссальную общественную значимость. Необходимые этические знания студент может получить в процессе обучения в университете в рамках специальных этических дисциплин, а также изучение морально-нравственных проблем может и должно стать междисциплинарным.

По нашему мнению, образование в университете в целом должно играть ключевую роль в этом процессе этического просвещения. Таким образом, необходимо спроектировать педагогический процесс на основе комплексного подхода к формированию нравственной культуры личности, через единство в практике преподавания когнитивного, эмоционально-ценностного и практического компонентов. Помимо предоставления, в рамках программы уни-

верситета качественного образования, необходимо актуализировать высокие этические ценности, ввести практику решения морально-этических проблем, сформировать достойное поведение в социуме.

#### Список литературы

1. Максвелл Дж. Нет такого понятия, как «деловая этика» / Дж. Максвелл; пер. с англ. Е.А. Самсонов. – Мн.: ООО «Попурри», 2004. – 192 с.
2. Гусейнов А.А. Этика: учебник для бакалавров / А.А. Гусейнов, А.Г. Гаджикурбанов [и др.]; под общ. ред. А.А. Гусейнова. – М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 569 с.
3. Золотухина-Аболина Е.В. Современная этика: учебное пособие для студентов вузов / Е.В. Золотухина-Аболина. – М.: Ростов н/Д.: Феникс, 2013. – 528 с.
4. Швейцер А. Культура и этика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rodon.org/sha2/kie.htm> (дата обращения: 27.02.2018).
5. Хвостов В.М. Очерк этических учений: Курс лекций. отд. изд. / В.М. Хвостов. – М.: Ком. Книга, 2016. – 290 с.
6. Кант. И. Сочинение в шести томах / И. Кант. – М.: Мысль, 1965. (Философ. наследие), – Т. 4. Ч. I. – 544 с.
7. Лосский Н.О. Условия абсолютного добра: Основы этики / Н.О. Лосский. – Минск: Изд-во Белорусского Экзархата Московского Патриархата, 2011. – 528 с.

УДК 378:[372.8+616.314-77]

## СПЕЦИФИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МОДУЛЯ «ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИЕ (ПРОСТОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ)» У СТУДЕНТОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

**Фелькер Е.В., Бароян М.А.**

*ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России, Курск,  
e-mail: ev-felker@mail.ru*

Конечная цель изучения учебного модуля «Зубопротезирование (простое протезирование)» – это подготовка врача-стоматолога, обладающего глубокими теоритическими знаниями, умениями и навыками в области профилактики, диагностики и методов ортопедического лечения заболеваний зубочелюстной системы; способного сделать обоснованный выбор конструкции зубного протеза и материалов для его изготовления; оказывать ортопедическую стоматологическую помощь при патологии твердых тканей зубов и дефектах зубных рядов. Специфика представленной коллективом кафедры ортопедической стоматологии Курского государственного медицинского университета концепции преподавания модуля «Зубопротезирование» определяется особенностями организации учебного процесса, используемыми педагогическими методиками и основана на сочетании теоретического компонента обучения с профессионально направленным и личностно-ориентированным подходом. В статье рассматриваются наиболее широко используемые активные и интерактивные формы проведения занятий на кафедре ортопедической стоматологии: манипуляционный тренинг на учебных фантомах, анализ клинических случаев, ролевая учебная игра, оформление истории болезни, научно-исследовательская работа студентов, посещение врачебных конференций, метод «мозговой штурм». Подробно описаны сценарий ситуационно-ролевых игр, этапы проведения мозгового штурма. Приводятся данные, подтверждающие эффективность предложенной концепции: удовлетворенность работодателей уровнем практической подготовки студентов-стоматологов КГМУ составила 8,9 (максимальное значение 10,0).

**Ключевые слова:** зубопротезирование, манипуляционный тренинг, ролевая игра, анализ клинических случаев, мозговой штурм

## THE SPECIFICITY OF TEACHING THE MODULE «PROSTHODONTICS (SIMPLE PROSTHETICS)» STUDENTS OF DENTAL FACULTY

**Felker E.V., Baroyan M.A.**

*Kursk State Medical University, Kursk, e-mail: ev-felker@mail.ru*

The ultimate goal of studying the training module «Prosthodontics (simple prosthetics)» is the training of a dentist with deep theoretical knowledge, skills and skills in the field of prevention, diagnosis and methods of orthopedic treatment of diseases of the dental system; capable of making an informed choice of the design of dental prosthesis and materials for its manufacture; To render orthopedic stomatologic help at a pathology of firm tissues of a teeth and defects of dentition. The specificity presented by the staff of the Department of Orthopedic Dentistry of the Kursk State Medical University, the concept of teaching the module «Prosthodontics» is determined by the peculiarities of the organization of the educational process used by pedagogical methods and is based on a combination of the theoretical component of education with a professionally oriented and personality-oriented approach. The article deals with the most widely used active and interactive forms of conducting classes at the Department of Orthopedic Dentistry: manipulation training on educational phantoms, analysis of clinical cases, role-playing training game, medical history, research work of students, attending medical conferences, brainstorming. The scenario of situation-role games, stages of brainstorming are described in detail. The data confirming the effectiveness of the proposed concept are presented: employers' satisfaction with the level of practical training of students-stomatologists of KSMU was 8.9 (the maximum value is 10.0).

**Keywords:** prosthodontics, manipulation training, role-playing training game, analysis of clinical cases, brainstorming

Учебный модуль «Зубопротезирование (простое протезирование)» предназначен для базисной подготовки врача-стоматолога к самостоятельной работе в клинике. Он ориентирован на освоение теоретических основ и практических навыков по оказанию амбулаторной стоматологической ортопедической помощи при патологии твердых тканей зубов и дефектах зубных рядов.

На кафедре ортопедической стоматологии Курского государственного медицинского университета (далее КГМУ) модуль «Зубопротезирование (простое про-

тезирование)» студенты изучают на 3 курсе (5 и 6 семестры). Лекционный курс составляет основу теоретического обучения. Основная цель – концентрировать внимание студентов на наиболее сложных и узловых вопросах модуля.

По форме изложения учебного материала в рамках данного модуля на кафедре ортопедической стоматологии КГМУ проводятся лекции-визуализации, проблемные лекции и лекции-дискуссии. В этом случае одновременно обеспечивается усвоение студентами теоретических знаний, разви-

тие активного теоретического мышления, формирование познавательного интереса к содержанию учебного предмета и профессиональной мотивации будущего специалиста, а сам процесс познания студентов приближается к поисковой, исследовательской деятельности. Знание теоретических основ дисциплины является базой для формирования у студентов профессиональных навыков и умений [1].

Тематика практических занятий модуля «Зубопротезирование» включает содержание и ранее изученных модулей «Пропедевтика ортопедической стоматологии» и «Материаловедение», что обеспечивает реализацию принципа преемственности. В связи с чем процесс самоподготовки студентов основан прежде всего на повторении материалов ранее изученных модулей и разделов смежных дисциплин.

Практические занятия проводятся в специализированных аудиториях кафедры и обеспечиваются всеми необходимыми наглядными материалами, пособиями, фантомами, рентгенограммами, атласами, стендами, видеofilmами, приборами и др.

Структура практических занятий включает следующие этапы: организационные вопросы, проверка исходного уровня знаний студентов, методические установки для самостоятельной работы студентов, манипуляционный тренинг, контроль результатов усвоения знаний, умений и навыков и подведение итогов занятия.

Специфика преподавания модуля «Зубопротезирование (простое протезирование)» заключается в практико-ориентированном подходе, согласно которому теоретические знания усваиваются одновременно с практическим освоением профессиональных навыков, а не отдельно и заранее. Реализация такого вида обучения требует от обучающегося не просто знания техники выполнения той или иной манипуляции, но и полного владения определенным перечнем практических навыков, которые к моменту окончания медицинского вуза студент должен выполнять самостоятельно.

В качестве профессионально-ориентированных технологий обучения на кафедре ортопедической стоматологии внедрены и активно используются: манипуляционный тренинг на учебных фантомах, анализ клинических случаев, ролевая учебная игра, подготовка истории болезни, научно-исследовательская работа студентов, посещение врачебных конференций [2, 3].

Профессия врача-стоматолога предполагает точную зрительно-моторную координацию и хорошо развитую мелкую моторику рук. Работа в ограниченном пространстве,

с мелким колюще-режущим, а главное, вращательным инструментом, на малом, часто труднодоступном операционном поле, – все это требует от врача-стоматолога ювелирной точности и, конечно, выдержки, и такое мастерство должно быть отточено еще до клинического приема пациентов [4].

Таким образом, современные тенденции стоматологического образования требуют использования фантомного симуляционного оборудования, позволяющего достичь максимального уровня реализма [5].

Базой для отработки профессиональных мануальных навыков у студентов стоматологов КГМУ служит лаборатория «Стоматолог» Центра аккредитации и симуляционного обучения Курского государственного медицинского университета. Каждый наш студент имеет свой индивидуальный стоматологический фантом, который легко монтируется в общую систему учебного стоматологического модуля, что позволяет многократно отработать технику той или иной манипуляции, закрепить полученные теоретические знания, а значит трансформировать их в профессиональные умения и навыки.

Перечень, и главное, качество выполненных работ на индивидуальном стоматологическом фантоме является показателем уровня сформированности профессиональных компетенций по данному модулю [6].

Как показывает опыт кафедры, обучающиеся, в полном объеме освоившие практические навыки с помощью симуляционных обучающих фантомов и манекенов, в последующем гораздо быстрее и увереннее переходят к реальным вмешательствам в клинике, и их результаты становятся более профессиональными. Удовлетворенность работодателей уровнем практической подготовки студентов-стоматологов КГМУ с момента открытия лаборатории «Стоматолог» возросла с показателя 6,5 (максимальное значение 10,0) в 2013 г. до 8,3 уже в 2015 г. и 8,9 в 2017 г. Анализ удовлетворенности работодателя качеством подготовки студентов-стоматологов КГМУ проводился путем анкетирования клинических баз по итогам производственной практики по анкетам, разработанным Центром менеджмента качества КГМУ. Согласно данным анкетам значение показателя 8–10 говорит о высоком уровне удовлетворенности.

Неотъемлемой частью обучения студентов на кафедре ортопедической стоматологии является организация их работы в учебной зуботехнической лаборатории.

Обучение в студенческой зуботехнической лаборатории, в полном объеме оснащенной соответствующими современными

аппаратами, приборами, приспособлениями и инструментами, предполагает закрепление теоретических знаний и развитие мануальных навыков по основным технологическим процессам и технологии изготовления зубных протезов.

Другим эффективным практико-ориентированным компонентом обучения студентов на нашей кафедре является метод «анализ клинических случаев». Это активная инновационная форма обучения студентов медицинских вузов, которая способствует формированию клинического мышления, закреплению профессиональных навыков и теоретического материала по изучаемым ранее темам, а также позволяет объективно оценить подготовку студента к занятию. Использование иллюстрированных клинических ситуаций оживляет и обогащает учебный процесс, делает его более творческим, наглядным, полезным и поучительным, что интересно и студентам и преподавателям [7].

Кроме того при изучении модуля «Зубопротезирование (простое протезирование)» мы часто используем анализ клинической ситуации на реальных диагностических гипсовых моделях челюстей с определением оптимального варианта ортопедического лечения, что значительно повышает приближенность к будущей профессиональной деятельности.

Тем не менее в новой симуляционной среде обучения очень важным представляется развитие у студентов профессионального врачебного поведения. Оно характеризуется умением критически относиться к себе, к своим стереотипам и привычкам, стремлением к сотрудничеству и разрешению конфликтов, к толерантности, умением выстраивать и поддерживать отношения со всеми членами коллектива, а также способностью устанавливать психологический и речевой контакт с пациентами, друзьями, коллегами [7].

Навыки такого поведения должны быть заложены уже начиная с модуля «Зубопротезирование (простое протезирование)» и полностью сформированы к моменту начала производственной практики. Значительное место в решении данной проблемы отводится ролевым играм, в которых главным является имитационная модель объекта познания.

Доказано, что ситуационно-ролевые игры служат развитию и формированию личности, вырабатывают инициативу и самостоятельность в принятии решений, активизируют познавательную активность и особенно развитие клинического мышления и, как следствие, повышают мотивацию студента к практическому овладению профессиональной деятельностью [7].

Импровизированное разыгрывание клинической ситуации позволяет создать доброжелательную и непринужденную эмоциональную атмосферу, помогает преодолеть психологический барьер. Это дает возможность вовлекать в игру малоактивных студентов, создает среду для целенаправленного развития личности специалиста и коррекции поведения каждого конкретного студента, что соответствует личностно-ориентированному подходу современной модели образования.

Структура ролевых игр в рамках модуля отражает логику практической деятельности, демонстрирует взаимосвязь практического занятия и профессиональной деятельности, моделирует проблемы, которые могут возникать и поэтому является не только эффективным пособием для усвоения знаний и формирования умений, но и действенным способом подготовки будущего специалиста к профессиональному общению.

В основу медицинской ролевой игры всегда положен принцип моделирования условий реальной профессиональной деятельности путем решения следующих задач: диагностика, постановка диагноза, составление протокола лечения [2, 3].

Стандартный сценарий ролевой игры на кафедре ортопедической стоматологии выглядит следующим образом: преподаватель озвучивает тематику ролевой игры, объясняет порядок проведения игры, называет роли, предлагает каждому студенту выбрать свою роль в игре: пациент, врач – стоматолог-ортопед, коллеги (ассистент стоматолога, врач-рентгенолог) и должностное лицо (заведующий ортопедическим отделением стоматологической поликлиники).

Основные этапы проведения игры.

1. Ознакомление студентов с исходной информацией, совместное определение основных задач ролевой игры, добровольное распределение ролей.

Студенту-пациенту преподаватель сообщает часть необходимой для игры информации: поставленный диагноз, результаты некоторых методов обследования (другие участники ролевой игры об этом не знают).

2. Подготовка обучающихся к выполнению ролевых функций. На этом этапе происходит определение особенностей их поведения в зависимости от роли.

3. Проведение игры.

Студент-пациент «приходит» на прием к студенту – врачу-стоматологу-ортопеду и предъявляет жалобы, характерные для данного диагноза, смоделировать клинические признаки заболевания. Студент – врач-стоматолог согласно полученным данным

в ходе обследования пациента должен поставить и обосновать диагноз, назначить дополнительные методы исследования, составить план ортопедического лечения, заполнить «Медицинскую карту стоматологического больного». Студент – врач-ассистент должен подготовить рабочее место, принести все необходимые инструменты. Студент – врач-рентгенолог должен помочь при чтении рентгенограммы и описать ее в «Медицинской карте стоматологического больного». Заведующий отделением должен подтвердить постановку диагноза, прокомментировать план лечения, соблюдение этики и деонтологии, правовых норм врача и больного, принципов асептики и антисептики, оценить полноту заполнения документации.

За ходом игры наблюдает модератор. Им может быть преподаватель, но чаще мы отводим эту роль врачу-ординатору, что помогает оценить его компетентность и готовность к профессиональной деятельности. Модератор следит за игрой и вносит коррективы в действия врача-стоматолога и коллег, а также выполняет роль эксперта-аналитика и поэтапно проводит оценку и анализ работы всех участников игры и выставляет результаты в оценочной карте.

4. Подведение итогов и анализ эффективности игры в достижении поставленных целей.

Итогом ролевой игры являются постановка окончательного диагноза и составление плана лечения.

После этого преподаватель отмечает сильные стороны и недостатки исполнителей ролей, выводит их на дискуссию и предоставляет возможность выступить и защитить отдельные свои позиции. А по итогам имеет полную возможность определить уровень усвоения знаний, профессиональных умений и навыков по данной теме. Оценивается командная работа студентов и навыки взаимодействия.

Использование такой игровой формы приближает практическое занятие к реальным ситуациям работы врача-стоматолога, позволяет провести занятие живо и занимательно, что способствует развитию творческого потенциала и познавательного интереса к предмету [3]. Однако решающее преимущество, на наш взгляд, кроется в развитии коммуникативной составляющей профессиональной деятельности и формировании стереотипов профессионального поведения и его коррекции в общении с окружающими.

В ходе анонимного анкетирования, проведенного на кафедре на предмет отношения обучающихся к проведению ролевых игр с вариантами ответов: «положительно»,

«отрицательно», «нейтрально». Оценка «положительно» зарегистрирована в 89% анкет, оценка «нейтрально» составляла 9%, оценка «отрицательно» – 2%.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная форма обучения интересна студентам, а значит, способна повысить эффективность усвоения материала.

Другим распространенным методом командной работы, который также широко используется на нашей кафедре, является «мозговой штурм». Мозговой штурм («мозговая атака») – это интерактивная методика обучения, в ходе которой поиск решения заранее поставленной проблемы осуществляется через стимулирование мыслительной и творческой активности, когда участникам обсуждения предлагают высказывать как можно большее количество вариантов решения, из которых в дальнейшем выбирается наиболее удачное для использования на практике.

Правильно организованный мозговой штурм включает три обязательных этапа.

1. Предварительный. Этап постановки проблемы. Необходимо разбить студенческую группу на две рабочие подгруппы, а также выявить экспертную комиссию по отбору наилучших идей. В экспертную комиссию входят студенты, имеющие максимальный средний балл оценок по текущим занятиям.

Ведущий – преподаватель определяет проблему и в понятной форме доводит её до всех участников мозгового штурма. Студенты обдумывают проблему в течение 10 минут.

2. Продуктивный этап – генерации идей. На этом этапе студенты высказывают свои идеи, все идеи фиксируются в протоколе.

Главное на этом этапе обеспечить: вовлеченность всех студентов, каждый должен высказать свои предположения, чем больше идей, тем лучше, и полный запрет на критику и любую (в том числе положительную) оценку высказываемых идей, что отвлекает от основной задачи и сбивает творческий настрой.

3. Анализ выдвинутых идей. Из общего количества выдвинутых идей группой аналитиков отбираются наиболее оригинальные и целесообразные.

Необходимо строго следить за тем, чтобы ни одна из выдвинутых идей не была отброшена без поиска в ней рационального зерна. Составляется окончательный список практически используемых идей – отчет группы «аналитиков».

Успех мозгового штурма во многом зависит от психологической обстановки и активности обсуждения, поэтому роль преподавателя как ведущего в мозговом

штурме очень важна. Именно он должен «вывести из стопора» и вдохнуть свежие силы в процесс.

Мы широко используем данный метод на выходном контроле результатов усвоения знаний, умений и навыков. Поскольку только студент, в полном объеме владеющий учебным материалом, способен генерировать по-настоящему правильные и оригинальные идеи.

Изложение вопросов обучения студентов-стоматологов в рамках модуля «Зубопротезирование» с представленной нами позиции обеспечивает формирование у обучающихся системного, многоуровневого подхода к усвоению теоретических знаний и мотивирует их на приобретение и дальнейшее совершенствование профессиональных навыков. Представленные формы организации учебного процесса снимают противоречие между абстрактным характером учебного предмета и реальным характером профессиональной деятельности; формируют практические навыки анализа и осмысления клинических ситуаций путем их решения.

#### Список литературы

1. Лапина Н.В., Сеферян К.Г., Старченко Т.П., Калпакьянц О.Ю. Модернизация системы подготовки врачей-стоматологов-ортопедов на кафедре ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО КубГМУ Минздрава России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4-1. – С. 199–201.
2. Карлаш А.Е. Интерактивные формы обучения – инновационный подход к обучению практическим навыкам // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 6. – С. 135.
3. Карлаш А.Е. Активные методы обучения в высшей школе // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 5-3. – С. 368.
4. Винокур А.В., Долгина И.И., Зубкова А.А., Мисник Ю.В. Симуляционные технологии в формировании практических навыков врачей-стоматологов в системе последипломного образования // В сборнике: Непрерывное медицинское и фармацевтическое образование в 21 веке: возможности, проблемы и перспективы Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. – 2017. – С. 12–5.
5. Лапина Н.В., Старченко Т.П., Попков В.Л., Кочкоян Т.С., Старченко В.И., Сеферян К.Г. Обучение студентов стоматологического профиля в центре практических навыков ГБОУ ВПО КубГМУ Минздрава России основам ортопедической стоматологии // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 11-6. – С. 893–896.
6. Сеферян К.Г., Лапина Н.В., Сеферян Н.Ю., Калпакьянц О.Ю., Старченко Т.П., Попков В.Л., Гришечкин С.Д., Кочкоян Т.С. Современные аспекты изучения дисциплины «Ортопедическая стоматология» на кафедре ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО КубГМУ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 4-1. – С. 245–246.
7. Зубкова А.А., Ячменева Л.А. Социально-личностное развитие студентов медицинского вуза, как педагогическое явление // В сборнике: Образовательный процесс: поиск эффективных форм и механизмов Сборник трудов Всероссийской научно-учебной конференции с международным участием, посвященной 82-й годовщине КГМУ. Под ред. В.А. Лазаренко, П.В. Калущкого, П.В. Ткаченко, А.И. Овод, Н.Б. Дрёмовой, Н.С. Степашова. – 2017. – С. 245–249.