

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,969  
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,407

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, Горбатюк С.М. (Москва); д.т.н., профессор, Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., профессор, Далингер В.А. (Омск); д.псх.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.псх.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, Ивашевич 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.псх.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., профессор, 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, Страбыкин 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.Щ. (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 = 0,969.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,407.**

**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 – 28.01.2019  
Дата выхода номера – 28.02.2019

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

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

Способ печати – оперативный  
Распространение по свободной цене  
Усл. печ. л. 21,38  
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2019/1  
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

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

АЛГОРИТМЫ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В УСТРОЙСТВАХ ДВУМЕРНОЙ И ТРЕХМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ <i>Алексян Г.К., Кучер А.И., Щербаков И.Д., Моряхин Е.А.</i> .....	9
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА УЧАСТКОВ ЭПИЛЕПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В СОСТАВЕ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ ХРАНЕНИЯ, СИСТЕМАТИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ <i>Алексеев Д.М., Минюк А.Н., Понимаиш З.А., Шумилин А.С.</i> .....	14
О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЯ ПРОЧНОСТИ В РАСЧЕТАХ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НАГРУЖЕНИЯ <i>Белов А.В., Неумоина Н.Г., Поливанов А.А.</i> .....	20
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ФРИКЦИОННОГО ИЗНОСА ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ <i>Болобов В.И., Кремчеев Э.А., Короткова О.Ю.</i> .....	26
О ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОКРЕСТНОСТИ КОРНЯ ГРАФА ПОТОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ В КОНТЕКСТЕ ПРОЦЕССА РАЗМНОЖЕНИЯ ФАЙЛОВЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИРУСОВ <i>Бородин А.В., Юдина М.А., Васильева М.А.</i> .....	31
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Высочкин А.В., Портнов Е.М., Слюсарь В.В.</i> .....	36
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ <i>Грызлов В.С., Каптюшина А.Г.</i> .....	41
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С РЕЗЕРВНЫМ ТОПЛИВОМ <i>Ефимов А.Ю., Шилов М.С., Панкова О.С.</i> .....	47
К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КИБЕРПРЕСТУПЛЕНИЯМ ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ <i>Иванов В.Ю., Жигалов К.Ю.</i> .....	52
РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО СИСТОЛИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СИГНАЛОВ В ПОЛЕ ГАЛУА GF(M) <i>Калмыков М.И., Юрданов Д.В., Кононова Н.В., Калмыков И.А., Тынчеров К.Т.</i> .....	58
АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ПРОЕКТАХ VB.NET С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА MS EXCEL <i>Карчевская М.П., Рамбургер О.Л., Тархов С.В.</i> .....	63
ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ МИНЗДРАВА РОССИИ <i>Лебедев Г.С., Крылов О.Б., Леляков А.И., Миронов Ю.Г., Ткаченко В.В.</i> .....	69
ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ СИЛОВА <i>Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р.</i> .....	76

<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТКАНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТОК</b>	
<i>Максимов А.А., Аллямов Р.Р., Тувин А.А.</i> .....	82
<b>АКТУАЛИЗАЦИЯ ПОРЯДКА РАСЧЕТА ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ И УТОЧНЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ПОЛИГОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</b>	
<i>Маловецкая Е.В., Большаков Р.С.</i> .....	87
<b>БИЗНЕС-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ</b>	
<i>Махмутова М.В., Белоусова И.Д., Москвина Е.А.</i> .....	94
<b>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ХИМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ</b>	
<i>Николюкин М.С.</i> .....	99
<b>ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТА УЧАСТКА ДОРОГИ КАК ЗАДАЧА РАЗБИЕНИЯ МНОЖЕСТВА</b>	
<i>Печников А.А., Абрамов Е.В.</i> .....	104
<b>ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕПАРИРУЮЩИХ ЛИНИЙ ПУТЕМ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА</b>	
<i>Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.</i> .....	109
<b>ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ КВАНТОВОГО АЛГОРИТМА ФАКТОРИЗАЦИИ ПИТЕРА ШОРА ПУТЁМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КЛАССИЧЕСКОЙ ЧАСТИ</b>	
<i>Разумов П.В., Смирнов И.А., Черкесова Л.В., Сафарьян О.А., Пилипенко И.А.</i> .....	114
<b>СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ</b>	
<i>Сыцевич Н.Ф., Крахмалев Д.В., Жабоев Ж.Ж., Кулиев Р.С.</i> .....	119
<b>РАЗРАБОТКА ФИБРОБЕТОНОВ НА БЕСЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ</b>	
<i>Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лисейцев Ю.Л., Пезин Д.Н., Зеленский И.Р., Смоляков А.К., Хроменок Д.В.</i> .....	124
<b>Педагогические науки (13.00.01, 13.00.02, 13.00.03, 13.00.04, 13.00.05, 13.00.08)</b>	
<b>МОДЕЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЛИЧНОСТНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ СИТУАЦИЙ УСПЕХА</b>	
<i>Алейникова Н.Ю.</i> .....	131
<b>ПОВЫШЕНИЕ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «РЕКЛАМА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ» В ПРОЦЕССЕ ПРЕДМЕТНО-ЯЗЫКОВОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ (СЛІІ)</b>	
<i>Баранова Т.А., Кобичева А.М., Токарева Е.Ю.</i> .....	136
<b>ХИМИЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ БАКАЛАВРОВ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ И ПОДХОДЫ К ЕЁ РАЗВИТИЮ</b>	
<i>Вострикова Н.М.</i> .....	141
<b>ПАРАДИГМАЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ</b>	
<i>Горшкова О.О.</i> .....	146

---

АНАЛИЗ ПРОФИОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗА СРЕДИ ШКОЛЬНИКОВ 9–11 КЛАССОВ	
<i>Иванова О.Н., Софронеева О.Л.</i> .....	151
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ПЕРСПЕКТИВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАВОВОГО СОЗНАНИЯ СТУДЕНТОВ ЮРИДИЧЕСКОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗОВ	
<i>Иванова С.В., Янгирова З.З.</i> .....	156
ФОРМЫ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ФИЗИКЕ В УСЛОВИЯХ РЕЙТИНГОВОГО ОБУЧЕНИЯ	
<i>Клещёва Н.А., Плотников В.С.</i> .....	161
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ЕГО МОДЕЛИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ КОМПОНЕНТОМ	
<i>Соболевская Е.Ю., Левченко Н.Г.</i> .....	166

---

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

ALGORITHMS FOR THE TRANSMISSION OF MEASUREMENT DATA IN THE DEVICES OF TWO-DIMENSIONAL AND THREE-DIMENSIONAL ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY <i>Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Shcherbakov I.D., Moryakhin E.A.</i> .....	9
AUTOMATIC SEARCH SYSTEM OF EPILEPTIC ACTIVITY SITES IN THE COMPOSITION OF CLOUD STORAGE, SYSTEMATIZATION AND MEDICAL DATA PROCESSING <i>Alekseev D.M., Minyuk A.N., Ponimash Z.A., Shumilin A.S.</i> .....	14
ABOUT THE ELECTION STRENGTH CRITERIA IN CALCULATIONS FOR LONG-TERM STRENGTH FOR NON-ISOTHERMAL PROCESSES OF LOADING <i>Belov A.V., Neumoina N.G., Polivanov A.A.</i> .....	20
STUDY OF ENERGY CAPACITY OF FRICTION WEAR OF STEEL 45 SAMPLES AFTER VARIOUS HEAT TREATMENT <i>Bolobov V.I., Kremcheev E.A., Korotkova O.Yu.</i> .....	26
ABOUT THE PROBLEM OF CLASSIFICATION ON THE NEIGHBORHOOD OF THE ROOT OF THE CONTROL FLOW GRAPH OF THE PROGRAM IN THE CONTEXT OF PROCESS OF REPRODUCTION OF FILE COMPUTER VIRUSES <i>Borodin A.V., Yudina M.A., Vasileva M.A.</i> .....	31
ENTERPRISE RESOURCE CONTROLLING SYSTEM MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT <i>Vysochkin A.V., Portnov E.M., Slyusar V.V.</i> .....	36
PROPOSALS FOR THE REGULATION OF THERMAL RESISTANCE OF ENCLOSING STRUCTURES OF BUILDINGS <i>Gryzlov V.S., Kartyushina A.G.</i> .....	41
MATHEMATICAL ASSESSMENT OF RELIABILITY OF WORK OF BOILER PLANTS WITH RESERVE FUEL <i>Efimov A.Yu., Shirov M.S., Pankova O.S.</i> .....	47
TO THE QUESTION OF IMPROVING THE ANTI CYBERCRIME LAW ENFORCEMENT <i>Ivanov V.Yu., Zhigalov K.Yu.</i> .....	52
DEVELOPMENT OF MULTI-CHANNEL SYSTOLIC ALGORITHM FOR COMPUTING NUMBER-THEORETIC TRANSFORMS OF THE SIGNALS IN THE GALOIS FIELD GF(M) <i>Kalmykov M.I., Yurdanov D.V., Kononova N.V., Kalmykov I.A., Tyncherov K.T.</i> .....	58
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA IN PROJECTS VB.NET WITH CONNECTION OF SPECIAL FUNCTIONS OF MS EXCEL <i>Karchevskaya M.P., Ramburger O.L., Tarkhov S.V.</i> .....	63
EFFICIENCY INTEGRAL ASSESSMENT OF RESEARCH WORKS IN RESEARCH INSTITUTIONS OF THE MINISTRY OF PUBLIC HEALTH OF RUSSIA <i>Lebedev G.S., Krylov O.B., Lelyakov A.I., Mironov Yu.G., Tkachenko V.V.</i> .....	69
SUPPORT OF DECISION-MAKING ON QUALITY MANAGEMENT OF EDUCATION ON THE BASIS OF FUZZY COGNITIVE MAPS OF SILOV <i>Makarova E.A., Zakieva E.Sh., Gabdullina E.R.</i> .....	76

<b>ORGANIZATION OF TECHNICAL CONTROL OF PRODUCTION WOVEN METAL MESH</b>	
<i>Maksimov A.A., Allyamov R.R., Tuvin A.A.</i> .....	82
<b>NEW IS QUITS THE PLAN OF FORMATION OF TRAINS WITH SPECIFICATION OF THE LIST OF INDICATORS OF OPERATIONAL WORK ON THE BASIS OF IMITATING MODELLING</b>	
<i>Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S.</i> .....	87
<b>BUSINESS-ORIENTED MODEL OF MANAGEMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY IN A MANUFACTURING COMPANY</b>	
<i>Makhmutova M.V., Belousova I.D., Moskvina E.A.</i> .....	94
<b>DEVELOPMENT OF STOICHIOMETRIC COEFFICIENTS SEARCH ALGORITHM FOR CHEMICAL REACTION EQUATIONS</b>	
<i>Nikolyukin M.S.</i> .....	99
<b>PLANNING THE REPAIR OF THE ROAD SECTION AS PARTITION OF SET PROBLEM</b>	
<i>Pechnikov A.A., Abramov E.V.</i> .....	104
<b>IMPROVING THE PERFORMANCE OF SEPARATING LINES BY FRACTIONATION OF THE SOURCE MATERIAL</b>	
<i>Piven V.V., Umanskaya O.L., Krivchun N.A.</i> .....	109
<b>IMPROVING THE PERFORMANCE OF P. SHOR'S FACTORING QUANTUM ALGORITHM BY IMPROVING ITS CLASSICAL PART</b>	
<i>Razumov P.V., Smirnov I.A., Cherkesova L.V., Safaryan O.A., Pilipenko I.A.</i> .....	114
<b>COMPLEXING SCHEME BASED ON MULTIPLEXING FOR RESERVED CONTROL SYSTEMS</b>	
<i>Sytsevich N.F., Krakhmalev D.V., Zhaboev Zh.Zh., Kuliev R.S.</i> .....	119
<b>CREATION OF FIBROUS CONCRETE ON CEMENT-FREE BINDERS</b>	
<i>Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Liseytshev Yu.L., Pezin D.N., Zelenskiy I.R., Smolyakov A.K., Khromenok D.V.</i> .....	124
<b>Pedagogical sciences (13.00.01, 13.00.02, 13.00.03, 13.00.04, 13.00.05, 13.00.08)</b>	
<b>MODEL OF PEDAGOGICAL SUPPORT OF PERSONAL SELF-DETERMINATION OF HIGH SCHOOL STUDENTS WITH THE USE IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF SUCCESS SITUATIONS</b>	
<i>Aleynikova N.Yu.</i> .....	131
<b>IMPROVING THE MOTIVATION OF STUDENTS FROM DEPARTMENT «ADVERTISING AND PUBLIC RELATIONS» IN THE PROCESS OF CONTENT AND LANGUAGE INTEGRATED LEARNING (CLIL)</b>	
<i>Baranova T.A., Kobicheva A.M., Tokareva E.Yu.</i> .....	136
<b>CHEMICAL COMPETENCE OF BACHELORS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL AREAS AND APPROACHES TO ITS DEVELOPMENT</b>	
<i>Vostrikova N.M.</i> .....	141
<b>PARADIGM TRANSFORMATION OF TECHNICAL EDUCATION AND ITS INFLUENCE ON THE FORMATION OF RESEARCH COMPETENCES OF GRADUATES</b>	
<i>Gorshkova O.O.</i> .....	146
<b>THE RESULTS OF THE CAREER GUIDANCE TEACHERS OF THE UNIVERSITY AMONG STUDENTS IN GRADES 9–11</b>	
<i>Ivanova O.N., Sofroneeva O.L.</i> .....	151

---

COMPARATIVE ANALYSIS OF DYNAMICS AND PROSPECTS FOR FORMING THE LEGAL  
CONSCIOUSNESS OF STUDENTS IN LEGAL AND TECHNICAL UNIVERSITIES

*Ivanova S.V., Yangirova Z.Z.* ..... 156

FORMS OF CONTROL MEASURES FOR PHYSICS AT THE RATING TRAINING CONDITIONS

*Klescheva N.A., Plotnikov V.S.* ..... 161

ANALYSIS OF THE ELECTRONIC LEARNING PROCESS AND DEVELOPMENT  
OF ITS MODEL WITH INTELLIGENT COMPONENT

*Sobolevskaya E.Yu., Levchenko N.G.* ..... 166

УДК 004.021:616-71

**АЛГОРИТМЫ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ  
В УСТРОЙСТВАХ ДВУМЕРНОЙ И ТРЕХМЕРНОЙ  
ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ****Алексаян Г.К., Кучер А.И., Щербakov И.Д., Моряхин Е.А.***Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,  
Новочеркасск, e-mail: graer@yandex.ru*

В работе рассмотрены проблемы, связанные с возникновением временных задержек между началом процесса исследования и вывода его обработанных результатов оператору в информационно-измерительных системах электроимпедансной томографии. Изучены причины появления таких задержек, в частности исследовано и показано влияние на них процесса передачи измерительных данных между блоком измерения и персональным компьютером, на котором происходит обработка, анализ, и реконструкция измерительных данных. В работе предложен ряд решений, которые позволяют повысить скорость передачи измерительных данных и, соответственно, уменьшить связанные с данным процессом временные задержки. В результате проведенных исследований разработаны два алгоритма передачи данных между измерительным устройством и персональным компьютером в составе информационно-измерительной системы электроимпедансной томографии. Проведено сравнительное исследование разработанных алгоритмов по ряду параметров, в результате выбран алгоритм, обеспечивающий наилучшую производительность и целостность передаваемых данных. Применение данного алгоритма позволит значительно повысить скорость передачи данных, повысить ее надежность, а также снизить нагрузку на микроконтроллер измерительного устройства. Полученные результаты позволяют реализовать методы трехмерной электроимпедансной томографии с минимизацией временных задержек, связанных с передачей измерительных данных.

**Ключевые слова:** электроимпедансная томография, передача данных**ALGORITHMS FOR THE TRANSMISSION OF MEASUREMENT DATA  
IN THE DEVICES OF TWO-DIMENSIONAL AND THREE-DIMENSIONAL  
ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY****Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Shcherbakov I.D., Moryakhin E.A.***South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: graer@yandex.ru*

The paper discusses the problems associated with the occurrence of time delays between the start of the research process and the output of its processed results to the operator of electrical impedance tomography information-measuring systems. The reasons for the occurrence of such delays have been studied, in particular, the influence on them of the process of transferring measurement data between the measurement unit and the personal computer on which the measurement data is processed, analyzed, and reconstructed is investigated and shown. In this paper, a number of solutions are proposed that allow increasing the transfer rate of the measurement data and, accordingly, reducing the time delays associated with this process. As a result of the research, two data transfer algorithms between the measuring device and personal computer were developed as part of the electrical impedance tomography information-measuring system. A comparative study of the developed algorithms for a number of parameters was carried out; as a result, an algorithm was selected that ensures the best performance and integrity of the transmitted data. The use of this algorithm will significantly increase the speed of data transmission, increase its reliability, as well as reduce the load on the microcontroller of the measuring device. The results obtained will allow to implement the methods of three-dimensional electrical impedance tomography with minimization of time delays associated with the transfer of measurement data.

**Keywords:** electrical impedance tomography, data transfer

Аппаратно-программная реализация метода электроимпедансной томографии [1] (ЭИТ) неизбежно связана с использованием нескольких совместно функционирующих вычислительных блоков, а именно: блок источника инжектируемого тока, блок измерения, блок микроконтроллерного управления аппаратной части и персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением [2, 3]. На рис. 1 приведена общая структурная схема информационно-измерительной системы (ИИС) для случая двухмерной и трехмерной ЭИТ, на которой выделены данные основные функциональные блоки.

На рис. 2 показаны разработанные авторами ранее технические средства, позволяющие выполнять исследования объектов методом ЭИТ [3]:

- установка для проведения измерений методом ЭИТ, состоящая из персонального компьютера с установленным программным обеспечением, блоком измерения и макетом, позволяющим имитировать неоднородность в проводящей среде (рис. 2, а);
- функциональный макет томографического среза грудной клетки человека (рис. 2, б);
- функциональный макет томографического среза грудной клетки малых биологи-

ческих форм с поддержкой измерения методом трехмерной ЭИТ в двух поясах (рис. 2, в);

– макет томографического среза грудной клетки человека с поддержкой измерения методом трехмерной ЭИТ в десяти поясах (рис. 2, г);

– макет, позволяющий имитировать неоднородность в проводящей среде с поддержкой измерения методом трехмерной ЭИТ в двух поясах (рис. 2, д).

Функционирование ИИС в режимах реального и квазиреального времени, необходимых для визуализации методом ЭИТ динамических процессов, протекающих в объекте, предъявляет требования к частоте обновления реконструируемых

изображений не менее чем 20 кадров в секунду [4]. В этой связи критическими являются источники задержек, вносимые структурами аппаратной части ИИС. В работах [5] и [6] описаны способы технической реализации системы двумерной ЭИТ с применением одного пояса электродов. В данных работах проведена оценка временных задержек, связанных с ресурсоемкостью процесса обработки, анализа, реконструкции и вывода результатов измерения, полученных методом ЭИТ. В настоящей работе выполнена оценка временных задержек, связанных с передачей измерительных данных между блоком измерения и персональным компьютером.

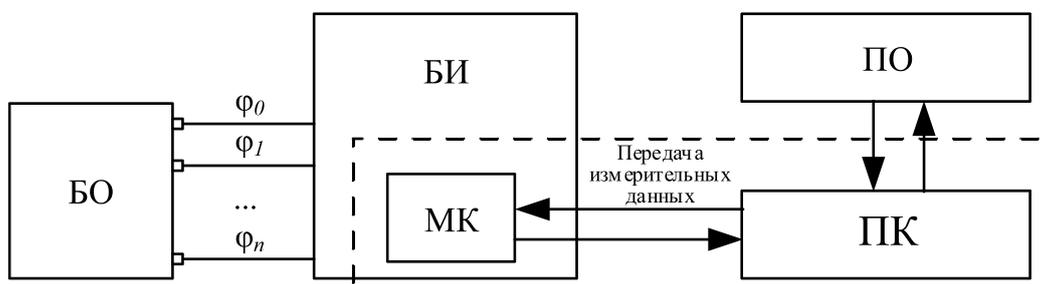
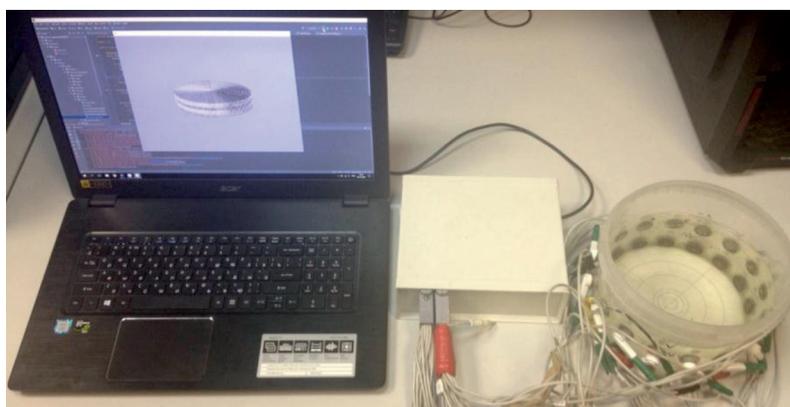
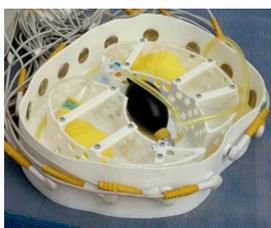


Рис. 1. Общая структурная схема информационно-измерительной системы (ИИС) для случая двумерной и трехмерной ЭИТ



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 2. а) Внешний вид разработанной ИИС; б)–д) разработанные макеты, «фантомы» и электродные системы

### Материалы и методы исследования

При увеличении числа электродных поясов (при реализации трехмерной ЭИТ) неизбежно возрастают объемы передаваемой информации. На основании приведенных в работе [7] данных об объеме измерений  $N_{\text{ф}}$  при варьировании числа электродных поясов  $N_{\text{ЭБ}}$  была рассчитана ресурсозатратность в виде относительного времени задержки передачи данных  $t_{\text{отн}}$ , при допущении, что  $t_{\text{отн}}$  изменяется пропорционально изменению  $N_{\text{ф}}$ . В табл. 1 представлена сравнительная оценка ресурсозатратности двумерной и трехмерной ЭИТ по выделенным параметрам, а именно: общее число электродов ( $N$ ), количество электродов в поясе ( $N_{\text{ЭЛ}}$ ), количество электродных поясов ( $N_{\text{ЭБ}}$ ), количество регистрируемых потенциалов ( $N_{\text{ф}}$ ), относительное время задержки передачи данных ( $t_{\text{отн}}$ ).

Проведенные расчеты показали, что при  $N_{\text{ЭБ}} = 2$  задержка  $t_{\text{отн}}$  будет больше в 4,46 раз по сравнению с таковой при  $N_{\text{ЭБ}} = 1$ , а при  $N_{\text{ЭБ}} = 10$ ,  $t_{\text{отн}}$  будет больше уже в 120,8 раз.

В этой связи существует необходимость в разработке новых подходов, методов и алгоритмов, позволяющих уменьшить временные задержки, что позволит повысить быстродействие всей ИИС. В данной статье предлагается один из способов повышения быстродействия ИИС, основанный на разработке нового алгоритма вывода массива измерительной информации.

При проведении исследований использованы разработанные ранее авторами технические средства электроимпедансной томографии, в частности ИИС ЭИТ, «фантомы», электродные системы, показанные на рис. 2. Разработка предлагаемого алгоритма велась на языке программирования C [8]. Отладка выполнялась на блоке микроконтроллера аппаратной части, построенной на базе микроконтроллера архитектуры ARM Cortex-M4 [9].

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 3 представлены блок-схемы двух разработанных алгоритмов взаимодействия АПЧ\_МК и ПК, в частности передача измерительной информации в ПК.

На рис. 3, а, показан разработанный ранее алгоритм построчного вывода измерительной информации, который рекомендовал себя как наиболее простой в реализации в составе программного обеспечения как микроконтроллера, так и персонального компьютера. Данный алгоритм осуществляет форматированный вывод информации таким образом, что данные каждого измерения передаются на персональный компьютер построчно, пока не будет завершен вывод данных всех измерений.

Для вывода каждого измерения используется функция *printf()* стандартной библиотеки языка программирования C [8]. Кроме того, для обмена данными между блоком измерения и персональным компьютером была задана скорость  $V = 230400$  бит/с. По результатам выполненных исследований было установлено, что дальнейшее увеличение скорости приводит к ошибкам передачи данных, приводившим к потерям измерительной информации.

К достоинствам данного алгоритма можно отнести простоту реализации и возможность использования измерительных данных без дальнейшей математической обработки. Недостатками данного алгоритма являются:

- низкая скорость обмена данных между микроконтроллером и персональным компьютером;
- большое число операций, используемых при выводе измерительной информации, и, как следствие, повышенная нагрузка на микропроцессор микроконтроллера;
- возможность потери целостности передаваемых измерительных данных.

Блок-схема алгоритма вывода массива измерительной информации представлена на рис. 3, б.

Для увеличения скорости передачи данных с МК\_АПЧ на персональный компьютер был изменён способ передачи значений измеренных потенциалов  $\varphi_r$ . Массив измерительной информации был отформатирован в виде числа с плавающей точкой с шестью знаками после неё. Так как примененные в первоначальной версии алгоритма передачи измерительных данных форматирование вывода и многочисленные вызовы функции *printf()* служили источниками существенных задержек, данная функция вывода была заменена на функцию *write()* [10]. Данная функция является функцией более низкого уровня, но при этом потребляет меньше процессорного времени [8]. Функция выводит блок памяти, занимаемый измерительными данными, целиком. Так как *write()* является функцией байтового вывода, при передаче измерительных данных необходим перевод из формата числа с плавающей точкой в байты. При приеме измерительных данных программным обеспечением на персональном компьютере осуществляется обратный процесс.

Таблица 1

Сравнительная оценка ресурсозатратности двумерной и трехмерной ЭИТ

Вид исследования	$N_{\text{ЭБ}}$ , шт	$N_{\text{ЭЛ}}$ , шт	$N$ , шт	$N_{\text{ф}}$ , В	$t_{\text{отн}}$
Двумерная ЭИТ	1	16	16	208	1
Трехмерная ЭИТ	2	16	32	928	4,46
Трехмерная ЭИТ	10	16	160	25120	120,8

Применение реализованного алгоритма передачи измерительных данных, снижающего нагрузку на микроконтроллер, также позволило повысить скорость обмена данными между измерительным устройством и персональным компьютером до максимальной для выбранного микроконтроллера  $V = 921600$  бит/с [12].

Таким образом, к достоинствам второго алгоритма можно отнести:

- высокую скорость обмена данных между микроконтроллером и персональным компьютером;
- всего одну операцию, используемую при выводе всего массива измерительной информации;
- снижение нагрузки на микропроцессор микроконтроллера вследствие снижения потребления процессорного времени;
- повышенную надежность передаваемых измерительных данных.

Недостатками данного алгоритма являются сложность реализации и невозможность использования измерительных данных без разработанного под эти нужды программного обеспечения.

Для сравнения результатов работы разработанных алгоритмов на аппаратно-программном комплексе ЭИТ [5, 6] было проведено исследование зависимости времени задержки, источником которой является передача измерительных данных  $t$ , от применяемого алгоритма передачи измерительных данных и скорости обмена данными.

Использована ИИС [6], фантом с подключенным электродным поясом, выбрана следующая конфигурация:  $N_{EB} = 1$ ,  $N_{EL} = 1$ . На основании предварительно проведенных исследований разработанных алгоритмов были выбраны значения  $V = 230400$ , 460800 и 921600 бит/с.

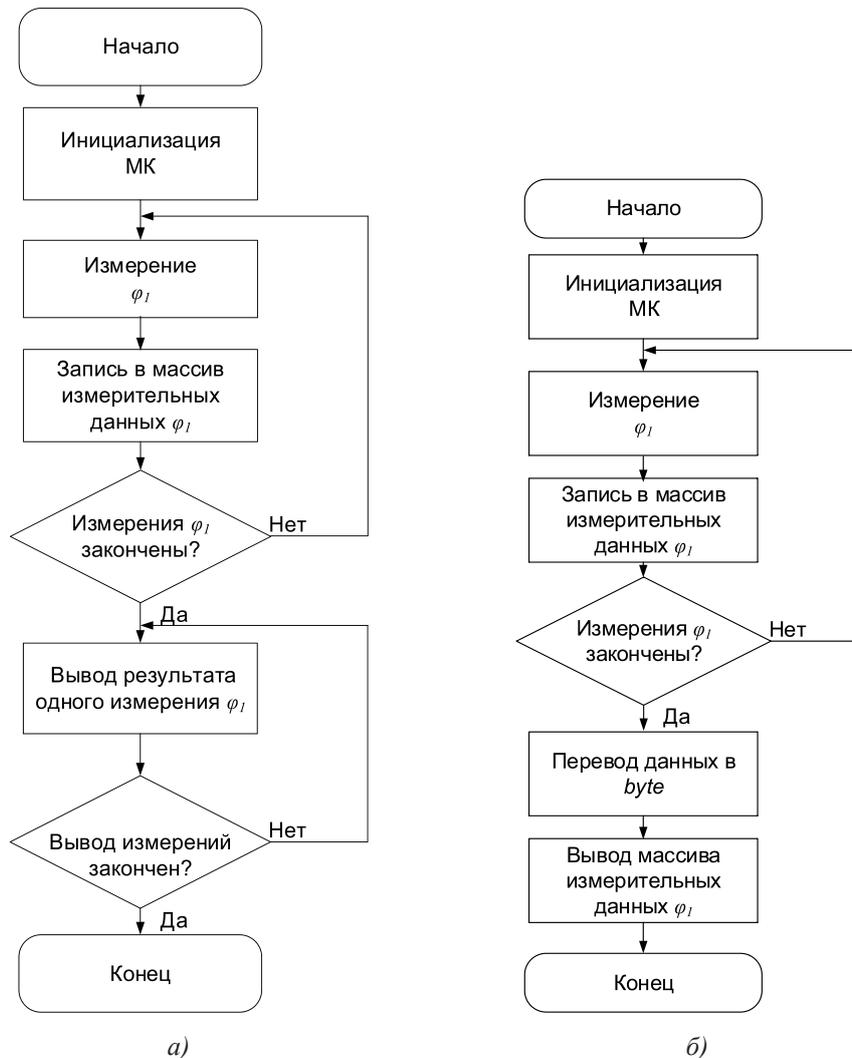


Рис. 3. а) алгоритм построчного вывода измерительной информации;  
б) алгоритм вывода массива измерительной информации

Таблица 2

Сравнение  $t$  при различных параметрах передачи данных

$V$ , бит/с	Алгоритм	$t$ , мс	Возникновение ошибок при передаче данных
230400	Построчный вывод	140	нет
230400	Вывод массива	75	нет
460800	Построчный вывод	75	да
460800	Вывод массива	40	нет
921600	Построчный вывод	45	да
921600	Вывод массива	30	нет

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Анализ результатов проведенного исследования показывает практически двукратное уменьшение  $t$  при применении усовершенствованного алгоритма с той же  $V$ . Кроме того, благодаря уменьшению нагрузки на микроконтроллер измерительного устройства повышение  $v$  до 921600 бит/с не привело к появлению ошибок при передаче измерительных данных. Таким образом, применение усовершенствованного алгоритма передачи измерительных данных с учетом повышения  $V$  позволило уменьшить  $t$  почти в 5 раз, со 140 мс до 30 мс, что позволяет увеличить скорость обновления с 7 кадров/с до 33 кадров/с соответственно.

### Заключение

В работе показано существенное влияние временных задержек, вызванных недостаточной скоростью передачи данных, на процесс визуализации методом электроимпедансной томографии, особенно при реализации многопоясной схемы измерения.

В результате проведенных исследований разработаны два алгоритма передачи данных между измерительным устройством и персональным компьютером в составе аппаратно-программного комплекса электроимпедансной томографии. Проведено сравнение разработанных алгоритмов по нескольким параметрам, в результате которого выбран алгоритм, обеспечивающий наилучшую производительность. Применение данного алгоритма позволило значительно повысить скорость передачи данных, повысить ее надежность и снизить нагрузку на микроконтроллер измерительного устройства.

Полученные результаты позволяют реализовать методы трехмерной электроимпедансной томографии с минимизацией временных задержек, связанных с передачей измерительных данных.

*Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для*

*государственной поддержки молодых российских ученых МК-196.2017.8.*

### Список литературы

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Электроимпедансная томография. Томск: Изд-во НТЛ, 2004. 192 с.
2. Алексанян Г.К., Денисов П.А., Кучер А.И. Исследование применимости натурно-модельного подхода для задач реконструкции поля проводимости при многочастотной электроимпедансной томографии // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11–5. С. 895–899.
3. Алексанян Г.К., Кучер А.И., Демьянов В.В. Разработка печатной платы коммутаторов и источника тока для информационно-измерительной системы электроимпедансной томографии биологических объектов // *Теория и практика современной науки*. 2016. № 11 (17). С. 24–29.
4. Teschner E., Imhoff M., Leonhardt S. Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring/ 2nd edition. Draeger Medical GmbH [Электронный ресурс]. URL: [https://www.draeger.com/library/content/rsp\\_eit\\_booklet\\_9066788\\_en\\_2.pdf](https://www.draeger.com/library/content/rsp_eit_booklet_9066788_en_2.pdf) (дата обращения: 29.09.2018).
5. Сулыз А.В., Кучер А.И., Поликарпов А.В., Бадашев В.В. Применение форматов обмена данных для хранения математических моделей объектов исследований в задачах электроимпедансной томографии // *Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: 19-я Междунар. молодежная науч.-практ. конф.*, (г. Новочеркасск, 27–28 февраля 2018 г.). Новочеркасск, 2018. С. 275–277.
6. Алексанян Г.К., Щербаков И.Д., Кучер А.И., Рябенко В.Ю. Разработка программного обеспечения для хранения и обработки данных в задачах электроимпедансной томографии // *Современные проблемы физико-математических наук: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* (г. Орёл, 22–25 ноября 2018 г.). Орёл, 2018. С. 312–315.
7. Andy Adler, William R.B. Lionheart. Uses and abuses of EIDORS: An extensible software base for EIT // *Physiological measurement*. 2006. Vol. 27. P. 25–42.
8. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования С. М.: Вильямс, 2015. 304 с.
9. Trevor Martin. Designer's Guide to the Cortex-M Processor Family, 2nd Edition. Newnes, 2016. 490 p.
10. Function printf [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cplusplus.com/reference/cstdio/printf/> (дата обращения: 01.11.2018).
11. Function write [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cplusplus.com/reference/cstdio/write/> (дата обращения: 01.11.2018).
12. Скорость передачи данных через UART // Дмитрий Бравиков [Электронный ресурс]. URL: <https://bravikov.wordpress.com/2012/08/24/скорость-передачи-данных-через-uart/> (дата обращения: 01.11.2018).

УДК 004.046

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА УЧАСТКОВ ЭПИЛЕПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В СОСТАВЕ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ ХРАНЕНИЯ, СИСТЕМАТИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Алексеев Д.М., <sup>1</sup>Минюк А.Н., <sup>2</sup>Понимаш З.А., <sup>1</sup>Шумилин А.С.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, Таганрог, e-mail: minyuk@neurotech.ru;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Институт радиотехнических систем и управления, Таганрог, e-mail: ponimash@neurotech.ru

Цель исследований заключается в разработке и оценке эффективности общей схемы облачной платформы, обеспечивающей выполнение определенного спектра задач, а также в выборе и анализе классификатора для решения задачи выделения зон эпилептической активности как части облачной платформы. В результате исследований разработана схема облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных, которая включает в себя четыре основных уровня. Разделение потоков данных на уровни, стандартизация протоколов передачи информации и форматов её хранения позволяют создать гибкую, универсальную и высоконадежную медицинскую информационную систему. Архитектура позволяет быстро интегрироваться в существующие медицинские системы и внедрять используемые в медицинской практике аппаратные средства, а также индивидуальные мобильные устройства. Единое пространство для хранения обезличенных данных дает возможность осуществлять исследование значительного массива классифицированной медицинской информации средствами машинного обучения. В рамках разработанной облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных достигнута эффективная работа классификатора, основанного на выявлении потенциально опасных амплитуд. Точность (93%) и высокая скорость работы данного классификатора являются оптимальными для разработанной облачной платформы.

**Ключевые слова:** облачные вычисления, классификатор, медицинские исследования, машинное обучение, хранение данных, обработка данных, эпилептическая активность, систематизация данных

## AUTOMATIC SEARCH SYSTEM OF EPILEPTIC ACTIVITY SITES IN THE COMPOSITION OF CLOUD STORAGE, SYSTEMATIZATION AND MEDICAL DATA PROCESSING

<sup>1</sup>Alekseev D.M., <sup>1</sup>Minyuk A.N., <sup>2</sup>Ponimash Z.A., <sup>1</sup>Shumilin A.S.

<sup>1</sup>Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Southern Federal University, Institute of Computer Technologies and Information Security, Taganrog, e-mail: minyuk@neurotech.ru;

<sup>2</sup>Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Southern Federal University, Institute of Radio Systems and Control, Taganrog, e-mail: ponimash@neurotech.ru

In this article the main purpose of the research is developing and evaluating the effectiveness of a general scheme of a cloud platform that ensures the performance of a certain range of tasks, as well as to select and analyze a classifier to solve the problem of identifying zones of epileptic activity as part of a cloud platform. Result of research is a scheme of cloud storage platform, systematization and processing of medical data has been developed, which includes four main levels. The division of data streams into levels, standardization of information transfer protocols and its storage formats, allows creating a flexible, universal and highly reliable medical information system. The architecture allows you to quickly integrate into existing medical systems and implement the hardware used in medical practice, as well as individual mobile devices. A single storage space for anonymous data makes it possible to carry out a study of a significant array of classified medical information using machine learning tools. Within the framework of the developed cloud storage platform, systematization and processing of medical data, an efficient operation of the classifier based on identifying potentially dangerous amplitudes was achieved. Accuracy (93%) and high speed of this classifier are optimal for the developed cloud platform.

**Keywords:** cloud computing, classifier, medical research, machine learning, data storage, data processing, epileptic activity, data systematization

В век всеобщей информатизации и активного развития информационных технологий медицинские учреждения в ходе выполнения диагностических исследований обрабатывают и систематизируют значительные объемы данных для последующей реабилитации и лечения пациентов в целом. Эффективность оказываемой

медицинской помощи прямо пропорциональна оперативности и удобству использования данной информации специалистами медицинских организаций. Наличие задач, связанных с хранением, систематизацией и обработкой увеличивающихся объемов данных, обуславливает актуальность разработки и интеграции в медицинские уч-

реждения медицинских информационных систем (МИС).

Возможность оперирования данными в электронном виде обеспечивает оперативность получения врачом необходимой информации о пациенте, что увеличивает скорость принятия решения о постановке диагноза и методах лечения [1].

В настоящий момент наиболее актуальными проблемами при реализации медицинских систем являются проблемы, связанные с идентификацией, классификацией и систематизацией нервно-психических заболеваний. К классу данных патологий относят эпилепсию как одно из наиболее распространенных нервно-психических заболеваний, которому подвержено около 1% человечества.

Электроэнцефалография (ЭЭГ), которая была предложена австрийским психиатром и психофизиологом Хансом Бергером в 1924 г., на сегодняшний день рассматривается как основной метод исследования функциональной активности головного мозга. ЭЭГ – это запись суммарной электрической активности мозга, которая позволяет судить о его физиологической зрелости, функциональном состоянии, общемозговых расстройствах и их характере. Активность нейронов мозга при эпилептической активности отличается от нормального состояния, что демонстрируется в сигналах ЭЭГ. Обнаружение эпилептической активности в сигналах ЭЭГ представляет собой достаточно сложную задачу, в связи с тем, что до настоящего времени неизвестен точный механизм возникновения эпилептических припадков. Разработано множество методов для изучения и анализа сигналов ЭЭГ с целью выявления патологических изменений мозга во время эпилептических приступов. Для автоматического обнаружения эпилептической активности с использованием сигналов ЭЭГ в основном используются линейные (частотно-временные, математические и статистические) методы, где не учитывается нелинейность анализируемого сигнала [2].

Одним из актуальных направлений в области разработки и реализации систем хранения, систематизации и обработки медицинских данных является использование возможностей облачных сервисов.

Основной целью реализации облачной платформы является создание единого информационного пространства для сбора, хранения и предоставления результатов медицинских исследований, с использованием распределенной команды квалифицированных медицинских специалистов. К категории медицинских исследований

относятся результаты медицинских исследований, проведенных с использованием диагностического оборудования различных производителей.

Полученные данные могут использоваться как медицинскими учреждениями, так и научно-исследовательскими организациями. Пациент может предоставлять результаты собственных медицинских исследований другим пользователям облачной платформы или группам квалифицированных медицинских специалистов. Данные могут быть использованы медицинским персоналом, который оказывает комплекс услуг по их исследованию, анализу или экспертизе, после чего предоставляет результаты исследований.

Одной из ключевых задач при реализации облачной системы хранения, систематизации и обработки медицинских данных является разработка системы автоматического поиска участков эпилептической активности. В рамках работы цель исследований заключается в разработке и оценке эффективности общей схемы облачной платформы, обеспечивающей выполнение определенного спектра задач, а также в выборе и анализе классификатора для решения задачи выделения зон эпилептической активности как части облачной платформы.

Основными задачами при реализации облачной платформы являются:

- предоставление эффективных и удобных механизмов для обмена данными обследований между различными пользователями платформы;
- реализация интерфейсов для интеграции в существующие медицинские информационные системы (Hospital Information Systems);
- создание многофункционального пользовательского интерфейса и базы данных для системы анализа с использованием алгоритмов машинного обучения;
- разработка облачного сервиса (SaaS) для хранения, обработки и классификации медицинских данных.

### Материалы и методы исследования

При решении задачи выбора и анализа классификатора для выделения зон эпилептической активности предполагается оценка трех ее типов:

- абсансная;
- пик – медленные волны;
- острые волны.

В качестве материалов исследования при построении системы автоматизированного поиска зон ЭПИ-активностей используются четыре типа классификаторов:

1. Классификатор, основанный на построении нормированной взаимокорреляционной функции (далее ВКФ).

2. Классификатор, базирующийся на обучении нейрона с сигмоидальной функцией активации и с MSE (Mean Square Error – средний квадрат ошибки) как функцией потерь.

3. Классификатор, построенный на базе одномерной сверточной сети.

4. Классификатор, основанный на выявлении потенциально опасных амплитуд.

Для решения задачи хранения, систематизации и обработки медицинских данных разработана облачная платформа, общая схема которой представлена на рис. 1.

Разработанная облачная система включает 4 основных уровня:

1. Data Storage layer: представляет собой хранилище данных «Global Storage», которое включает базу данных для хранения обследований и обезличенных отчетов, а также различную диагностическую, антропометрическую и демографическую информацию о пациентах, не используя привязку к персональным данным. Можно сделать вывод, что хранилище данных содержит полную информацию для обучения машинных алгоритмов. Безопасность данных достигается за счет идентификации пациента по защищенному уникальному идентификатору.

2. Data Consumer layer (уровень потребителей данных): включает в себя системы, осуществляющие прием и обработку данных из «Global Storage», а также передачу в «Global Storage» новых данных. Данный уровень связан с уровнем «Global Storage» посредством стандартизированного протокола «Storage API». Потребителями данных могут являться:

– AI/ML Server (Artificial Intelligence/Machine Learning): реализует алгоритмы машинного обучения для анализа и классификации накопленных медицинских данных.

– HIS (hospital information system) – медицинская информационная система, разработанная сторонними

производителями (Third-party HIS software), которая имеет инструменты для взаимодействия с «Global Storage» посредством «Storage API».

– CloudIn Workflow Manager – разрабатываемая система, которая содержит базу персональных данных пациентов. Реализация системы планируется в соответствии с требованиями HIPAA Compliance [3].

3. Software layer: содержит программные средства конечных клиентов, по результатам обследования которых формируются и отображаются медицинские данные (обследования в виде сигналов, графиков и диаграмм, а также отчетные и персональные данные пациентов).

4. Hardware layer: на данном уровне рассматривается аппаратное диагностическое оборудование различных производителей для проведения обследований: например, электроэнцефалографы для анализа функциональной активности головного мозга (наличия ЭПИ-активности).

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим предложенные типы классификаторов, используемых для построения системы автоматизированного поиска зон ЭПИ-активностей.

1. Классификатор, основанный на построении нормированной ВКФ: в качестве паттерна использовались сигналы с известной меткой класса. Если значение ВКФ превышает 0,8, то считается, что найдена ЭПИ-активность нужного класса. Такой метод обеспечивает среднюю точность около 60%, однако вероятность ложной тревоги составляет 0,2, что является недопустимым для решения поставленной задачи.

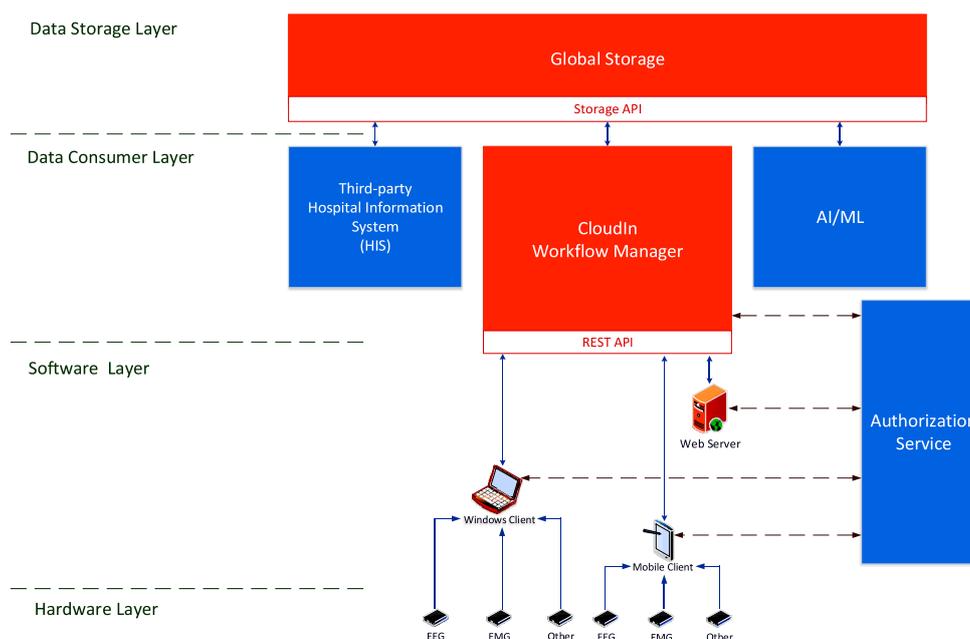


Рис. 1. Общая схема облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных

2. Классификатор, базирующийся на обучении нейрона с сигмоидальной функцией активации и с функцией потерь Mean Square Error (MSE) – средний квадрат ошибки [4]. Имеется выборка из 10 сигналов на каждый класс, которая искусственно расширена с помощью добавления шума с нормальным и равномерным распределением, добавления тренда и низкочастотных составляющих, соответствующих дельта-волнам. После расширения выборка составляет 300 сигналов на каждый класс. Средняя точность на тестовой выборке увеличилась до 83 %, вероятность ложной тревоги составила 0,05. Ложное срабатывание наблюдается только на артефактах, схожих с ЭПИ. Наибольшее количество ложных срабатываний характерно для шага > 1 в связи с повышением порога. Результат работы данной системы с учетом указанных условий представлен на рис. 2.

Недостатком рассмотренной системы является «сканирование» сигнала окна с шагом равным 1. Результат прохождения одного слоя нейронной сети записывается в виде

$$Y(x) = f_a(W \cdot x);$$

$$f_a(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-x_i}}.$$

где Y – вектор выхода, x – вектор входа, W – матрица весовых коэффициентов.

Проблема заключается в низкой скорости работы данной системы в связи с необходимостью постоянного умножения матрицы на вектор (для средней записи требуется около 500000 умножений). Проход

с шагом > 1 неосуществим, так как классификатор не инвариантен к смене фазы, из-за чего уровень сигнала снижается с 0,9 до 0,7.

3. Классификатор, построенный на базе одномерной сверточной сети: сверточная сеть инвариантна к сдвигу фазы.

Свёрточная нейронная сеть – специальная архитектура искусственных нейронных сетей, предложенная в 1988 г. Яном Лекуном и нацеленная на эффективное распознавание изображений, входит в состав технологий глубокого обучения [5].

Архитектура системы следующая:

1DConv(3) → Prelu → Pooling →  
1DConv(2) → 1DConv(3) → Prelu →  
Pooling → 1DConv(2) → 1DConv(3) →  
Prelu → Pooling → Full → Prelu → Softmax,

где 1DConv(x) – одномерный сверточный слой, x – размер ядра свертки, Prelu – функция активации P-Relu, Pooling – слой Max Pooling (обеспечивает выбор из окрестности максимального значения, что позволяет системе быть инвариантной к сдвигам сигнала), Full – полносвязный слой, Softmax – полносвязный softmax-слой. В качестве функции ошибки используется перекрестная энтропия.

При расширении выборки наряду с методами, используемыми для второго классификатора, были применены сдвиги сигнала на случайное число отсчетов (равное 9).

Установлено, что точность составляет 95 % при условии сканирования сигнала с шагом 27. Это позволяет повысить скорость в 3 раза, однако подобный прирост недостаточен. Пример работы данного классификатора представлен на рис. 3.

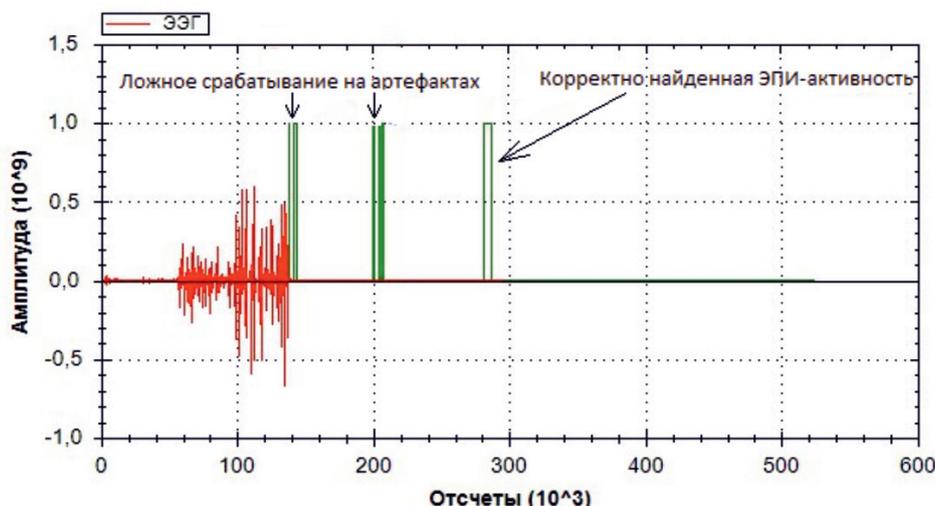


Рис. 2. Результат работы системы (шаг = 3)

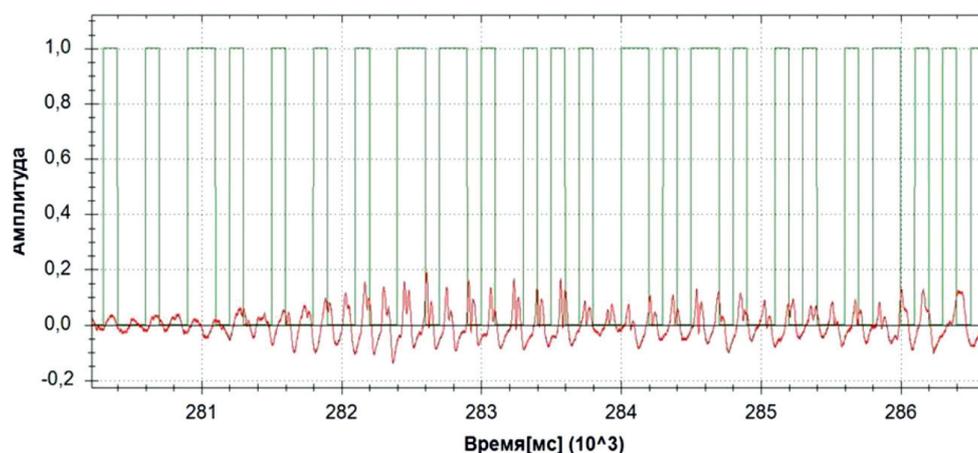


Рис. 3. Пример работы классификатора на базе одномерной сверточной сети

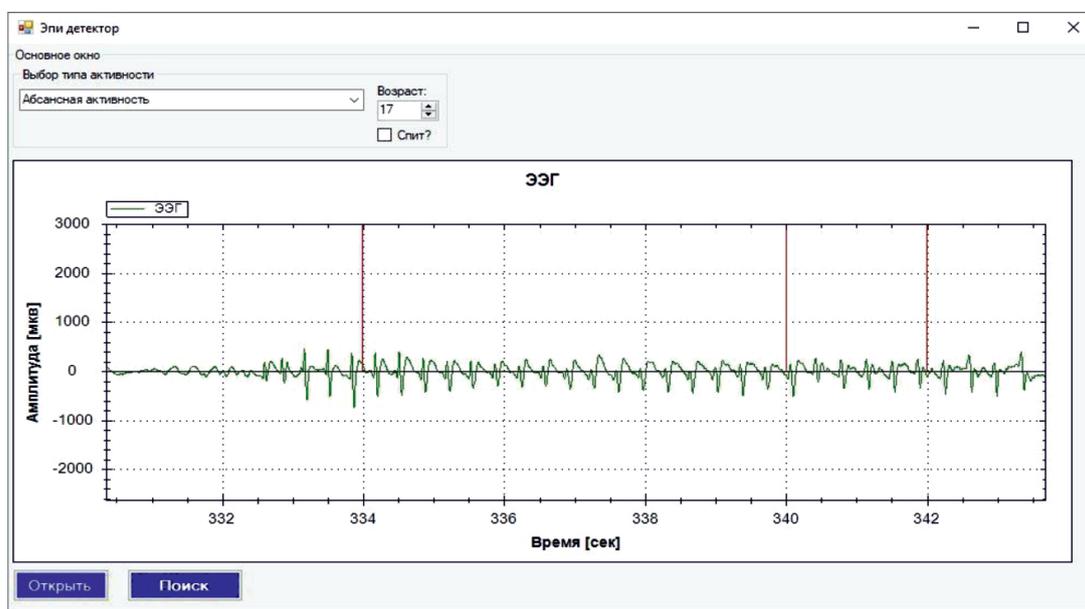


Рис. 4. Результат работы классификатора в «ЭПИ-детектор»

4. Классификатор, основанный на выявлении потенциально опасных амплитуд: для установления порога учитываются следующие данные – возраст человека (взрослый человек или ребенок) и текущее состояние (сон или бодрствование). Сигналы, у которых амплитуда превышала порог, классифицируются с помощью следующего алгоритма: вычислялся модуль спектра сигнала, который классифицируется с помощью метода ближайшего соседа, где функция расстояния представляют собой взвешенную сумму обратной величины к расстоянию в пространстве L2 и коэффициента корреляции.

$$r(x^{(1)}, x^{(2)}) = \frac{w_1}{1 + \sqrt{\sum_{i=0}^N (x_i^{(2)} - x_i^{(1)})^2}} + \frac{w_2 \cdot \text{cov}(x^{(1)}, x^{(2)})}{\sqrt{D(x^{(1)}) \cdot (x^{(2)})}}$$

Точность данной системы на тестовой выборке составляет 93%. Результат работы выбранного классификатора, реализованного в рамках тестового прикладного программного обеспечения «ЭПИ-детектор», представлен на рис. 4.

### Выводы

Оценка эффективности разработанной облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных.

Иерархичное разделение потоков данных на уровни, стандартизация протоколов передачи данных и форматов их хранения обеспечивают создание универсальной, гибкой и надежной медицинской информационной системы. Разработанная архитектура позволяет быстро интегрироваться в существующие медицинские системы. Единое пространство для хранения обезличенных данных дает возможность осуществлять исследование значительного массива классифицированной медицинской информации средствами машинного обучения.

В рамках разработанной облачной платформы хранения, систематизации и обработки медицинских данных достигнута эффективная работа классификатора, основанного на выявлении потенциально опасных амплитуд. Точность (93%) и высокая скорость работы данного классификатора являются оптимальными для разработанной облачной платформы.

Стоит отметить, что данные результаты получены с использованием небольшой тестовой выборки, т.е. количество сигналов

на каждый класс измерялось десятками. Для повышения репрезентативности выборки необходимо ее увеличение. В связи с этим направления дальнейшей работы в области исследований по данной тематике связаны с увеличением тестовой выборки при проведении экспериментов по анализу классификаторов для автоматического поиска ЭПИ-активности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07 00 50.*

### Список литературы

1. Митькина П.А. Особенности хранения медицинской информации // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/05/82546> (дата обращения: 27.11.2018).
2. Артеменко С.В. Нейросетевые алгоритмы обработки электроэнцефалограмм для диагностики эпилепсии: автореф. ... канд. техн. наук [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bsui.by/ru/sm.aspx?guid=814633> (дата обращения: 26.11.2018).
3. Health Insurance Portability and Accountability Act [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Health\\_Insurance\\_Portability\\_and\\_Accountability\\_Act](https://en.wikipedia.org/wiki/Health_Insurance_Portability_and_Accountability_Act) (дата обращения: 28.11.2018).
4. MSE [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MSE> (дата обращения: 28.11.2018).
5. Свёрточная нейронная сеть [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёрточная\\_нейронная\\_сеть](https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёрточная_нейронная_сеть) (дата обращения: 29.11.2018).

УДК 539.2

**О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЯ ПРОЧНОСТИ В РАСЧЕТАХ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НАГРУЖЕНИЯ****Белов А.В., Неумоина Н.Г., Поливанов А.А.***Камышинский технологический институт (филиал) ГОУ «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: polivanov@kti.ru*

В работе рассматривается один из подходов к описанию обобщенного критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева, используемого при определении эквивалентного напряжения, необходимого для описания процессов накопления повреждений в материале с помощью кинетического уравнения повреждаемости Ю.Н. Работнова. При решении подобных задач выбор критерия прочности, описывающего изменение эквивалентного напряжения наилучшим образом, представляет значительную сложность, ввиду того, что для этого требуются особые экспериментальные данные, в частности результаты испытаний материалов на сжатие и кручение. Предлагается сравнительно простой способ определения обобщенного критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева, заключающийся в использовании для его вычисления относительного остаточного сужения, которое получено почти для всех конструкционных материалов. В работе был проведен анализ экспериментальных данных, который показал, что такой подход обеспечивает возможность вычисления эквивалентного напряжения с достаточной точностью. Кроме этого, с использованием обобщенного критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева и предложенного способа его конкретизации был проведен расчет напряженно-деформированного состояния плоской пластины с отверстием. Полученные результаты свидетельствуют о том, что такие параметры, как степень поврежденности материала и время до его разрушения, определяются более достоверно, чем с использованием классических критериев длительной прочности.

**Ключевые слова:** критерий длительной прочности, высокотемпературная ползучесть, повреждаемость, напряженно-деформированное состояние

**ABOUT THE ELECTION STRENGTH CRITERIA IN CALCULATIONS FOR LONG-TERM STRENGTH FOR NON-ISOTHERMAL PROCESSES OF LOADING****Belov A.V., Neumoina N.G., Polivanov A.A.***Reader of Kamyshev Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshev, e-mail: polivanov@kti.ru*

In this work describes considers one approach to the description of the Pisarenko-Lebedev's generalized long-term strength criterion used to determine the equivalent stress necessary to describe the damage accumulation processes in the material by using the Yu. Rabotnov's kinetic equations of damage. In solving such problems, the choice of the strength criterion, which describes the change of the equivalent stress in the best way, is of considerable complexity, in view of the fact that special experimental data, in particular, the results of testing materials for compression and torsion, are required for this. A relatively simple method is proposed for determining for the Pisarenko-Lebedev's generalized long-term strength criterion, which consists in using for its calculation the relative residual restriction, which is obtained for almost all structural materials. In the work analyzed the experimental data, which showed that this approach provides the ability to calculate the equivalent stresses with sufficient accuracy. In addition, using the generalized long-term strength criterion of Pisarenko-Lebedev and the proposed method for specifying it, the stress-strain state of a flat lamina with a hole was calculated. The obtain results suggest that such parameters as the degree of damage to the material and the time to its destruction are determined more reliably than using the classical criteria of long-term strength.

**Keywords:** long-term strength criterion, high temperature creep, damage, stress-strain state

Обеспечение длительной прочности различных изделий и конструкций, работающих в условиях неизотермических процессов нагружения, продолжает оставаться актуальной задачей механики деформируемого твёрдого тела. Для оценки длительной прочности таких изделий на первом этапе расчёта необходимо максимально достоверно определить всю историю изменения их напряжённо-деформированного состояния с учётом возникающих упругих и пластических деформаций, развития деформаций ползучести и сопутствующей им деградации механических свойств материала. Тогда, располагая результатами расчёта

напряжённо-деформированного состояния изделия, можно в первом приближении выявить опасные зоны и воспользоваться критериями длительной прочности по разрушению для оценки безопасного срока работы изделия [1]. Однако такой подход к оценке длительной прочности изделия, находящегося в условиях сложного и неоднородного напряжённого состояния, носит достаточно упрощённый характер. Для более точного определения долговечности изделия сложной формы в условиях сложного неоднородного напряжённого состояния необходимо использовать более общую постановку задачи, основанную на использовании кон-

тинуальной механики разрушения, предложенной Ю.Н. Работновым [2, 3]. Этот подход предполагает введение в определяющие уравнения, описывающие напряжённо-деформированное состояние изделия, скалярного параметра повреждаемости материала при ползучести  $\omega_c$ . При этом для описания процессов накопления повреждения в материале используется кинетическое уравнение повреждаемости Ю.Н. Работнова [2]

$$\frac{d\omega_c}{dt} = C \left( \frac{\sigma_{\text{экв}}}{1 - \omega_c} \right)^Q, \quad (1)$$

где  $\omega_c$  – скалярный параметр повреждаемости;  $C$  и  $Q$  – параметры, зависящие от температуры и определяемые по кривым длительной прочности, полученным из испытаний на одноосное растяжение стандартных образцов при фиксированных значениях температуры;  $\sigma_{\text{экв}}$  – эквивалентное напряжение, представляющее собой один из критериев длительной прочности.

Для описания истории изменения напряжённо-деформированного состояния изделия необходимо иметь информацию о механических свойствах материала, полученных в результате испытания стандартных образцов:

- на одноосное растяжение при различных фиксированных значениях температур с такой скоростью нагружения, при которой реологические свойства материала не проявляются, с построением на основе этих испытаний кривых мгновенного деформирования материала в пределах диапазона температур, при котором предполагается эксплуатация изделия;

- на ползучесть при различных фиксированных значениях напряжений и температур с построением соответствующих кривых ползучести и диаграмм длительной прочности.

Кроме того, необходимо экспериментальным или расчётным путём получить информацию об изменении температурного поля изделия в процессе его нагружения, а также иметь надёжные методы интерполяции и экстраполяции кривых ползучести и диаграмм длительной прочности по температуре и времени на периоды, соответствующие времени эксплуатации изделия [4, 5].

Как правило, такие задачи решаются численными методами, при этом процесс нагружения изделия разбивается на малые по времени этапы, а само изделие – на малые элементы, напряжённое состояние которых можно считать однородным. По этим данным необходимо для каждого этапа нагружения изделия определить характеристики

напряжённо-деформированного состояния и степень повреждённости его элементов. И, таким образом, переходя от этапа к этапу, проследить историю деформирования изделия вплоть до его разрушения.

Цель исследования: анализ известных подходов к описанию обобщенного критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева, используемого при определении эквивалентного напряжения, необходимого для описания процессов накопления повреждений в материале с помощью кинетического уравнения повреждаемости Ю.Н. Работнова, выбор способа его конкретизации и проверка достоверности результатов моделирования напряжённо-деформированного состояния плоской пластины, получаемых при использовании данного критерия.

### Материалы и методы исследования

Определению напряжённо-деформированного состояния изделий с учётом повреждаемости материала при ползучести посвящён целый ряд научных исследований. Некоторые из них приведены в работах [6–8]. При этом одним из важных и сложных вопросов является определение эквивалентных напряжений. Сложность этой задачи связана с большим количеством разработанных критериев длительной прочности и отсутствием чётких рекомендаций по их использованию. Наиболее обоснованным и универсальным, по мнению авторов, является обобщённый критерий длительной прочности Писаренко – Лебедева [9].

$$\sigma_{\text{экв}} = \chi \sigma_i + (1 - \chi) \cdot \sigma_1. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma_{\text{экв}}$  – эквивалентное напряжение;  $\chi$  – коэффициент пластичности материала, характеризующий степень ответственности за макроразрушение сдвиговой деформации, создающей благоприятные условия для разрушения материала и образования трещин [9],  $\sigma_i$  – интенсивность напряжений, которая при плоском напряженном состоянии определяется выражением  $\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2^2}$ ,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – главные нормальные напряжения.

При оценке длительной прочности изделий и конструкций коэффициент  $\chi$  может быть определён по результатам испытаний на длительную прочность сплошных цилиндрических образцов в условиях одноосного растяжения и сжатия, а также тонкостенных трубчатых образцов, подвергнутых испытанию на кручение. При этом вычисляются данные характеристики по формулам [9, 10]:

$$\chi = \sigma_{\text{дл}}^P / \sigma_{\text{дл}}^C, \quad (3)$$

$$\chi = (\sigma_{\text{дл}}^P / \tau_{\text{дл}} - 1) (\sqrt{3} - 1), \quad (4)$$

где  $\sigma_{\text{дл}}^P$ ,  $\sigma_{\text{дл}}^C$ ,  $\tau_{\text{дл}}$  – пределы длительной прочности при растяжении, сжатии и чистом сдвиге (кручении).

Проблемой применения данного критерия длительной прочности является отсутствие экспериментальных данных о длительной прочности материалов на сжатие и кручение.

В работах [8, 11] параметр  $\chi$  является функцией интенсивности касательных напряжений и температуры и определяется из условия совпадения диаграмм

длительной прочности при одноосном растяжении  $\sigma(t^*)$  и чистом кручении  $\tau(t^*)$ , при этом  $\chi$  находится из выражения

$$\chi = \frac{\sigma - \tau}{\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{3}\right)\sigma \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{3}\right)\tau}, \quad (5)$$

где напряжения  $\sigma$  и  $\tau$  выбираются для одного и того же момента времени  $t^*$ . Для заданного времени  $t^*$  по диаграммам длительной прочности при растяжении и чистом кручении находятся соответствующие средние значения интенсивности касательных напряжений  $S$ . Эта процедура повторяется для различных значений при различных фиксированных температурах  $T$ . В результате строится зависимость  $\chi = f(S, T)$ , которая в дальнейшем используется при определении эквивалентного напряжения. Таким образом, данная методика предполагает проведение сложных и длительных испытаний на растяжение и чистое кручение трубчатых образцов, а это не всегда возможно.

Авторы работ [12–14] при использовании обобщенного критерия Писаренко – Лебедева параметр  $\chi$  определяют как отношение длительной прочности материала на осевое растяжение и сжатие при фиксированном значении температуры. Ввиду больших методических трудностей проведения испытаний на осевое сжатие, характеристики ползучести и длительной прочности при этом виде нагружения в справочной литературе, как правило, отсутствуют. Поэтому и в данном случае становится практически невозможным использование обобщенного критерия длительной прочности.

Металлографические исследования, проведенные при испытании на ползучесть и длительную прочность некоторых металлов и сплавов, показывают, что в условиях высокотемпературной ползучести поликристаллических материалов имеют место три типа разрушения: внутризёрненное, связанное со сдвиговыми деформациями в зернах, межзёрненное, вызванное возникновением и развитием клиновидных трещин на стыках зёрен; межзёрненное, связанное с образованием и развитием пор по границам зёрен [2]. Причём при высоких уровнях напряжений и высоких скоростях деформаций преобладает первый тип разрушения, определяемый уровнем действия касательных напряжений или интенсивности напряжений  $\sigma_i = S\sqrt{3}$ . Второй и третий тип разрушения, объединённый одним общим названием межзёрненное разрушение, проявляются при длительных воздействиях сравнительно малых напряжений и связаны с концентрацией напряжений по границам зёрен, а интенсивность их протекания зависит от уровня действующих нормальных напряжений. В реальных условиях в материале изделия в процессе ползучести имеют место все три типа разрушения, но в зависимости от величины нагрузки, продолжительности её действия, температуры преобладающим является тот или иной тип разрушения [13, 14]. По мнению авторов, с помощью критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева можно учитывать изменение типов разрушения материала изделия, если параметр  $\chi$  считать зависящим от уровня действующих напряжений, температуры и длительности развития деформаций ползучести.

В работе [15] авторами предложен простой и удобный для применения в расчётах вариант опре-

деления параметра  $\chi$  при использовании обобщенного критерия прочности Писаренко – Лебедева, в соответствии с которым параметр  $\chi$  для материала принимается равным относительному остаточному сужению при разрыве образца  $\psi$ . Подобный же подход предлагается использовать при определении параметра  $\chi$  в расчётах на длительную прочность. Для этого введем новое обозначение этого параметра  $\chi_c$  и будем предполагать, что  $\chi_c = \psi_c$ , где  $\psi_c$  – относительное остаточное сужение сплошного круглого образца, полученное при его испытании на ползучесть и длительную прочность при постоянных значениях напряжения и температуры. Кроме того, как показывают испытания на ползучесть и длительную прочность стандартных цилиндрических образцов, изготовленных из металлов и сплавов, имеет место следующая закономерность: при высоких уровнях напряжений, существенно превышающих предел текучести материала, преобладает механизм внутризёрненного разрушения (вязкое разрушение), сопровождающееся интенсивным развитием деформации ползучести, локализацией этой деформации и образованием шейки. При этом относительное остаточное сужение образца  $\psi_c$ , полученное при испытании на ползучесть, практически совпадает со значением относительного остаточного сужения  $\psi$ , полученного при стандартном испытании на растяжении сплошных цилиндрических образцов при их мгновенном деформировании до разрыва (ГОСТ 1497-84) при том же значении температуры. В то же время, при низких значениях напряжений, незначительно превышающих предел ползучести материала, преобладают межзёрненные механизмы деформации и разрушения, наблюдается процесс интенсивного охрупчивания материала, образец деформируется равномерно по всей длине вплоть до разрушения без образования шейки, и разрушение происходит при малых значениях накопленной деформации ползучести, но за длительный период времени. При этом относительное остаточное сужение  $\psi_c$  будет принимать значения, близкие к нулю. Исходя из этих наблюдений и предполагая в первом приближении, что относительное остаточное сужение при ползучести образца, доведённого до разрушения, линейно зависит от уровня растягивающих напряжений, при которых происходят испытания, можно построить простую зависимость  $\psi_c = f(\sigma)$  для фиксированных значений температуры

$$\psi_c = \frac{\sigma}{\left(\sigma_B - \sigma_{0,2}/10^5\right)} \psi, \quad (6)$$

где  $\psi_c$  – относительное остаточное сужение стандартного образца круглого поперечного сечения, полученное при испытании на ползучесть и длительную прочность при постоянном напряжении  $\sigma$  при заданной фиксированной температуре  $T$ ;  $\psi$  – относительное остаточное сужение, полученное при растяжении стандартного образца круглого поперечного сечения при его мгновенном деформировании при той же температуре;  $\sigma_B$  – предел прочности материала;  $\sigma_{0,2}/10^5$  – предел ползучести материала при заданной температуре.

Для использования полученного соотношения в расчётах на длительную прочность в справочной литературе имеются все необходимые данные для большинства конструкционных материалов [10]. На рис. 1 и 2 приведены графики зависимости относи-

тельного остаточного сужения при ползучести  $\psi_c$  от напряжения  $\sigma$  (сплошная линия), построенные по данной методике для стали 20 и для стали аустенитного класса 12X18H9T. Кроме того, на графиках нанесены (темные кружки) значения  $\psi_c$  для этих же материалов, полученные экспериментальным путём для различных значений нормальных напряжений при тех же значениях температуры [10]. Анализ графиков показывает достаточно хорошее совпадение экспериментальных данных с предложенной методикой.

Таким образом, с использованием предложенного подхода эквивалентное напряжение для каждого

элемента изделия на соответствующем этапе нагружения будет рассчитываться по формуле

$$\sigma_{\text{экр}} = \psi_c \sigma_i + (1 - \psi_c) \cdot \sigma_1. \quad (6)$$

Здесь  $\psi_c$  определяется в соответствии с соотношением (6). При этом в исходные данные для решения задачи дополнительно вводятся следующие механические характеристики материала для фиксированных значений температуры, соответствующих диапазону её изменения при эксплуатации изделия: предел прочности, предел ползучести и относительное остаточное сужение.

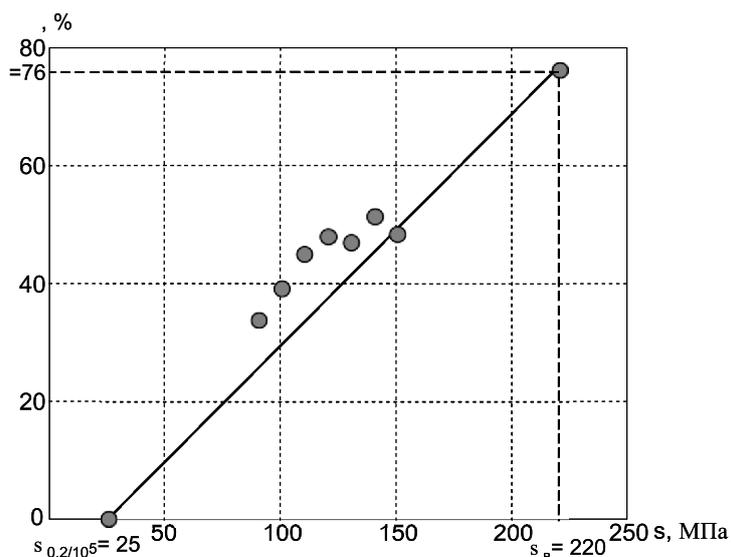


Рис. 1. Зависимость относительного остаточного сужения стали 20 при ползучести  $\psi_c$  от нормального напряжения при температуре 500 °С

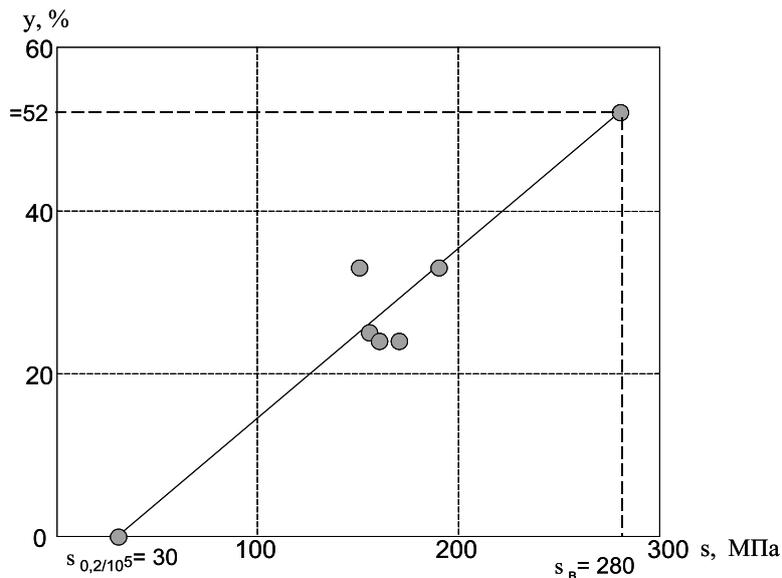


Рис. 2. Зависимость относительного остаточного сужения стали 12X18H9T при ползучести  $\psi_c$  от нормального напряжения при температуре 650 °С

### Результаты исследования и их обсуждение

С целью проверки адекватности предложенного способа конкретизации обобщенного критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева были проведены проверочные расчеты равномерно нагретой до 500 °С однослойной кольцевой пластины с круглым отверстием, находящейся под давлением с верхней стороны (рис. 3). Пластина имеет следующие геометрические размеры:  $R = 110$  мм,  $r = 65$  мм,  $\delta = 10$  мм и изготовлена из материала сталь 20. Была проведена серия расчетов, в которых давление устанавливалось в диапазоне от 7 до 12 МПа, но при этом в каждом расчете оно было неизменным во времени.

Исследовалась зависимость времени до разрушения пластины от давления при использовании четырех различных критериев длительной прочности. Основные результаты расчетов приведены на рис. 4.

В качестве эквивалентного напряжения принимается (рис. 4):

1 – максимальное главное напряжение (критерий Джонсона):  $\sigma_3 = \sigma_1$ ;

2 – интенсивность напряжений (критерий Каца):  $\sigma_3 = S\sqrt{3}$ ;

3 – критерий Сдобырева:  
 $\sigma_3 = 0,5 \cdot (\sigma_1 + S\sqrt{3})$ ;

4 – обобщенный критерий длительной прочности Писаренко – Лебедева  
 $\sigma_3 = \psi_c S\sqrt{3} + (1 - \psi_c) \cdot \sigma_1$ .

На рис. 4 показаны кривые, отражающие зависимость времени до начала процесса разрушения пластины от давления в диапазоне от 9 до 12 МПа, при использовании четырех различных критериев длительной прочности.

Следует отметить, что использование критерия Джонсона дает минимальную оценку времени до разрушения конструкции (хрупкое разрушение), а критерия Каца – максимальную (пластическое разрушение) [14]. Таким образом, при использовании любого критерия длительной прочности диапазон значений времени до

разрушения всегда будет лежать между значениями, полученными при использовании критериев Джонсона и Каца. Критерий Сдобырева является полусуммой этих двух критериев, и график, полученный с его применением, проходит почти посередине.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что выбор критерия длительной прочности существенно влияет на оценку времени до разрушения конструкции, причем это влияние тем больше, чем меньше нагрузка и больше время нагружения конструкции. Предлагаемый вариант конкретизации обобщенного критерия Писаренко – Лебедева позволяет учитывать изменение пластических свойств материала (охрупчивание), которое происходит в процессе развития деформаций ползучести. На рисунке 4 видно, что кривые 3 (критерий Сдобырева) и 4 (обобщенный критерий Писаренко – Лебедева) проходят практически рядом, а при давлении 10,2 МПа – пересекаются. Значения напряжений, действующих в наиболее нагруженных точках пластины при данном давлении приблизительно равны 150 МПа, что соответствует значению  $\psi = 50\%$ . В дальнейшем кривая 4 приближается к кривой 2 (критерий Каца), что соответствует преобладанию вязкого типа разрушения над хрупким. При более низких давлениях критерий Писаренко – Лебедева показывает результаты, близкие к критерию Джонсона. Так, при значении давления 7 МПа критерий Джонсона показал значения времени до разрушения 10000 ч, критерий Каца – 70000 ч, а обобщенный критерий Писаренко – Лебедева – 12500 ч. Анализ уровня действующих напряжений в наиболее нагруженных точках показал, что они не достигают предела текучести, что в свою очередь указывает на преобладание хрупкого типа разрушения над вязким. При этом разница во времени до разрушения при давлении 7 МПа для критериев Джонсона и Каца оказывается весьма значительной и составляет порядка 60000 ч или различается в 7 раз. Поэтому их использование в неизменном виде приводит к получению недостоверного результата.

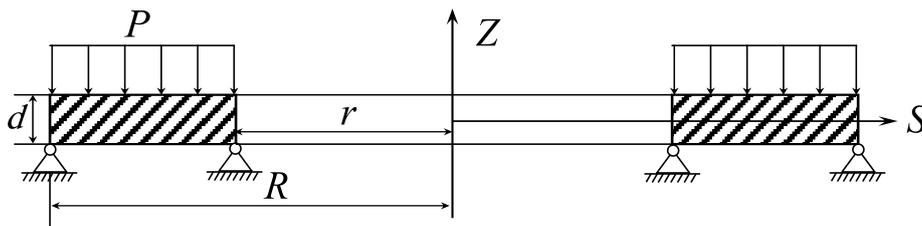


Рис. 3.

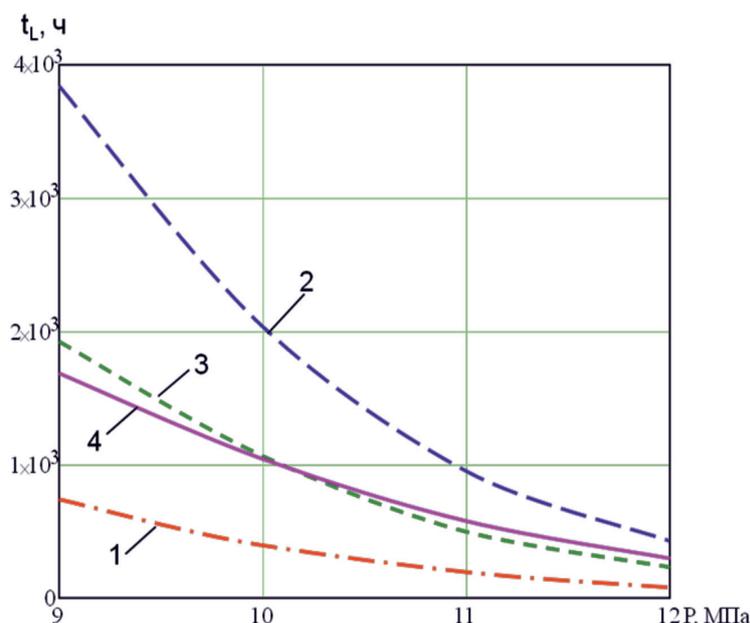


Рис. 4. Зависимость времени локального разрушения пластины от давления

### Заключение

Таким образом, предложенный в данной публикации способ конкретизации обобщенного критерия длительной прочности Писаренко – Лебедева в первом приближении позволяет учесть изменение пластических свойств материала в зависимости от времени нагружения, температуры и уровня действующих напряжений, что дает возможность учитывать преобладание различных типов разрушения (вязкое или хрупкое) и тем самым более точно рассчитать степень поврежденности материала и время до его разрушения. Для более детальной проверки адекватности данного критерия и способа его конкретизации требуются дополнительные исследования на основе данных, полученных в результате натуральных экспериментов, некоторые из которых были представлены ранее в работе [13]. В дальнейшем авторы планируют провести эти исследования.

### Список литературы

1. Волегов П.С., Грибов Д.С., Трусов П.В. Поврежденность и разрушение: классические континуальные теории // Физическая мезомеханика. 2015. Т. 18. № 4. С. 68–87.
2. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с.
3. Хохлов А.В. Критерий разрушения и кривые длительной прочности, порождаемые определяющим соотношением нелинейной теории наследственности Ю.Н. Работнова // Вестник машиностроения. 2017. № 6. С. 39–46.
4. Волегов П.С., Грибов Д.С., Трусов П.В. Поврежденность и разрушение: обзор экспериментальных работ // Физическая мезомеханика. 2015. Т. 18. № 3. С. 11–24.

5. Хохлов А.В. Кривые длительной прочности, порождаемые линейной теорией вязкоупругости в сочетании с критериями разрушения, учитывающими историю деформирования // Труды МАИ. 2016. № 91 [Электронный ресурс]. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75559> (дата обращения: 19.12.2018).

6. Алиев М.М., Шафиева С.В., Гилязова С.Р. Критерий длительной прочности для разносопротивляющихся материалов // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. 2015. Т. 1. № 1. С. 254–257.

7. Арутюнян Р.А. Высокотемпературное охрупчивание и длительная прочность металлических материалов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2015. № 2. С. 96–105.

8. Шевченко Ю.Н., Терехов Р.Г., Брайковская Н.С., Захаров С.М. Исследование процессов разрушения элементов тела в результате повреждаемости материала при ползучести. // Прикладная механика. 1994. Т. 30. № 4. С. 21–30.

9. Лебедев А.А. Развитие теорий прочности в механике материалов // Проблемы прочности. 2010. № 5. С. 127–146.

10. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Издательство «Дельта», 2008. 816 с.

11. Галишин А.З. Определение термовязкопластического состояния оболочек вращения с учётом повреждаемости материала при ползучести // Прикладная механика. 2004. Т. 40. № 5. С. 71–79.

12. Арутюнян Р.А. Охрупчивание и разрушение металлов в условиях высокотемпературной ползучести // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 1. С. 8–12.

13. Белов А.В. Осесимметричное упругопластическое напряжённо-деформированное состояние оболочек вращения с учётом повреждаемости материала при ползучести: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1989. 18 с.

14. Поливанов А.А. Осесимметричное упругопластическое деформирование многослойных оболочек вращения с учётом повреждаемости материала при ползучести: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2004. 19 с.

15. Белов А.В., Неумоина Н.Г. Об использовании обобщенного критерия прочности Писаренко – Лебедева в расчётах на прочность при неизотермических процессах нагружения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9. С. 8–10.

УДК 669:539(073)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ФРИКЦИОННОГО ИЗНОСА  
ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ****Болобов В.И., Кремчев Э.А., Короткова О.Ю.***Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, e-mail: mouse\_pzv@mail.ru*

Фрикционный износ на контактных поверхностях деталей приводит к размерному искажению поверхностей и потере массы деталей машин. На износостойкость влияет прочность, твердость, макро- и микроструктура металла поверхности детали. Применение современных масел и смазочных материалов с поверхностно-активными присадками позволяет значительно уменьшить потери на трение, но горные машины высокой энерговооруженности работают в условиях масляно-абразивного и полусухого трения, что приводит к значительному абразивному и фрикционному износу. Постановка задачи исследования выполнена на основе известных данных и снижении величины линейного и объемного износа при увеличении твердости контактирующих поверхностей. В работе предложены мероприятия по уменьшению фрикционного износа деталей путем увеличения твердости и прочности рабочих поверхностей, достигаемых при использовании высокотемпературной термомеханической обработки. Эффект увеличения фрикционной износостойкости подтвержден серией экспериментов, проведенных на машине трения МИ-1М (производство Россия); в парных испытаниях образцов в виде дисков из Ст45 (ГОСТ 1050-88) после высокотемпературной термомеханической обработки и дисков из Ст45 (ГОСТ 1050-88) после обычной закалки в воде. Как основной результат работы представлен расчетно-экспериментальный метод определения энергоемкости фрикционного износа.

**Ключевые слова:** фрикционный износ, высокотемпературная термомеханическая обработка, удельная энергоемкость износа, потеря массы образцов, путь трения скольжения, путь трения качения

**STUDY OF ENERGY CAPACITY OF FRICTION WEAR OF STEEL 45 SAMPLES  
AFTER VARIOUS HEAT TREATMENT****Bolobov V.I., Kremcheev E.A., Korotkova O.Yu.***St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, e-mail: mouse\_pzv@mail.ru*

Frictional wear on the contact surfaces of parts leads to dimensional distortion of surfaces and weight loss of machine parts. Wear resistance is affected by strength, hardness, macro- and microstructure of the metal surface of the part. The use of modern oils and lubricants with surface-active additives can significantly reduce friction losses, but the mining machines have a high power capacity and work under conditions of oil-abrasive and semi-dry friction, which leads to significant abrasive and friction wear. The statement of the research problem is performed on the basis of known data and a decrease in the magnitude of linear and volumetric wear with an increase in the hardness of the contacting surfaces. The work proposed measures to reduce the frictional wear of parts by increasing the hardness and strength of working surfaces, achieved with the use of high-temperature thermomechanical processing. The effect of increasing frictional wear resistance is confirmed by a series of experiments carried out on a friction machine MI-1M (manufactured in Russia); in paired tests of samples in the form of disks from St45 (GOST 1050-88) after high-temperature thermomechanical treatment and disks from St45 (GOST 1050-88) after the usual quenching in water. As the main result of the work, a calculated-experimental method is presented for determining the energy intensity of frictional wear.

**Keywords:** frictional wear, high-temperature thermomechanical treatment, specific energy-carrying capacity, loss of sample mass, sliding friction path, rolling friction path

Горные машины работают в тяжелых условиях с высокой вариабельностью внешних эксплуатационных факторов, подвергаются воздействию осадков, пыли, агрессивных сред и динамических нагрузок, что является причинами высокой интенсивности износа деталей.

Повышение надежности высоконагруженных горных машин связано с необходимостью снижения интенсивности изнашивания их деталей. Известны работы [1–3], связанные с развитием технологических способов повышения износостойкости деталей горных машин и оборудования. Обилие статей в научно-технических изданиях и проводимых конференций, посвященных проблеме износа высоконагруженной техники, говорят о нерешенности ряда вопросов и высокой актуальности данной темы.

Очевидно, что в зависимости от технологии изготовления деталей горных машин и используемых материалов интересен поиск технического решения, которое позволит решить производственную проблему повышения износостойкости в условиях сохранения энерговооруженности техники.

Существуют различные технические решения и методы, которые позволяют снизить интенсивность изнашивания деталей горного оборудования (применение специальных смазочных материалов и технологий смазки [1, 4, 5], применение более прочных сплавов для изготовления деталей, наплавка сплавов с высокой твердостью, поверхностная закалка, поверхностная пластическая деформация). Эти способы требуют изменения конструкций машин или дополнительного специального оснащения

их производства, что естественным образом усложняет и удорожает процесс.

В данной работе предложено решение, направленное на снижение интенсивности фрикционного изнашивания высоконагруженных деталей горных машин, заключающееся во включении в процесс изготовления отдельных групп контактирующих деталей высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) [6].

Цель исследования: повышение износостойкости поверхностей деталей горных машин на основе совершенствования технологии их высокотемпературной термомеханической обработки (далее в тексте ВТМО) в процессе изготовления [7].

### Материалы и методы исследования

В качестве материала для изготовления образцов была выбрана Сталь 45 (ГОСТ 1050-88) [8], как материал, широко используемый для изготовления конструктивных элементов различного назначения.

Для изготовления образцов были сконструированы и изготовлены сборные подкладные штампы (рис. 1), состоящие из внутреннего пуансона, матрицы с отверстием для фиксации пуансона, верхней крышки и кольца (рис. 1). Для проведения высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) были изготовлены образцы (рис. 2) из материала Сталь 45 (ГОСТ 1050-88), различного диаметра ( $D_1 = 33$  мм,  $D_2 = 36$  мм,  $D_3 = 38$  мм) и высоты ( $h_1 = 27$  мм,  $h_2 = 23$  мм,  $h_3 = 21$  мм), но одинакового объема ( $V = 21$  см<sup>3</sup>), с отверстием в центре.



Рис. 1. Оправка для осаждения заготовок в процессе ВТМО



Рис. 2. Заготовки для изготовления опытных образцов: образец 1 – Ст45 (ГОСТ 1050-88),  $D_1 = 33$  мм  $h_1 = 27$  мм,  $V = 21$  см<sup>3</sup>; образец 2 – Ст45 (ГОСТ 1050-88),  $D_1 = 36$  мм  $h_1 = 23$  мм,  $V = 21$  см<sup>3</sup>; образец 3 – Ст45 (ГОСТ 1050-88),  $D_1 = 38$  мм  $h_1 = 21$  мм,  $V = 21$  см<sup>3</sup>

Заготовка нагревалась и выдерживалась в муфельной электрической печи при температуре 1000° ~ 20 мин, далее помещалась в штамп и с по-

мощью пневмомолота осаживалась для получения образца требуемой конфигурации (диск с отверстием). После осадки образцы подвергались закалке в воде [9]. В результате были получены образцы (рис. 3) одинакового размера ( $D_k = 50$  мм,  $H_k = 12$  мм), подвергнутые ВТМО с разной степенью деформации (табл. 1), которая характеризуется коэффициентом, рассчитываемым по формуле:  $\lambda = H/H_k$ .

Таблица 1

Результаты оценки твердости и степени деформации экспериментальных образцов

Номер образца	Режим термической обработки	$\lambda$	HRC
0	ТО	–	$\frac{45 - 53,5}{50}$
1	ВТМО	1,7	$\frac{51 - 56,5}{55}$
2	ВТМО	1,9	$\frac{54 - 59,5}{56,7}$
3	ВТМО	2,25	$\frac{55 - 60}{57,8}$

Пр и м е ч а н и е. Числитель дроби – интервал значений величины диаметра образцов, полученный при измерениях, знаменатель – среднее значение.

Боковая поверхность полученных образцов подвергалась токарной обработке.

При испытаниях образцов на радиальной машине трения МИ-1М в качестве контртела были использованы образцы такой же формы, но прошедшие только термическую обработку (рис. 3).



Рис. 3. Образец 1 Ст45 после ВТМО, образец 2 Ст45 после ТО

И в тех и других образцах изготавливали посадочные отверстия диаметром 16 мм для установки на машину трения (МИ-1М).

У всех образцов, подвергнутых ВТМО, твердость и прочность выше, чем у прошедших только закалку. Причем с увеличением степени деформации значение HRC образцов возрастает.

Опыты проводились на машине трения МИ-1М, позволяющей испытывать материалы на изнашивание при различных видах трения: качения, скольжения или трения обоих видов (табл. 2).

**Таблица 2**  
Основные технические характеристики  
машины трения МИ-1М

Технический показатель	Величина
Мощность электродвигателя привода, кВт	1
Частота вращения нижнего образца, с <sup>-1</sup>	7
Проскальзывание образцов, %	0, 10, 15, 20, 100
Максимальная нагрузка на пару трения, Н	2000

Образцы испытываемого материала в виде дисков диаметром 43 мм и толщиной 12 мм монтировались на отдельные валы, затем они прижимались друг к другу и приводились в движение с вращением в разные стороны. Частота вращения верхнего вала установки составляла 5,7 с<sup>-1</sup>, что на 10% меньше частоты вращения нижнего вала 7 с<sup>-1</sup>. В предположении равенства диаметров испытываемых образцов проскальзывание состав-

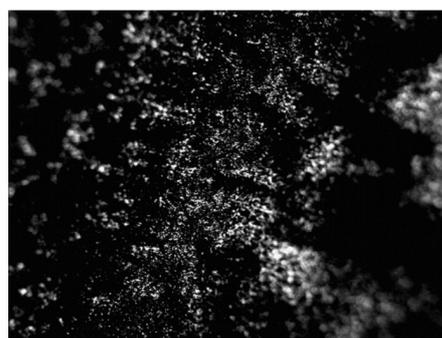
ляло 10%. Изменяя диаметр образцов, можно уменьшать или увеличивать проскальзывание [10].

Испытания проходили при усилии прижатия образцов 560 Н и 700 Н. Время проведения опыта 240 мин. Для обеспечения равных условий изнашивания производилась перестановка образцов с периодичностью один раз в 60 мин.

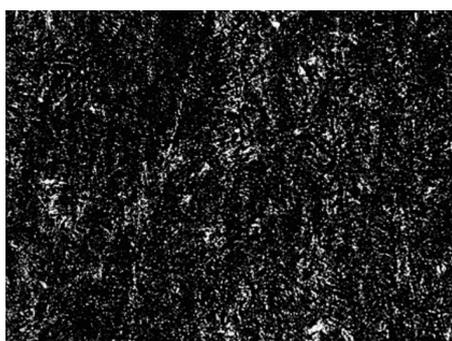
На рис. 4 представлены фотографии микрошлифов поверхностей дисков после проведения испытаний на износостойкость на машине трения МИ-1М. При изготовлении микрошлифов поверхность образцов шлифовалась, полировалась, а затем подвергалась и травлению 3% раствором HNO<sub>3</sub> в этиловом спирте. На всех поверхностях отчетливо просматривается мелкоигольчатый мартенсит, но особо измельченные зерна наблюдаются на образце 4 (рис. 4). На микрошлифе 1 (рис. 4) на торцевой поверхности закаленного диска под микроскопом отчетливо просматриваются цепочки зерен мартенсита (или цементита), а на микрошлифе 2 (рис. 4) микроструктуры цилиндрической поверхности этих структур уже нет – они, видимо, были разрушены при циклическом воздействии и изнашивании поверхностного слоя металла.



1)



2)



3)



4)

Рис. 4. Микрофотографии испытанных образцов, полученные при увеличении  $\times 100$  на металлографическом микроскопе без объекта микрометра: образец ТО торцевая поверхность, Ст45 (ГОСТ 1050-88), после объемной закалки в воде (1); образец ТО цилиндрическая поверхность, Ст45 (ГОСТ 1050-88), после объемной закалки в воде (2); образец VTMO, торцевая поверхность, Ст45 (ГОСТ 1050-88), после высокотемпературной термомеханической обработки (3); образец VTMO, цилиндрическая поверхность, Ст45 (ГОСТ 1050-88), после высокотемпературной термомеханической обработки (4)

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

При обработке экспериментальных данных сравнивались потери массы  $\Delta m_1$  образца, подвергнутого ВТМО, проведенной с максимальной интенсивностью пластической деформации  $\lambda = 2,25$  (твердость 58 HRC), с потерей массы  $\Delta m_2$  образца после ТО с твердостью 56 HRC за время  $t = 240$  мин. Результаты представлены в табл. 3. Там же указан путь, пройденный каждой точкой поверхности образца за время испытаний, который принимали за путь качения  $L_{\text{кач}}$ . За путь трения  $L_{\text{тр}}$  принимали разницу между путями, пройденными каждой точкой образцов, закрепленных на верхнем и нижнем валу испытательной установки, за цикл (60 мин), умноженную на число циклов (4). Полученные расчетом убыли массы  $\Delta m_1, \Delta m_2$  относили к указанному пути  $L_{\text{тр}}$  и получали величину удельного износа  $\delta$  мг/км, а обратную ему величину за износостойкость материала  $I$  после той или другой термической обработки.

Величину напряжения  $\sigma_{\text{max}}$  образцов рассчитывали по формуле Г. Герца для случая сжатия двух дисков с усилием прижатия 700 Н.

$$\sigma_{\text{max}} = 0,418 \frac{\sqrt{P \times E}}{\sqrt{l \times R}} = 477 \text{ МПа}, \quad (1)$$

где  $P$  – усилие прижатия дисков 700 Н;  $l$  – длина контактной линии (принималась равной ширине дисков 10 мм);  $R_1 = R_2$  – радиусы дисков  $21,5 \times 10^{-3}$  м;  $E$  – модуль упругости  $2 \times 10^{11}$  МПа.

Найдем ширину контактной линии:

$$a = 1,52 \sqrt{\frac{P}{E \times l} \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}} = 93,24 \times 10^{-6} \text{ мм}. \quad (2)$$

Площадь контакта составляет

$$S_k = 2a \times l = 186,48 \times 10^{-8} \text{ м}^2. \quad (3)$$

Тогда среднее напряжение:

$$\sigma_m = \frac{P}{S_k} = 376 \text{ МПа}. \quad (4)$$

Сила трения на контакте при  $f = 0,3$ :

$$F_{\text{тр}} = P \times f = 700 \times 0,3 = 210 \text{ Н}. \quad (5)$$

Работа силы трения скольжения  $A_{\text{тр.ск}}$  в контактной зоне дисков за время эксперимента (240 мин) и пути взаимного проскальзывания дисков ( $L_{\text{ск}} = 2637$  м) составит

$$A_{\text{тр.ск}} = F_{\text{тр}} \times L_{\text{ск}} = 210 \times 2592 = 544320 \text{ Дж}.$$

При экспериментах диски прокатываются друг по другу, и при этом так же происходит износ при трении качения сталь по стали с коэффициентом трения качения  $f_k = 0,02$ , путь качения рассчитывается следующим образом:

$$L_{\text{кач}} = \left[ \pi (D_{\text{в}} n_{\text{в}} + D_{\text{н}} n_{\text{н}}) \frac{t}{2} \right] - L_{\text{ск}}, \quad (6)$$

где  $D_{\text{в}} = D_{\text{н}}$  – диаметры верхнего и нижнего роликов, 0,043 м;  $n_{\text{в}}$  – частота вращения верхнего шпинделя, 340 об/мин.;  $n_{\text{н}}$  – частота вращения нижнего шпинделя, 420 об/мин.;  $t$  – длительность эксперимента, 240 мин.

$$L_{\text{кач}} = \frac{(3,14 \times 32,68 \times 240)}{2} - 2592 = 9678 \text{ м}. \quad (7)$$

Найдем работу, потраченную на изнашивание дисков при качении:

$$A_{\text{кач}} = f P L_{\text{кач}} = 135464 \text{ Дж}. \quad (8)$$

Общая работа трения составит

$$2A = A_{\text{кач}} + A_{\text{тр.ск}} = 67984 \text{ Дж}. \quad (9)$$

В процессе изнашивания взаимодействуют две поверхности, с практически одинаковой твердостью и прочностью, поэтому на изнашивание каждого диска тратится примерно половина общей работы трения, что составляет  $A = 339892$  Дж на каждый диск.

Потеря массы диска, подвергнутого ВТМО, составила 0,477 г, а диска, подвергнутого ТО – 0,760 г, тогда удельная работа изнашивания рассчитывается по формуле

$$a_{\text{уд. втмо}} = \frac{A}{\Delta m_{\text{втмо}}} = 712,6 \text{ Дж/мг}, \quad (10)$$

$$a_{\text{уд. то}} = \frac{A}{\Delta m_{\text{то}}} = 430,2 \text{ Дж/мг}. \quad (11)$$

Проведенные испытания показали, что износостойкость образца, подвергнутого ВТМО, в 1,59 раза выше чем у образца, подвергнутого ТО.

**Таблица 3**

Результаты эксперимента

	$m_0$ (мг)	$m_k$ (мг)	$\Delta m_1$ (мг)	$L_{\text{кач}}$ (м)	$L_{\text{тр}}$ (м)	$K$ (мг/км)	$\delta$ (мм/км)	$I$ (км/мм)
Образец ВТМО	115989	115608	477	12313	2592	180	0,017	58,8
Образец ТО	116085	115304	760	12313	2592	288	0,027	37,0

Аналогичные результаты были получены при усилии прижатия образцов 560 Н;  $L_{\text{кач}} = 520$  м,  $A_{\text{кач}} = 37312$  Дж,  $A_{\text{тр.ск}} = 443016$  Дж,  $A = 240164$  Дж,  $a_{\text{уд.втмо}} = 2450,65 \frac{\text{Дж}}{\text{мг}}$ ,  $a_{\text{уд.то}} = 1601 \frac{\text{Дж}}{\text{мг}}$ , износостойкость в 1,53 раза выше у образца, подвергнутого ВТМО.

### Выводы

Проведенные исследования позволили выполнить оценку повышения срока службы деталей горных машин при фрикционном изнашивании их рабочих поверхностей. На основании анализа используемых в настоящее время способов снижения интенсивности изнашивания предложено техническое решение, основанное на применении при изготовлении деталей высокотемпературной термомеханической обработки, повышающей износостойкость их рабочих поверхностей. Эффективность мероприятий по ВТМО заготовок из материала Сталь 45 подтверждена результатами экспериментальных исследований, полученных с применением ВТМО. В результате выполненной работы были сделаны следующие выводы:

– Использование метода свободнойковки при высокотемпературной осадке заготовок в процессе ВТМО позволяет получать образцы со степенью деформации до 2,25, имеющих твердость после закалки (57,8 HRC), что существенно превышает твердость закаленных образцов (50HRC), не подвергнутых предварительному деформированию.

– Сравнительные испытания полученных образцов на машине трения показали, что образцы, прошедшие ВТМО, имеют в 1,59 раза более высокую износостойкость, по сравнению с образцами, прошедшими только термическую обработку.

Результаты экспериментов доказывают, что термомеханическая обработка увеличивает износостойкость стали при фрикционном изнашивании в сравнении с традиционной закалкой. Условия испытаний на машине трения соблюдались одинаковыми для всех серий. При трении происходил значительный нагрев образцов (более 100 °С), что могло несколько разупрочнить материал, и эти тепловые потери не выделялись как отдельные затраты энергии.

Как основной результат работы представлен расчетно-экспериментальный метод определения энергоемкости фрикционного износа через оценку удельной работы изнашивания образцов контактирующих материалов. Следует отметить, что при трении на образцах мог возникнуть и электропотенциал, но это тонкое явление не удалось оценить количественно. При дальнейшем усовершенствовании оборудования и методики проведения экспериментальных исследований возможна оценка распределения затрат энергии, в том числе и на отделение частиц металла при фрикционном воздействии не только при сухом трении, но и при наличии смазки.

### Список литературы

1. Поддубная А.А., Фокин А.С., Иванов С.Л., Кремчев Э.А., Потапенко В.С. Оценка смазывающей способности масел трансмиссий горных машин // Записки Горного института. 2008. Т. 178. С. 86–90.
2. Кремчев Э.А., Иванов С.Л. Энергоресурс подшипника скольжения // Записки Горного института. 2004. Т. 157. С. 178–180.
3. Zeytin H.K., Yildirim H., Berme B., Duduoğlu S., Kazdal G., Deniz A. Effect of Boron and Heat Treatment on Mechanical Properties of White Cast Iron for Mining Application. Journal of Iron and Steel Research International. 2011. vol. 18. no. 11. P. 31–39. DOI: 10.1016/S1006-706X(11)60114-3.
4. Куц С.Д., Кузнецов С.В., Моднев А.Ю. Триботехническая смазка и смазочная композиция // Патент РФ № 2327733С1. Патентообладатель Куц С.Д., Кузнецов С.В., Моднев А.Ю. 2008. Бюл. № 18.
5. Дроздов Ю.Н., Юдин Е.Г., Белов А.И. Прикладная трибология (трение, износ, смазка). М.: Эко-пресс, 2010. 604 с.
6. Smirnov V.A., Filatov V.I. High-Temperature Thermo-mechanical Treatment of Alloyed Structural and Tool Steels. Metal Science and Heat Treatment. 2015. vol. 56. no. 9–10. P. 470–476. DOI: 10.1007/s11041-015-9784-7.
7. Берштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1968. Т. 1. 695 с.
8. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. М.: Издательство стандартов, 1989. 85 с.
9. Берштейн М.Л., Берштейн Л.М., Бейлина О.Я., Горюхов Л.С., Гладышев С.А., Жуков В.А., Займовский В.А., Маресев М.И., Марковский В.Ф., Матевосьян А.П., Орджоникидзе Н.Ш., Прибавкин Е.М., Самедов О.В. Способ термомеханической обработки стали // Патент СССР № 1321075. Патентообладатель Московский институт стали и сплавов. 1999.
10. Гончаров П.Н., Коршунов В.Я. Методика проведения экспериментальных исследований износа образцов на машине трения МИ-1М. ФГБОУ ВПО «Брянская ГСХА», 2014. № 3. С. 67–69.

УДК 004.491.22

## О ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОКРЕСТНОСТИ КОРНЯ ГРАФА ПОТОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ В КОНТЕКСТЕ ПРОЦЕССА РАЗМНОЖЕНИЯ ФАЙЛОВЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИРУСОВ

**Бородин А.В., Юдина М.А., Васильева М.А.**

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
Йошкар-Ола, e-mail: bor@mari-el.com*

Статья посвящена исследованию методов внедрения компьютерных вирусов в исполнимый код, представленный классическими файловыми объектами. Рассматриваются особенности механизмов перехвата управления у легальной программы – контейнера размещения тела компьютерного вируса. Разработан подход к внедрению инструкций перехвата управления в код легальной программы, позволяющий снизить вероятность обнаружения факта перехвата со стороны различного рода эвристических антивирусных алгоритмов и основанный на исследовании графа потока управления программы. Предложена математическая модель описания задачи анализа графа потока управления программы-контейнера. Сформулирована задача классификации стартового кода программ, реализованных на языках высокого уровня. Формализованы стратегии внедрения инструкций перехвата управления во всех мыслимых случаях реализации легальной программы. Новизна предлагаемого подхода определяется повышением степени гарантированности перехвата управления по отношению к описанной в литературе технологии с «неизвестной» точкой входа – Entry Point Obscured (EPO) или Unknown Entry Point (UEP). Предложено решение как для случая возможной классификации окрестности корня графа потока управления, так и для случая отсутствия возможности такой классификации. Область применения предложенного подхода – разработка разрушающих программных воздействий различного назначения.

**Ключевые слова:** граф потока управления, классификация, компьютерный вирус, обфускация, передача управления, точка входа, язык высокого уровня

## ABOUT THE PROBLEM OF CLASSIFICATION ON THE NEIGHBORHOOD OF THE ROOT OF THE CONTROL FLOW GRAPH OF THE PROGRAM IN THE CONTEXT OF PROCESS OF REPRODUCTION OF FILE COMPUTER VIRUSES

**Borodin A.V., Yudina M.A., Vasileva M.A.**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Volga State University of Technology», Yoshkar-Ola, e-mail: bor@mari-el.com*

Article is devoted to a research of implementation methods of computer viruses in the executable code submitted by classical file objects. Features of mechanisms of interception of management at the licensed program – a container of placement of a body of a computer virus are considered. Approach to implementation of instructions of interception of management in the code of the licensed program allowing to reduce the probability of detection of the fact of interception from different heuristic anti-virus algorithms and based on a research of the graph of a control flow of the program is developed. The mathematical model of the description of a task of the analysis of the graph of a control flow of the program container is offered. The problem of classification of the starting code of the programs implemented in languages of the high level is formulated. The strategy of implementation of instructions of interception of management in all imaginable cases of implementation of the licensed program are formalized. The novelty of the offered approach decides by increase in degree of security of interception of management in relation to the technology described in literature on «unknown» point of entry – Entry Point Obscured (EPO) or Unknown Entry Point (UEP). The solution, as for a case of possible classification of the neighborhood of a root of the graph of a control flow, and for a case of lack of a possibility of such classification is proposed. A scope of the offered approach – development of the destroying program influences of different function.

**Keywords:** control flow graph, classification, computer virus, obfuscation, transfer of control, entry point, high-level programming language

Одной из важных задач при проектировании компьютерных вирусов (КВ) является разработка механизма (или нескольких механизмов) передачи управления от легальной программы (ЛП) к коду вируса [1]. Самым простым решением этой задачи является перехват управления в точке входа в ЛП [2]. Однако этот способ имеет существенный недостаток. Перехват управления в точке входа в ЛП очень легко обнаружить. На это способны практически все эвристические алгоритмы поиска КВ [3]. С другой стороны, если

внедрить механизм передачи управления КВ далеко (в смысле количества инструкций/операторов) от точки входа, то вероятность получения управления КВ существенно снижается с ростом такого расстояния. Усложняется, в общем случае, и процесс внедрения, увеличивая тем самым вероятность возникновения неожиданных для вирмэйкера ошибок [4]. Последствия здесь: сокращение времени скрытого существования КВ в вычислительной системе (ВС), то есть, по сути, рост вероятности удаления КВ из ВС раньше достижения цели,

ради которой вирус разрабатывался [5, 6]. Тем не менее эта технология получила достаточно широкое распространение в КВ для 32-разрядных операционных систем семейства Microsoft Windows. Так поступают вирусы Win32.CTX, Win32.SK, Win32.Blakan, Win32.Deemo и др. Эта технология внедрения получила название технологии вирусов с «неизвестной» точкой входа – Entry Point Obscured (EPO) или Unknown Entry Point (UEP) [7].

Для преодоления перечисленных выше проблем возможно использование вирусом методов формального анализа графа потока управления (ГПУ) ЛП. При этом для сокращения требуемых для исследования ГПУ ЛП ресурсов времени и памяти ВС возможно ограничение области анализа некоторой окрестностью корня ГПУ (входного блока, на который указывает точка входа в ЛП). При этом для многих компилируемых языков программирования высокого уровня в указанной окрестности вблизи корня может встречаться много типовых блоков, чем также можно воспользоваться для упрощения механизма внедрения.

#### Материалы и методы исследования

В качестве фактического материала для исследования проблемы были использованы результаты дизассемблирования программ, написанных на языках программирования C++ (компиляторы Microsoft

Visual Studio 2008, 2015 и 2017), Object Pascal (компилятор Free Pascal Compiler версии 3.0.4) и Visual Prolog (компилятор компании Prolog Development Center версии 7.5), реализованных для операционных систем семейства Microsoft Windows, функционирующих на процессорах семейства Intel x86.

Формальные методы анализа машинного кода базируются в работе на теоретико-множественном и теоретико-графовом подходах.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим поставленную задачу формально. Назовем ГПУ четверку

$$G = \langle V, E, start, stop \rangle,$$

где  $\langle V, E \rangle$  – ориентированный граф,  $V$  – множество вершин или базовых блоков (последовательностей смежных инструкций, в которые поток управления входит в их начале и покидает в конце, без останова программы или возможности ветвления [8]),

$E$  – множество дуг, дугу можно рассматривать как последовательность из двух вершин  $e = (v_1, v_2) \in E$ ,  $v_1, v_2 \in V$ , дуги, по сути, представляют поток управления,

$start$  – начальная вершина (корень) ГПУ,  $start \in V$ ,

$stop$  – конечная вершина ГПУ,  $stop \in V$ .

Введем понятие пути на ГПУ:

$$p = (v_0, v_1, \dots, v_k) \stackrel{\text{Def}}{\Leftrightarrow}$$

$$\stackrel{\text{Def}}{\Leftrightarrow} v_k \in V, \forall i (i = 0, 1, \dots, k-1) [v_i \in V, (v_i, v_{i+1}) \in E], k \in \mathbb{N},$$

где  $\mathbb{N}$  – множество натуральных чисел. Отсюда множество всех путей на ГПУ можно определить следующим образом:

$$P \stackrel{\text{Def}}{=} \{(v_0, v_1, \dots, v_k) : v_k \in V,$$

$$\forall i (i = 0, 1, \dots, k-1) [v_i \in V, (v_i, v_{i+1}) \in E], k \in \mathbb{N}\}.$$

Пользуясь введенными обозначениями, можно определить три полезные функции для формализации понятий, связанных с ГПУ.

1. Функция длины пути:

$$\text{len} : P \rightarrow \mathbb{N},$$

определенная следующим образом:

$$p = (v_0, v_1, \dots, v_k) \in P \stackrel{\text{Def}}{\Rightarrow} \text{len}(p) = k.$$

2. Функция начала пути:

$$\text{beg} : P \rightarrow V,$$

определенная следующим образом:

$$p = (v_0, v_1, \dots, v_k) \in P \stackrel{\text{Def}}{\Rightarrow} \text{beg}(p) = v_0.$$

3. Функция конца пути:

$$\text{end} : P \rightarrow V ,$$

определенная следующим образом:

$$p = (v_0, v_1, \dots, v_k) \in P \xRightarrow{\text{Def}} \text{end}(p) = v_k .$$

Заметим, что  $\{p \in P : \text{len}(p) = 1\} = E \subset P$  и, таким образом, эти функции определены и на  $E$ . Пользуясь введенными функциями, определим еще две множество-значные функции.

4. Функция входящих дуг в вершину:

$$\text{in} : V \rightarrow 2^E ,$$

определенная следующим образом:

$$\text{in}(v) \stackrel{\text{Def}}{=} \{e \in E : \text{end}(e) = v\} , v \in V .$$

Здесь  $2^E$  – булеан множества  $E$  (множество всех подмножеств множества  $E$ ).

5. Функция исходящих дуг из вершины:

$$\text{out} : V \rightarrow 2^E ,$$

определенная следующим образом:

$$\text{out}(v) \stackrel{\text{Def}}{=} \{e \in E : \text{beg}(e) = v\} , v \in V .$$

Пользуясь двумя последними функциями, отметим, что  $\text{in}(\text{start}) = \emptyset$  и  $\text{out}(\text{stop}) = \emptyset$ .

Переходя непосредственно к решению поставленной задачи, заметим, что относительно просто, без привлечения методов анализа потоков данных (крайне ресурсоемкая задача), КВ может построить подграф

$$G' = \langle V', E', \text{start} \rangle , V' \subset V , E' \subset E ,$$

графа  $G$ , определяемый своим множеством путей:

$$P'_0(V_g, l) = \{(v_0, v_1, \dots, v_k) : v_0 = \text{start}, v_k \in V ,$$

$$\forall i (i = 0, 1, \dots, k-1) [v_i \in V, (v_i, v_{i+1}) \in E], k \leq l, v_k \in V_g \vee k = l\} ,$$

где  $V_g$  – множество вершин, заканчивающихся командой передачи управления без явного задания адреса перехода (например, `get`, `iget` для процессоров семейства x86), множество  $V_g$ , фактически, ограничивает возможность построения ГПУ без анализа потоков данных,  $l$  – глубина анализа графа потока управления.

Продолжая формирование языка описания математической модели процесса анализа ГПУ программы-контейнера, положим, что  $V$  является порождающим множеством (доменом) для семейства мультимножеств  $\mathbb{V}$ . Для любого мультимножества стандартно определена функция высоты [9]:

$$\text{hgt} : \mathbb{V} \rightarrow \mathbb{N}_0 ,$$

значением которой является максимальная кратность вхождения элементов мультимножества-аргумента:

$$\text{hgt } A \stackrel{\text{Def}}{=} \max_{x \in V} k_A(x) .$$

Здесь использованы следующие обозначения:  $\mathbb{N}_0$  – множество неотрицательных целых чисел,  $k_A : V \rightarrow \mathbb{N}_0$  – функция кратности элементов мультимножества  $A$ . Таким образом, равенство  $\text{hgt } A = 1$  означает, что все элементы мультимножества  $A$  входят в него ровно один раз (все элементы  $A$  уникальны).

Определим, далее, функцию контента

$$\text{cont} : P \rightarrow \mathbb{V}$$

следующим образом:

$$p = (v_0, v_1, \dots, v_k) \in P \xRightarrow{\text{Def}} \text{cont}(p) = \{v_0, v_1, \dots, v_k\} .$$

С использованием этой функции факт отсутствия циклов в пути  $p$  на ГПУ можно представить следующим образом:

$$\text{hgt cont } p = 1.$$

Теперь можно ввести множество путей без циклов:

$$P_0''(V_g, l) = \{p \in P_0'(V_g, l) : \text{hgt cont } p = 1\}.$$

Простейшей предлагаемой стратегией перехвата управления КВ, у ЛП является внедрение инструкций передачи управления коду КВ во все базовые блоки из множества

$$\{\text{end } p : p \in P_0''(V_g, l)\}$$

при условии реализации механизма однократного выполнения кода КВ, в том числе при многократных передачах управления на этот код.

Во многих случаях простейшую стратегию можно улучшить. Изучение опыта исследователей компьютерных вирусов [10], а также материалов дизассемблирования множества программ позволило сделать вывод о том, что для многих компиляторов можно выделить инвариантную окрестность ГПУ, определяемую множеством  $P_0'(V_g, l)$ , при  $l \leq l_0$ , где  $l_0$  – некоторое пороговое значение, зависящее от компилятора. (Интересно, например, что для компилятора языка логического программирования Visual Prolog компании Prolog Development Center значение  $l_0$  оказалось существенно больше, чем у других исследованных компиляторов.) Этот факт позволяет предварительно, на этапе проектирования КВ, составить базу данных типовых окрестностей ГПУ  $G'$ , изучить их и выделить только лучшие (для внедрения инструкций передачи управления КВ) базовые блоки из множества

$$V' = \bigcup_{p \in P_0'(V_g, l)} \text{cont } p.$$

Таким образом, при внедрении инструкций передачи управления компьютерному вирусу последний предварительно решает задачу классификации по базе данных, логически состоящей из записей вида  $\langle G', V_b' \rangle$ , где  $V_b'$  – множество базовых блоков, наиболее удобных для внедрения и обеспечивающих гарантированное получение КВ управления,  $V_b' \subset V'$ . Иначе говоря, происходит поиск множества  $V_b'$  по ключу  $G'$ . Далее КВ производит внедрение инструкций перехвата управления в базовые блоки из множества  $V_b'$ .

В случае, когда КВ не удается решение задачи классификации по созданной базе данных, то ему следует воспользоваться простейшей стратегией. Это менее эффективный путь, однако и у него имеются определенные преимущества перед классической технологией ЕРО.

Интересно, что условие применения простейшей стратегии перехвата управления в рамках предлагаемой технологии наталкивает на идею противодействия нашему подходу: компиляторам с языков высокого уровня следует обфусцировать стартовые коды (типовые блоки), активно используя инструкции передачи управления без явного задания адреса перехода. Это приведет к росту мощности множества  $V_g$  и укорочению длин путей из этого множества. Данная ситуация может свести на нет эффективность предлагаемого подхода. Критерием качества противодействия в этом случае может стать величина

$$\frac{|V_g| \times |P_0''(V_g, l)|}{\sum_{p \in P_0''(V_g, l)} \text{len } p}.$$

Чем больше эта величина, тем труднее для КВ решить задачу эффективного перехвата управления. В то же время, учитывая консервативность разработчиков компиляторов и требования удобства низкоуровневой отладки кода [11], можно предположить, что разработанная в рамках данной статьи методика внедрения разрушающих программных воздействий в исполнимые файлы операционных систем еще долгое время сможет быть эффективно использованной.

Как и технология ЕРО, предложенный подход к внедрению КВ в ЛП провоцирует антивирусные сканеры при поиске заражения по сигнатурам просматривать весь код программы [7], что существенно снижает быстродействие антивирусного программного обеспечения. Увеличение времени на сканирование программного обеспечения означает определенное снижение вероятности обнаружения на фиксированных промежутках времени. Это первый шаг к достижению цели исследования. С другой стороны, обеспечение изменчивости кода КВ за счет обфускации на основе, например, функционально инвариантного псевдослучайного изменения ГПУ КВ [12] позволяет свести на нет возможности сигнатурного поиска, тем самым оставляя возможность обнаружения лишь со стороны эвристических алгоритмов. Именно в этом случае предложенная технология может в максимальной степени продемонстрировать свои сильные стороны.

### Заключение

Подводя итог, отметим, что в рамках представленной работы был предложен механизм передачи управления от ЛП к КВ, отличающийся нетривиальным подходом к размещению инструкций/операторов перехвата. Данный подход усложняет обнаружение КВ эвристическими алгоритмами, с одной стороны, увеличивает вероятность передачи управления вирусу, с другой стороны, и, наконец, снижает вероятность фатальных ошибок в системе ЛП + КВ. Данный подход, особенно в сочетании с перспективными методами обфускации [12, 13] внедренного в ЛП кода, а также обфускации карты памяти [14], способен, по мнению авторов, существенно повысить живучесть КВ.

Также следует отметить, что предложенный подход позволяет говорить о формировании новых путей расширенного воспроизводства технологий компьютерных вирусов [15], что, хотя и не является целью настоящей статьи, однако демонстрирует значительный общий потенциал подхода.

### Список литературы

1. Бородин А.В. Феномен компьютерных вирусов: элементы теории и экономика существования. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2004. 144 с.
2. Гульев И.А. Компьютерные вирусы, взгляд изнутри, М.: ДМК. 1998. 304 с.
3. Вавренюк А.Б., Зайчик А.Ю., Иванов М.А., Кутепов С.В., Прилуцкий С.О., Смирнов А.А., Тараканов О.В., Шустова Л.И. База эвристических признаков комплекса программных средств антивирусной защиты компьютерных систем, функционирующих под управлением ОС Linux // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2013. Т. 3. № 2. С. 144–147.
4. Бородин А.В. Оптимизация стоимости владения объектно-ориентированной метасистемой в условиях заданной модели угроз // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2006. Т. 13. В. 5. С. 843–844.
5. Бойко А.А. Способ аналитического моделирования процесса распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры // Труды СПИИРАН. 2015. № 5 (42). С. 196–211.
6. Далингер Я.М., Бабанин Д.В., Бурков С.М. Математические модели распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры // Информатика и системы управления. 2011. № 4 (30). С. 3–11.
7. Климентьев К.Е. Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. М.: ДМК Пресс, 2013. 656 с.
8. Ахо А.В., Лам М.С., Сети Р., Ульман Дж.Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий. М.: Издательский дом «Вильямс», 2018. 1184 с.
9. Петровский А.Б. Пространства множеств и мультимножеств. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248 с.
10. Касперски К. Записки исследователя компьютерных вирусов. СПб.: Питер, 2005. 316 с.
11. Плаксин М.А. Тестирование и отладка программ для профессионалов будущих и настоящих. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2015. 170 с.
12. Бородин А.В. Линейные конгруэнтные последовательности максимального периода в задачах обфускации программ // Кибернетика и программирование. 2016. № 6. С. 1–19. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.6.18499.
13. Вахрамеева Т.Е., Романова А.А., Сенькова А.А., Бородин А.В. Рандомизация потока управления как дополнительный метод обфускации программ // Россия в многовекторном мире: национальная безопасность, вызовы и ответы. Двадцатые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции. Ч. 2. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. С. 203–205.
14. Козлова К.А. Пул переменных программы как объект-хранилище с рандомизацией карты памяти // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (г. Йошкар-Ола, 21–25 ноября 2016 г.). Ч. 4. Информационные технологии – основа стратегического прорыва в современной промышленности. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. С. 48–50.
15. Петрова Д.И. Гипотеза о возможности расширенного воспроизводства технологий компьютерных вирусов // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы III Всероссийской студенческой конференции (г. Йошкар-Ола, 21–24 ноября 2017 г.). Ч. 4. Информационные технологии – основа стратегического прорыва в современной промышленности. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. С. 82–85.

УДК 004.7

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Высочкин А.В., Портнов Е.М., Слюсарь В.В.**

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, e-mail: evgen\_uis@mail.ru*

В настоящее время в системах управления ресурсами предприятия постоянно возникает потребность в создании и обработке триггеров, которые связаны с возникновением определенных событий в системе. Проблема, поставленная в данной работе, заключается в том, что существующие на данный момент ERP-системы не обладают достаточными возможностями для создания триггеров внутри системы для определенных задач предприятия, так как либо эти возможности ограничены определенным диапазоном объектов и действий, для которых можно создать триггер, либо такой функционал отсутствует и все триггеры должны устанавливаться при интеграции системы на предприятии и не могут быть впоследствии изменены. В связи с этим была разработана математическая модель алгоритма управления бизнес-процессами для ERP-систем, позволяющего настраивать триггеры внутри системы, а не при её интеграции. Исходя из разработанной математической модели, для создания триггеров в ERP-системах можно применять два способа: создание на уровне программного кода и создание на уровне базы данных. Использование данной модели обеспечивает уменьшение числа запросов на 52%, а временных затрат на построение и обновление ERP-триггеров на 54%.

**Ключевые слова:** ERP-системы, триггеры, математическая модель, бизнес-процессы, граф, быстродействие

## ENTERPRISE RESOURCE CONTROLLING SYSTEM MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT

**Vysochkin A.V., Portnov E.M., Slyusar V.V.**

*National Research University of Electronic Technology, Moscow, e-mail: evgen\_uis@mail.ru*

Currently, enterprise resource management systems constantly need to create and process triggers that are associated with the occurrence of certain events in the system. The problem posed in this paper is that the currently existing ERP-systems do not have sufficient capacity to create triggers within the system for certain tasks of the enterprise, because either these capabilities are limited to certain the range of objects and actions for which you can create a trigger, or there is no such functionality and all triggers must be installed during the integration of the system in the enterprise and can not be subsequently changed. In this regard, a mathematical model of the business process control algorithm for ERP-systems was developed, which allows to configure triggers within the system, not during its integration. Based on the developed mathematical model, two methods can be used to create triggers in ERP systems: creation at the program code level and creation at the database level. Using this model reduces the number of requests by 52%, and the time spent on building and updating ERP triggers by 54%.

**Keywords:** ERP-systems, triggers, mathematical model, business processes, graph, speed

В настоящее время управление предприятием непрерывно связано с использованием систем планирования ресурсов предприятия (ERP), которые позволяют автоматизировать процессы управления бухгалтерским учетом, инвентаризацией, менеджментом и другими отделами предприятия, интегрируя все это в одну систему [1, 2].

При работе в таких системах постоянно возникает потребность в выполнении определенных действий при наступлении некоторых событий, т.е. триггеров (напри-

мер, добавление товаров в систему учета при поступлении их на склад). В большинстве ERP-систем настройка триггеров происходит отдельно для каждого предприятия при интеграции системы, связана с большими временными и финансовыми затратами и не может быть в дальнейшем использована при интеграции системы на других предприятиях.

Ниже приведен пример запроса для создания триггера на языке SQL, который добавляет в таблицу values запись об изменении таблицы example:

```
CREATE OR REPLACE TRIGGER ExampleUpdatedTrigger
AFTER UPDATE ON example
BEGIN
insert into info values ('table "example" has changed');
END;
```

При появлении новых бизнес-процессов на предприятии добавление в ERP-систему новых триггеров также требует отдельной настройки системы и связано с дополнительными затратами, а существующие

в системе триггеры, объекты триггеров или действия, исполняемые триггерами при вызове, не могут быть изменены или расширены, либо их модификация ограничена возможностями системы [3, 4].

Цель исследования: повышение быстродействия процессов построения и вызова триггеров управления бизнес-процессами предприятия в ERP-системах.

**Материалы и методы исследования**

Разработаем математическую модель триггеров ERP-системы и представим триггерные связи, возникающие при создании, изменении и удалении объектов ERP-системы, в виде графов – графа потока управления CFG и графа зависимостей DFG.

Триггер в рамках ERP-системы – это совокупность  $T$  множества событий системы  $E = \{e_i | i = 1, \dots, n\}$  и набора действий  $W = \{w_j | j = 1, \dots, k\}$ . При возникновении любого события  $e_i$  из множества  $E$  триггер  $T$  запускает по очереди действия  $w_j$  из набора  $W$ . Каждое событие  $e \in E$  в ERP-системе связано с объектом  $x$  системы и представляет собой изменение, создание, удаление объекта  $x$  или его атрибутов  $a_x \in A_x$ .

Возникновение события задается функцией  $h: E \times X \rightarrow \{0, 1\}$ , для которой  $h(e, x) = 1$ , если объект  $x$  был изменен, и 0 в остальных случаях. Действия  $w \in W$  также представляют собой изменение, создание или удаление объектов ERP-системы и их атрибутов, причем множество изменяемых объектов  $X_c$  может пересекаться с множеством объектов событий  $X_e$ . Действие  $w$  может принимать одно из значений:

$w(x) = x, A_x \cap A_x \neq \emptyset$  (изменение объекта  $x$ , в результате которого часть атрибутов объекта изменяется);  $w(x) = y, X' = X \cup \{y\}$  (создание нового объекта  $y$ );  $w(x) = \emptyset, X' = X \setminus \{x\}$  (удаление объекта  $x$ );  $w(x) = x$  (действие, не изменяющее объект  $x$ ).

Таким образом, триггер можно задать с помощью формулы

$$t(E, W) = (h(e_1) \vee h(e_2) \vee \dots \vee h(e_n)) \rightarrow f(w_1 w_2 \dots w_n),$$

где  $e_1, e_2, \dots, e_n$  – события триггера,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  – действия триггера,  $f: 2^W \rightarrow \{0, 1\}$  – функция, равная 1 в случае успешного выполнения последовательности действий  $w = w_1 w_2 \dots w_n = 1$ , и 0 в случае неудачи.

Для отображения триггерных связей между объектами ERP-системы удобно воспользоваться графовыми структурами, такими, как граф потока управления и граф зависимостей [5, 6].

Граф потока управления представляет собой совокупность  $CFG(V, T)$ , где  $V = \{v_i | i = 1 \dots n\}$  – множество действий над объектами ERP-системы, а  $T = \{t_{ij} = (v_i, v_j) | i = 1 \dots n, j = 1 \dots n\}$  – множество триггерных связей между объектами ERP-системы (рис. 1). В графе потока управления каждый узел (вершина) графа соответствует базовому блоку – прямолинейному участку кода, не содержащему в себе ни операций передачи управления, ни точек, на которые управление передается из других частей программы.

Имеется лишь два исключения:

- точка, на которую выполняется переход, является первой инструкцией в базовом блоке;
- базовый блок завершается инструкцией перехода.

Направленные дуги используются в графе для представления инструкций перехода. Также, в большинстве реализаций добавлено два специализированных блока:

- входной блок, через который управление входит в граф;
- выходной блок, который завершает все пути в данном графе. Блок, не связанный со входным блоком, считается недостижимым («мёртвый» код).

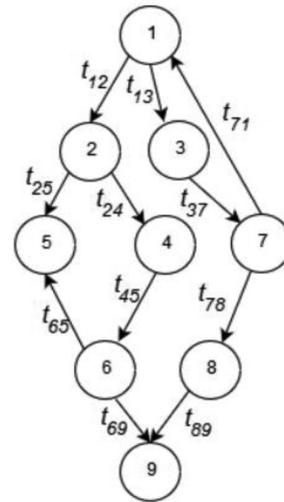


Рис. 1. Граф потока управления CFG в ERP-системе

Недостижимый блок может быть удален из программы. Блок, не связанный с выходным блоком, содержит бесконечный цикл. Полагаясь на это утверждение, удастся обнаружить не все бесконечные циклы в связи с проблемой останова.

Пусть дано множество  $V = \{v_i | i = 1 \dots n\}$  объектов ERP-системы и отношение транзитивности над этим множеством  $R = V \times V$ , где  $(a, b) \in R$  следует зависимость для вычисления  $a$  нужно сначала вычислить  $b$ .

Тогда граф зависимостей представляет собой совокупность множеств  $DFG(V, T)$ , где  $T \subseteq R$  и  $R$  – транзитивное замыкание  $T$  (рис. 2).

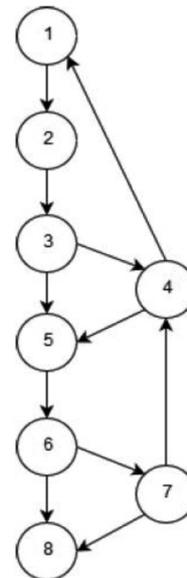


Рис. 2. Граф зависимостей DFG в ERP-системе

Формализация задачи построения триггеров в ERP-системе состоит из двух критериев [7]. Данные критерии представляют собой оценку быстродействия алгоритма построения триггеров в ERP-системе.

Пусть  $T(n)$ , определенная как функция над графом  $CFG(V, T)$

$$T(n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e(t_{ij})l(v_j), \quad (1)$$

где  $e(t_{ij})$  – время на создание триггерной связи  $t_{ij} = (v_i, v_j)$ ,  $l(v_j)$  – время на выполнение действий триггера над объектом  $j$ , представляет собой временные затраты на создание триггерных связей между объектами ERP-системы при накладываемых ограничениях.

$$\sum_{i=1}^n e(t_{ij}) \leq T_{\max}. \quad (2)$$

Тогда первый критерий быстродействия триггерного алгоритма

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_1(n)}{T_0(n)} < 1, \quad (3)$$

где  $T_0$  – временные затраты на создание триггерных связей до применения предложенной в данной работе методики;  $T_1$  – временные затраты на создание триггерных связей после применения данной методики.

2. Пусть  $D(n)$  – определенная как функция над графом  $DFG(V, T)$

$$D(n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(t_{ij})l(v_j), \quad (4)$$

где  $d(t_{ij})$  – задержка возникновения триггерной связи, возникающая при конфликте по данным (RAW, WAR). Тогда второй критерий быстродействия триггерного алгоритма – критерий быстродействия обновления графа триггеров при наличии конфликтов по данным:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{D_1(n)}{D_0(n)} < 1, \quad (5)$$

где  $D_0$  – временные затраты на обновление графа вызова триггеров до применения предложенной в данной работе методики;  $D_1$  – временные затраты на обновление графа вызова триггеров после применения данной методики.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из разработанной математической модели, для создания триггеров в ERP-системах можно применять два способа: создание на уровне программного кода и создание на уровне базы данных. На основе данной модели была разработана методика построения триггеров управления бизнес-процессами в ERP-системах.

На первом этапе в отношении любой ERP-системы необходимо определить набор общих стандартных моделей (например, моделей организации), объектов (например, планы и списки поставщиков) и процессов (например, управление заказами).

Если ранее для каждого предприятия нужно было учитывать существующую на ней структуру и организацию данных, то

при использовании ERP-системы необходимым и достаточным является использование одних и тех же моделей для каждой организационной единицы [7, 8]. Качество выбранных моделей оказывает огромное влияние на общий успех интеграции ERP-системы на предприятии.

В рамках языка программирования событие – это сообщение, которое возникает в различных точках исполняемого кода при выполнении определённых условий. Для решения поставленной задачи создаются обработчики событий: как только программа попадает в заданное состояние  $S$ , т.е. как только произойдет изменение, создание или удаление соответствующего объекта ERP-системы, происходит событие, посылается сообщение, а обработчик перехватывает это сообщение и выполняет действия  $w_1, w_2, \dots, w_n \in W$ .

В общем случае в обработчик не передается ничего, либо передается ссылка на объект, инициировавший (породивший) обрабатываемое событие. В особых случаях в обработчик передаются значения некоторых переменных или ссылки на какие-то другие объекты, чтобы обработка данного события могла учесть контекст возникновения события. Таким образом, создание триггера на уровне программного кода позволяет запускать любые действия при вызове их обработчиков.

Аналогично, как и в случае обработчиков событий, как только база данных перейдет в состояние  $S$ , при котором произойдет изменение каких-либо объектов  $x$  ERP-системы, запускается хранимая процедура, соответствующая измененным объектам, и исполняются действия  $w_1, w_2, \dots, w_n \in W$ . Однако в связи с тем, что внутри хранимой процедуры в БД можно указывать только действия, связанные с БД, то такой способ построения триггеров не дает возможности исполнять действия триггера вне базы данных [6].

Объединив два перечисленных способа, в работе применяется смешанный подход, состоящий в хранении триггера в сериализованном виде в базе данных, что одновременно обеспечивает и портируемость созданных ERP-триггеров, и возможность задавать любые действия, выполняемые при вызове триггера. При создании триггера все запросы к БД и другие действия в ERP-системе сериализуются и помещаются в БД. При вызове триггера данные десериализуются, оттуда извлекаются и запускаются действия триггера [9, 10].

Из построенной модели триггеров следует, что при вызове триггера могут изменяться данные объектов, использующиеся при вызове других триггеров. Такая ситуация может произойти, если в результате

действий  $w \in W$  множество изменяемых объектов  $X_c$  пересекается с множеством объектов событий  $X_E$ :

$$X_c \cap X_E \neq \emptyset. \quad (6)$$

При этом могут возникать конфликты по данным [10]:

1. Read after Write (RAW). Триггер  $T_A$  записывает значение в переменную, которую использует триггер  $T_B$ .

2. Write after Read (WAR). Триггер  $T_A$  считывает значение переменной, в которую записывает новое значение триггер  $T_B$ .

3. Write after Write (WAW). Оба триггера записывают значения в одну и ту же переменную.

Чтобы избежать появления конфликтов по данным, применяется метод топологической сортировки графа триггеров с помощью обхода графа в глубину, который обеспечивает обновление графа зависимостей триггерных связей (рис. 3).

Для оценки быстродействия разработанных методики и алгоритмов были проведены испытания по построению графа ERP-триггеров в системе планирования ресурсов предприятия Greensight ERP.

В качестве критериев быстродействия применялись следующие:

1. Временные затраты на создание триггерных связей между объектами

$$T(n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e(t_{ij})l(v_j), \quad (7)$$

где  $e(t_{ij})$  – время на создание триггерной связи  $t_{ij} = (v_i, v_j)$ ,  $l(v_j)$  – время на выполнение действий триггера над объектом  $v_j$ .

2. Временные затраты на обновление графа вызова ERP-триггеров при наличии конфликтов по данным

$$D(n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(t_{ij})l(v_j), \quad (8)$$

где  $d(t_{ij})$  – задержка возникновения триггерной связи, возникающая при конфликте по данным (RAW, WAR),  $l(v_j)$  – время на выполнение действий триггера над объектом  $v_j$ .

В табл. 1 и 2 приведены результаты испытаний.

**Таблица 1**

Быстродействие операций построения триггеров до применения разработанных алгоритмов

Количество объектов	Число запросов	Временная задержка, мс
10	15	13
100	31	85
1000	75	400
10000	130	7600
100000	738	15700

**Таблица 2**

Быстродействие операций построения триггеров после применения разработанных алгоритмов

Количество объектов	Число запросов	Временная задержка, мс
10	2	7
100	7	37
1000	19	250
10000	88	570
100000	170	3600

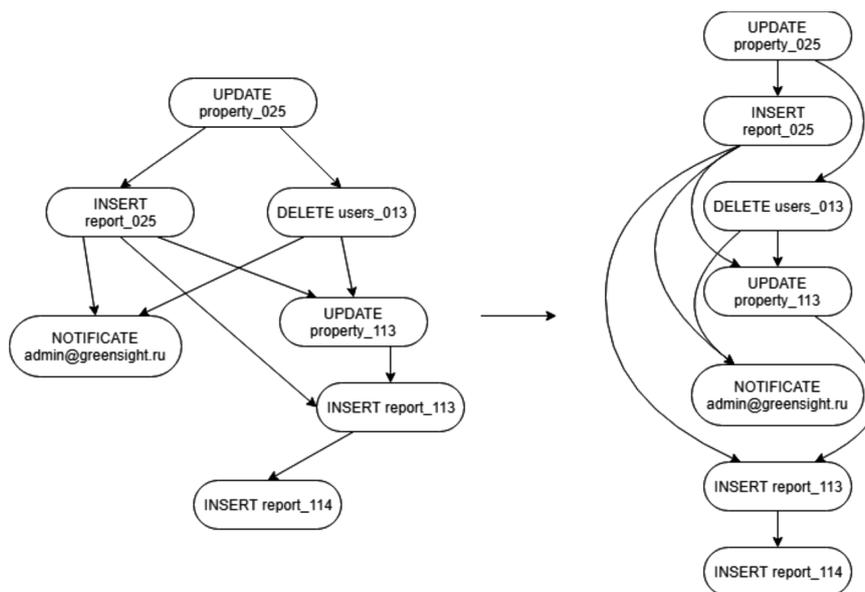


Рис. 3. Топологическая сортировка графа ERP-триггеров

### Выводы

Проведено исследование современных подходов построения триггеров в ERP-системах. На основе данных исследования был выбран подход, объединяющий триггеры как хранимые процедуры особого типа в базах данных и триггеры как обработчики событий.

В работе была разработана математическая модель и методика построения триггеров управления бизнес-процессами в ERP-системах. В рамках данного подхода триггеры хранятся в сериализованном виде в базе данных, что одновременно обеспечивает и портируемость созданных ERP-триггеров, и возможность задавать любые действия, выполняемые при вызове триггера. Проведены испытания для оценки быстродействия построения и обновления графа ERP-триггеров с помощью разработанной модели, в результате которых получено уменьшение числа запросов на 52%, а временных затрат на построение и обновление ERP-триггеров – на 54%.

*Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (договор № 18-07-00079\18).*

### Список литературы

1. Якунина А.В. Исследование теоретических подходов к управлению системами планирования ресурсов на

предприятии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1–3. С. 182–184.

2. Кузнецов Л.А. Управление ресурсами предприятия // Надежность. 2005. № 3 (26). С. 37–42.

3. Павлов Д.В. Триггеры в PL/SQL // Аллея науки. 2016. № 4. С. 759–761.

4. Sliusar V.V., Nikolaev O.V., Dorogov V.G., Gagarina L.G., Andrianov A.M. Usage of triggers for business process controlling in ERP systems // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018-January, P. 1567–1570. DOI: 10.1109/ElConRus.2018.8317398.

5. Михайлов А.А., Хмельнов А.Е. Метод визуализации графа потоков управления // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2018. № 2. С. 50–62.

6. Шибанов С.В., Вишняков П.В., Лысенко Э.В., Смирнов Д.С., Орешкин К.А. Механизмы управления событиями в активных базах данных // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2014. № 2 (5). С. 68–75.

7. Довбенко А.В. Идентификация изменений HTML-структур, приведенных к формату JSON // Наука, техника и образование. 2015. № 11 (17). С. 49–53.

8. Синдеев С.С. Исследование использования типа данных JSON в базе данных MySQL // В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования: от теории к практике: материалы II международной научно-практической конференции, приуроченной ко Дню Российской науки. 2018. С. 201–204.

9. Портнов Е.М., Баин А.М., Чумаченко П.Ю. Методика разработки систем автоматизации бизнес-процессов предприятий // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2011. № 2. С. 69–73.

10. Портнов Е.М., Баин А.М., Чумаченко П.Ю. Методика натурального моделирования распределенных автоматизированных систем управления бизнес-процессами предприятий // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2010. № 4. С. 27–30.

УДК 697.1:536.2

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Грызлов В.С., Каптюшина А.Г.

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», Череповец, e-mail: gryvs@mail.ru

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий является главной характеристикой при их проектировании, т.е. определении толщины сечения, выбора соответствующих теплоизоляционных материалов, их энергосберегающей и экономической обоснованности. Все мероприятия по утеплению наружных стен должны соотноситься с предельными значениями удельных единовременных затрат, при которых эти мероприятия окупаются. В статье изложены предложения по уточнению методики назначения нормативных величин сопротивления теплопередаче, рекомендованных СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. В основу данных предложений положены нормативные региональные санитарно-гигиенические требования, являющиеся прямым следствием теории теплопередачи и характеристики тепловой инерционности ограждающих конструкций. Предложены формулы для расчета критерия окупаемости теплозащиты ограждающих конструкций здания. Полученные уравнения позволяют учитывать нестационарные условия теплопередачи и хорошо адаптируются к региональным климатическим параметрам. Приведены результаты длительных теплотехнических испытаний фрагментов однослойных и многослойных стен, которые проводились на специальном стенде в естественных микроклиматических условиях, в том числе из керамзитобетона, газобетона, пенобетона, трехслойной кирпичной стены, легких ограждений из ГВЛ Кнауф и пенополистирола. Получены уравнения для расчета требуемых значений сопротивления теплопередаче наружных стен. Представленные предложения способствуют уточнению экономических критериев и позволяют более объективно оценивать величину единовременных затрат на дополнительное утепление конструкций.

**Ключевые слова:** сопротивление теплопередаче, удельные единовременные затраты, окупаемость, тепловая инерционность

## PROPOSALS FOR THE REGULATION OF THERMAL RESISTANCE OF ENCLOSING STRUCTURES OF BUILDINGS

Gryzlov V.S., Kartyushina A.G.

Cherepovets State University, Cherepovets, e-mail: gryvs@mail.ru

Resistance to heat transfer of building envelope is the main characteristic in their design, i.e. determining the thickness of the cross section, the choice of appropriate thermal insulation materials, their energy saving and economic feasibility. All arrangements for the insulation of exterior walls should relate to the limit values of specific non-recurring costs in which these activities pay off. The article presents suggestions for refinement of the methodology for the assignment of normative values of thermal resistance of recommended SP 50.13330.2012 «Thermal protection of buildings». Updated version of SNiP 23-02-2003. The basis of these proposals is the normative regional sanitary and hygienic requirements, which are a direct consequence of the theory of heat transfer and characteristics of thermal inertia of enclosing structures. Formulas for calculation of macroeconomic criterion of payback of increase of thermal protection of the protecting designs of the building are offered. The obtained equations allow to take into account non-stationary heat transfer conditions and adapt well to regional climatic parameters. The results of long-term thermal tests of fragments of single-layer and multi-layer walls which were carried out on a special stand in natural microclimatic conditions are presented, including from expanded clay concrete, aerated concrete, foam concrete, a three-layer brick wall, light protections from GVL Knauf and expanded polystyrene. Equations for calculation of required values of heat transfer resistance of external walls are received. The presented proposals contribute to the refinement of economic criteria and allow a more objective assessment of the value of one-time costs for additional insulation of structures.

**Keywords:** heat transfer resistance, specific one-time costs, payback, thermal inertia

Повышение энергоэффективности жилых зданий, продиктованное энергетическим кризисом, потребовало значительного увеличения нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций этих зданий и разработки комплекса энергосберегающих мероприятий.

В работах [1, 2] и ряде других указывается на необходимость согласованного уточнения этих требований с инвестиционными затратами на создание и модификацию новых производств при условии окупаемости этих затрат. Серьезным аргументом такого уточнения является то, что зависимость теплопотерь от приведенного сопротивле-

ния теплопередаче имеет ярко выраженный убывающий экспоненциальный вид, при анализе которого можно сделать вывод, что увеличение сопротивления теплопередаче более определенного уровня (например, 2,3 м<sup>2</sup>·°С/Вт для центрального региона РФ) не приводит к заметному уменьшению тепловых потерь (рис. 1).

Цель исследования: разработать методы назначения региональных нормативных величин сопротивления теплопередаче, учитывающих условия нестационарной теплопередачи и критерии окупаемости повышения теплозащиты ограждающих конструкций здания.

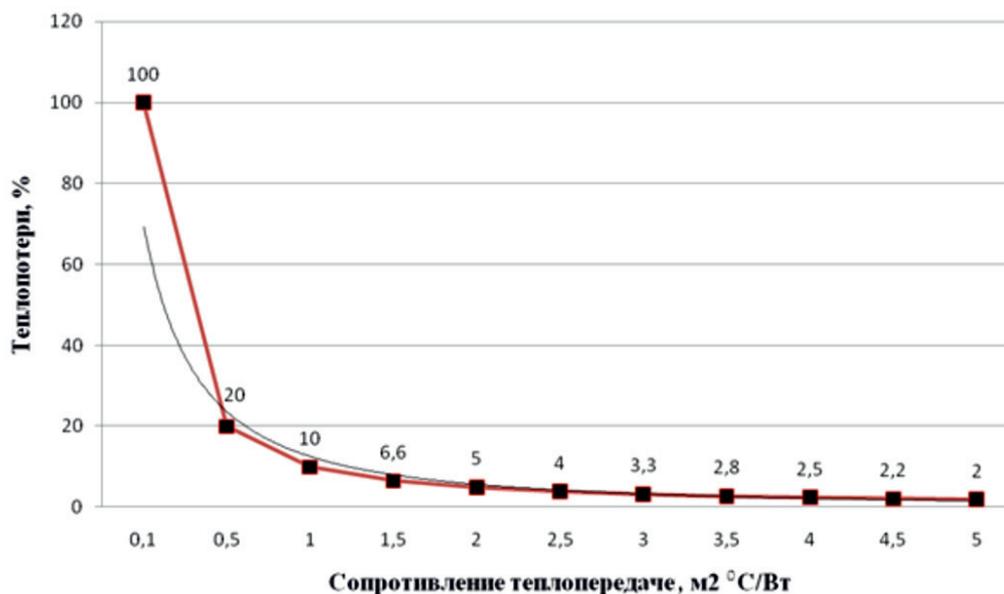


Рис. 1. Зависимость теплопотери от приведенного сопротивления теплопередаче

### Материалы и методы исследования

В общем виде необходимое условие окупаемости, для оценочных расчетов энергомодификации ограждающих конструкций можно выразить неравенством

$$(\Delta K / \Delta k) < \omega = (0,024 \cdot D_d \cdot C_T) / p, \quad (1)$$

где  $\Delta K$  – единовременные затраты на техническое решение, в частности дополнительное утепление конструкции;  $p$  – годовая процентная ставка за банковский кредит;  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода;  $\Delta k$  – снижение коэффициента теплопередачи при дополнительном утеплении ограждения;  $C_T$  – цена тепловой энергии.

В данном неравенстве  $\omega$  (предельное значение удельных единовременных затрат) является макроэкономическим параметром и определяет предел технико-экономических возможностей повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе:

$$\omega > C_{yt} \lambda (R^n)^2, \quad (2)$$

где  $C_{yt}$  – стоимость утеплителя,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала,  $R^n$  – нормируемое сопротивление теплопередаче.

Таким образом устанавливается связь параметров: конструкции ( $R^n$ ) и утеплителя ( $\lambda$ ) с учетом его стоимости на региональном рынке. В целом это позволяет назначать региональные ограничения на повышение теплозащиты ограждающих конструкций с учетом максимально допустимой цены теплоизоляционного материала, при которой затраты на утепление ограждающей конструкции до заданного уровня теплозащиты могут окупиться за счет экономии тепловой энергии.

В (2) наиболее сложной является физико-техническая объективность нормирования сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Согласно СП 50.13330.2012 [3], нормируемые значения  $R^n$  предложено определять по формуле

$$R^n = aD_d + b, \quad (3)$$

где  $D_d = (t_b - t_{ct})z_{on}$ ;  $t_b$ ,  $t_{ct}$ ,  $z_{on}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, средняя температура наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность в сутках;  $a$ ,  $b$  – безразмерные эмпирические коэффициенты, назначаемые по виду конструкций и типу зданий.

Обязательным является требование

$$R_0^p \geq R^n. \quad (4)$$

$R_0^p$  – расчетное (фактическое) сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Проектирование тепловой защиты зданий начинается с анализа климатических условий района будущего строительства. В первом приближении теплопотери пропорциональны снижению температуры и длительности периода с низкими температурами. В СП 50.13330.2012 [3] суровость климата принято характеризовать числом градусо-суток отопительного периода. В других странах применяются иные схемы подсчета  $D_d$ , в том числе в них может использоваться более одного значения  $D_d$  [4, 5].

С другой стороны, суровость отопительного периода характеризуют пиковые низкие температуры (наиболее холодных суток, наиболее холодной пятидневки, абсолютной минимальной), которые создают наибольшую напряженность для теплозащитных способностей ограждающих конструкций. В некоторых работах введено понятие «эквивалентная температура», которая отражает степень суровости климата как совместное влияние температуры воздуха и ветра в зависимости от приспособленности объекта к каждому из факторов. Одновременно с этим в ряде работ предлагается использовать понятие «стандартные условия» и вводить индекс степе-

ни суровости климата, соответствующий максимальному отклонению от своего стандартного значения [6, 7]. В прежней редакции СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» расчетную зимнюю температуру наружного воздуха принимали с учетом тепловой инерции ограждающей конструкции, что в определенной степени дифференцировало влияние климатических условий на тепловой режим зданий.

В связи с вышеизложенным использование показателя  $D_a$  в теплотехнических расчетах вызывает сомнение и требует дополнительного обоснования. Данный показатель в большей степени влияет на экономическую оценку теплозащиты (формулы 2, 3) и в меньшей может рассматриваться как теплофизический фактор при ее проектировании. Более логичными и рациональными являются показатели температуры наружного воздуха за отопительный период, так как теплотехнические свойства материалов (теплопроводность) функционально зависят от температуры окружающей среды. Упрощение этого влияния, особенно в условиях нестационарной теплопередачи, приводит к нарушению теплового баланса и комфортного режима зданий. Поэтому предлагаемая для расчета  $R^n$  формула (3) не соответствует физической сущности процесса теплопередачи в конструкции и не обеспечивает размерность сопротивления теплопередаче:  $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Ограждения зданий должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами, которые определяются двумя показателями: величиной сопротивления теплопередаче  $R_0^p$  и теплоустойчивостью, которую оценивают по характеристике тепловой инерции ограждения  $D$ . Параметр  $R_0^p$  определяет сопротивление ограждения передаче тепла в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических температурных колебаний, т.е. нестационарных условий теплопередачи. Очень важно, чтобы расчетное сопротивление теплопередаче  $R_0^p$ , определяемое как сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждения  $R_i$  и сопротивлений теплообмену на внутренней  $R_{\text{в}}$  и наружной  $R_{\text{н}}$  поверхностях ограждения, было больше минимально допустимого санитарно-гигиенического сопротивления теплопередаче  $R_0$ , т.е.:

$$R_0^p \geq R_0, \quad (5)$$

где  $R_0^p = R_{\text{в}} + \sum R_i + R_{\text{н}}$ ;  $R_i = \delta / \lambda_c$ ;  $R_0 \geq n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / \Delta t_n \alpha_{\text{в}}$ ,  $\delta$  – толщина отдельного слоя в сечении ограждения, м;  $\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м  $^\circ\text{C}$ );  $n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{н}}$  – расчетная зимняя температура,  $^\circ\text{C}$ , равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;  $\Delta t_n$  – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $^\circ\text{C}$ .

Значение  $R_0$  следует принимать как нижний предел допустимых значений сопротивления теплопередаче для данного климатического района и как условие соблюдения санитарно-гигиенических требований, что является прямым следствием теории теплопередачи, вытекающим из равенства потоков

тепла, проходящих через любое сечение конструкции и через все ограждение в целом.

«В строительной теплотехнике большое значение имеют вопросы, связанные с периодическими колебаниями температур и тепловых потоков» [8]. В естественных условиях адаптационного периода режим теплопередачи через ограждения в большей степени является нестационарным, что отражается на их теплонакопительной способности. «Эта способность зависит от плотности материала ограждений, и у тяжелых стен она выше, чем у легких конструкций. Зимой помещения с большей теплонакопительной способностью при отключении отопления охлаждаются с меньшей скоростью, а летом избыточная энергия в дневное время может накапливаться для того, чтобы отдать ее в воздух помещения в прохладные ночные часы» [9]. Наиболее холодные и жаркие периоды года отмечены особенно резкими изменениями температуры и солнечной радиации. Эти периоды наибольшего охлаждения и наибольшего нагрева при проектировании ограждений и систем отопления являются экстремальными, поэтому основные теплотехнические расчеты должны выполняться с учетом нестационарности условий. Умение рассчитывать переменные процессы необходимо также для правильной замены сложного нестационарного явления простым стационарным. При этом надо находить такие условия замены, при которых точность упрощенного расчета не выйдет за пределы допустимых погрешностей [10].

В связи с этим для инженерных расчетов значения  $R^n$  предлагается следующее условие

$$R^n \geq R_0 + \varepsilon R_0, \quad (6)$$

где  $\varepsilon R_0$  – поправка, учитывающая нестационарность теплопередачи и инерционность конструкции.

Возникает задача: как определить значение  $\varepsilon$  в формуле (6)? Рассмотрим решение данной задачи с позиции теплоинерционности конструкций. В теплотехнических расчетах это связано с понятием массивности стен, характеризующихся величиной тепловой инерции ( $D$ ), численно равной сумме произведений термических сопротивлений отдельных слоев ограждающей конструкции на коэффициенты теплоусвоения ( $s$ ) материала этих слоев.

Тепловая инерция также характеризует степень затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха и влияние ее на амплитуду колебаний температуры воздуха внутри помещения. Чем больше теплонакопительная способность ограждающей конструкции, тем менее influentialны колебания наружного воздуха. При медленном понижении температуры, до начала периода резкого похолодания, распределение температуры в ограждении в каждый момент времени практически соответствует стационарному. В период резкого похолодания в каждый момент времени распределение температуры заметно отличается от стационарного. Амплитуда изменения температуры на внутренней поверхности ограждения  $A_{\text{тв}}$  будет отставать от изменений наружной амплитуды  $A_{\text{н}}$ . Для стационарного режима теплопередачи отношение между амплитудами соответствует

$$A_{\text{тв}} / A_{\text{н}} = R_{\text{в}} / R_0. \quad (7)$$

В условиях нестационарной теплопередачи периода резкого похолодания, для ограждения опреде-

ленной тепловой инерции выражение (7) записывается в виде

$$A_{\text{тв}} / A_{\text{тн}} = R_{\text{в}} / \psi R_0, \quad (8)$$

откуда

$$\psi = \nu R_{\text{в}} / R_0, \quad (9)$$

где  $\nu$  – показатель сквозного затухания в ограждении разового отклонения  $A_{\text{тн}}$  температурной волны, зависящей от тепловой инерции конструкции;  $\nu = A_{\text{тн}} / A_{\text{тв}}$ .

Из теории теплоустойчивости [10] известно, что коэффициент теплоинерционности  $\psi$ , учитывающий нестационарность теплопередачи, меняется в пределах  $0 < \psi < 1$  и показывает, какую долю от  $R_0$  нужно принять в расчет, чтобы, пользуясь формулой (7) стационарной теплопередачи, получить значение  $A_{\text{тв}}$ , которое будет соответствовать фактическому в условиях нестационарного процесса теплопередачи через ограждение, обладающее определенной теплоустойчивостью. Если принять значение  $\psi$  наиболее массивной конструкции за единицу, то менее массивные конструкции должны достигать такой инерционности за счет ее увеличения до единицы, т.е.  $\varepsilon = 1 - \psi$ . Подставляя это выражение в (6), получаем

$$R^{\text{н}} = R_0(2 - \psi). \quad (10)$$

Выражение (10) представляет рационально допустимые нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и может выступать основным аргументом при поэлементном проектировании этих конструкций, назначении толщины теплоизоляции и выборе материалов.

### Результаты исследования и их обсуждение

Вопросы нестационарной теплопередачи непосредственно связаны с разработкой метода материаловедческого подхода по назначению и расположению температурозатухающих слоев в ограждающей конструкции и повышению ее теплоустойчивости. Поэтому развитие экспериментального проектирования и строительства должно предусматривать натурную апробацию эффективных материалов и технологий с предварительным изучением их теплозащитных свойств на экспериментальных стендах.

В научно-технической литературе предлагается ряд методик для расчета  $\psi$ , однако большинство из них связано с оценкой теплоустойчивости ограждающих конструкций в летний период и не в полной мере отражают реальные условия нестационарной теплопередачи в холодное время года. Коэффициент теплоинерционности ограждения можно оценить экспериментально по результатам длительных натуральных наблюдений, фиксирующих нестационарность теплопередачи с последующей статистической обработкой полученных данных по амплитудам колебаний температуры наружного воздуха и на внутренней поверхности ограждения.

Таблица 1

Характеристики фрагментов ограждающих конструкций

Слой материал (от наружной поверхности)		Фрагменты ограждающих конструкций						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Материал	Керамзитобетон	Пенобетон	Газобетон	ГВЛ Кнауф	ГВЛ Кнауф	ISOPLAAT	ГВЛ Кнауф
	$\delta$ (м)	0,3	0,3	0,185	0,01	0,01	0,012	0,01
	$\lambda$ (Вт/м °С)	0,24	0,22	0,088	0,29	0,29	0,05	0,29
	$\gamma$ (кг/м <sup>3</sup> )	900	600	400	1100	1100	250	1100
	$s$ (Вт/м <sup>2</sup> °С)	4,47	3,36	1,74	4,4	4,4	1,57	4,4
2	Материал	–	–	–	Полистиролбетон	Пенополистирол	ROCWOOL LIGHTBATTS	Пенополистирол
	$\delta$ (м)	–	–	–	0,21	0,05	0,196	0,05
	$\lambda$ (Вт/м °С)	–	–	–	0,142	0,029	0,045	0,041
	$\gamma$ (кг/м <sup>3</sup> )	–	–	–	500	25	37	40
	$s$ (Вт/м <sup>2</sup> °С)	–	–	–	2,52	0,27	0,33	0,41
3	Материал	–	–	–	–	Кирпич керамический	ГВЛ Кнауф	ГВЛ Кнауф
	$\delta$ (м)	–	–	–	–	0,12	0,01	0,01
	$\lambda$ (Вт/м °С)	–	–	–	–	0,35	0,29	0,29
	$\gamma$ (кг/м <sup>3</sup> )	–	–	–	–	1200	1100	1100
	$s$ (Вт/м <sup>2</sup> °С)	–	–	–	–	5,31	4,4	4,4
	D	5,6	4,6	3,6	3,9	2,4	2,0	0,86

Примечание:  $\delta$  – толщина слоя;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, определялся в натуральных условиях зондовым методом – прибором ИТП МГ4 «Зонд»;  $\gamma$  – плотность;  $s$  – коэффициент теплоусвоения.

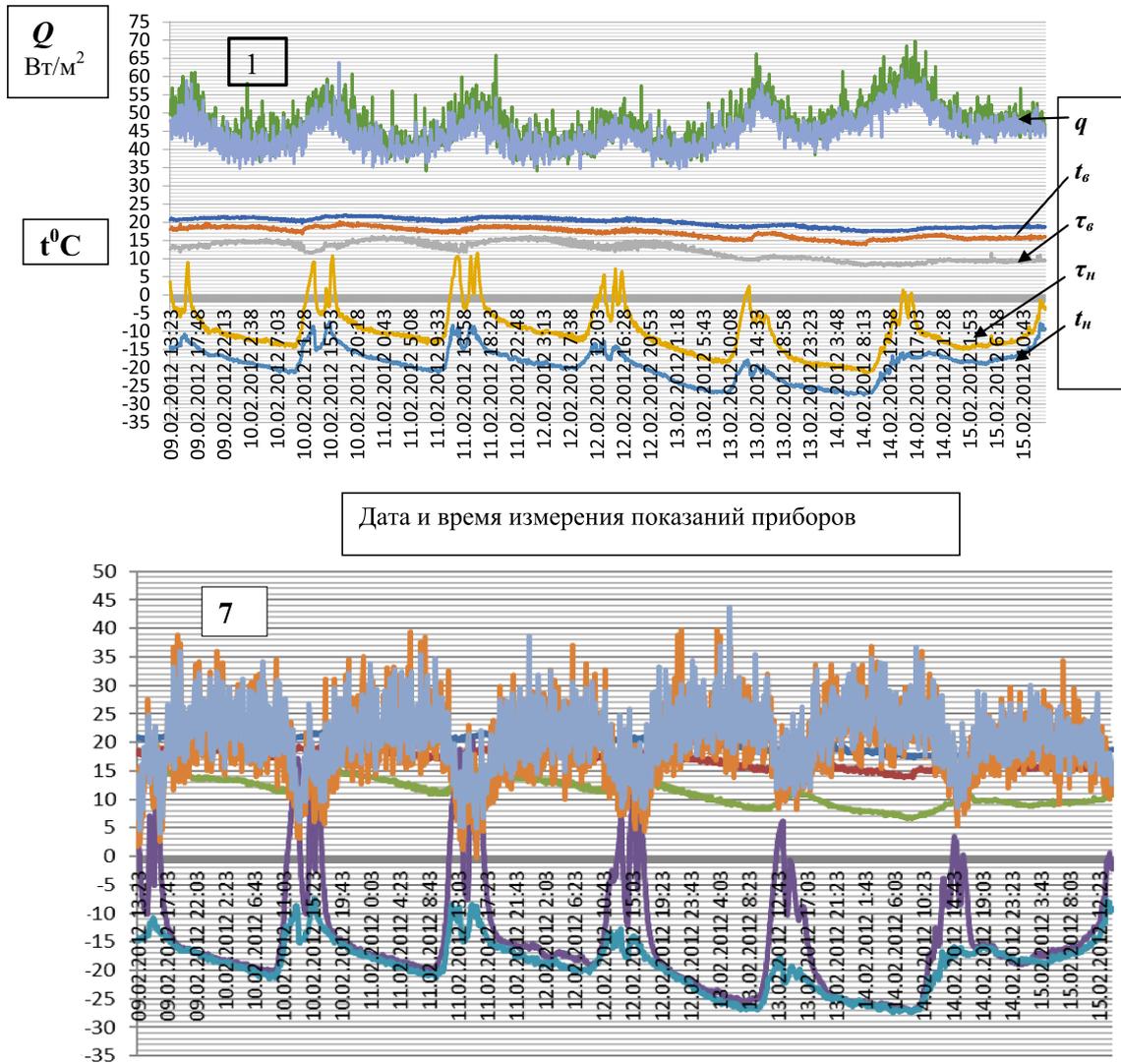


Рис. 2. Результаты испытаний фрагментов № 1 и 7

Данные эксперименты проводились на специальном стенде для длительных натурных теплотехнических исследований в условиях микроклимата осенне-зимнего периода г. Череповца [11]. Стенд позволяет проводить длительные натурные испытания одновременно на четырех фрагментах, что дает возможность достоверного сравнения разных слоистых и однородных композитов в идентичных микроклиматических условиях. Измерения и анализ данных осуществляются посредством набора приборов, формирующих измерительно-вычислительный комплекс. Достоверность полученных результатов измерений достигается соблюдением граничных условий третьего рода за счет эффективной теплоизоляции фрагментов по периметру. Для теплотехнических испытаний был выбран ряд типовых фраг-

ментов наружных стен жилых зданий, характеристики которых приведены в табл. 1. Во время испытаний измерялась температура внутренней и наружной поверхности фрагментов и плотность удельного теплового потока  $q$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Значения измерений фиксировались каждые пять минут. На графиках (рис. 2) представлены фактические результаты измерения тепловых потоков и температур для некоторых фрагментов. Подтверждено, что инерционность и теплопроводность фрагментов оказывают определенное влияние на временное смещение экстремумов тепловых потоков и температур на внутренней поверхности. Например, для фрагмента 1 такие смещения наблюдаются в интервале 8–12 ч, для фрагмента 7 смещений практически нет, для других фрагментов – в пределах 3–8 ч.

У фрагмента 7 практически отсутствует тепловая инерционность, что в свою очередь исключает теплоаккумулирующую способность и приводит к завышенному теплообмену на наружной поверхности, изменение теплового потока и температуры на внутренней поверхности фрагмента 7 происходит без сдвига во времени.

Результаты расчета коэффициента тепловой инерционности по формуле (10) с учетом экспериментально-статистических значений амплитуд колебания температур на наружной и внутренней поверхности фрагментов подтвердили пропорциональную зависимость  $\psi$  от  $D$  (табл. 2).

**Таблица 2**  
Расчет показателей тепловой инерционности и  $R^n$

Фрагмент №	$D$	$\nu$ $z = 12$	$\Psi$ $z = 12$	$R^n$ при $R_0 = 1,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ г. Череповец по (11)
1	5,6	10,2	0,83	1,70
2	4,6	7,81	0,78	1,98
4	3,95	5,53	0,69	2,15
3	3,6	2,87	0,37	2,25
5	2,43	2,82	0,35	2,57
6	1,96	2,94	0,16	2,70
7	0,86	0,56	0,05	3,00

**Примечание.**  $z$  – период колебания теплового потока, час.

После аппроксимации получено уравнение, отражающее зависимость  $\psi$  от  $D$   $\psi = 0,18 D - 0,13$ , позволяющее представить выражение (10) в виде

$$R^n = 0,18R_0 (11,8 - D). \quad (11)$$

Выражение [11] является удобной формой для инженерного расчета нормативного значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, соответствует физической сущности процесса теплопередачи, учитывает климатические условия и инвестиционные возможности региона строительства.

## Заключение

Предложено экспериментально-методическое обоснование для назначения нормативных величин сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с учетом их тепловой инерционности и региональных микроклиматических параметров. В целом это создает предпосылки для более объективного определения величин единовременных затрат на дополнительное утепление многослойных конструкций наружных стен и формирования региональной политики в вопросах энергоэффективности жилых зданий.

## Список литературы

1. Грабовый П.Г. и др. Основы энергоресурсосбережения в жилищной и коммунальной сфере: монография / Под общ. ред. Л.Н. Чернышова. Иркутск: Байкальский фил. «Сосновгеология» ФГУП «Урангеологоразведка», 2008. 429 с.
2. Грызлов В.С. Техничко-экономическая оценка повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе // Вестник ЧГУ. 2010. № 3 (26). С. 74–78.
3. СП 50.13330 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» Минрегион России, 2012. 95 с. [Электронный ресурс]. URL: www.normacs.ru (дата обращения: 17.11.2018).
4. W. Blasi. Bauphysik. Verlag Europa Lehrmittel. Nourney. Vollmer GmbH & Co. 2001. 480 p.
5. Ливчак В.И. Градусо-сутки отопительного периода как инструмент сравнения уровня энергоэффективности зданий в России и других странах // Энергосбережение 2015. № 6. С. 20–25.
6. Гагарин В.Г., Чжоу Чжибо. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 18–22.
7. Мастюков С.И., Червякова Н.В. Оценка степени суровости климата севера Евразии в зимний период // Навигация и гидрография. 2014. № 38. С. 66–714.
8. Курочкин С.Н. Оценка нестационарных тепловых воздействий на ограждающие конструкции в природных условиях // Череповецкие научные чтения 2012. Ч. 3. Естественные, экономические, технические науки и математика. ЧГУ, 2012. С. 143–146.
9. Халиманюк В.З. Проектирование теплового комфорта помещений: учебно-методическое пособие. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2005. 57с.
10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
11. Грызлов В.С., Курочкин С.Н. Оценка тепловой инерционности при теплотехническом расчете ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2013. № 8. С. 73–78.

УДК 621.18-1/-9:51

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ  
КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С РЕЗЕРВНЫМ ТОПЛИВОМ****Ефимов А.Ю., Широ́в М.С., Панкова О.С.***ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва»  
(национальный исследовательский университет), Саранск, e-mail: maksdid@mail.ru*

Настоящая статья посвящена математической оценке надежности и эффективной работы котельных установок (КУ) при введении резервного топливного хозяйства. В связи с ростом числа потребителей тепловой энергии соответственно возрастает нагрузка на магистрали, что приводит к росту вероятности возникновения аварийных ситуаций при транспортировке газа и, как следствие перерывов в теплоснабжении, что не допускается для значимых объектов. Одним из методов повышения надежности подвода тепла потребителям является внедрение резервного топлива. Схема газоснабжения котельной с присоединением резервного топлива в качестве дополнительного элемента с точки зрения математики представляет собой логическую схему. На первом этапе были рассмотрены структурные схемы надежности систем с учетом резервирования, а также отмечены их ключевые особенности. Был произведен анализ существующих методов расчета надежности и выделены наиболее подходящие под схему присоединения магистралей газопроводов и резервного топливного хозяйства рассматриваемой котельной. На втором этапе основываясь на статистических данных по отключениям, и существующим нормативам были проведены расчеты надежности каждым из методов. Полученные результаты расчетов наглядно отображают надежность безотказной работы с наличием резервной линии. В заключение сделан вывод, что метод резервирования путем восстановления наиболее эффективен.

**Ключевые слова:** резервное топливо, котельная установка, математическая модель, структурная схема, элемент

**MATHEMATICAL ASSESSMENT OF RELIABILITY OF WORK  
OF BOILER PLANTS WITH RESERVE FUEL****Efimov A. Yu., Shirov M. S., Pankova O. S.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«National Research Ogarev Mordovia State University», Saransk, e-mail: maksdid@mail.ru*

This article is devoted to the mathematical evaluation of the reliability and efficient operation of boiler plants (BP) when introducing a backup fuel economy. Due to the growing number of consumers of thermal energy, the load on the main lines increases accordingly, which leads to an increase in the likelihood of emergency situations during gas transportation, and as a result of interruptions in heat supply, which is not allowed for significant facilities. One of the methods to improve the reliability of heat supply to consumers is the introduction of backup fuel. The gas supply scheme of the boiler house with the addition of backup fuel as an additional element from the point of view of mathematics is a logical scheme. At the first stage, structural schemes of the reliability of systems with redundancy were considered, and their key features were noted. The analysis of existing methods for calculating the reliability was made, and the most suitable ones for the scheme of connecting gas pipelines and reserve fuel facilities of the boiler house under consideration were identified. At the second stage, based on statistical data on outages, and existing standards, calculations of the reliability of each method were carried out. The results of the calculations clearly show the reliability of trouble-free operation with the presence of a backup line. In conclusion, it is concluded that the method of backup through recovery is most effective.

**Keywords:** reserve fuel, boiler plant, mathematical model, structural diagram, element

В настоящее время для выработки тепловой энергии основным видом топлива, обычно является природный газ, поставляемый по газопроводу. Бесперебойность подачи данного топлива в КУ, как показывает практика, зависит напрямую от надежности каждого элемента входящего в систему обеспечения топлива. При строительстве новых микрорайонов, а также с постоянным ростом числа потребителей тепловой энергии необходима модернизация существующих КУ. Это непосредственно сказывается на увеличении объемов потребления природного газа, при этом возрастает нагрузка на магистрали.

Совокупность таких факторов обычно приводит к росту числа аварийных и штатных ситуаций [1]. Предполагается,

что самым простым решением является строительство дополнительных газо-трубопроводов, но это трудоемкий и длительный процесс, требующий огромных материальных затрат.

При отказах во время аварийных ситуаций, связанных с перебоями газоснабжения в КУ установленных категорий и к особо значимым объектам, необходимо не допускать перерывов поставок тепла потребителям [1].

Вопрос надежности поставок резервного топлива в КУ и особенно в ТЭЦ в нашей стране становится все более определяющей задачей для теплоснабжающих организаций, а также разработка способов и методов надежной поставки топлива, его необходимого количества, параметров и качества.

Согласно [2] основным стимулирующим органом, влияющим на поддержание исправного состояния и безопасную работу оборудования, являются надзорные органы РФ.

С целью повышения энергосбережения и эффективности использования ресурсов предприятия, эксплуатирующие оборудование, обязаны обеспечить работу оборудования на резервном топливе, а также создавать запасы топлива для тепловых электростанций и источников тепловой энергии в соответствии с законодательством РФ в сфере электроэнергетики и теплоснабжения [3]. Помимо этого организации, эксплуатирующие топливное хозяйство, обязаны обеспечить его своевременную, бесперебойную подготовку и подачу в котельные агрегаты [4], учитывая категорию надежности КУ и условия эксплуатации оборудования.

Система топливного хозяйства в целом представляет собой структурную систему с минимальным количеством элементов, разработанную исходя из её функционального назначения с последующими модернизациями – добавлением дополнительных элементов данная схема, возможно, будет усложняться.

Для КУ «первой категории надежности» структурно-логическая схема представлена для двух элементов.

В качестве первого (основного) элемента, находящегося в работе, выступает подводимое к КУ топливо из газопровода (газ), а вторым резервным не задействованным элементом является мазут, дизельное топливо и т.д. во время неработоспособного состояния основного элемента, в дальнейшем «система».

Рассмотрим основные структурно-логические методы расчета резервирования, то есть способы повышения надежности работы объекта как «системы» в целом.

1. Расчет надежности «системы» с резервированием методом замещения без восстановления [5].

Рассмотрим структурно-логическую схему расчета надежности с резервированием замещением без восстановления, представленную на рис. 1.

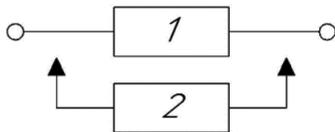


Рис. 1. Структурно-логическая схема расчета надежности системы с резервированием методом замещения без восстановления:  
1 – основной элемент; 2 – элемент в ненагруженном резерве

Резервный элемент 2 включается в работу по мере отказа основного 1. Принимается, что оба элемента равнонадежны, а переключаемое устройство безотказно. Процесс функционирования данной группы приведен на рис. 2.

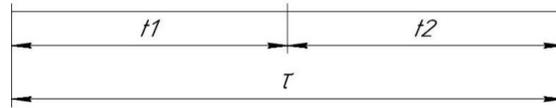


Рис. 2. Процесс функционирования группы из двух элементов с резервированием замещением без восстановления

Через случайный промежуток времени  $t_1$  после начала работы группы происходит отказ основного элемента, вместо него мгновенно включается резервный на промежуток  $t_2$ . Общий отказ группы наступит при отказе всех элементов.

Согласно [5], при определении вероятности безотказной работы группы в течение времени  $P_p(t)$  формируются следующие события:  $A_0$  – нет отказов в группе;  $A_1$  – отказ первого элемента;  $A_2$  – отказ второго элемента и, как следствие, отказ всей группы.

Отсюда по теореме сложения вероятностей определяется вероятность безотказной работы группы:

$$P_p(t) = P\left(\sum_{i=0}^{n-2} A_i\right) = \sum_{i=0}^{n-2} P(A_i).$$

А значение вероятности безотказной работы при резервировании основного элемента методом замещения без восстановления определяется как

$$P_p(t) = e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}.$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов  $i$ -элемента за время  $t$ ;

$n$  – количество элементов в «системе».

2. Расчет надежности резервирования «системы» с восстановлением [5].

Рассмотрим структурно-логическую схему расчета надежности «системы» резервированием с восстановлением, изображенную на рис. 3.

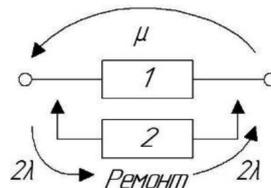


Рис. 3. Структурно-логическая схема функционирования «системы» резервированием с восстановлением

Предположим, что основной элемент топливоснабжения КУ с постоянной величиной (давления, калорийностью, температурой, потребления газа) и резервный элемент (топливное хозяйство) равнонадежны. Интенсивность отказов  $\lambda$  и время восстановления  $\mu$  подчиняются экспоненциальному закону распределения. Во время заданного промежутка времени  $t$  могут возникнуть несколько вариантов состояния объекта КУ:  $S_1$  – оба элемента в работоспособном состоянии;  $S_2$  – резервный элемент задействован в момент восстановления основного;  $S_3$  – отказ всей системы.

Опишем данный процесс с точки зрения теории графов состояний элементов. Схема графа состояния элементов «системы» представлена на рис. 4.

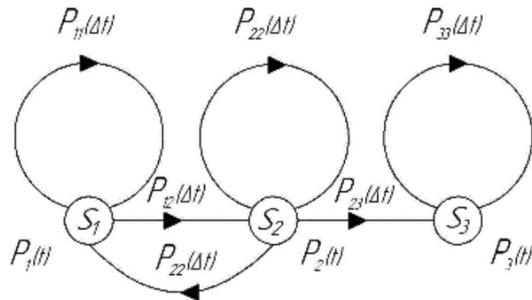


Рис. 4. Граф состояния элементов «системы» с восстановлением

1. Система на протяжении времени  $t$  находится в состоянии  $S_1$ .

Вероятность  $P_{11}(\Delta t)$  сохранять данное состояние определяется вероятностью безотказной работы обоих элементов за промежуток времени  $\Delta t$ :

$$P_{11}(\Delta t) = e^{-2\lambda\Delta t}.$$

А вероятность перехода из состояния  $S_1$  в  $S_2$  определяется выражением

$$P_{12}(\Delta t) = 1 - e^{-2\lambda\Delta t}.$$

2. Система находится в состоянии  $S_2$  на протяжении времени  $t$ .

Вероятность  $P_{22}(\Delta t)$  сохранять данное состояние определяется исходя из вероятности безотказной работы резервного элемента при одновременном отсутствии восстановления основного:

$$P_{22}(\Delta t) = 1 - (\lambda + \mu)\Delta t.$$

Вероятность  $P_{21}(\Delta t)$  перехода объекта в состояние  $S_1$  определяется как вероятность восстановления основного элемента при безотказной работе резервного:

$$P_{21}(\Delta t) = \mu\Delta t.$$

Вероятность  $P_{23}(\Delta t)$ , то есть перехода в состояние  $S_3$  определяется как вероятность отказа основного элемента в момент невозможности восстановления резервного:

$$P_{23}(\Delta t) = \lambda\Delta t.$$

3. Система на протяжении времени  $t$  находится в состоянии  $S_3$ .

Данное состояние характеризуется общим отказом системы в целом, то есть поглощающим. Так, вероятность безотказной работы за время  $t$ :

$$P_p(t) = P_1(t) + P_2(t).$$

А вероятность отказа при этом:

$$Q_p(t) = P_3(t).$$

После преобразований [5] получаем расчетную формулу вероятности безотказной работы «системы» в целом:

$$P_p(t) = \frac{a+b}{2a} e^{\left[-\frac{1}{2}(b-a)t\right]} + \frac{a-b}{2a} e^{\left[-\frac{1}{2}(b+a)t\right]},$$

где  $a = \sqrt{\mu^2 + 6\mu\lambda + \lambda^2}$ ;

$$b = \mu + 3\lambda.$$

Метод резервирования путем замещения с восстановлением более эффективен, так как при расчете учитывается возможность восстановления отказавших элементов, составляющих «систему».

4. Расчет надежности с применением метода теории графов [5].

Применение данного метода существенно упрощает процесс составления уравнений для соответствующего состояния и переходов между ними, при этом предварительно рассчитывают и задаются значениями вероятности их сохранения и интенсивности перехода.

Вид графа состояний рассмотрим на примере структурного резервирования с восстановлением. Если в случае предыдущего метода рассматривается возможность восстановления лишь одного элемента во время запуска резервного. Но бывают случаи, когда требуется восстановить сразу несколько элементов несколькими бригадами, тогда процесс определения показателей надежности упрощается.

Благодаря методу графов мы можем рассматривать состояния элементов как независимые статически и рассчитать коэффициент готовности объекта. Для случая ненагруженного резервирования замещением при наличии одной ремонтной бригады и одного работающего элемента граф перехода состояния  $S_1$  в  $S_2$  будет выглядеть как

$$P_{12}(\Delta t) = \lambda\Delta t.$$

Значение вероятности безотказной работы при этом будет определяться по формуле

$$P_p(t) = \frac{c+d}{2c} e^{\left[-\frac{1}{2}(d-c)t\right]} + \frac{c-d}{2c} e^{\left[-\frac{1}{2}(c+d)t\right]},$$

где  $c = \sqrt{\mu^2 + 4\mu\lambda}$ ;

$$d = \mu + 2\lambda.$$

Цель исследования заключается в определении необходимости внедрения резервного топлива в КУ «первой категории надежности», а также повышении надежности оборудования при наличии системы резервного топлива.

### Материалы и методы исследования

Объектом научного исследования является КУ «ШТФ» в г. Рузевка РМ. Для сравнения эффективности каждого из рассматриваемых методов производились расчеты показателей вероятности безотказной работы КУ.

В числе потребителей тепловой энергии, отпускаемой рассматриваемой котельной, являются особо важные объекты, такие как школа, роддом, ЦРБ, и т.д. Интенсивность отказа первого элемента, то есть поломки газопроводов с «газ» диаметром 150 мм, в среднем составляет  $10^{-5}$  раз<sup>1</sup>/год, а общая продолжительность работы котельной в отопительный период в среднем составляет 5016 ч.

### Результаты исследования и их обсуждения

Произведен расчет вероятности безотказной работы при резервировании основного элемента методом замещения, как без восстановления, так с восстановлением. Общее значение вероятности безотказной работы всей системы котельной с использованием резервного топлива будет определяться как сумма вероятностей каждого состояния системы, а именно:

$$P_p(t) = P(A_0) + P(A_1) + P(A_2),$$

где  $P(A_0) = e^{-\lambda t}$  – нет отказов в группе;

$P(A_1) = \lambda t e^{-\lambda t}$  – отказ основного элемента;

$P(A_2) = \frac{(\lambda^2 t^2)}{2} \cdot e^{-\lambda t}$  – отказ всей системы.

Таким образом:

$$P_p(t) = e^{-\lambda t} \left( 1 + \lambda t + \frac{\lambda^2 t^2}{2} \right).$$

Подставляя значения применительно к рассматриваемой котельной, получим

$$P_p(t) = e^{-(10^{-5} \cdot 5016)} \times \left( 1 + 10^{-5} \cdot 5016 + \frac{(10^{-5})^2 \cdot 5016^2}{2} \right) = 0,99 \approx 99\%.$$

Произведем расчет значения вероятности безотказной работы при резервировании основного элемента с восстановлением. Принимаем, что необходимый объем резервуаров с резервным топливом должен обеспечить бесперебойную работу котельного оборудования в течение 72 ч. Данного периода должно быть достаточно для проведения мероприятий по устранению неисправностей ремонтной бригадой.

Предварительно произведем расчет вспомогательных элементов:

$$a = \sqrt{72^2 + 6 \cdot 72 \cdot 10^{-5} + (10^{-5})^2} = 72,00,$$

$$b = 72 + 3 \cdot 0,00001 = 72,00.$$

$$P_p(t) = \frac{72+72}{2 \cdot 72} e^{\left[-\frac{1}{2}(72-72) \cdot 5016\right]} + \frac{72-72}{2 \cdot 72} e^{\left[-\frac{1}{2}(72+72) \cdot 5016\right]} = 1 \approx 100\%.$$

Произведем расчет значения вероятности безотказной работы с применением методов теории графов.

Значения вспомогательных элементов при этом будут равны

$$c = \sqrt{72^2 + 4 \cdot 72 \cdot 10^{-5}} = 72,00,$$

$$d = 72 + 2 \cdot 10^{-5} = 72,00.$$

Значение вероятности безотказной работы при этом будет определяться по формуле

$$P_p(t) = \frac{72+72}{2 \cdot 72} e^{\left[-\frac{1}{2}(72-72) \cdot 5016\right]} + \frac{72-72}{2 \cdot 72} e^{\left[-\frac{1}{2}(72+72) \cdot 5016\right]} = 1 \approx 100\%.$$

### Выводы

В ходе проведенного расчетного метода можем сказать, что:

1. Резервное топливо в первую очередь позволит обеспечить бесперебойность работы КУ в моменты перебоев газоснабжения, не прерывая процесс отпуска тепла потребителям первой категории.

2. Показатели надежности работы КУ при резервировании с восстановлением элементов системы превышают показатели надежности резервирования замещением без восстановления.

**Список литературы**

1. Ефимов А.Ю., Марков В.А. Анализ и оценка проблем систем горячего водоснабжения // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузовский сборник научных трудов. Саранск, 2016. 173 с.
2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/184452/#friends> (дата обращения: 15.09.2018).
3. Постановление Правительства РФ от 17 мая 2002 г. № 317 «Об утверждении Правил пользования газом и предоставления услуг по газоснабжению в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/184452/#friends> (дата обращения: 15.09.2018).
4. Приказ Минэнерго РФ от 24 марта 2003 г. № 115 «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/185671/#friends> (дата обращения: 10.09.2018).
5. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электро-технических систем: учебное пособие для вузов. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2010. 218 с.

УДК 004.49:519.81

## К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КИБЕРПРЕСТУПЛЕНИЯМ ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ

<sup>1</sup>Иванов В.Ю., <sup>2</sup>Жигалов К.Ю.<sup>1</sup>Московский университет МВД им. В.Я. Кикотя, Москва, e-mail: ivsl71@mail.ru;<sup>2</sup>ФГБУН «Институт проблем управления Российской академии наук им. В.А. Трапезникова»,  
Московский технологический институт, Москва, e-mail: kshakalov@mail.ru

Расследование следов преступлений в сфере высоких технологий предполагает поиск доказательств противоправных цифровых действий пользователя в информационной системе. В качестве объектов исследования для формирования доказательной базы, используются всевозможные устройства способные хранить в себе цифровую информацию. В данной статье рассмотрены различные программные, аппаратные и аппаратно-программные комплексы, используемые органами внутренних дел и другими организациями для расследования преступлений в области информационных технологий. Кроме того, показаны способы получения информации с накопителей на жестких магнитных дисках, SSD и мобильных устройств. В дополнение к стандартным способам и методам получения цифровых следов, в качестве полезного источника дополнительной информации указывается на образ оперативной памяти вычислительной системы. В ходе исследований выявлена возможность получения из оперативной памяти следующей информации: перечень запущенных процессов; сведения о сетевых соединениях; пароли для доступа к файлам; расшифрованные файлы, находящиеся в зашифрованном виде в файловой системе; ключи шифрования; буфер обмена; переписку пользователя; вредоносный код. Применение описанной в статье информации позволит как эффективно защищать данные от злоумышленников, так и проводить доказательную базу и поиск доказательств осуществления незаконной деятельности.

**Ключевые слова:** киберпреступление, следы на информационных носителях, образ оперативной памяти, мобильные устройства, органы внутренних дел

## TO THE QUESTION OF IMPROVING THE ANTI CYBERCRIME LAW ENFORCEMENT

<sup>1</sup>Ivanov V.Yu., <sup>2</sup>Zhigalov K.Yu.<sup>1</sup>Moscow University of the Ministry of the Interior of Russia, Moscow, e-mail: ivsl71@mail.ru;<sup>2</sup>V.A. Trapeznikov Institute of control Sciences of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow Technological Institute, Moscow, e-mail: kshakalov@mail.ru

Investigation of traces of crimes in the field of high technology involves the search for evidence of illegal digital actions of the user in the information system. As the objects of research to form the evidence base, using all kinds of devices capable of storing digital information. This article discusses the various software, hardware and hardware-software systems used by the Internal Affairs Bodies and other organizations to investigate crimes in the field of information technology. In addition, the methods of obtaining information from hard disk drives, SSDS and mobile devices are shown. In addition to the standard methods and techniques for obtaining digital traces, as a useful source of additional information is indicated on the image of the RAM of the computer system. In the course of research, the possibility of obtaining the following information from the RAM: the list of running processes; information about network connections; passwords to access files; decrypted files that are encrypted in the file system; encryption keys; the clipboard; the correspondence of the user; the malicious code. The use of the information described in the article will allow both to effectively protect data from intruders and to conduct evidence base and search for evidence of illegal activities.

**Keywords:** cybercrime, traces on information carriers, the computer's memory, a mobile device, police

Все громкие преступления в настоящее время совершаются при помощи вредоносных программ. Разработчики вредоносного программного обеспечения уже не развлекаются, выводя компьютер из строя, а все свои усилия направляют в сторону получения прибыли от созданного им программно-кода.

Есть четкое разграничение обязанностей в преступном мире: одни люди занимаются разработкой вредоносных программ, другие люди их распространяют, третьи люди умеют только зайти в административную панель бот-сети и отправлять команды управления вредоносной программой, которая стоит на

тысячах зараженных компьютерах, другие умеют только обналечивать полученные финансовые средства и так далее.

В связи с этим разделением очень сложно привлечь данных людей к уголовной ответственности. Только в ходе рассмотрения дела в рамках преступной группы задачи каждого члена становятся понятными.

Сложностью расследования еще является то, что каждый член группы, как правило, знает только одного или двух своих поделщиков, причем не настоящие имена, а «ники». Поэтому установить связи преступного сообщества очень сложно и доказать это в суде довольно затруднительно.

В связи с этим преступность в цифровом мире очень развита; чувствуя безнаказанность, злоумышленники продолжают нарушать закон, посягая на чужие права.

### *Цифровые доказательства*

В качестве доказательств при расследовании преступлений в сфере высоких технологий выступают, как правило, цифровые данные. В отличие от вещественных доказательств они находятся в памяти электронных устройств и могут быть зафиксированы только при помощи специальных аппаратно-программных криминалистических комплексов.

Носители информации можно разделить на энергонезависимые и энергозависимые. Энергонезависимый носитель информации способен хранить записанные данные в течение длительного времени без необходимости подключения к источнику питания. Энергозависимый носитель информации не способен после отключения от источника питания в течение длительного времени хранить данные.

На этапе сбора и фиксации информации об инциденте необходимо понимать, что цифровые доказательства находятся не только на жестких дисках, но и имеются в оперативной памяти и дампах сетевого трафика. Это очень важно сейчас, когда вредоносные программы работают в основном в оперативной памяти, чтобы не оставлять следов на жестком диске.

В оперативной памяти можно найти: перечень запущенных процессов; сведения о сетевых соединениях; пароли для доступа к файлам; расшифрованные файлы, которые в обычном состоянии находятся на диске в зашифрованном виде; ключи шифрования; буфер обмена; переписку пользователя; вредоносный код.

Выключение компьютера, подвергнутого инциденту без снятия дампа оперативной памяти, приведет к потере очень важных цифровых доказательств, без которых нака-

зать злоумышленника порой будет практически невозможно.

Зачем нужен сетевой трафик? Допустим, мы нашли вредоносную программу на жестком диске, и, если она не очень сложная, можно попытаться найти ссылки на сервер управления, куда отсылаются данные. Однако на момент исследования эти ссылки могут оказаться неактуальными, в связи с тем, что злоумышленники меняют адреса сервера как минимум два раза в день и реальные ip-адреса сервера мы не получим.

На основании вышеизложенного, можно предложить следующий порядок сбора информации:

1. Создание копии содержимого оперативной памяти.

2. В случае необходимости создание копий энергонезависимых носителей информации.

3. Выключение работающих компьютеров одним из следующих методов:

3.1. Штатной процедурой выключения;

3.2. Прерыванием электропитания.

4. Извлечение энергонезависимых носителей информации (НЖМД, флеш-накопители) и создание их копии.

5. Копирование лог-файлов сетевого оборудования.

6. Запрос лог-файлов у интернет-провайдера и других сервисов в случае надобности.

Для сбора данных с энергозависимых носителей информации необходимо иметь flash-накопитель или переносной жесткий магнитный диск, на который предварительно должны быть записаны специальные программы.

Для операционной системы Windows: Mandiant «Memoryze» [1], AccessData «FTK Imager» [2]. Для операционной системы Linux: LiME, Fmem [3, 4]. Для операционной системы OS X: Mac Memory Reader [5]. Эти программы условно-бесплатные и находятся в свободном доступе.

```
C:\Mem>MemoryDD.bat -output RAM
Memoryze.exe by MANDIANT (c) 2011 - http://www.mandiant.com/products/free_software/memoryze/
Usage: C:\Mem\MemoryDD.bat
  -offset optional offset into physical memory. Exclude for all.
  -size optional size of physical memory to acquire. Exclude for all.
  -output directory to write the results. Default .\Audits

C:\Mem\RAM\Audits\TESTUM\20121010164436>dir /1
Том в устройстве C не имеет метки.
Серийный номер тома: B088-DA9C

Содержимое папки C:\Mem\RAM\Audits\TESTUM\20121010164436
10/10/2012 09:44 AM <DIR> .
10/10/2012 09:44 AM <DIR> ..
10/10/2012 09:44 AM 20,047 batchresults.xml
10/10/2012 09:44 AM 286 issues.batchresults.xml
10/10/2012 09:44 AM 1,008 issues.memory.213f5926.img.xml
10/10/2012 09:44 AM 536,805,326 memory.213f5926.img
```

Рис. 1. Результаты работы программы Memoryze

### Исследование оперативной памяти

Для снятия копии содержимого оперативной памяти можно воспользоваться утилитой Memoryze [1]. С помощью командной строки необходимо запустить следующий файл из директории программы Memoryze:

```
MemoryDD.bat -output <out_dir>
```

где <out\_dir> – папка для сохранения образа.

В результате работы данной утилиты сохраняется образ оперативной памяти в виде файла с расширением .img (рис. 1).

Альтернативной программой по созданию копии оперативной памяти является программа AccessData FTK Imager. В отличие от предыдущей утилиты, она имеет более дружелюбный интерфейс и позволяет при создании копии вклю-

чить в создаваемый образ файл подкачки, содержащий дополнительную системную информацию (рис. 2).

Исследуя оперативную память, можно получить список запущенных процессов и сервисов. Появление в этом списке неизвестного процесса позволит более тщательно рассмотреть этапы его запуска и работы (рис. 3).

Список установленных в системе драйверов. Здесь можно получить информацию о том, какие внешние устройства были подключены к компьютеру и в каком состоянии они находились на момент изъятия оперативной памяти. Наряду с этим исследование оперативной памяти позволяет получить журнал посещенных пользователем сайтов. На рис. 4 можно увидеть их названия и реальные ip адреса. Так, например, сайт www.opengce.org имеет ip-адрес 96.126.125.53 [6].

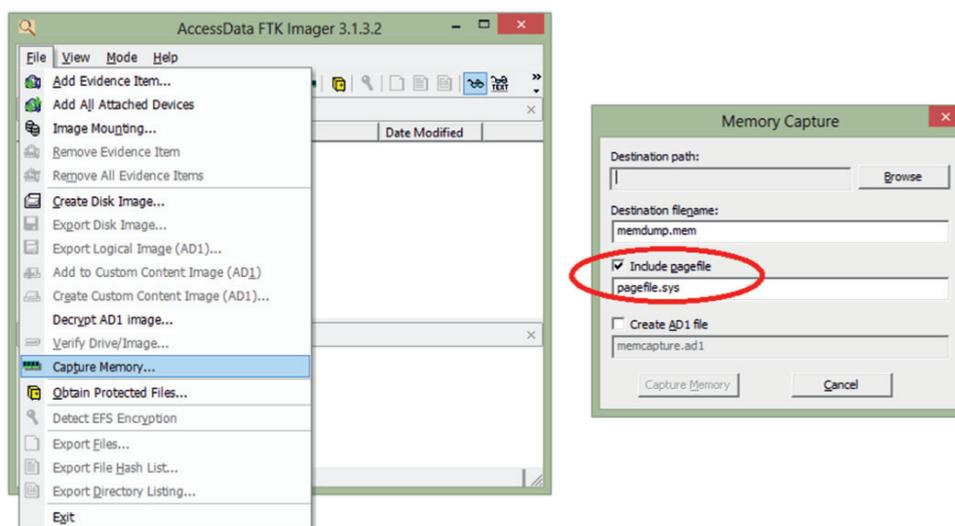


Рис. 2. Снятие копии содержимого оперативной памяти с помощью AccessData FTK Imager

```
>tasklist /SVC >tasklist.txt
```

Image Name	PID	Services
System Idle Process	0	N/A
System	4	N/A
smss.exe	616	N/A
csrss.exe	808	N/A
wininit.exe	868	N/A
csrss.exe	888	N/A
services.exe	932	N/A
lsass.exe	956	KeyIso, Netlogon, ProtectedStorage, SamSs
lsn.exe	964	N/A
winlogon.exe	648	N/A
suchost.exe	684	DcomLaunch, PlugPlay, Power
nvsvc.exe	996	nvsvc
suchost.exe	816	RpcEptMapper, RpcSs
suchost.exe	1116	AudioSrv, Dhcp, eventlog, lmhosts, uscsvc
suchost.exe	1160	AudioEndpointBuilder, Netman, SysMain, TrkWks, UxSms, WPDBusEnum, wudfsvc
suchost.exe	1188	BITS, Brouser, gpsvc, IKEEXT, iphlpsvc, LanmanServer, MMCSS, ProfSvc, Schedule, SENS, ShellHWDetection, Themes, Winmgmt,

Рис. 3. Список запущенных процессов и сервисов

>ipconfig /displaydns >DNSCache.txt

```
www.openrce.org
-----
Record Name . . . . . : www.openrce.org
Record Type . . . . . : 1
Time To Live . . . . . : 71897
Data Length . . . . . : 4
Section . . . . . : Answer
A (Host) Record . . . . : 96.126.125.53

www.ic3.gov
-----
Record Name . . . . . : www.ic3.gov
Record Type . . . . . : 1
Time To Live . . . . . : 58520
Data Length . . . . . : 4
Section . . . . . : Answer
A (Host) Record . . . . : 65.201.175.137
```

Рис. 4. Журнал посещенных сайтов

Список текущих открытых соединений позволяет определить, к каким сетевым ресурсам в момент снятия оперативной памяти был подключен компьютер и с какими ресурсами он взаимодействует.

#### Исследование накопителей на жестких магнитных дисках

Сбор данных с энергонезависимых носителей информации несколько отличается от рассмотренного выше. Это связано с тем, что объемы жестких магнитных дисков гораздо больше, чем размер оперативной памяти, и если есть необходимость в процессе выемки создать образ жесткого магнитного диска, то надо понимать, что на это уйдет гораздо большее количество времени.

Немаловажным фактором является то, что без специального оборудования нель-

зя на работающем компьютере создать копию интересующего нас диска. Любая операция копирования вносит изменения в атрибуты исследуемых файлов, что не позволит использовать их в качестве доказательства в суде.

В соответствии со статьей 57 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации эксперт не вправе без разрешения дознавателя, следователя или суда проводить исследование, которое может повлечь полное или частичное уничтожение объектов либо изменение их внешнего вида или основных свойств.

Поэтому для осуществления копирования данных по секторам жесткого магнитного диска необходимо использовать программные или аппаратные блокираторы записи.

Блокираторами записи называются программы или аппаратные устройства, которые на физическом уровне предотвращают какие-либо изменения в процессе копирования данных. Данные устройства позволяют гарантированно создавать аутентичные образы исследуемых дисков.

Наряду со встроенными блокираторами записи эксперты могут использовать автономные устройства, которые называются дубликатами или копирами. Эти устройства также имеют возможность блокирования записи, но, в отличие от предыдущих, позволяют создавать копии исследуемых дисков без использования персонального компьютера.

Сам процесс создания копии диска осуществляется при помощи специальных программ, например AccessData FTK Imager, и занимает продолжительное время (рис. 5).

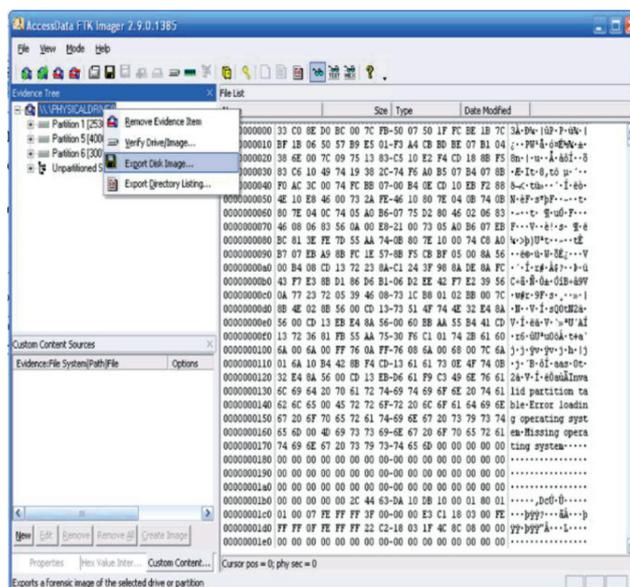


Рис. 5. Создание копии диска программой AccessData FTK Imager

После получения образов запоминающих устройств, их исследование уже проводится на стендовом оборудовании в лабораторных условиях.

Для проведения компьютерных экспертиз наиболее часто используются следующие аппаратно-программные комплексы:

- Paraben's P2C,
- EnCase Forensic
- Belkasoft Evidence Center.

Данные комплексы способны восстановить удаленную информацию, осуществить контекстный поиск по различным критериям внутри файлов, отсортировать информацию в удобном для восприятия виде и автоматически составить отчет, который можно использовать в приложениях к экспертному заключению. Так же имеется возможность просмотреть содержимое всех основных интернет-чатов, по которым можно определить собеседников и прочесть их сообщения. Поддерживаются все известные браузеры, работающие под операционную систему Windows, что позволяет получить хронологию посещения сайтов на исследуемом компьютере. Имеется возможность анализировать изображения и видеофайлы на наличие порнографии, лиц и отсканированного текста. Поддерживается извлечение удаленной истории. Доступен анализ образа оперативной памяти [7].

При фотографировании мобильными устройствами или фотоаппаратами с GPS модулем, внутри фотографий могут помещаться данные о геолокации. Если на диске имеются такие графические файлы, аппаратно-программный комплекс покажет все места, где были сняты выбранные фотогра-

фии на картах Google внутри окна встроенного веб-браузера.

Если навести мышь на изображение места на карте, то можно будет получить информацию об изображении, снятом в данном месте (рис. 6).

#### *Исследование мобильных устройств*

Мобильные устройства, такие как смартфоны и планшеты, наряду с оперативной памятью и жесткими магнитными дисками компьютера также содержат в себе цифровую информацию, которую можно использовать в качестве доказательства в суде.

Количество полезной информации о повседневной жизни злоумышленника здесь гораздо больше. Это связано с тем, что сотовым телефоном человек пользуется гораздо чаще и он всегда находится при нем [2, 8].

Наиболее популярными аппаратно-программными комплексами для исследований мобильных устройств являются комплексы: UFED; XRY; Мобильный Криминалист (Oxygen Forensic Suite).

UFED – израильская разработка, XRY – разработка шведской компании, Мобильный Криминалист – создан российскими специалистами.

Основными местами хранения данных в мобильных устройствах являются: внутренняя память; внешняя память; SIM-карта; оператор сотовой связи (NSP); «облачное» хранилище.

Для получения доступа к хранимой информации необходимо соединить телефон с аппаратно-программным комплексом с помощью интерфейсных кабелей, входящих в комплект, либо используя Bluetooth или инфракрасный порт.

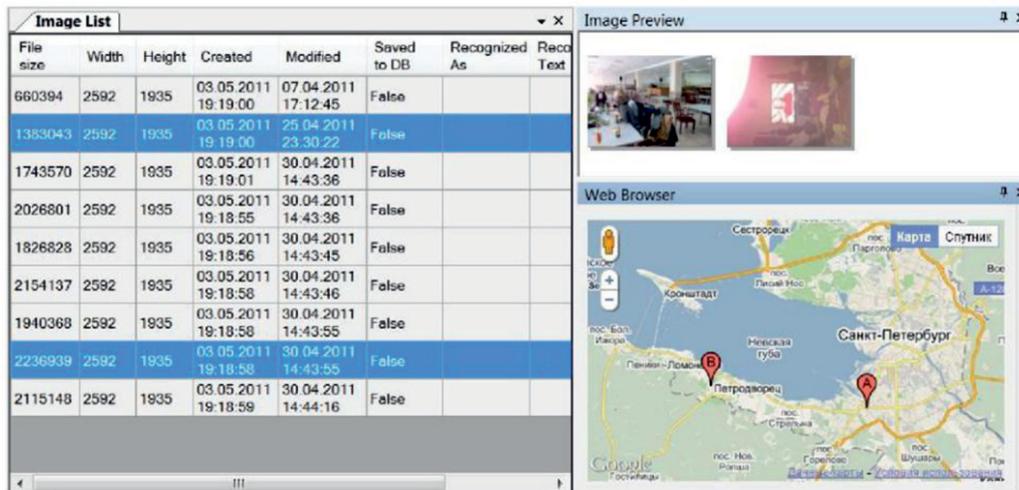


Рис. 6. Belkasoft Evidence Center

Комплексы иногда позволяют обходить блокировку экрана или снимать пароли, защищающие устройства. Также возможен подбор пароля на зашифрованных резервных копиях.

Аппаратно-программные комплексы извлекают все данные: контакты, сообщения, звонки, файловую систему, данные из приложений – и восстанавливают удаленные данные [9, 10].

В удобном для восприятия виде можно получить все отправленные и полученные SMS сообщения. Каждое сообщение сопровождается информацией о получателе и отправителе, времени отправления и текстом.

Программа извлекает данные геолокации из различных источников: мобильные устройства, облачные сервисы, карты памяти и так далее [11, 8]. Пространственные координаты отображаются на онлайн- и офлайн-картах.

Встроенный модуль карт позволяет:

- посмотреть посещенные пользователем места;
- построить маршруты передвижения пользователя;
- найти общие места пребывания нескольких пользователей.

Комплексы имеют ряд программных аналитических разделов, таких как «лента событий» – показывающая все события в хронологическом порядке, «граф связей» – указывающий связи между владельцами устройств и их контактами.

### Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что в последнее время борьба с компьютерными преступлениями становится все более актуальной. Наиболее перспективным направлением этой борьбы, по мнению авторов, является исследование мобильных

устройств. Практически каждый человек сегодня имеет подобное устройство. А что касается молодежи, то большая часть свободного времени их связана с общением через интернет-приложения, посещением сайтов, созданием селфи и др. А это связи, местонахождение и интересы.

### Список литературы

1. Жигалов К.Ю. Подготовка техники к использованию в системах автоматизированного управления строительства автодорог // Естественные и технические науки. 2014. № 1 (69). С. 62–65.
2. Бобкин Д.В., Жигалов К.Ю. Исследование надежности распознавания речи системой Google Voice Search // Cloud of Science. 2015. Т. 2. № 3. С. 465–472.
3. Effective Email Borne Ransomware Responses // Сайт компании FireEye [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fireeye.com> (дата обращения: 27.09.2018).
4. Empowering Collection to Analysis Excellence // Сайт компании AccessData [Электронный ресурс]. URL: <http://www.accessdata.com/product-download> (дата обращения: 27.09.2018).
5. Computer Forensic Tool Catalog // The National Institute of Standards and Technology (NIST) is an agency of the U.S. Commerce Department [Электронный ресурс]. URL: <https://toolcatalog.nist.gov> (дата обращения: 27.09.2018).
6. Червяков Н.И., Коляда А.А., Ляхов П.А. Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 400 с.
7. Omondi A., Premkumar B. Residue Number Systems: Theory and Implementation // Imperial College Press. UK 2007. 296 p.
8. Жигалов К.Ю., Иванов В.А. Преодоление низкой частоты дискретизации аналого-цифрового преобразователя для задач синтеза речевого сигнала // Прикладные исследования и технологии ART2015: сборник трудов Второй международной конференции, 2015. С. 148–150.
9. Запечников С.В. Криптографические протоколы и их применение в финансовой и коммерческой деятельности: учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия Телеком, 2007. 320 с.
10. Черемушкин А.В. Криптографические протоколы. Основные свойства и уязвимости. М.: Академия, 2009. 272 с.
11. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. М.: Издательство ТРИУМФ, 2003. 816 с.

УДК 004.052.2

## РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО СИСТОЛИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СИГНАЛОВ В ПОЛЕ ГАЛУА $GF(M)$

<sup>1</sup>Калмыков М.И., <sup>1</sup>Юрданов Д.В., <sup>1</sup>Кононова Н.В., <sup>1</sup>Калмыков И.А., <sup>2</sup>Тынчеров К.Т.

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал, Октябрьский

В настоящее время беспроводные системы, реализующие такие стандарты, как IEEE 802.11 и IEEE 802.16, широко применяют методы цифровой обработки сигналов (ЦОС), в частности мультиплексирование с ортогональным частотным разделением OFDM. Использование технологии передачи сигналов, построенной на применении нескольких ортогональных несущих, позволяет обеспечить достаточно высокую спектральную эффективность сигнала OFDM, а также устойчивость к узкополосной интерференции. Данные результаты достигаются за счет перехода к параллельной передаче данных, а также применения ортогонального дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Однако, дискретное преобразование Фурье, как и его быстрые алгоритмы, обладают недостатками. Среди них можно отметить наличие двух вычислительных трактов, а также значительные погрешности при выполнении ортогональных преобразований сигналов из-за применения тригонометрических функций. Устранить данные недостатки возможно за счет использования целочисленных теоретико-числовых преобразований (ТЧП) сигналов. Однако реализация ТЧП характеризуется значительными временными затратами. Поэтому разработка методов реализации теоретико-числовых преобразований сигналов, позволяющих устранить данный недостаток, является актуальной задачей. Целью статьи является повышение скорости выполнения ТЧП за счет разработки алгоритма, использующего параллельно-конвейерные методы на основе многоканальных систолических матриц.

**Ключевые слова:** цифровая обработка сигналов, ортогональные преобразования сигналов, дискретное преобразование Фурье, систолические алгоритмы, теоретико-числовое преобразование

## DEVELOPMENT OF MULTI-CHANNEL SYSTOLIC ALGORITHM FOR COMPUTING NUMBER-THEORETIC TRANSFORMS OF THE SIGNALS IN THE GALOIS FIELD $GF(M)$

<sup>1</sup>Kalmykov M.I., <sup>1</sup>Yurdanov D.V., <sup>1</sup>Kononova N.V., <sup>1</sup>Kalmykov I.A., <sup>2</sup>Tyncherov K.T.

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution Higher Professional Education

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

<sup>2</sup>Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrskiy

Currently, wireless systems that implement such standards as IEEE 802.11 and IEEE 802.16, widely used methods of digital signal processing (DSP), in particular, multiplexing with orthogonal frequency division OFDM. The use of signal transmission technology, based on the use of several orthogonal carriers, allows to provide a sufficiently high spectral efficiency OFDM signal, as well as resistance to narrowband interference. These results are achieved through the transition to parallel data transmission, as well as the use of orthogonal discrete Fourier transform (DFT). However, the discrete Fourier transform, like its fast algorithms, has drawbacks. Among them we can note the presence of two computational paths, as well as significant errors in the performance of orthogonal signal transformations due to the use of trigonometric functions. It is possible to eliminate these drawbacks by using integer number-theoretic transformations (NTT) of signals. However, the implementation of NTT is characterized by significant time costs. Therefore, the development of methods for the implementation of theoretical and numerical transformations of signals to eliminate this drawback is an urgent task. The aim of the article is to increase the speed of the NTT by developing an algorithm using parallel-conveyor methods based on multichannel systolic matrices.

**Keywords:** digital signal processing, orthogonal signal transformations, discrete Fourier transform, systolic algorithms, number-theoretic transformation

В настоящее время методы цифровой обработки сигналов (ЦОС) находят новые сферы своего применения. Так как алгоритмы ЦОС обладают достаточно высокой вычислительной сложностью, то для обеспечения обработки сигналов в режиме реального времени используются спецпроцессоры (СП). Среди методов цифровой обработки сигналов особое место принадлежит ортогональным преобразованиям сигналов, которые используют дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его быстрые алгоритмы. Наиболее наглядно

это проявляется в беспроводных системах передачи данных, использующих технологию OFDM. Основными недостатками дискретных преобразований Фурье (ДПФ) с точки зрения цифровой обработки сигналов являются ошибки, возникающие вследствие округления или усечения результатов операций до используемой специализированными процессорами длины слова и наличие двух вычислительных трактов [1, 2]. Причем в конечных полях и кольцах может быть определено преобразование, аналогичное ДПФ и лишенное указанных недо-

статков [3]. Поэтому разработка алгоритмов ЦОС, использующих преимущества целочисленной арифметики и позволяющих устранить отмеченные недостатки ДПФ, является актуальной задачей.

С точки зрения реализации СП преобразований сигналов на основе ДПФ существует проблема представления словами конечной длины поворачивающих коэффициентов, являющихся иррациональными числами [4, 5]. Одним из направлений решения данной проблемы является использование конечных полей или колец с целью замены операций над действительными числами операциями над целыми числами. В работах [1, 2] предлагается в качестве альтернативы ДПФ использовать теоретико-числовые преобразования (ТЧП). Однако реализация ТЧП характеризуется значительными временными затратами. Поэтому разработка методов реализации теоретико-числовых преобразований сигналов, позволяющих устранить данный недостаток, является актуальной задачей. В работе [6] предложено использовать систолический принцип организации вычислений для повышения скорости выполнения ТЧП и разработан чисто-систолический алгоритм вычисления ТЧП (ЧСМ ТЧП) сигналов. Дальнейшее снижение временных затрат на выполнение ДВП возможно за счет применения многоканальных систолических матриц (МСМ). Поэтому целью работы является повышение скорости выполнения ТЧП за счет разработки алгоритма, использующего параллельно-конвейерные методы на основе многоканальных систолических матриц.

**Материалы и методы исследования**

Систолический принцип организации вычислений является одним из направлений построения систем ЦОС. Ячейки систолических процессоров (процессорные элементы) имеют, как правило, простую структуру и работают параллельно, выполняя одинаковую для одинаковых типов ячеек базовую операцию. Результаты вычислений предыдущей ячейки являются входными данными для последующей, передача данных осуществляется по всем локальным связям, причем данные в систолическом процессоре обрабатываются по мере выполнения всей необходимой совокупности базовых операций.

В работе [6] рассмотрены чисто-систолические матрицы, реализующие вычисления ТЧП по схеме Горнера. В ходе проведенных исследований было установлено, что перенос подходов, используемых при построении чисто-систолических СП ДПФ из поля комплексных чисел в конечные поля Галуа  $GF(M)$  позволяет повысить скорость вычисления ТЧП в 2,5 раза по сравнению с классическим алгоритмом. Рассмотрим возможность использования подходов, применяемых при проектировании многоканальных систолических СП ДПФ для разработки алгоритмов вычисления ТЧП.

ТЧП определяется для последовательностей целых чисел  $S_k$  и  $x_n$ ,  $k, n = 0, 1, \dots, N-1$ , как пара преобразований:

$$S_k = \left( \sum_{n=0}^{N-1} x_n \epsilon_N^{kn} \right) \bmod M, \tag{1}$$

$$x_n = \left( N^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} S_k \epsilon_N^{-kn} \right) \bmod M, \tag{2}$$

со структурой, похожей на структуру ДПФ.  $M, N$  – взаимно простые целые положительные числа, кроме этого, необходимым условием существования ТЧП является делимость  $P_i - 1$  на  $N$ , где  $P_i$  – любой из простых сомножителей  $M$ ,  $\epsilon_N$  – такое число, что  $(\epsilon_N)^N = 1 \bmod M$  и  $(\epsilon_N)^L \neq 1 \bmod M, \forall L < N$ .

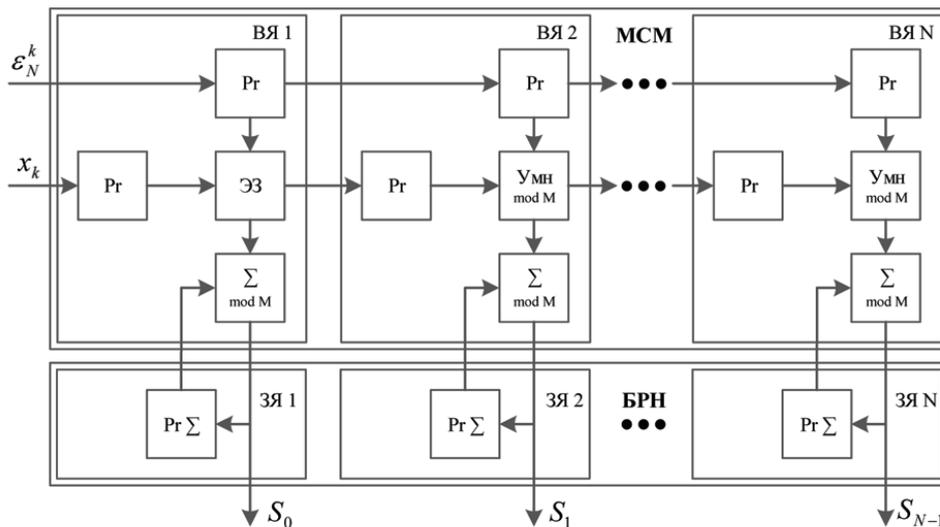


Рис. 1. Многоканальная систолическая матрица с блоком регистров-накопителей для вычисления ТЧП

В работе [4–1] показано, если  $\varepsilon_N$  является степенной двойки, то умножения в (1) и (2) можно осуществить сдвигами кодовых слов и приведением результата по модулю  $M$ .

Перенесем подходы, используемые при построении многоканальных систолических СП ДПФ из поля комплексных чисел в конечные кольца  $Z_M$  и представим структуру многоканальной систолической матрицы (МСМ) с блоком регистров-накопителей (БРН) для вычисления ТЧП (МСМ ТЧП) на рис. 1. Ячейки БРН содержат накапливающий регистр  $Pr \Sigma$ , предназначенный для хранения промежуточных значений  $S_k$ . Каждая  $l$ -я ячейка ( $l \in \{1, N\}$ ) МСМ ТЧП реализует вычисления  $S_k$  по формуле (1) следующим образом:

$$s_{l,n} = (s_{l,(n-1)} + x_{(n-l)} \varepsilon_N^{(n-l)(l-1)}) \bmod M, \quad \forall n = 1, 2, \dots, 2N - 1, \quad (3)$$

где  $s_{l,n}$  – значение накопленной суммы в  $n$ -й такт вычислений ( $l \leq n \leq N + l - 1$ ) в  $l$ -м регистре  $Pr \Sigma$ ,  $s_{l,(n-1)}$  – то же на  $(n - 1)$  – такте,  $x_{(n-l)}$  – значение отсчета исходных данных на  $n$ -м такте в  $l$ -й ячейке,  $\varepsilon_N^{(n-l)(l-1)}$  – значение степени  $(n - l)(l - 1)$  элемента порядка  $N$ , поступающего на вход  $l$ -ячейки в  $n$ -й такт.

Из формулы (3) видно, что вычисления  $s_{l,n}$  осуществляются в независимых ячейках МСМ ТЧП, причем операции умножения и сложения разделены и  $s_{l,(n-1)} = 0, \forall n \leq l$ . На рис. 2 представлена структура отдельной ячейки МСМ.

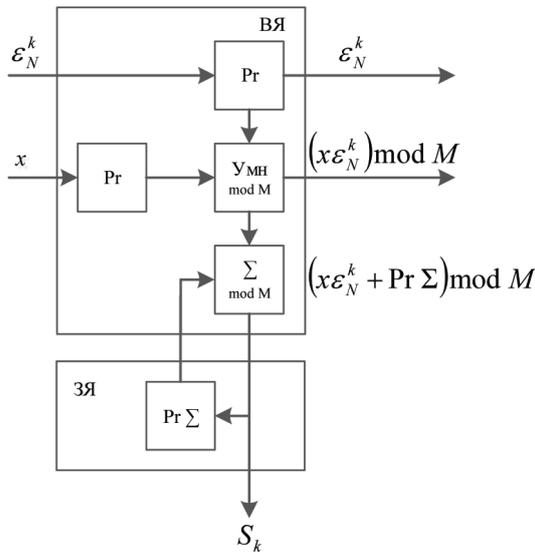


Рис. 2. Структура отдельной ячейки МСМ ТЧП

В каждый такт работы длительностью  $\tau$  отдельная ячейка МСМ ТЧП (рис. 2) выполняет операции: п/п длительностью  $\tau_1$  (передача на выход значения  $\varepsilon_N^k$ , поступившего в ячейку на предыдущем такте); передача на выход результата предыдущего умножения; прием новых значений  $\varepsilon_N^{k+1}$  и  $x$ ), Умн  $\bmod M$  длительностью  $\tau_2$  (умножение  $\varepsilon_N^{k+1}$  на  $x$  по  $\bmod M$ ),  $\Sigma \bmod M$  длительностью  $\tau_3$  (суммирование результата умножения  $(x\varepsilon_N^k) \bmod M$  с содержимым регистра  $Pr \Sigma$ ), з/с длительностью  $\tau_4$  (запись результата теку-

щей суммы в  $Pr \Sigma$ , считывание результата суммирования в выходную шину на  $(N - 1 + l)$ -м такте и очистка  $Pr \Sigma$   $l$ -й ячейки,  $l \in \{1, N\}$ ) в соответствии с рис. 3.

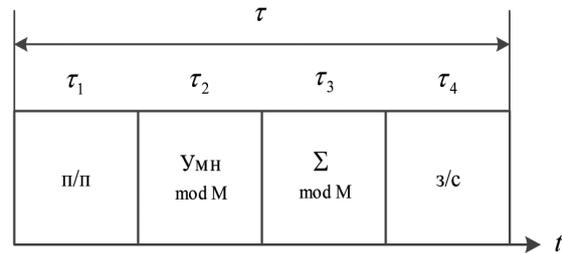


Рис. 3. Такт работы отдельной ячейки МСМ ТЧП

В соответствии с (1) при вычислении  $S_0$  отсутствуют операции умножения, поэтому первая ячейка МСМ ТЧП (рис. 1) является вырожденной, элемент задержки (ЭЗ) указанной ячейки синхронизирует микротакты передачи задержкой на время  $\tau_2$  микротакта умножения. Временная диаграмма работы МСМ ТЧП при  $N = 5$  представлена на рис. 4.

Перед началом вычислений содержимое всех регистров  $Pr \Sigma$  равно нулю. На первом такте значения  $x_0$  и  $\varepsilon_N^0$  загружаются в первую ячейку МСМ ТЧП. Через время  $\tau_1 + \tau_2$  в соответствии с рис. 3 выполняется суммирование  $x_0$  с содержимым  $Pr \Sigma$  первой ячейки (на первом такте равным нулю) по модулю  $M$ . На микротакте  $\tau_4$  результат суммирования (в нашем случае –  $x_0$ ), записывается в  $Pr \Sigma$  первой ячейки. На втором такте работы МСМ ТЧП (рис. 4) значения  $x_0$  и  $\varepsilon_N^0$  передаются из первой ячейки во вторую, значения  $x_1$  и  $\varepsilon_N^1$  загружаются в первую ячейку. На микротакте  $\tau_2$  второго такта работы МСМ ТЧП –  $x_1$  задерживается в элементе задержки, во второй ячейке –  $x_0$  умножается на  $\varepsilon_N^0$  по модулю  $M$ . Далее, на микротакте  $\tau_3$  в первой и второй ячейках МСМ ТЧП выполняется суммирование по модулю  $M$ , результаты которого записываются в регистры  $Pr \Sigma$  первой и второй ячеек соответственно. Со второго такта первая и вторая ячейки работают синхронно (рис. 4).

На третьем такте работы МСМ ТЧП значения  $x_0, \varepsilon_N^0$  загружаются в третью ячейку;  $x_1$  и  $\varepsilon_N^1$  – во вторую ячейку;  $x_2$  и  $\varepsilon_N^2$  – в первую. Далее ячейки  $l = 1, 2, 3$  работают синхронно, на четвертом такте в работу включается четвертая ячейка и т.д. В соответствии с временной диаграммой работы МСМ ТЧП, на  $N$ -м такте параллельно работают все ячейки. В конце  $N$ -го такта, в результате выполненного первой ячейкой суммирования получается значение  $S_0$ . На  $(N + 1)$ -м такте значение  $S_1$  будет сформировано во второй ячейке МСМ ТЧП, на  $(N + 2)$ -м, в третьей ячейке и т.д. Холостой ход при торможении конвейера выполняется в случае, если на  $(N + 1)$ -м такте в МСМ ТЧП не поступают новые данные. Если на  $(N + 1)$ -м такте в МСМ ТЧП поступают новые данные, то происходит совместная обработка двух строк исходных данных в такты с шестого по девятый. МСМ ТЧП переходит в установившийся режим работы, если, начиная с такта  $2N$ , на обработку поступают новые данные. Таким образом, на рис. 4 можно выделить три режима работы МСМ ТЧП: разгон конвейера (первые  $N$  тактов); установившийся режим работы; торможение конвейера (последние  $(N - 1)$  тактов).

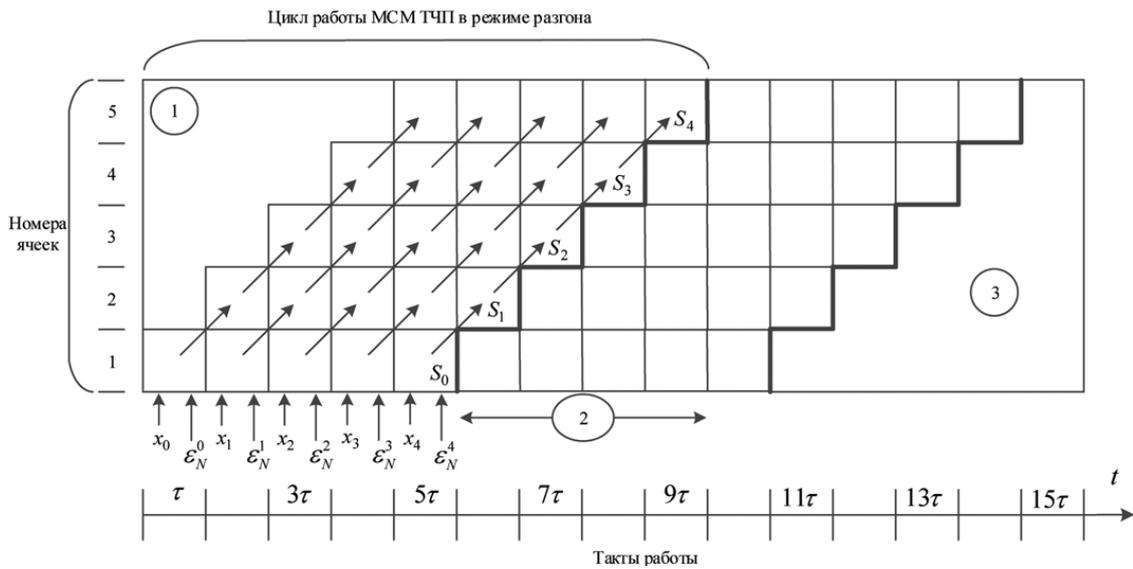


Рис. 4. Временная диаграмма работы МСМ ТЧП: 1 – начальный (холостой) ход при разгоне конвейера; 2 – обработка двух строк исходных данных в соседних циклах; 3 – холостой ход при торможении конвейера

Приведем оценки характеристик вычислительного процесса МСМ ТЧП в установившемся режиме с учетом временной диаграммы работы (рис. 4):

– число тактов в каждом цикле вычислений

$$K_y = 2N - 1; \tag{4}$$

– число вычислительных тактов

$$K_b = K_y = 2N - 1; \tag{5}$$

– число базовых операций, используемых для вычисления коэффициентов ТЧП

$$K_{бв} = N^2; \tag{6}$$

– производительность МСМ ТЧП в числе базовых операций

$$P_{бв} = P_{яч} N, \tag{7}$$

где  $P_{яч} = \frac{1}{\tau}$  – производительность одной ячейки (в числе базовых операций),  $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4$ ,

$\tau$  – время выполнения базовой операции (рис. 3);  
– производительность ЧСМ ТЧП для вычисления всего ТЧП по формуле (3)

$$P_{ТЧП} = \frac{P_{бв}}{N^2} = \frac{P_{яч} N}{N^2} = \frac{P_{яч}}{N}; \tag{8}$$

– время выполнения всего ТЧП в установившемся режиме

$$T_{ТЧП} = K_b \tau = (2N - 1)\tau. \tag{9}$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим пример реализации ТЧП по модулю  $M=7$ . Для выполнения ТЧП на основе разработанного алгоритма потребуется 6 ячеек МСМ. В ка-

честве  $\epsilon_{N=6} = 3$ . С помощью данного числа можно получить все ненулевые вычеты по модулю  $M=7$ . В этом случае получаем  $|\epsilon^0|_7^+ = 1, |\epsilon^1|_7^+ = 3, |\epsilon^2|_7^+ = 2, |\epsilon^3|_7^+ = 6, |\epsilon^4|_7^+ = 4, |\epsilon^{05}|_7^+ = 5$ . Пусть входной вектор имеет вид  $x_n = \{4, 5, 2, 1, 4, 3\}$ . Согласно выражению (1) получаем

$$S_k = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 2 & 6 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 4 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & 6 & 1 & 6 & 1 & 6 \\ 1 & 4 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 5 & 4 & 6 & 2 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 2 \\ 1 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 4 \end{pmatrix}.$$

Рассмотрим работу МСМ, реализующей ТЧП по модулю  $M=7$ . На первом такте работы на входы ячейки 1 МСМ подаются значения  $x_0 = 4$  и коэффициент  $|\epsilon^0|_7^+ = 1$ , которые записываются в соответствующие регистры Рг. Затем значение  $x_0 = 4$  попадает на элемент задержки, а потом суммируется по модулю 7, предыдущим содержимым регистра Рг<sub>Σ1</sub>. В результате в данный регистр записывается результат  $s_{1,1} = (s_{1,0} + x_0 \epsilon^0) \bmod M = |0 + 4|_7^+ = 4$ .

На втором такте работы на входы ячейки 1 МСМ подаются значения  $x_1 = 5$  и коэффициент  $|\epsilon^1|_7^+ = 3$ , которые записываются в соответствующие регистры Рг. Затем число  $x_1 = 5$  подается на элемент

задержки ЭЗ. А затем суммируется с содержимым регистра  $R_{\Sigma 1}$ . В результате в данный регистр записывается результат  $s_{1,2} = (s_{1,1} + x_1 \varepsilon^1) \bmod M = |4 + 5|_7^+ = 2$ . Одновременно с этими операциями из ячейки 1 в регистры  $R_{\Gamma}$  ячейки 2 подаются значения  $|\varepsilon^0|_7^+ = 1$  и  $x_0 = 4$ . Умножитель по модулю реализует операцию  $s_{1,1} \cdot \varepsilon^0 \bmod 7 = |4 \cdot 1|_7^+ = 4$ .

Результат умножения подается на сумматор по модулю  $M = 7$  второй ячейки, где выполняется  $s_{2,2} = (s_{2,1} + x_0 \varepsilon^0) \bmod M = |0 + 4|_7^+ = 4$ . Результат записывается в регистр  $R_{\Sigma 2}$ .

На третьем такте работы на входы ячейки 1 МСМ подаются значения  $x_2 = 2$  и коэффициент  $|\varepsilon^2|_7^+ = 2$ , которые записываются в соответствующие регистры  $R_{\Gamma}$ . Затем число  $x_2 = 2$  подается на элемент задержки ЭЗ. А затем суммируется с содержимым регистра  $R_{\Sigma 1}$ . В результате в данный регистр записывается результат  $s_{1,3} = (s_{1,2} + x_2 \varepsilon^2) \bmod M = |2 + 2|_7^+ = 4$ . Одновременно с этими операциями из ячейки 1 в регистры  $R_{\Gamma}$  второй ячейки подается значение  $|\varepsilon^1|_7^+ = 3$  и  $x_1 = 5$ , а из ячейки 2 в регистры  $R_{\Gamma}$  третьей ячейки подается значение  $|\varepsilon^0|_7^+ = 1$  и  $x_0 = 4$ . Умножитель ячейки 2 реализует операцию  $x_1 \cdot \varepsilon^1 \bmod 7 = |5 \cdot 3|_7^+ = 1$ .

Результат умножения подается на сумматор по модулю ячейки 2, где выполняется операция  $s_{2,3} = (s_{2,2} + x_1 \varepsilon^1) \bmod M = |4 + 1|_7^+ = 5$ . Результат суммы записывается в регистр  $R_{\Sigma 2}$ . Умножитель третьей ячейки по модулю  $M = 7$  реализует  $x_0 \cdot \varepsilon^0 \bmod 7 = |4 \cdot 1|_7^+ = 4$ .

Результат умножения подается на сумматор по модулю  $M = 7$  третьей ячейки, где выполняется  $s_{3,3} = (s_{3,2} + x_0 \varepsilon^0) \bmod M = |0 + 4|_7^+ = 4$ . Результат записывается в регистр  $R_{\Sigma 3}$ .

Дальше алгоритм выполняется подобным образом. Спустя 6 тактов с выхода первой ячейки МСМ будет выдаваться результат  $S_0 = |4 + 5 + 2 + 1 + 4 + 3|_7^+ = 5$ . На следующих пяти тактах работы будут получены оставшиеся коэффициенты ТЧП  $S_1 - S_5$ .

Достоинствами МСМ ТЧП являются: 100% использование оборудования. В ра-

боте [6] показано, что длительность вычисления в установившемся режиме равна  $T_{\text{ТЧП}} = 2N\tau$ . Для рассмотренного примера это составит  $T_{\text{ТЧП}} = 2N\tau = 12\tau$ . При использовании МСМ для вычисления ТЧП требуется  $T_{\text{ТЧП}} = (2N - 1)\tau = 11\tau$ . Таким образом, использование разработанного алгоритма вычисления ТЧП с использованием МСМ позволило повысить скорость вычисления в 1,09 раза по сравнению алгоритмом на основе ЧСМ и в более чем в 3 раза по сравнению с классическим алгоритмом ТЧП.

### Заключение

Использование ТЧП вместо ДПФ в задачах ЦОС позволяет устранить ошибки округления результатов операций за счет перехода к целым числам, а также сократить один тракт. Разработанный алгоритм МСМ ТЧП, в отличие от ЧСМ ТЧП, может быть использован для параллельно-конвейерного расчета любого количества спектральных коэффициентов  $S_k$ ,  $k \in \overline{0, N-1}$ . В ходе проведенных исследований показано, что использование разработанного алгоритма вычисления ТЧП с использованием МСМ позволило повысить скорость вычисления в 1,09 раза по сравнению алгоритмом ЧСМ и в более чем в 3 раза по сравнению с классическим алгоритмом ТЧП, в поле  $GF(7)$ .

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00009.*

### Список литературы

1. Шапошников А.В. Быстрый алгоритм вычисления теоретико-числового преобразования // Актуальные проблемы современной науки. 2013. № 2. С. 204–207.
2. Червяков Н.И., Коляда А.А., Ляхов П.А. Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 400 с.
3. Yurdanov D., Kalmykov M., Gostev D., Kalmykov I. The implementation of information and communication technologies with the use of modular codes. CEUR Workshop Proceedings 1837, 2017. P. 206–212.
4. Ananda Mohan Residue Number Systems. Theory and Applications. Springer International Publishing Switzerland. 2016. 734 p.
5. Steven G. Johnson and Matteo Frigo, A modied split-radix FFT with fewer arithmetic operations. IEEE Transactions on Signal Processing 55. 2007. no. 1. P. 111–119.
6. Топоркова Е.В., Степанова Е.П. Разработка чистосистемного алгоритма вычисления теоретико-числовых преобразований сигналов // Современная наука и инновации. 2018. № 4. С. 28–36.

УДК 004.67

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ПРОЕКТАХ VB.NET С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА MS EXCEL

Карчевская М.П., Рамбургер О.Л., Тархов С.В.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,  
e-mail: karchevskaya.m@mail.ru, ramburger@mail.ru, tarkhov@inbox.ru

Рассмотрен метод, позволяющий значительно расширить возможности проектов, создаваемых в среде объектно-ориентированного программирования VB.NET на платформе Visual Studio, за счет использования процедур и функций других программных продуктов. Показаны возможности решения задач, связанных с аппроксимацией экспериментальных данных в табличном процессоре MS Excel на основе использования класса специальных проблемно-ориентированных функций. Описаны специальные проблемно-ориентированные функции табличного процессора MS Excel, предназначенные для нахождения аппроксимирующих функций, зависящих от нескольких переменных, вычисления значений в произвольных точках, принадлежащих заданному интервалу, а также функций для предсказания будущих значений на основе имеющихся массивов экспериментальных данных. Описан метод интеграции функций MS Excel в проекты VB.NET путем создания класса WorksheetFunction, который содержит все используемые в MS Excel функции. Описаны аналоги функций MS Excel, соответствующие методам класса WorksheetFunction в VB.NET. Приведен практический пример использования функций табличного процессора MS Excel, предназначенных для аппроксимации и прогнозирования экспериментальных данных для  $n$  независимых переменных в проекте VB.NET. Описанный метод анализа экспериментальных данных позволяет исключить непосредственное программирование алгоритмов их обработки.

**Ключевые слова:** эксперимент, данные, аппроксимирующая функция, прогнозирование, библиотека объектов, табличный процессор, MS Excel, класс Excel.Application, VB.NET

## ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA IN PROJECTS VB.NET WITH CONNECTION OF SPECIAL FUNCTIONS OF MS EXCEL

Karchevskaya M.P., Ramburger O.L., Tarkhov S.V.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa,  
e-mail: karchevskaya.m@mail.ru, ramburger@mail.ru, tarkhov@inbox.ru

We consider a method that allows you to significantly expand the capabilities of projects created in the environment of object-oriented programming of VB.NET on the Visual Studio platform by using the procedures and functions of other software products. The possibilities of solving problems related to the approximation of experimental data in a tabular MS Excel processor based on the use of a class of special problem-oriented functions are shown. Special problem-oriented functions of the MS Excel spreadsheet processor are described for finding approximating functions depending on several independent variables, calculating values at arbitrary points belonging to a given interval, as well as functions for predicting future values based on available experimental data arrays. The method of integrating the MS EXCEL table processor functions into VB.NET projects is described by creating the WorksheetFunction class in the project, which contains all the functions used in MS Excel. A practical example is given of using the functions of the MS Excel spreadsheet processor designed to approximate and predict experimental data for  $n$  independent variables in project VB.NET. The considered method of analysis of experimental data allows us to exclude the direct programming of algorithms for their processing.

**Keywords:** experiment, date, approximating function, prediction, library of objects, MS Excel, class Excel.Application, VB.NET

В научно-исследовательской деятельности и в инженерной практике часто возникают задачи, связанные с аналитической обработкой экспериментальных данных. Все задачи такого рода объединяет наличие массивов исходных данных, характеризующих состояние и динамику изменения параметров исследуемых объектов или процессов. Построение математических моделей по экспериментальным данным заключается в определении аналитической зависимости, т.е. подборе такой эмпирической формулы, вычисления значений по которой в максимально возможной степени соответствовали бы данным, полученным

опытным путем [1]. При этом должны быть учтены случайные отклонения измеряемых величин. Для решения такого рода задач на первом этапе необходимо установить вид зависимости и, соответственно, определить вид аппроксимирующей функции, зависящей от одной или нескольких переменных в соответствии с имеющимися массивами исходных данных, полученным экспериментальным путем. В случае отсутствия каких-либо теоретических предпосылок для определения вида аппроксимирующей функции, обычно выбирают функциональную зависимость из числа наиболее простых, сравнивая их графики с графиком

результатов эксперимента [2]. При этом во многих случаях ограничиваются полиномом. В зависимости от количества параметров, определяемых размерностью массива экспериментальных данных, в качестве аппроксимирующей будет выбрана функция одной или от нескольких переменных.

В настоящее время одним из популярных инструментальных средств, позволяющих эффективно решать такого рода задачи, не прибегая к использованию языков программирования, является табличный процессор, в состав которого включена группа специальных проблемно-ориентированных функций для анализа данных [3].

Цель исследования: повышение эффективности процесса анализа экспериментальных данных в проектах VB.NET посредством интеграции функций табличного процессора MS Excel, что позволит исключить непосредственное программирование алгоритмов их обработки.

### Материалы и методы исследования

Аппроксимация экспериментальных данных функцией одной переменной в MS Excel осуществляется путем построения точечного графика ( $x$  – имеет конкретные значения) с последующим подбором

подходящей аппроксимирующей функции. Для осуществления аппроксимации на диаграмме экспериментальных данных необходимо построить линию тренда, выбрав в контекстном меню пункт «Добавить линию тренда» и в появившемся диалоговом окне указать вид аппроксимирующей функции. Здесь же задается параметр, который позволяет «увидеть» на диаграмме аналитический вид аппроксимирующей функции и достоверность аппроксимации.

В тех случаях, когда аппроксимирующая переменная  $y$  зависит от нескольких независимых переменных ( $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ), подход с построением линии тренда не дает решения. В таких случаях могут быть использованы специальные функции MS Excel ЛИНЕЙН и ЛГРФПРИБЛ (табл. 1). Функции ЛИНЕЙН и ЛГРФПРИБЛ имеют одинаковые аргументы (табл. 2).

Функция ЛГРФПРИБЛ работает подобно функции ЛИНЕЙН. Различия между ними состоят лишь в том, что ЛИНЕЙН определяет параметры прямой линии, наилучшим образом аппроксимирующей исходные данные, а функция ЛГРФПРИБЛ – экспоненциальной кривой. Чем больше график экспериментальных данных напоминает экспоненциальную кривую, тем лучше вычисленная кривая будет аппроксимировать данные. Функция ЛГРФПРИБЛ, так же как функция ЛИНЕЙН, возвращает массив, который описывает зависимость между значениями, но функция ЛИНЕЙН подгоняет прямую линию к имеющимся данным, а ЛГРФПРИБЛ подгоняет экспоненциальную кривую.

**Таблица 1**  
Специальные функции MS Excel для нахождения аппроксимирующих функций, зависящих от нескольких переменных

Название функций	Назначение
ЛИНЕЙН	Аппроксимация совокупности заданных точек $x_1, x_2, \dots, x_n$ линейной функцией вида $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ с применением метода наименьших квадратов. Позволяет найти неизвестные коэффициенты $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ; коэффициент детерминации ( $R^2$ ) и другие показатели
ЛГРФПРИБЛ	Аппроксимация совокупности заданных точек $x_1, x_2, \dots, x_n$ показательными функциями вида $y = a_0a_1x_1^1a_2x_2^2\dots a_nx_n^n$ . Позволяет найти неизвестные коэффициенты $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ; коэффициент детерминации ( $R^2$ ) и другие показатели

**Таблица 2**  
Аргументы функций ЛИНЕЙН и ЛГРФПРИБЛ

№	Параметр	Значение
1	<Известные_значения_y>	Множество наблюдаемых значений $y_1, y_2, \dots, y_n$
2	<Известные_значения_x>	Множество наблюдаемых значений $x_1, x_2, \dots, x_n$
3	<Конст>	Логическое значение, которое указывает, требуется ли вычислять $a_0$ : – ЛОЖЬ, если $a_0$ принимается равным нулю для функции ЛИНЕЙН (прямая должна проходить через начало координат) и 1 для функции ЛГРФПРИБЛ; – ИСТИНА, если $a_0$ вычисляется обычным образом
4	<Статистика>	Логическая переменная, которая указывает, требуется или нет вернуть дополнительную статистику по регрессии. Если аргумент имеет значение ЛОЖЬ или опущен, то функция возвращает только найденные коэффициенты

Таблица 3

Специальные функции MS Excel для нахождения значений в произвольных точках на базе экспериментальных значений

Название функций	Назначение
ТЕНДЕНЦИЯ	Позволяет находить значения полученной линейной функции $y$ в произвольных точках, принадлежащих заданному интервалу
РОСТ	Используется для предсказания будущих значений $y$ . Позволяет находить значения полученной показательной функции $y$ в произвольных точках, принадлежащих заданному интервалу. Рассчитывает прогнозируемый экспоненциальный рост на основании имеющихся данных. Возвращает значения $y$ для последовательности новых значений $x$ , задаваемых с помощью существующих $x$ - и $y$ -значений

Таблица 4

Аргументы функций ТЕНДЕНЦИЯ и РОСТ

№	Параметр	Значение
1	<Известные_значения_y>	Множество наблюдаемых значений $y_1, y_2, \dots, y_n$
2	<Известные_значения_x>	Множество наблюдаемых значений $x_1, x_2, \dots, x_n$
3	<Новые_значения_x>	Значения $x$ , для которых необходимо определить соответствующие аппроксимирующие или предсказанные значения $y$
4	<Конст>	Логическая переменная, принимающая значение: – ЛОЖЬ, если $a_0$ принимается равным 0 при аппроксимации прямой и 1 – при аппроксимации показательной функцией; – ИСТИНА, если $a_0$ вычисляется обычным образом

Для прогнозирования исследуемых значений используются функции MS Excel ТЕНДЕНЦИЯ и РОСТ (табл. 3). Функция ТЕНДЕНЦИЯ рассчитывает прогнозные значения исследуемого показателя в соответствии с линейным трендом. Подобно функции ЛИНЕЙН она с помощью метода наименьших квадратов аппроксимирует прямой линией массивы известных значений  $y$  и известных значений  $x$ . Однако в отличие от функции ЛИНЕЙН она определяет точки, лежащие на этой линии, и прогнозирует значения  $y$  для вновь заданных значений  $x$  [4]. При этом функция ТЕНДЕНЦИЯ не приводит математического описания и статистических характеристик самой модели тренда. Функции ТЕНДЕНЦИЯ и РОСТ имеют одинаковые аргументы (табл. 4).

Если аргумент <Новые\_значения\_x> опущен, то предполагается, что его значения совпадают со значениями аргумента <Известные\_значения\_x>. Эти функции, если не задавать аргумент <Новые\_значения\_x>, возвращают массив вычисленных значений  $y$  для фактических значений  $x$  в соответствии с прямой или кривой. Прежде чем использовать функцию ТЕНДЕНЦИЯ можно сначала рассчитать значения  $y$  по линейному тренду, а для функции РОСТ – значения  $y$  по экспоненциальному тренду.

Dim EXL As New Microsoft.Office.Interop.Excel.Application()

После этого становится доступен класс WorksheetFunction, который и содержит все используемые в MS Excel функции [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим пример практического использования функций табличного процессора MS Excel, предназначенных для анали-

Использование специальных проблемно-ориентированных статистических функций табличного процессора MS Excel позволяет выполнять обработку данных, полученных в ходе проведения эксперимента. Однако если задачи аппроксимации экспериментальных данных необходимо реализовать в составе «большого проекта» на языке программирования VB.NET, то в этом случае возникает необходимость знания алгоритмов и непосредственного программирования соответствующих методов. Возможности проектов, разрабатываемых в интегрированной среде визуального событийного объектно-ориентированного программирования VB.NET, можно существенно расширить за счет использования функций других пакетов, в частности, функций табличного процессора MS Excel [5].

Метод интеграции функций MS Excel в проекты VB.NET предусматривает создание в проекте ссылки на библиотеку объектов MS Excel помощью команды «Add Reference» меню «Project» (рис. 1). В открывшемся диалоговом окне, во вкладке .Net, следует выбрать Microsoft.Office.Interop.Excel соответствующей версии. Далее необходимо создать экземпляр класса Excel.Application:

за экспериментальных данных, полученных в результате следующего эксперимента [7]. Пусть в жидкость помещен источник радиоактивного излучения. На расстоянии 20, 50 и 100 см от источника расположены датчики. В качестве эксперимента проводились измерения интенсивности излучения через 1, 5 и 10 суток (табл. 5).

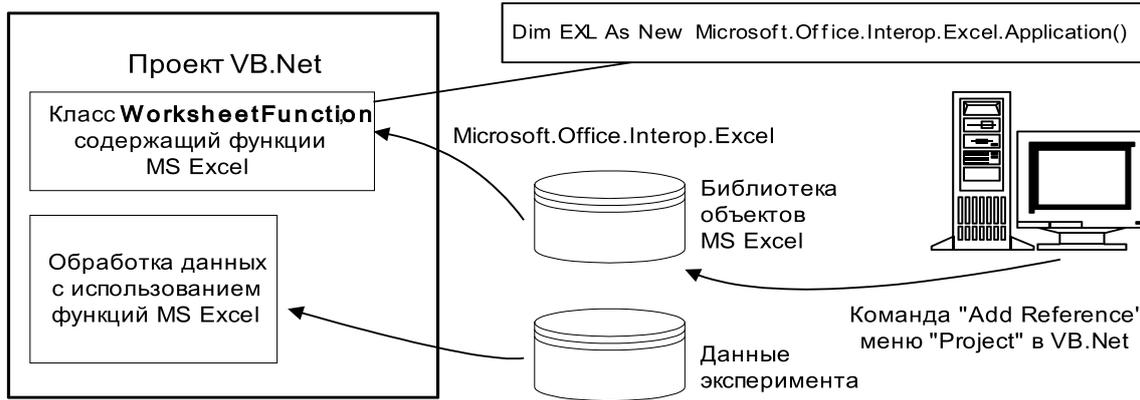


Рис. 1. Подключение и использование библиотеки объектов MS Excel в проекте VB.NET

Таблица 5

## Результаты экспериментального исследования

Расстояние до источника $X_1$ , см	20	50	100	20	50	100	20	50	100
Периодичность измерения $X_2$ , сутки	1	1	1	5	5	5	10	10	10
Интенсивность излучения $Y$ , МРн	61,2	33,6	12,3	43,6	24	8,8	28,3	15,6	5,7

Таблица 6

## Задача обработки экспериментальных данных

Расстояние до источника $X_1$ , см	0	0	0	200	200	200
Периодичность измерения $X_2$ , сутки	0	1	3	0	1	3
Интенсивность излучения $Y$ , МРн	?	?	?	?	?	?

Таблица 7

## Параметры метода WorksheetFunction.LogEst

Параметр	Назначение параметра
$arg1$	множество наблюдаемых значений $Y$ , полученных в результате эксперимента
$arg2$	множество значений $X_1, X_2$ , для которых проводился эксперимент
$arg3$	логическое значение: 1 – коэффициент $a_0$ вычисляется обычным образом, 0 – устанавливается принудительно равным 1
$arg4$	логическая переменная: 1 – функция возвращает дополнительную информацию по регрессии, 0 – функция возвращает только коэффициенты регрессии.

Таблица 8

## Параметры метода WorksheetFunction.Growth

Параметр	Назначение параметра
$arg1$	множество наблюдаемых значений $Y$ , полученных в результате эксперимента
$arg2$	множество значений $X_1, X_2$ , для которых проводился эксперимент
$arg3$	множество значений $X_1, X_2$ , для которых необходимо определить соответствующие аппроксимирующие или предсказанные значения $Y$
$arg4$	логическая переменная: 1 – коэффициент $a_0$ вычисляется обычным образом, 0 – устанавливается принудительно равным 1

После окончания эксперимента возникла необходимость определить интенсивность излучения возле источника, на расстоянии 200 см, в момент установки источника, через одни сутки и через три суток (табл. 6).

Для решения данной задачи аппроксимируем совокупность заданных точек показательной функцией, зависящей от двух переменных вида  $y = a_0 a_1^{x_1} a_2^{x_2}$ . Затем сделаем прогноз для тех значений  $x_1$  и  $x_2$ , ко-

торые в эксперимент не вошли. Для решения такой задачи в MS Excel используются функция ЛГРФПРИБЛ, позволяющая найти неизвестные коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  и коэффициент детерминации ( $R^2$ ), и функция РОСТ, рассчитывающая прогнозируемые значения функции в произвольных точках на базе экспериментальных данных.

Аналогом функции MS Excel ЛГРФПРИБЛ в VB.NET является метод класса WorksheetFunction.LogEst (табл. 7), а аналогом функции РОСТ в VB.NET – метод WorksheetFunction.Growth (табл. 8).

Результаты работы методов помещаются в соответствующие объекты, к которым можно обращаться так же как к элементам двумерного массива. Для описанного эксперимента это матрицы размерностью  $5 \times 3$ . Фрагмент программного кода, написанный на VB.NET в Visual Studio 2008 представлен на рис. 2.

Объект LPR(.) содержит результаты работы функции LogEst: значения коэффициентов

$a_2$ ,  $a_1$  и  $a_0$  помещаются в первую строку, стандартные ошибки для коэффициентов  $a_2$ ,  $a_1$ ,  $a_0$  – во вторую строку. В первый столбец третьей строки помещается коэффициент детерминации  $R^2$ : если  $R^2 \geq 0,95$ , то имеет место высокая точность корреляции с моделью, если коэффициент  $R^2 < 0,6$ , то уравнение регрессии неудачно и следует выбрать другой вид аппроксимирующей функции. Во второй столбец третьей строки помещается стандартная ошибка. В четвертую строку – значение критерия Фишера (1 столбец) и число степеней свободы (2 столбец). В пятую строку – сумма квадратов регрессии (1 столбец) и остаточная сумма квадратов (2 столбец). Объект Rost(.) содержит результаты работы функции Growth. Его первый столбец – это и есть рассчитанный прогноз. Результат работы программы приведен на рис. 3. Искомая аппроксимирующая функция имеет вид  $y(x_1, x_2) = 99,7 \cdot 0,98^{x_1} \cdot 0,92^{x_2}$ , точность аппроксимации очень высокая:  $R^2 = 0,99998$ .

#### ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

'Двумерный массив, содержащий множество наблюдаемых значений X1, X2:

**Dim x() As Double** = {{20, 1}, {50, 1}, {100, 1}, {20, 5}, {50, 5}, {100, 5},  
{20, 10}, {50, 10}, {100, 10}}

'Одномерный массив, содержащий множество наблюдаемых значений Y:

**Dim y() As Double** = {61.2, 33.6, 12.3, 43.6, 24, 8.8, 28.3, 15.6, 5.7}

'Двумерный массив, содержащий множество значений X1, X2, для которых необходимо 'определить аппроксимирующие значения Y:

**Dim x1() As Double** = {{0, 0}, {0, 1}, {0, 3}, {200, 0}, {200, 1}, {200, 3}}

'СОЗДАНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРА КЛАССА EXCEL.APPLICATION:

**Dim EXL As New Microsoft.Office.Interop.Excel.Application()**

'Перед обращением к методам вектор-строку y() следует преобразовать в вектор-столбец y1():

**Dim y1 As Object** = EXL.Application.WorksheetFunction.Transpose(y)

'Обращение к методу LogEst, результаты работы метода помещаются в объект LPR():

**Dim LPR() As Object** = EXL.Application.WorksheetFunction.LogEst(y1, x, 1, 1)

'Обращение к методу Growth, результаты работы метода помещаются в объект Rost()

**Dim Rost() As Object** = EXL.Application.WorksheetFunction.Growth(y1, x, x1, 1)

Рис. 2. Фрагмент программного кода на VB.NET

Известные значения		
X1	X2	Y
20	1	61,2
50	1	33,6
100	1	12,3
20	5	43,6
50	5	24
100	5	8,8
20	10	28,3
50	10	15,6
100	10	5,7

Прогноз		
X1	X2	Y
0	0	99,70907
0	1	91,53722
0	3	77,14785
200	0	1,81264
200	1	1,66409
200	3	1,40250

a2: 0,91804  
 a1: 0,98016  
 a0: 99,70907  
 R<sup>2</sup>: 0,99998

Аппроксимирующая функция:  
 $99,7091 \cdot 0,9802^{x_1} \cdot 0,9180^{x_2}$

Рис. 3. Результат работы программного кода

Точно так же можно аппроксимировать экспериментальные данные для  $n$  независимых переменных показательной функцией вида  $y = a_0 a_1^{x^1} a_2^{x^2} \dots a_n^{x^n}$ . В этом случае объект LPR будет иметь размерность  $5 \times (n + 1)$ , его первая строка будет содержать коэффициенты  $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$ . Аналогичным образом можно подключить другие функции MS Excel. Необходимо только знать англоязычный аналог их русифицированного названия, способ передачи параметров функции и как обработать объект, в котором содержится результат ее работы.

### Заключение

Решение задачи обработки экспериментальных данных в проектах VB.NET на основе парадигм императивного и аспектно-ориентированного программирования подразумевает разработку алгоритмов и написание исходного кода подпрограмм для реализации соответствующих методов. Описанный метод интеграции функций табличного процессора MS Excel в проекты VB.NET для реализации анализа экспериментальных данных позволяет исключить непосредственное программирование алго-

ритмов их обработки. Таким образом, метод позволяет снизить затраты на разработку проектов VB.NET и исключить возможные ошибки, которые могли быть допущены при разработке процедур обработки данных.

### Список литературы

1. Демидович Б.П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2010. 400 с.
2. Борздова Т.В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel: учеб. пособие. Минск: ГИУСТ БГУ, 2011. 75 с.
3. Просветов Г.И. Анализ данных с помощью Excel. Задачи и решения. М.: Альфа-Пресс, 2015. 160 с.
4. Скриба С.И., Скриба Н.Н. Экономико-статистическое моделирование и прогнозирование средствами MS Excel: учеб. пособие. Минск: БГЭУ, 2002. 171 с.
5. Библиотека документации для разработчиков под ОС MS Windows [Электронный ресурс]. URL: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/wss56bz7.aspx> (дата обращения 24.10.18).
6. Библиотека документации для разработчиков под ОС MS Windows [Электронный ресурс]. URL: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.office.interop.excel.worksheetfunction\\_methods.aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.office.interop.excel.worksheetfunction_methods.aspx) (дата обращения 24.10.18).
7. Кондратьева Н.В., Карчевская М.П., Рамбургер О.Л. Основы планирования эксперимента и обработки экспериментальных данных: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 2012. 252 с.

УДК 004.91

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ МИНЗДРАВА РОССИИ

<sup>1,2</sup>Лебедев Г.С., <sup>2</sup>Крылов О.Б., <sup>2</sup>Леяков А.И., <sup>2</sup>Мионов Ю.Г., <sup>2</sup>Ткаченко В.В.<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет),  
Москва, e-mail: rektorat@sechenov.ru;<sup>2</sup>ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации  
здравоохранения» Минздрава России, Москва, e-mail: mail@mednet.ru

Эффективность внедрения результатов научно-исследовательских работ является одним из основных показателей, который необходимо учитывать при распределении бюджетных средств, направляемых на научные исследования. Требование эффективности расходования бюджетных средств, выделяемых на проведение научно-исследовательских работ, приводит к необходимости совершенствования методического аппарата поддержки принятия решения о распределении средств, в том числе и за счет учета эффективности внедрения полученных ранее результатов НИР каждого конкретного научно-исследовательского учреждения. С развитием информационных технологий актуально повышение качества использования бюджетных средств за счет информационной поддержки принятия решений по организации научных исследований в Министерстве здравоохранения России, на основе оценки потенциала учреждений, отражающего способности учреждения достичь заявленных результатов в рамках выполнения государственных контрактов. В настоящей статье предлагается методика интегральной оценки эффективности результатов научно-исследовательских работ в научных учреждениях Министерства здравоохранения России, полученных в рамках выполнения государственных заданий или государственных контрактов на основе совокупности наукометрических и статистических показателей, а также экспертной оценки. Последовательно приводятся требования к методике и показателям, требования к подходам и методам экспертной оценки.

**Ключевые слова:** государственное задание, методика, экспертная оценка, научно-исследовательская работа, научная платформа, научно-технический потенциал

## EFFICIENCY INTEGRAL ASSESSMENT OF RESEARCH WORKS IN RESEARCH INSTITUTIONS OF THE MINISTRY OF PUBLIC HEALTH OF RUSSIA

<sup>1,2</sup>Lebedev G.S., <sup>2</sup>Krylov O.B., <sup>2</sup>Lelyakov A.I., <sup>2</sup>Mironov Yu.G., <sup>2</sup>Tkachenko V.V.<sup>1</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, e-mail: rektorat@sechenov.ru;<sup>2</sup>Federal Research Institute for Health Organization and Informatics of Ministry of Health of the Russian  
Federation, Moscow, e-mail: mail@mednet.ru

The effectiveness of the research results implementation is one of the main indicators that must be taken into account in the allocation of budget funds allocated to research. The requirement of efficiency of spending budget funds allocated for research works, leads to the need for continuous improvement of the methodological apparatus of decision support on the allocation of funds, including considering the efficiency of implementation of previously obtained research results of each Research Institution. With the development of information technology, it is important to improve the quality of the use of budgetary funds through information support for decision-making on the organization of research in the Ministry of Public Health, based on the assessment of the potential of the Research Institution, reflecting their ability to achieve the stated results in the execution of state contracts. The technique of integrated assessment of the effectiveness of research results in scientific institutions of the Ministry of Public Health of Russia, obtained in the framework of State assignments or State contracts on the basis of a set of scientometric and statistical indicators, as well as expert evaluation. The requirements to the methodology and indicators, the requirements to the approaches and methods of expert evaluation are consistently given.

**Keywords:** state contract, method, expert evaluation, research work, scientific platform, scientific and technical potential

В России в последнее время все более остро встает вопрос о повышении эффективности отечественной науки [1, 2], разработки четких критериев оценки ее деятельности, вплоть до комплексного реформирования всей системы, включая механизмы финансирования [3, 4], приемы управления и структуру производственных отношений. Все это в равной степени относится как к фундаментальной, так и прикладной науке [5].

Объективная текущая необходимость повышения прозрачности и эффективности

процесса научных исследований совпала с важным изменением в научной среде: достигнута достаточно высокая степень переноса деятельности ученых в электронную онлайн-среду [6]. Сбор, обработка и интерпретация следов этой активности открывает ранее недоступные возможности по формированию статистической базы о деятельности ученых и, в частности, об использовании результатов их исследований [7].

Эффективность научно-исследовательских работ (НИР), в том числе внедрение

их результатов в практику, является одним из основных показателей, который необходимо учитывать при распределении бюджетных средств, направляемых на научные исследования. Эффективность НИР может быть определена как ценность полученных при выполнении НИР научных результатов и их соответствия объемам ресурсов (материальных, финансовых и др.), израсходованных на их получение. Объемы этих ресурсов можно рассматривать как стоимость работ, а именно объем финансирования [8], в рамках государственных заданий или государственных контрактов научно-исследовательским учреждениям (НИУ), которые относятся к федеральным государственным бюджетным (ФГБУ) и образовательным (ФГБОУ) учреждениям Минздрава России.

Большинство существующих методик оценки эффективности НИР, и ценности полученных при выполнении НИР научных результатов, по своей сути сводится к одномоментной оценке. Как правило, решается задача минимизации затрат на обеспечение работ, при условии их безусловного выполнения и достижения плановой цели исследования, не принимая во внимание дальнейшее внедрение результатов исследований в практику.

Таким образом, актуальна задача разработки методики интегральной динамической оценки эффективности НИР, так как оценка ценности полученных результатов может меняться по мере внедрения результатов в практику и развития медицинской науки. Предлагается оценку эффективности НИР проводить на протяжении ряда лет после её завершения, и на основании этой оценки формировать интегральный показатель (рейтинг) НИУ [2, 9], отражающий эффективность НИР в этих НИУ.

Цель исследования: разработка интегральной методики оценки эффективности НИР, проводимых в НИУ Минздрава России, которая будет оценивать не только ее выполнение и отчетные материалы, но и степень внедрения ее научных результатов. Такая оценка будет проводиться в течение определенного периода после завершения НИР.

### Материалы и методы исследования

В настоящее время в Минздраве России разработаны и функционируют методики экспертной оценки эффективности НИР, проводимых в рамках выполнения государственных заданий. При проведении экспертной оценки используются, в том числе, и наукометрические показатели [3, 9, 10], однако показатели внедрения полученных ранее результатов НИР представлены недостаточно. Этому есть объективные причины, поскольку внедрение результатов НИР зачастую происходит через значительное время после окончания НИР и не может быть оценено в полной мере при экспертной оценке отчета.

Методы экспертной оценки позволяют, наравне с количественными показателями, получить качественную (экспертную) оценку эффективности НИР, основанную на опыте и субъективном мнении ведущих специалистов Минздрава России.

В то же время комплексная оценка с учетом вычисляемых показателей и качественной (экспертной) оценки представляется наиболее состоятельной.

В настоящее время широко известны и применяются следующие методы оценки эффективности НИР:

- Наукометрический (библиометрический) метод [11];
- Финансово-экономический метод [12, 14, 15];
- Экспертный метод (субъективность) [15];
- Метод весовых коэффициентов;
- Метод анализа иерархий [16].

Известны интегральные методики, сочетающие в себе элементы перечисленных выше методов.

Методы расчета экономического эффекта для прикладных исследований (расчетный, подтвержденный) [12, 17].

Для оценки эффективности НИР необходима *система показателей*, которая основана на оптимальном выборе важнейших критериев и разбивается на 2 группы:

- не учитывающие важность критериев;
- учитывающие важность критериев.

Первая группа представлена лексиминой оптимизацией.

Вторая группа представлена лексикографической оптимизацией и методами вербального анализа решений.

Система показателей (критериев) должна отвечать следующим требованиям:

- репрезентативность (представительность) – количество показателей должно быть достаточным для описания научной деятельности и каждый из них должен наиболее полно отражать работу в этом направлении;
- аддитивность – показатели должны быть непротиворечивыми один другому и взаимонезависимыми;
- однозначность – показатели должны быть выражены так, чтобы не допускать двойного толкования и уменьшать вероятность возникновения ошибок;
- сопоставимость – показатели должны обеспечивать возможность объективного их сопоставления во времени и с показателями других научных подразделений;
- контролируемость – показатели должны рассчитываться по статистическим данным, которые подвергаются контролю;
- достоверность – показатели должны быть подтверждены не менее чем двумя независимыми экспертами.

Проведем построение модели оценки эффективности НИР с использованием методов системного анализа интегральной оценки эффективности НИР.

Метод системного подхода предполагает:

- четкое выявление целей;
- формирование полного перечня альтернативных действий, с учетом форс-мажорных обстоятельств, обеспечивающих достижение поставленных целей;
- оценка альтернатив по совокупности наиболее важных критериев, исключая необоснованные, применяемые к конкретному НИУ;
- внесение ясности в проблему выбора тематик НИР, эквивалентных научно-технической политике и научно-техническому потенциалу НИУ.

Учет основных критериев оценки эффективности НИР:

- оценка потребности в проведении НИР;

- оценка необходимых затрат;
- оценка обеспечения научными кадрами;
- оценка технической осуществимости;
- оценка основных средств и износ;
- оценка компьютерных интернет / интрасетей и АРМ;

– оценка системного и программного обеспечения.

Для оценки конкретной НИР основные критерии могут быть первостепенными или второстепенными. По каждому критерию для оценки используется специальная шкала.

Каждая группа критериев имеет свой вес, который определяется экспертно.

В методах решения многокритериальных задач превалирует применение в той или иной форме данных о важности (значимости) критериев.

Значимость критериев характеризуется применением специальных положительных чисел, называемых коэффициентами важности. Обычно эти коэффициенты определяются экспертным путем и используются в обобщенных критериях (например, взвешенной сумме исходных критериев) или правилах «голосования».

### Результаты исследования и их обсуждение

Концептуальная модель интегральной оценки может быть построена следующим образом [8].

Подразумеваем, что успешное выполнение НИР в первую очередь зависит от научно-технического потенциала (НТП) и высокой оценки наукометрического уровня тематических направлений НИР (публикации, цитирование, патенты, изобретения и т.д.) в конкретном НИУ, тогда эмпирическая формула показателя уровня НТП  $n$ -го научного учреждения  $NP_n$  будет

$$NP_n = \alpha_n (\omega_n C_n), \quad (1)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент НТП  $n$ -го научного учреждения, предполагается по условной %-ой шкале  $\alpha = 0 \div W$ ,

где  $W \leq 100$ ;

$C_n$  – оценка наукометрического уровня НИР (публикации, цитирование, патенты, изобретения и т.д.), вычисляется по формуле

$$C_n M_n(t) (D_n)^{-1}, \quad (2)$$

где  $M_n$  – общее количество публикаций за время  $t$ ;

$D_n$  – кол-во научных работников (исследователей);

$\omega_n$  – нейтрализующий коэффициент публикаций в НИУ с преобладанием экспериментальных НИР:

$$\omega_n = \begin{cases} 1, & \text{специализированное направление;} \\ 1 + \gamma, & \text{экспериментальное направление,} \end{cases} \quad (3)$$

$1 < \gamma \leq 10.$

### Концептуальная модель научно-технического потенциала медицинского НИУ

Эффективность НИР [2, 13] в медицинском НИУ на современном этапе, безусловно, зависит от ряда взаимодополняющих факторов или условий: высокий интеллектуальный потенциал исследователей, качественный уровень организации и управления ресурсами, наличие современного технологического оборудования для определенных исследований, наличие программно-технических комплексов, объединенных в сети, с выходом на специализированные научные базы данных, а также финансовые ресурсы, обеспечивающие утвержденные государственные задания или государственные контракты.

Ресурсный потенциал можно рассчитать как разность («невязку») вида

$$Z_{pt} = Z_d(t + dt) - Z_o(t), \quad (4)$$

где  $Z_o$  – обобщенные затраты на обеспечение НИР;

$Z_d$  – обобщенные «дивиденды», получаемые в процессе НИР;

$t_o$  – временной лаг, так как НИР – процесс, протяженный во времени.

Применим простую логику:

$Z_{pt} > 0$  – работа эффективна;

$Z_{pt} \leq 0$  – работа неэффективна.

Для двух работ одного направления можно утверждать, что первая работа более эффективна, чем вторая, если  $Z_{pt_1} > Z_{pt_2}$ .

Для каждой составляющей  $Z_d(t)$  и  $Z_o(t)$  можно воспользоваться приближениями в виде полиномов Лагранжа:

$$S(x, \tau) = f(x) + \sum_{i=1}^m \tau_i \phi_i(x). \quad (5)$$

В этих полиномах входящие в них  $f(x)$ ,  $\tau_i$  и  $\phi_i(x)$  определяются на основе существующей нормативно-методической базы для каждой составляющей  $Z_d(t)$  и  $Z_o(t)$ . Аналогичным образом определяются налагаемые на них ограничения, а также вид и области определения функций  $f(x)$  и  $\phi_i(x)$ .

Исходя из вышеизложенного структурная модель НТП в медицинском учреждении может быть представлена в виде

$$F^n(t) = (\bar{R}, L^n, t), \quad (6)$$

где  $\bar{R} = (R_f^n, R_{inf}^n, R_{int}^n, R_{mt}^n, R_{em}^n, R_{md}^n, R_{sc}^n, R_{pt}^n)$  – финансовые, интеллектуальные, информационные, материальные, учебно-методические, медицинские, социальные и программно-технические ресурсы  $n$ -го НИУ;

$L^n$  – уровень управления ресурсами;

$t$  – модуль времени;

$\Psi$  – функционал (функция, заданная на произвольном множестве), определяющий значение  $F^n(t)$ , тогда  $F^n(t)$  – признак обобщения всех видов ресурсов и факторов во временном периоде  $t$ .

*Модель бюджетного финансирования в рамках государственных заданий Минздрава России по научным исследованиям и платформам*

Обобщенная эмпирическая модель бюджетного финансирования отображена в следующем выражении:

$$B_{pn}^1 = B_{pn} \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N B_{pn} (100\%)^{-1} \right]^{-1}, \quad (7)$$

где  $P$  – общее число научных платформ Минздрава России;  
 $N$  – общее число научных учреждений Минздрава России;  
 $B_{pn}$  – наукометрическая оценка  $p$ -й научной платформы ( $1 \leq p \leq 14$ ) в  $n$ -м учреждении;  
 $B_{pn}^1$  – относительный уровень  $p$ -й научной платформы в  $n$ -м учреждении в общем объеме финансирования НИР в %.

Выделим соответствующие модели бюджетного финансирования НИР для вузов и НИИ Минздрава в предложенном выражении:

$$B_{pV_z}^1 = B_{pV_z} \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{V_z=1}^{N-N_i} B_{pV_z} (100\%)^{-1} \right]^{-1}, \quad (8)$$

$$B_{pN_i}^1 = B_{pN_i} \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{N_i=1}^{N-V_z} B_{pN_i} (100\%)^{-1} \right]^{-1}, \quad (9)$$

где  $N_i$  – кол-во НИИ Минздрава России;  
 $V_z$  – кол-во вузов Минздрава России.

Вузы и НИИ в объеме финансирования НИР в %, в том числе в общем разрезе структуры Минздрава России:

$$B_{pn}^1 = B_{pn} \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{V_z=1}^{N-N_i} B_{pV_z} (100\%)^{-1} \right] \times \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{N_i=1}^{N-V_z} B_{pN_i} (100\%)^{-1} \right]^{-1} \right]. \quad (10)$$

На основе наукометрических оценок  $B_{pn}^1$ , для каждой  $p$ -й научной платформы в  $n$ -м учреждении, можно привести базовый оценочный уровень НТП, и на основании (1) и (2) получим

$$B_{pn}^0 = B_{pn}^1 NP_n. \quad (11)$$

Затем вычислим суммарный оценочный уровень всех научных платформ (НП) Минздрава России:

$$T_{it} = \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N (\beta_{pn} B_{pn}^0), \quad (12)$$

где  $\beta_p$  – коэффициент, определяющий прохождение  $p$ -й научной платформы в  $n$ -м учреждении в список приоритетных научных исследований (НИ) Минздрава России:

$$\beta_p = \begin{cases} 1, & \text{неприоритетное НИ,} \\ 1+\theta, & \text{приоритетное НИ,} \\ & p\text{-й НП,} \\ & \theta = \text{const.} \end{cases} \quad (13)$$

*Экспертные критерии оценки эффективности НИР*

*в научно-исследовательских учреждениях*

Результатом выполнения государственных заданий научными учреждениями представляются показатели выполненных/невыполненных научных работ (численные и описательные), затем распределяются по основным направлениям («критериям»), каждому из которых присваивается весовой коэффициент («приоритет») от 0 до 1, причем сумма коэффициентов по всем критериям равна 1.

При определении приоритетов следует учитывать, что для различных по типу научных работ (фундаментальные, прикладные, экспериментальные, экспертизы, организационные и т.д.) необходим свой набор, отражающий вес каждого критерия для соответствующего типа исследования. Так, например, очевидно, что для фундаментальных исследований наибольший приоритет будет иметь научный критерий, для прикладных – медицинский и т.д.

В качестве «критериев» используются:

- научный;
- финансово-экономический;
- медицинский;
- социальный;
- учебно-методический;
- организационный;
- информационно-технологический.

Численные значения любых показателей ( $\Pi_i$ ), которые используются для оценки этих критериев, автоматически нормируются относительно максимального значения соответствующего показателя ( $\Pi_{\max}$ ) по всем исследованиям аналогичного типа и предоставляются эксперту в виде относительной оценки ( $\widetilde{\Pi}_i$ ) наряду с абсолютным значением, т.е. в виде

$$\widetilde{\Pi}_i = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\max}}. \quad (14)$$

Все научные работы на основании имеющихся показателей оцениваются экспертами по каждому критерию (может быть принята любая привычная система оценки, например 10-балльная). Итоговая оценка  $O$  получается путем суммирования произведений оценки  $N_k$  на соответствующий коэффициент  $E_k$ .

$$O = \sum_k N_k E_k. \quad (15)$$

Таким образом, для всех НИР получаем матрицу итоговых оценок и оценок по критериям (которые также могут понадобиться для проведения более детального анализа).

Не секрет, что многие научные исследования могут иметь отложенные результаты, в наибольшей степени это касается фундаментальных исследований. Следовательно, целесообразно продолжать мониторинг результатов завершенных научных работ и их оценку еще в течение 3–5 лет. Таким образом, матрица оценок расширяется за счет еще одной размерности – год и приобретает динамичность.

Исходя из предложенной выше методики, включающей период оценки результатов от 3 до 5 лет, получаем коэффициент  $Q_y$ , где  $y$  – порядковый год.

Получаем матрицу итоговых оценок и оценок с критериями по годам:

$$O(y) = \sum_{ky} N_k E_k Q_y. \quad (16)$$

Разработанная в статье методика использует методы решения многокритериальных оптимизационных задач. Она позволяет:

- рассчитывать показатели уровня НТП научного учреждения;
- обобщать все виды ресурсов и факторов структурной модели НТП учреждения во временном диапазоне;
- рассчитывать обобщенную модель бюджетного финансирования учреждения(ий) Минздрава России по научным платформам;
- рассчитывать базовый оценочный уровень НТП учреждения для каждой НП Минздрава России, в том числе в разрезе образовательных и научных учреждений, и всех НП Минздрава России;
- формировать матрицу экспертных оценок по критериям;
- проводить анализ деятельности НИУ на основе сформированной матрицы экспертных оценок по годам и периодам;
- оценивать эффективность НИР в НИУ Минздрава России.

Методика расчета интегральной оценки эффективности НИР учитывает:

- критерии эффективность – стоимость;
- вычисляемые, наукометрические показатели;
- динамику показателей на протяжении ряда лет;
- экспертные оценки ценности полученных результатов;
- ожидаемый/подтвержденный экономический эффект.

Методика обеспечивает:

- выбор периода оценки результатов [14] – итого 3–5 лет;
- расчет показателей эффективность – стоимость на протяжении указанного периода [15]. Взвешенная сумма по годам, предполагается, что «давний» год должен весить больше, например: по годам 0,5 – 0,3 – 0,2;
- определение алгоритма работы экспертов;
- проведение экспертной оценки;
- расчет интегрального показателя.

Надо иметь в виду, что применение разного рода показателей – это необходимое, но недостаточное условие для принятия окончательного решения об уровне научных исследований, проводимых в научно-исследовательском учреждении (НИУ), и его места в рейтинге научных организаций.

При распределении бюджетных средств фонда госзаказа по научным организациям должны учитываться следующие параметры и показатели:

- наукометрическая оценка эффективности выполнения научных работ;
- вхождение тематического направления в утвержденный Перечень приоритетных направлений развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.;
- научно-технический потенциал (рейтинг) научной организации, где выполняются работы по выделенным тематическим направлениям.

Авторы считают, что наукометрические индикаторы, полученные на основе описанного подхода, будут давать существенно более точную и оперативную картину текущего состояния и развития науки. Можно ожидать, что они будут востребованы как минимум следующими основными действующими лицами научной сферы:

- фондораспределяющими структурами – для повышения эффективности принятия решения о финансировании исследований;
- государственными органами научно-технической экспертизы (Рособрнадзор, ВАК и др.);
- руководством НИУ, так как использование подобных показателей в процедурах расчета показателей научно-технической

деятельности существенно повысило бы качество решений о материальном стимулировании труда ученых;

- научным сообществом, представляемым отдельными учеными и их неформальными коллективами, которые с помощью данных показателей могли бы лучше согласовывать свои намерения и возможности с объективными направлениями развития науки.

На основании матрицы (3) можно делать анализ эффективной деятельности научно-исследовательских учреждений, как по годам, так и по периодам, например по суммарной или средней итоговой оценке всех выполненных НИР.

Для большей объективности оценок эффективности деятельности научного учреждения следует дополнительно учесть уровень научно-технического потенциала данного учреждения, который можно также выразить нормированной оценкой, полученной в соответствии с описанным алгоритмом, формула (1).

Основными характеристиками *научно-технического потенциала и эффективности научного учреждения*, объективно необходимыми для отражения интегральной наукометрической оценки научно-исследовательских работ, проводимых по государственному заданию, являются:

- количество публикаций по всем научным направлениям: по годам (временной лаг ~ 5 лет), дифференцированно по отечественным и зарубежным журналам;

- численность и структура кадрового состава организации (с учетом возрастного состава и по годам);

- информационно-аналитические оценки имеющихся научно-технических результатов российского и мирового уровня;

- количество (и их финансовый объем) получаемых грантов (по направлениям) от российских фондов, зарубежных фондов и программ, спонсоров;

- состав (и объем) выполненных внебюджетных конкурсных (и заказных) исследований, проектов, разработок (временной лаг ~ 5 лет);

- интегральная характеристика-оценка результатов интеллектуальной (инновационной) деятельности (изобретения, алгоритмы и программы, патенты и т.п.);

- информационная инфраструктура (интрасеть/интернет) [18], приборный парк, состав оборудования, в первую очередь коллективного пользования (суперкомпьютер, дорогой масс-спектрометр и т.п.);

- автоматизированная информационная система управления научными исследованиями [19];

- подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура, диссертационные советы), связи с высшей школой;

- формализованное описание международных научных связей;

- обобщенные финансовые (корпоративные) показатели по годам и по периодам.

Как показал анализ, организационная база функционирующей в Минздраве России системы экспертной оценки позволяет осуществить подход к оценке внедрения результатов НИР, описанный в настоящей статье, включающий статистические показатели, так и экспертную оценку [3, 8].

### Выводы

Используемая в настоящее время в Минздраве России методика экспертной оценки эффективности НИР, проводимых в рамках выполнения государственных заданий, не позволяет в полной мере учесть научный потенциал учреждения и оценить результаты внедрения проводимых исследований. Представленная в статье методика интегральной оценки эффективности НИР в НИУ Минздрава России позволит существенно повысить качество решения задачи распределения бюджетных средств на выполнение государственных заданий за счет учета внедрения результатов ранее выполненных НИР, отслеживаемого на протяжении ряда лет.

Разработанная методика в настоящее время внедрена в разработанную автоматизированную систему управления научными исследованиями Минздрава России.

### Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2012 г. № 2237-р «Об утверждении государственной программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/5986/> (дата обращения: 24.11.18).
2. Распоряжение правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 2580-р «Об утверждении Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://archive.government.ru/special/gov/results/22272/> (дата обращения: 24.11.18).
3. Шарабчиев Ю.Т., Дудина Т.В. Методология экспертизы планируемых и завершенных научно-исследовательских разработок // Медицинские новости. 2010. № 5–6. С. 18–27.
4. Бухарин С.Н., Гукасов В.М., Лазаренко Н.Е. Теоретические и методические основы экспертизы фундаментальных и прикладных научно-технических проектов // Инноватика и экспертиза. 2011. № 2. С. 58–66.
5. Королева Т.С., Васильев И.А., Торжков И.О. Критерии оценки эффективности деятельности научных учреждений // Труды Санкт-петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 2. С. 94–111.
6. Сюнтюрено О.В. Финансирование фундаментальных исследований: концептуальный облик системы поддержки принятия решений с использованием методов наукометрии и анализа данных // Информатика и ее применение. 2018. № 12 (1). С. 118–127.

7. Паринов С.И. Национальная онлайн-научная инфраструктура: новый подход к оценке результатов НИР // Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач. Труды Всероссийской научной конференции (г. Новороссийск, 22–27 сентября 2008 г.). М.: Изд-во МГУ, 2008. С. 358–369.
8. Холматова К.К., Харьковская О.А., Гржибовский М. Классификация научных исследований в здравоохранении // Экология человека. 2016. № 1. С. 57–64.
9. Паринов С.И. Онлайн-будущее науки: наукометрическая сигнальная система. Препринт WP2/2007/01. М.: Издательский дом ГУ ВШЭ, 2007. 52 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/78883555> (дата обращения: 25.11.2018).
10. Сюнтюрено О.В., Гиляревский Р.С. Использование методов наукометрии и сопоставительного анализа данных для управления научными исследованиями по тематическим направлениям // Информационные процессы и системы. 2016. № 2 (12). С. 1–12.
11. Акоев М.А., Маркусова В.А., Москалева О.В., Писляков В.В. Руководство по наукометрии: Индикаторы развития науки и технологии. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. 250 с.
12. Федотов А.В., Васецкая Н.О. Оценка макроэкономической эффективности научных исследований в России // Университетское управление: практика и анализ. 2013. № 3. С. 61–67.
13. Новиков Д.А., Орлов А.И., Чеботарев П.Ю. Наукометрия и экспертиза в управлении наукой: сборник статей. М.: ИПУ РАН, 2013. 572 с.
14. Гуров А.Н., Куликов Д.А., Дементьев И.М. Оценка экономической эффективности внедрения результатов НИР // Первая совместная научно-практическая образовательная конференция ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского и Врачебной палаты Московской области, Москва, 23 мая 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: [http://ks-gs.ru/sites/default/files/doc/events/2017\\_05\\_31\\_doc4.pdf](http://ks-gs.ru/sites/default/files/doc/events/2017_05_31_doc4.pdf) (дата обращения: 25.11.2018).
15. Овчаров О.А. Актуальные проблемы современных научных исследований: методология, экономика, статистика: сборник статей. М.: Директ-Медиа, 2013. 143 с.
16. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Пер. с англ.]. М.: Радио и связь, 1993. 315 с.
17. Шумский В.И., Андреева И.Л., Гуров А.Н., Абрамова И.Ю. Оценка эффективности внедрения результатов научной деятельности сотрудников МОНИКИ в работу здравоохранения московской области // Альманах клинической медицины. 2009. № 21. С. 71–76.
18. Деменков Н.П. Программное обеспечение для оценки эффективности однотипных научно-исследовательских работ. // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 10 [Электронный ресурс]. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1085.html> (дата обращения: 25.11.2018).
19. Лебедев Г.С., Крылов О.Б., Леяков А.И., Ткаченко В.В. Автоматизированная информационная система управления научными исследованиями в научных учреждениях Минздрава России // Социальные аспекты здоровья населения. 2017. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/939/30/lang,ru/> (дата обращения: 25.11.2018).

УДК 004.81

## ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ СИЛОВА

Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,  
e-mail: gabdullina\_er@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы принятия решений по управлению качеством образования на основе нечетких когнитивных карт (НКК) В.Б. Силова. Проведен когнитивный анализ НКК качества образования с целью поддержки принятия решений по выбору наилучших путей достижения целевых показателей качества образования с точки зрения эффективного использования бюджетных средств. Построена матрица смежности, «двойная матрица» положительных связей, транзитивно замкнутая матрица взаимовлияния концептов, рассчитаны системные показатели НКК. Применен алгоритм В.Б. Силова для поиска путей по матрице взаимовлияния между концептами, выступающего в виде интеллектуального когнитивного агента; процедура поиска основывается на использовании макстриангулярной операции с нечеткими матрицами с использованием T- и S-норм. Сформированы максимальные позитивные и негативные пути между управляющими и целевыми концептами НКК, которые рассматриваются как возможные пути использования бюджетных средств для улучшения качества образования. Приведен пример максимального позитивного и негативного путей между управляющими и целевыми концептами. Построенные пути являются основой для формирования цепочки нечетких правил вида «если – то» и могут использоваться для формирования рекомендаций по принятию решений при управлении качеством образования.

**Ключевые слова:** нечеткие когнитивные карты, качество образования, алгоритм Силова, пути перехода, интеллектуальный когнитивный агент

## SUPPORT OF DECISION-MAKING ON QUALITY MANAGEMENT OF EDUCATION ON THE BASIS OF FUZZY COGNITIVE MAPS OF SILOV

Makarova E.A., Zakieva E.Sh., Gabdullina E.R.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ufa State Aviation Technical  
University, Ufa, e-mail: gabdullina\_er@mail.ru

The article deals with the problems of making decisions on the management of the quality of education based on fuzzy cognitive maps (FCM) of V.B. Silov. A cognitive analysis of the FCM quality of education was carried out to support decision making on choosing the best ways to achieve the target indicators of the quality of education from the point of view of the effective use of budgetary funds. An adjacency matrix, a «double matrix» of positive connections, a transitively closed concept interrelation matrix are constructed, system FCM indicators are calculated. The Silov's algorithm is used to search for paths by the interaction matrix between concepts, which acts as an intellectual cognitive agent; the search procedure is based on the use of a macro-angular operation with fuzzy matrices using T- and S-norms. Maximum positive and negative paths have been formed between the managers and the target concepts of the FCM, which are considered as possible scenarios for using budget funds to improve the quality of education. An example of the maximum positive and negative paths between management and target concepts is given. The constructed paths are the basis for the formation of a chain of fuzzy rules of the «if-that» kind and can be used to formulate recommendations for making decisions in the management of the quality of education.

**Keywords:** fuzzy cognitive maps, quality of education, Silov's algorithm, transition paths, intelligent cognitive agent

Проблема управления качеством образования как сложной слабоформализуемой системы связана с высоким темпом социальных, экономических процессов, изменяющихся требований рынка труда и т.д. Для принятия решений по управлению в условиях неопределённости может применяться универсальный инструментальный моделирования сложных систем – когнитивные карты (КК), которые задаются в виде ориентированного графа и содержат двухуровневые значения связей между концептами. Расширением традиционных КК является аппарат нечетких когнитивных карт (НКК), предложенных Б. Коско [1, 2],

в которых причинно-следственные связи между концептами находятся в диапазоне действительных чисел  $[-1, 1]$ .

Для поддержки принятия решений по управлению качеством образования применяется математический аппарат НКК В.Б. Силова [3], обеспечивающий комплексный анализ причинно-следственных связей между концептами и предназначенный для определения совокупного взаимовлияния концептов друг на друга с учётом прямого и опосредованного влияния. Когнитивный анализ необходим для принятия решений по выбору наилучших путей достижения целевых индикаторов ка-

чества образования и с целью повышения эффективности использования направленных на повышение качества образования бюджетных средств.

**Материалы и методы исследования**

На основе статистических данных, предоставленных Федеральной службой государственной статистики [4], о качестве образования в регионах РФ за 2015/2016 гг. разработана [5, 6] НКК качества образования (рис. 1). Когнитивная карта содержит концепты системы образования, разделенные на целевые, управляющие и промежуточные; оценка связей между концептами проведена методами статистического и интеллектуального анализа.

Целевыми концептами НКК качества образовательной системы являются: удельные веса трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программам бакалавриата ( $Y_1^0$ ), высшего образования – специалитет, магистратура ( $Y_2^0$ ); среднего профессионального образования (подготовка квалифицированных рабочих, служащих) ( $Y_3^0$ ); среднего профессионального образования (подготовка специалистов среднего звена) ( $Y_4^0$ ); удельный вес численности занятого населения в возрасте 25–65 лет, прошедшего повышение квалификации и (или) профессиональную подготовку ( $Y_5^0$ ); удельный вес сектора учреждений высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки ( $Y_6^0$ ).

Внутренние концепты НКК характеризуют: охват детей начальным общим, основным общим и средним общим образованием (7–17 лет) ( $P_1$ ); охват молодежи образовательными программами среднего профессионального образования – программами подготовки квалифицированных рабочих, служащих (15–17 лет) ( $P_2$ ), программами подготовки специалистов среднего

звена (15–19 лет) ( $P_3$ ); охват молодежи образовательными программами высшего образования (17–25 лет) ( $P_4$ ); численность аспирантов на 100 студентов ( $P_5$ ); охват детей в возрасте от 5 до 18 лет программами дополнительного образования ( $P_6$ ); численность лиц, обученных в организации по дополнительным профессиональным программам, на 10 тыс. человек ( $P_7$ ), по программам повышения квалификации на 10 тыс. чел. ( $P_8$ ), по программам профессиональной переподготовки на 10 тыс. чел. ( $P_9$ ).

Управляющими концептами, направленными на повышение качества образования, являются объемы финансирования образовательных организаций (в тыс. руб/чел.): общий объем финансирования всех образовательных организаций, реализующих программы общего образования ( $U_1$ ), объем финансирования образовательных организаций высшего образования ( $U_2$ ); объем поступивших средств в среднее профессиональное образование ( $U_3$ ).

В математическом виде НКК представляется в виде матрицы смежности  $W = [w_{ij}]_{n \times n}$ , элементы которой отмечают степень влияния концепта  $i$  на концепт  $j$  в диапазоне действительных чисел  $[-1, 1]$  с учетом направления влияния. Дальнейший анализ НКК качества образования проводится по схеме алгоритма В.Б. Силова, показанной на рис. 2.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Согласно схеме алгоритма анализа НКК качества образования на первом шаге формируется квадратная матрица смежности  $W$ , представленная в табл. 1. Размерность матрицы определена общим количеством концептов ( $n = 18$ ); элементы матрицы представляют собой степень влияния концепта-причины, расположенного в строке, на концепт-следствие в столбце.

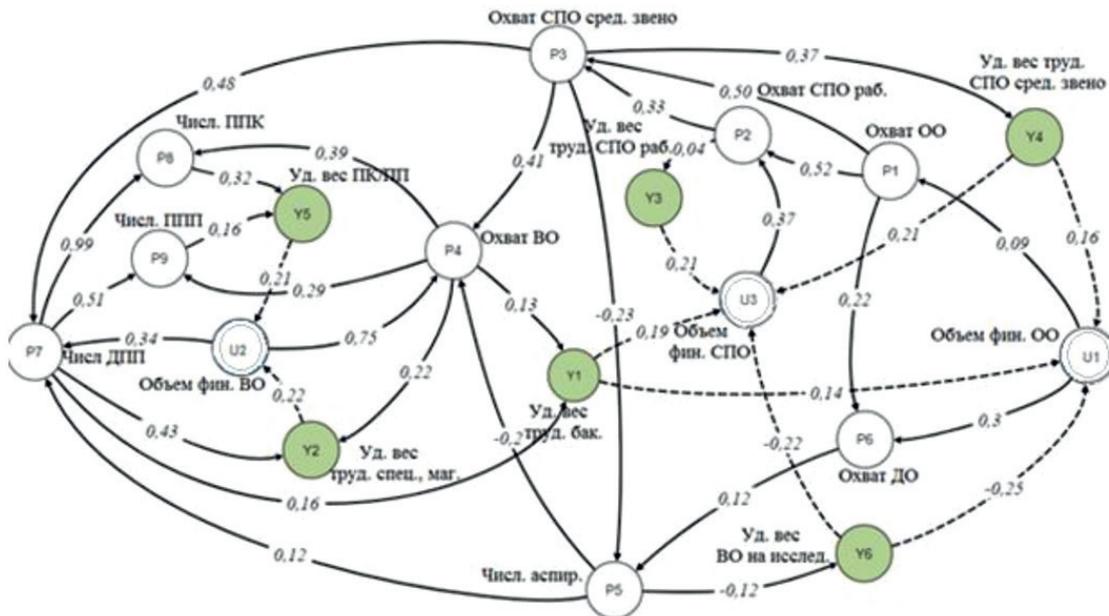


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта качества образования

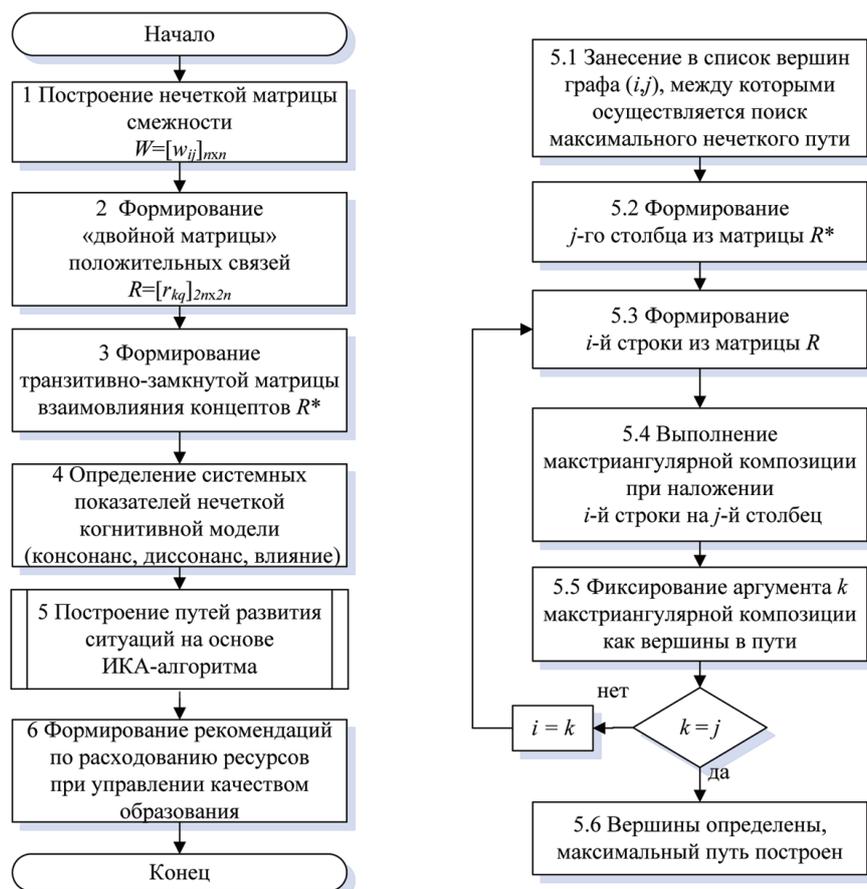


Рис. 2. Схема алгоритма проведения анализа нечеткой когнитивной модели

Таблица 1

$W$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$
$U_1$				0,09					0,3									
$U_2$							0,75			0,34								
$U_3$					0,37													
$P_1$					0,52	0,5			0,22				0,42	0,57	0,29	0,42	0,31	
$P_2$						0,33							0,27		0,04	0,26	0,19	
$P_3$							0,41	-0,23		0,48			0,34	0,55	0,31	0,37		
$P_4$											0,39	0,29	0,13	0,22	0,19	0,18	0,18	
$P_5$							-0,2			0,12								-0,12
$P_6$								0,12					0,24	0,29				
$P_7$												0,99	0,51	0,16	0,43	0,26	0,35	
$P_8$																		0,32
$P_9$																		0,16
$Y_1$	0,14	0	0,19															
$Y_2$	0,17	0,22	0,23															
$Y_3$		0,2	0,21															
$Y_4$	0,16	0,2	0,21															
$Y_5$		0,21																
$Y_6$	-0,25		-0,22															

На следующем шаге на основе матрицы смежности  $W$  формируется «двойная матрица»  $R = [r_{kj}]_{2n \times 2n}$  положительных связей. Необходимость построения матрицы  $R$  обусловлена требованиями методов нечеткой алгебры – введением нечеткости в диапазоне действительных чисел  $[0, 1]$  и связанной с исключением отрицательных элементов. Каждый элемент «двойной» матрицы определяется следующим образом: если соответствующий элемент матрицы смежности  $w_{ij} > 0$ , то  $r_{2i-1, 2j-1} = w_{ij}$ ,  $r_{2i, 2j} = w_{ij}$ ; если  $w_{ij} < 0$ , то  $r_{2i-1, 2j} = -w_{ij}$ ,  $r_{2i, 2j-1} = -w_{ij}$ , в остальных случаях элементы матрицы  $R$  равны нулю. В табл. 2 представлен фрагмент «двойной матрицы»  $R$ , описывающей влияние промежуточных концептов НКК качества образования  $P_2, P_3, P_4, P_5$  друг на друга; элементы матрицы смежности  $W$  расщепляются в  $R$  на две строки следующим образом: положительные элементы записываются по главной диагонали, например,  $P_2 - P_3, P_2' - P_3'$ , а отрицательные элементы – по побочной диагонали, например,  $P_3 - P_5', P_3' - P_5$ .

Для определения опосредованного влияния всех концептов НКК качества образования друг на друга строится транзитивно-замкнутая матрица взаимовлияний концептов  $R^* = \bigvee_{l=1}^{\infty} R^l$ , состоящая из положительно-отрицательных пар элементов, характеризующих максимальные положительные и отрицательные при-

чинно-следственные пути между всеми концептами [7]. Матрица взаимовлияний  $R^*$  формируется по специальному правилу преобразования:  $(v_{ij}, \bar{v}_{ij})$ :  $v_{ij} = \max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j})$ ,  $\bar{v}_{ij} = -\max(r_{2i-1, 2j}, r_{2i, 2j-1})$ . Построенная матрица взаимовлияний  $R^*$  позволяет определить согласованные отношения взаимовлияния всех концептов НКК качества образования, что может быть использовано для анализа динамики достижения заданных целей качества образования. Следует отметить, что для осуществления процедуры транзитивного замыкания требуется введение в НКК обратных связей по управлению, показанных на рис. 1 штриховыми линиями.

Фрагмент полученной замкнутой матрицы взаимовлияний  $R^*$  представлен в табл. 3, в которой показано, что, например, при росте объема финансирования общего образования  $U_2$  несколько увеличивается целевой показатель качества образования  $Y_5$  – удельный вес численности занятого населения в возрасте 25–65 лет, прошедшего повышение квалификации и (или) профессиональную подготовку и т.д. Дальнейший анализ матрицы  $R^*$  показал, что изменения вложенных бюджетных средств образовательных организаций, реализующих программы общего образования  $U_1$  и среднего профессионального образования  $U_3$ , не оказывают существенного влияния на целевые концепты, а рост вложений  $U_2$  оказывает влияние на целевые концепты  $Y_1, Y_2, Y_5$ .

Таблица 2

$R$	$P_2$	$P_2'$	$P_3$	$P_3'$	$P_4$	$P_4'$	$P_5$	$P_5'$
$P_2$	0	0	0,33	0	0	0	0	0
$P_2'$	0	0	0	0,33	0	0	0	0
$P_3$	0	0	0	0	0,41	0	0	0,23
$P_3'$	0	0	0	0	0	0,41	0,23	0
$P_4$	0	0	0	0	0	0	0	0
$P_4'$	0	0	0	0	0	0	0	0
$P_5$	0	0	0	0	0	0,2	0	0
$P_5'$	0	0	0	0	0,2	0	0	0

Таблица 3

$R^*$	$Y_4$		$Y_5$		$Y_6$	
$U_1$	0,01665	-0,00003	0,01349	-0,00123	0,00124	-0,00432
$U_2$	0,00166	0,00000	0,26386	-0,00005	0,00012	-0,00009
$U_3$	0,04518	-0,00005	0,03192	-0,00134	0,00337	-0,00003
$P_1$	0,18500	-0,00019	0,13071	-0,00640	0,01380	-0,00317
$P_2$	0,12210	-0,00013	0,08627	-0,00363	0,00911	-0,00008
$P_3$	0,37000	-0,00039	0,26142	-0,01100	0,02760	-0,00026
$P_4$	0,00142	0,00000	0,17120	-0,00004	0,00011	-0,00008

Rmax	p1		p2		p3		
	1	2	3	4	5	6	
U1	1	0,0900	0,0000	0,0468	0,0002	0,0450	0,0001
	2	0,0000	0,0900	0,0002	0,0468	0,0001	0,0450
U2	3	0,0019	0,0000	0,0107	0,0000	0,0045	0,0000
	4	0,0000	0,0019	0,0000	0,0107	0,0000	0,0045
U3	5	0,0007	0,0001	0,3700	0,0003	0,1221	0,0001
	6	0,0001	0,0007	0,0003	0,3700	0,0001	0,1221

↑ столбец y

R	p1		p2		p3	
	1	2	3	4	5	6
U1	1	0,09	0	0	0	0
	2	0	0,09	0	0	0
U2	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
U3	5	0	0	0,37	0	0
	6	0	0	0	0,37	0

← строка s

Рис. 3. Фрагмент процедуры извлечения номеров вершин в ИКА-алгоритме

По построенной матрице взаимовлияния можно провести расчет системных показателей НКК [5, 8]: интегральные показатели консонанса (диссонанса) влияния системы образования на концепт, консонанса (диссонанса) влияния концепта на систему, а также показатели, нормированные к сумме всего консонанса (диссонанса) системы. Анализ интегральных системных показателей НКК выявил высокий уровень консонанса, т.е. высокую степень согласованности концептов когнитивной модели, и низкую степень диссонанса.

Далее применяется алгоритм В.Б. Силова, необходимый для поиска путей по матрице взаимовлияния между концептами; данный алгоритм играет роль интеллектуального когнитивного агента (ИКА-алгоритм). Выявленные с помощью алгоритма пути между концептами рассматриваются как возможные пути использования бюджетных средств для улучшения качества образования и могут служить основой для формирования рекомендаций по принятию решений при управлении.

Согласно ИКА-алгоритму для определения максимального позитивного и негативного пути между концептами необходимо из построенной матрицы взаимовлияний  $R^*$  выделить (занести в список) номера вершин между концептами, для которых требуется найти максимальный «по весу» нечеткий путь. Для этого в матрице  $R^*$  фиксируется  $j$ -й столбец  $y$ , а в матрице  $R$  формируется  $i$ -я строка  $s$ . После этого значение аргумента макстриангулярной композиции вектора-строки  $s$  и вектора-столбца  $y$  нечетких матриц  $R^*$  и  $R$  фиксируется как вершина  $k$  в пути. Следует отметить, что макстриангулярные операции с нечеткими матрицами предполагают, что нечеткие значения выходных концептов рассчитываются с использованием характерных для нечеткой логики операций  $T$ - и  $S$ -норм над нечеткими

значениями входных концептов (например, с использованием правила *max-product*). Процесс поиска путей ИКА-алгоритмом продолжается до тех пор, пока фиксированная вершина  $k$  не совпадет с  $j$ -й вершиной. На рис. 3 приведен фрагмент процедуры извлечения номеров вершин путей с помощью ИКА-алгоритма.

ИКА-алгоритм позволяет построить пути развития ситуации при задании управляющих воздействий, необходимых для повышения качества образования. В качестве примера рассмотрим максимальные позитивный и негативный пути между концептами  $U_2$  – «Объем финансирования образовательных организаций высшего образования, тыс. руб/чел.» на концепт  $Y_2$  – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе высшего образования – специалист, магистратура»; по матрице взаимовлияний значения отношения между концептами  $U_2$  и  $Y_2$  соответствуют величинам (0,165; -0,00003). Позитивное влияние  $U_2$  на  $Y_2$  проходит по НКК через концепты

$(U_2, P_4, Y_2): U_2 \xrightarrow{0,75} P_4 \xrightarrow{0,22} Y_2$ , т.е. управляющий концепт увеличивает промежуточный концепт  $P_4$  «Охват молодежи образовательными программами высшего образования», что приводит к увеличению целевого концепта  $Y_2$ . Негативное влияние концепта  $U_2$  на  $Y_2$  проходит по более протяженному маршруту  $(X_2, P_4, Y_1, U_3, P_2, P_3, P_5, P_7, Y_2)$ :

$$X_2 \xrightarrow{0,75} P_4 \xrightarrow{0,13} Y_1 \xrightarrow{0,19} U_3 \xrightarrow{0,37} P_2 \xrightarrow{0,33} P_3 \xrightarrow{-0,23} P_5 \xrightarrow{0,12} P_7 \xrightarrow{0,43} Y_2$$

в котором управляющий концепт  $U_2$ , повышая промежуточный концепт  $P_4$ , увеличивает один из целевых концептов  $Y_1$  и вносит изменение в управляющий концепт  $U_3$ ; увеличение управляющего концепта  $U_3$ , в свою очередь, положительно влияет на состояние системы образования, так как увеличивает промежуточные концепты  $P_2, P_3$ , но при этом происходит уменьшение концептов  $P_5$ ,

$P_7$ , вследствие этого снижается и целевой концепт  $Y_2$  – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе высшего образования – специалитет, магистратура». Таким образом, проведение когнитивного анализа построенной НКК на основе алгоритма В.Б. Силова позволяет найти возможные пути влияния управляющих концептов на целевые концепты и сформировать рекомендации по расходованию бюджетных средств при управлении качеством образования.

### Заключение

Проведен когнитивный анализ НКК качества образования на основе алгоритма В.Б. Силова; построены: матрица смежности, «двойная матрица» положительных связей, сформирована транзитивно замкнутая матрица взаимовлияния концептов НКК друг на друга, определены максимальные позитивные и негативные пути достижения целевых концептов из управляющих концептов. Построенные пути являются основой для формирования цепочки нечетких правил вида «если – то» и могут использоваться для формирования рекомендаций по принятию решений при управлении качеством образования.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-08-01155 А «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении многоотраслевым производ-*

*ственным комплексом как многосвязным динамическим объектом на основе нейросетевого и имитационного моделирования».*

### Список литературы

1. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. Int. Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 24. P. 65–75.
2. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 284 с.
3. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели // Информационно-аналитические материалы Федеральной службы государственной статистики, 2016 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b17\\_34/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b17_34/Main.htm) (дата обращения: 20.11.2018).
5. Ильясов Б.Г., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р., Махмутова А.Э. Поддержка принятия решений при управлении качеством образования на основе нечеткого когнитивного моделирования // Труды VI Всероссийской конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2018)». Уфа, 2018. С. 112–117.
6. Макарова Е.А., Габдуллина Э.Р., Закиева Е.Ш. Регрессионный и кластерный анализ региональных производственных процессов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2015. № 12. С. 78–83.
7. Черняховская Л.Р., Герасимова И.Б., Салаватова А.Р., Мухамедрахимова Л.Н. Оценка влияния социально-психологических факторов на качество подготовки студента с применением нечетких когнитивных карт // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. № 4 (65). С. 134–141.
8. Васильев В.И., Савина И.А., Шарипова И.И. Построение нечетких когнитивных карт для анализа и управления информационными рисками вуза // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10. № 2 (27). С.199–209.

УДК 677.016.673.2

## ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТКАНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТОК

**Максимов А.А., Аллямов Р.Р., Тувин А.А.**

*ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», Иваново,  
e-mail: tuvin@ivgpu.com*

Настоящая статья посвящена организации контроля над качеством металлических сеток, изготавливаемых тканым способом, как по отечественным, так и по зарубежным технологиям. Завышенная себестоимость продукции и неспособность оборудования соответствовать требованиям к производительности, как правило, являются результатом выпуска некачественной металлопродукции. Главным решением обозначенных проблем выступает уровень профессионализма организации технического контроля качества металлосеток, на всех этапах производства и эксплуатации. В современных условиях производства полномочия по контролю над качеством выпускаемой металлопродукции осуществляются: металлоткачом, наладчиком, контролером отдела технического контроля. С учетом основных требований, предъявляемых к процессу металлоткачества, исходя из потребительского спроса к входному продукту (проволоке), были определены их наиболее информативные количественные показатели. С целью модернизации методов обозначения качества металлоткачкой продукции были сформулированы механизмы постоянной диагностики свойств проволоки выступающей входным продуктом и сетки выступающей выходным. Так же был сформулирован способ генерирования общего параметра качества изделия, создаваемого при волочении, отжиге и наматывании, сформулированы нормативы целостных качественных параметров и рекомендована методика вычисления значения целостного качественного параметра готового металлоткачкового изделия.

**Ключевые слова:** тканые металлические сетки, металлоткачное производство, технический контроль

## ORGANIZATION OF TECHNICAL CONTROL OF PRODUCTION WOVEN METAL MESH

**Maksimov A.A., Allyamov R.R., Tuvina A.A.**

*Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, e-mail: tuvin@ivgpu.com*

This article is devoted to the quality control of woven metal mesh, both in domestic and foreign standards. Production of low-quality products of metal-weaving production leads to overspending of raw materials, decrease of equipment productivity and increase of production cost. The main solution to these problems is the level of professionalism of the organization of technical quality control of metal grids at all stages of production and operation. At the present stage of production quality control of products of metal-weaving production is carried out: the metalweaver, the Adjuster, the controller of Department of technical control. Taking into account the basic requirements for the metal-weaving process, based on consumer demand for the input product (wire), their most informative quantitative indicators were determined. In solving the problem of improving the methodology for determining the quality of products of the metalweaving production, algorithms for continuous determination of the quality of the wire as an input product and the grid as an output product of the metal-weaving production are developed, a method for constructing a comprehensive indicator of the quality of the wire formed in the processes of drawing, annealing and winding, the normative values for the unified quality indicators are determined, as well as a formula for calculating the value of the complex indicator of the quality of the grid.

**Keywords:** woven metal mesh, metal-weaving production, technical control

Контроль характеристик металлических сеток, изготавливаемых тканым способом, проводится на основании четко регламентированных параметров (диаметр проволоки, размер стороны ячейки, количество ячеек с максимальным размером и др.). Современные методики измерения [1] и средства вычислительной техники, позволяющие выявлять свойства конструкций текстильных материалов [2], являются средством осуществления контроля над качеством металлических сеток, изготавливаемых тканым способом на этапе современного производства. Уже на стадии проектирования необходимо учитывать, что нарушение характеристик граней ячеек и прочие недостатки появляются главным образом по причине неправильного взаимодействия баганного механизма с упругой системой заправки

станка, вследствие чего технологический процесс подвергается влиянию деформации свойств рабочих органов.

Производство металлоткачкой продукции низкого качества приводит к нецелесообразному увеличению расходов сырья, минимизации производительных характеристик оборудования и повышению себестоимости продукции. Повышение качества выпускаемой продукции может быть достигнуто изменением организации технического контроля над качеством металлических сеток, изготавливаемых тканым способом, как на стадии производства, так и при получении готового изделия. Справочная [3, 4] и техническая литература [5] главным образом посвящены типам брака, причинам их вызывающим и мерам предупреждения.

Таблица 1

Потребительские требования процесса металлочащности к входному продукту (проволоке)

Потребительские требования процесса металлочащности	Выделенные свойства
Неизменность параметров толщины на всем протяжении	Толщина
Высокая степень сопротивления к растяжениям и изгибам	Прочность Деформация Жесткость
Отсутствие внутренних и внешних дефектов	Исправность

Металлическая сетка, изготовленная тканым способом, должна отвечать действующим стандартам [6, 7] и техническим условиям [3, 4] предприятий легкой промышленности. Результатом выпуска некачественной металлопродукции являются завышенная себестоимость продукции и неспособность оборудования соответствовать требованиям к производительности.

В условиях современного производства полномочия по контролю над качеством выпускаемой металлопродукции осуществляются следующим образом:

– металлочащ, в процессе ткачества осуществляет визуальный осмотр и замеряет параметры сетки (среднеарифметическую величину ячейки, количество ячеек на 1 см или 1 дм, ширину сетки, диаметр проволоки и т.д.);

– наладчик (мастер смены), осуществляет визуальный осмотр и замеряет параметры сетки перед выполнением работы, а также в процессе выполнения;

– контролер, осуществляет визуальный осмотр и замеряет параметры сетки на рабочих местах, на каждом производственном этапе. Так же контролером проводится мониторинг соответствия поступающей продукции требованиям, заявленным в стандартах и технических условиях.

Качество готовой продукции состоит на контроле отдела технического контроля производства. На данном этапе соответствие требованиям нормативно-технической документации проверяется непосредственно на металлочащном станке [8], а также с использованием контрольных машин и специальных контрольных столов.

Тяжелые сетки (имеющие величину ячейки от 2 мм и диаметр проволоки от 0,50 мм) проходят визуальный контроль на рабочем месте, с условием снятия с товарного барабана и измерения основных параметров, таких как ширина, длина рулона, средний размер стороны ячейки и т.д.

Более плотные сетки проходят контроль на контрольных машинах, которые могут быть изготовлены самим заводом.

С целью повышения эффективности контроля фильтровых и микросеток были

разработаны контрольные столы с длиной поверхности равной 3 м и наличием нижнего подсвета, позволяющего обнаружить дефекты, незаметные и при рабочем освещении. При этом метод контроля остается неизменным и осуществляется путем визуального осмотра и измерения основных параметров сетки.

Оценка выявленных дефектов и измерение основных параметров сетки осуществляются следующими измерительными инструментами: текстильная лупа, лупа Бринеля, цифровой пятидесятикратный микроскоп (оптическая способность микроскопа может достигать до 200), мерительная линейка, рулетка, микрометр, прошедшие метрологическую поверку.

При разработке методики оценки качества металлической проволоки необходимо обозначить номенклатуру практических свойств проволоки. Подготовка проволоки перед процессом металлочащности отличается, наличием таких операций, как волочение, отжиг и перемотка в катушки. Отсюда следует, что ведущими потребительскими свойствами для процесса металлочащности признаются, стабильность размера по толщине и по прочности, а также отсутствие дефектов, табл. 1.

Испытуемым объектом решено признать нить из никеля НП-2, изготавливаемую по стандартам, утвержденным ГОСТ 492-73, используемую при производстве тканой сетки № 004, характеризующейся нормальной точностью и квадратным строением ячеек с полотняным переплетением в соответствии с ГОСТ 6613-86 [6].

Из вышеобозначенных характеристик становится возможным выявить значение ведущих информативных количественных показателей. Конкретно выделенное требование «неизменность параметров толщины на всем протяжении» может быть достигнуто путем регулирования свойства «толщина» следующими количественными характеристиками: средний диаметр ( $d_{cp}$ ) и среднее квадратическое отклонение по диаметру ( $\sigma_d$ ). С целью выполнения требования «высокая степень сопротивления к растяжениям и изгибам» выделены такие

характеристики, как прочность, деформация и жесткость. Для них установлены такие количественные показатели, разрывная нагрузка ( $P_p$ ), среднее квадратическое отклонение по разрывной нагрузке ( $\sigma_p$ ), относительное разрывное удлинение ( $\Delta l_p$ ), показатель жесткости на растяжение (EF) и показатель жесткости на изгиб (EI). Числовые, а также кодированные обозначения указанных показателей указаны в табл. 2.

Исходя из количественных характеристик проволоки представленных в табл. 2, экспертным оцениванием [9] могут быть сформированы единые показатели качества (ЕПК) и произведена их порядковая сортировка на основании коэффициентов весомости. Экспертная комиссия состояла из специалистов в области производства

и проектирования тканых металлоконструкций. Экспертная комиссия состояла из 10 специалистов, с каждым из которых был произведен опрос, результаты которого подверглись статистическому анализу и реконфигурации данных, после чего были упорядочены в табл. 3 [9]. Стоит отметить, что коэффициент весомости  $\alpha_i$  вычисляется математическим методом по формуле (1), а наиболее весомому показателю качества (ЕПР) присваивается ранг 1.

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^m (R_j)_i^{-1} / \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m (R_j)_j \right]^{-1}. \quad (1)$$

Количественные значения коэффициентов весомости единых показателей качества проволоки отражены в табл. 3.

Таблица 2

## Количественные характеристики проволоки

Наименование показателя (свойство)	Количественный показатель	Обозначение		Единица измерения	Значения	
		Простое	Кодированное		Фактическое	Номинальное $\ X\ $
Толщина	Средний диаметр	$d_{cp}$	$X_1$	мм	0,03	$0,03 \pm 0,004$
	Среднее квадратическое отклонение по диаметру	$\sigma_d$	$X_2$	мм	0,002	0,002
Прочность	Разрывная нагрузка	$P_p$	$X_3$	Н	0,17	$0,18 \pm 0,02$
	Среднее квадратическое отклонение по разрывной нагрузке	$\sigma_p$	$X_4$	Н	0,01	0,02
Деформация	Относительное разрывное удлинение	$\Delta l_p$	$X_5$	%	9	$10 \pm 2$
Жесткость	Показатель жесткости на растяжение	EF	$X_6$	Н	141,4	$140 \pm 10$
	Показатель жесткости на изгиб	EI	$X_7$	Нмм <sup>2</sup>	$7,95 \cdot 10^{-3}$ *	$(8 \pm 1) \cdot 10^{-3}$ *

Таблица 3

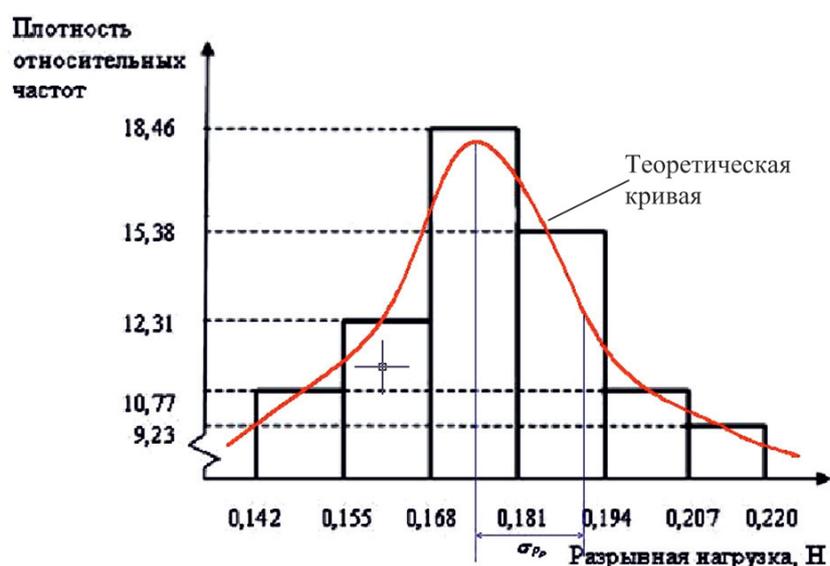
## Количественные значения коэффициентов весомости ЕПК проволоки

ЕПК ( $X_i$ )	Ранги $R_j$ , поставленные экспертами							$\sum_{j=1}^m (R_j)$	$\alpha_i$
	1	2	3	4	5	6	7		
$X_1$	3	1	3	5	3	3	4	22	0,15
$X_2$	6	7	5	7	7	5	5	42	0,08
$X_3$	1	2	6	1	2	1	1	14	0,23
$X_4$	5	6	7	6	5	7	6	42	0,15
$X_5$	2	3	1	2	1	2	2	13	0,25
$X_6$	4	4	4	3	4	4	3	26	0,12
$X_7$	7	5	2	4	6	6	7	37	0,09

Таблица 4

Разрывная нагрузка при испытаниях никелевой проволоки марки НП-2 (ГОСТ 492-73) для выработки сетки № 004 (ГОСТ 6613-86)

№ исп.	$P_p, Н$								
1	0,166	11	0,154	21	0,162	31	0,142	41	0,170
2	0,158	12	0,170	22	0,173	32	0,162	42	0,183
3	0,182	13	0,180	23	0,153	33	0,166	43	0,175
4	0,191	14	0,200	24	0,162	34	0,212	44	0,215
5	0,183	15	0,218	25	0,144	35	0,220	45	0,188
6	0,183	16	0,155	26	0,190	36	0,160	46	0,178
7	0,186	17	0,158	27	0,188	37	0,216	47	0,180
8	0,172	18	0,152	28	0,202	38	0,208	48	0,176
9	0,178	19	0,169	29	0,204	39	0,205	49	0,168
10	0,148	20	0,202	30	0,188	40	0,198	50	0,192



Значения разрывной нагрузки полученные в результате испытаний никелевой проволоки марки НП-2 (ГОСТ 492-73)

Следующий этап включал в себя формулирование нормативных значений единых показателей качества. По причине отсутствия таковых по ведущим показателям (таким, как разрывная нагрузка) появилась необходимость разработки методики их выявлению путем использования результатов экспериментальной деятельности. Данные необходимы также при нахождении технологической эффективности процесса металлочаства.

Базой для экспериментальных исследований являлась лаборатория кафедры материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИВГПУ и разрывная машина марки РМ-3 (Россия). Обработанные результаты экспериментов приведены в табл. 4. Для данного ЕПК было проведено

50 экспериментальных исследований. Результаты экспериментальных исследований для разрывной нагрузки проволоки указаны в табл. 4.

При выборке объемом  $n = 50$ ,  $X_{\min} = 0,142$ ,  $X_{\max} = 0,220$ ; численное значение частных интервалов  $k = \log_2 n \approx 6$ ; Частном интервале длиной  $\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k} = 0,013$ . После

проведения испытаний по разрывной нагрузке никелевой проволоки марки НП-2 (ГОСТ 492-73) полученные результаты были реконфигурированы в гистограмму распределения, приведенную на рисунке.

Выборочные параметры распределения, произведенные эмпирическим способом исходя из значения разрывной нагрузки, будут находиться через метод произведений [10].

В результате получим:  $a_0 = 0,1745$  – середина частного интервала с наибольшей частотой;  $S_1 = 20$ ;  $S_2 = 128$ . Таким образом, средняя выборочная  $\bar{X} = 0,179$ ; дисперсия  $D_x = 0,0004$ ; среднее квадратическое отклонение  $\sigma_x = 0,020$ , коэффициент вариации  $C_x = 11,19\%$ . При помощи критерия согласия Пирсона становится возможна проверка гипотезы о нормальном распределении совокупности.

Таким образом,  $\chi^2_{\text{экс}} = 1,3939$ . По таблице распределения [10] находим  $\chi^2_{\text{табл}}(\alpha = 0,05; f = 3) = 7,8$ . Значит,  $\chi^2_{\text{экс}} < \chi^2_{\text{табл}}$ . Исходя из незначительности расхождения частот, полученных как теоретическим, так и экспериментальным путем, приходим к выводу, что экспериментальные данные по разрывной нагрузке по утку для никелевой проволоки марки НП-2 (ГОСТ 492-73) не противоречат гипотезе о нормальном распределении совокупности. Для текстильного и легкопромышленного производства надежность расчета принимается  $P = 0,95$ . При  $\Phi(t) = 0,475$  в таблице функции Лапласа находим  $t = 1,96$ , и значения разрывной нагрузки попадают в интервал  $(0,174; 0,185)$ .

Основываясь на критерии согласия Пирсона, выведем теоретическую кривую в виде нормального распределения (рисунок). Отразим на ней точки перегиба до и после точки основного значения заданных параметров. В интервале  $P_p \pm \sigma_{P_p}$  находим точки перегиба, ссылаясь на закон нормального распределения. Отсюда следует, что предельное значение разрывной нагрузки  $\|P_p\|$  определяется из условия

$$\|P_p\| = \bar{P}_p + \sigma_{P_p}.$$

Таким образом нормативное значение для разрывной нагрузки никелевой проволоки марки НП-2 (ГОСТ 492-73)  $\|P_p\| = 0,199$  Н.

На конечном этапе, с учетом арифметического метода усреднения, на основании выражения определим комплексный показатель качества (КПК) проволоки

$$\text{КПК} = \sum_{i=1}^n (q_x)_i \cdot \alpha_i,$$

где  $(q_x)_i = x_i / \|X_i\| \leq 1$ ;

$(q_x)_i = \|X_i\| / x_i \leq 1$ .

Воспользовавшись фактическим значением ЕПК, приведенном в табл. 2, определяем числовое значение КПК. По определенным нормативным значениям из выражения 2 получаем значение  $\text{КПК} = 0,95 < 1$ . Из относительной шкалы, данные для КПК  $(0 \dots 1)$ , которые могут позиционироваться в качестве

оценочной градации (например, «хорошее качество», «плохое качество»).

### Выводы

С целью модернизации методов обозначения качества металлоткацкой продукции с условием соответствия, установленным требованиям, касающимся тенденции организации порядка обоснования качества, выявления частных показателей качества, регулирования их стандартных значений, выявления комплексного показателя качества, классифицирования качества по уровням были выполнены следующие задачи:

1. Сформулированы механизмы постоянной диагностики свойств проволоки выступающей входным продуктом и сетки выступающей выходным.

2. Сформулирован способ генерирования общего параметра качества изделия, создаваемого при волочении, отжиге и наматывании.

3. Сформулированы нормативы целостных качественных параметров.

4. Рекомендована методика вычисления значения целостного качественного параметра готового металлоткацкого изделия.

### Список литературы

1. Белобрагин В.Я. Основы технического регулирования: учебное пособие. 2-е изд., исправленное и дополненное. М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. 104 с.
2. Коробов Н.А. Развитие теории и практики построения методов измерения характеристик строения текстильных материалов с использованием современных информационных технологий: дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2008. 364 с.
3. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: ИКЦ «Академкнига», 2008. 398 с.
4. Металлургия // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. 2009. № 3. С. 98–121.
5. Тувин А.А., Гусев Б.Н., Кулида Н.А., Фомин Ю.Г., Целовальникова Н.В. Разработка компьютерного метода определения геометрических характеристик тканой металлической сетки. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3 (369). С. 88–92.
6. ГОСТ 6613-86. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1986. 16 с.
7. ГОСТ 3187-76. Сетки проволочные тканые фильтровые. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1976. 10 с.
8. Темнова Н.К. Модернизация текстильной отрасли. Кластерный подход. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 1. С. 5–11.
9. Тувин А.А. Развитие научного и методического обеспечения процессов проектирования оборудования и технического контроля производства тканых металлических сеток: дис. ... докт. техн. наук. Иваново, 2012. 335 с.
10. Спирина М.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2011. 352 с.

УДК 004.6:656.072.67

## АКТУАЛИЗАЦИЯ ПОРЯДКА РАСЧЕТА ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ И УТОЧНЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ПОЛИГОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Маловецкая Е.В., Большаков Р.С.

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск,  
e-mail: katerina8119@mail.ru

За последнее время неоднократно поднимался вопрос увеличения транзитности вагонопотоков, который требует принятия новых технологических решений, реализуемых на созданных полигонах курсирования по принципам планирования на предстоящий период в разрезе года, месяца, суток, смены, с учетом уменьшения влияния человеческого фактора за счет логической связности выходов и входов подпроцессов, а также применения организации перевозок грузов повагонными отправками в составах многогруппных поездов, следующих на протяженных маршрутах с обменом отдельных вагонных групп на сортировочных станциях, встречающихся по пути следования, в контексте совмещенного расписания для всех станций полигонов с использованием технологий Цифровой железной дороги. В связи с этим требуется определить список основных показателей, разработанный индивидуально для каждой железной дороги сети, а также полигонов, которые будут закреплены, а по необходимости корректироваться, исходя из внешних и внутренних факторов. Необходимо отметить, что на сегодняшний день особо актуально поставлены вопросы о разработке пошаговой инструкции по принятию решений по оперативной корректировке плана формирования диспетчерским аппаратом станций и региональных дирекций с перечнем порядка действий по выработке предложений и их согласованию. Полный комплекс мероприятий по изменению структуры эксплуатационных показателей требует включения в себя построения процессных моделей производственного блока холдинга «РЖД», а также создания инновационной системы эксплуатационных показателей полигонов. Требуется в кратчайшие сроки установить перечень показателей, которые будут подвержены наблюдению и контролю в сложившихся условиях, что позволит систематизировать процесс контроля принятия решений, обеспечив его адекватной информацией.

**Ключевые слова:** полигоны курсирования, транзитные вагонопотоки, модели поездообразования, провозная способность, повышение норм веса на участке, параметр накопления, участковая скорость, передача вагонов по ступкам, провозная способность

## NEW IS QUITS THE PLAN OF FORMATION OF TRAINS WITH SPECIFICATION OF THE LIST OF INDICATORS OF OPERATIONAL WORK ON THE BASIS OF IMITATING MODELLING

Malovetskaya E.V., Bolshakov R.S.

Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, e-mail: katerina8119@mail.ru

Lately the question of increase in speed of following of traffic volumes without processing which requires the new technology solutions realized on the created grounds of running by the principles of scheduling for the forthcoming period in a section of year, month, day, changes taking into account decrease of influence of a human factor due to the logical connectivity of exits and entrances of subprocesses and also application of a system of transportations in group trains on the long routes with replacement of groups of cars at way stations in the course of the schedule united on all stations of a railway system with use of technologies of the Digital railroad is repeatedly brought up. In this regard it is required to define the list of indexes for a single railroad and the ground which are established and adjusted depending on external and internal factors. It should be noted that today topical issues about development of the instruction of a decision making for expeditious updating of the plan of formation by the dispatching office of the stations and regional directorates with the list of an operations procedure. It is necessary to define in the nearest future a set of indicators which are subject to monitoring and monitoring in new conditions and allow to provide decision-making process with adequate and sufficient information.

**Keywords:** grounds of running, transit traffic volumes, model of drawing up trains, carrying ability, increase in standards of weight on the site, the accumulation parameter, local speed, transfer of cars on knocks, carrying ability

Новые условия работы на рынке железнодорожных перевозок, множественность операторов подвижного состава, продолжающаяся структурная реформа приводят к поискам новых решений эффективной организации перевозочного процесса. Как один из вариантов – применение объединения дорог до полигонов, позволяющих ускорить движение вагонопотоков по сети.

Провозная способность всего полигона в целом напрямую зависит от числа ограничивающих участков в независимости от рода этих ограничений (технические, технологические, организационные). Так, появление любой проблемной ситуации на Дальнем Востоке, Забайкальской или Восточно-Сибирской железной дороге достаточно быстро затронет также соседние

магистрала. Поэтому предоставление всем подразделениям необходимых ресурсов в самом широком понимании этого термина должно стать главным требованием.

Остановимся более детально на Восточном полигоне, самом передовом на всей сети.

Эксплуатационная длина железных дорог Восточного полигона составляет 17207 км, в том числе длина электрифицированных линий – 9196 км (53,4%). Доля двухпутных линий – 7525 км (43,7%). Основные направления оборудованы автоматической блокировкой – 12144 км (70,6%). Полуавтоматической блокировкой оборудовано 29,4% линий. Диспетчерской централизацией оборудовано 9669 км (56,2%). На полигоне имеется 810 железнодорожных станций, в том числе 8 сортировочных, 6 пассажирских, 58 участковых, 109 грузовых, 629 промежуточных.

На полигоне имеется 15 эксплуатационных вагонных депо. Плечи гарантийного проследования грузовых вагонов составляют до 1300–1400 км. На полигоне функционируют 4 центра управления содержанием инфраструктуры (ЦУСИ).

Перевозочная работа на Восточном полигоне характеризуется постоянным увеличением грузооборота со следованием основного потока грузов в морские торговые порты Восточный, Находка, Ванино, Владивосток, Посьет. Увеличиваются размеры передачи грузов через погранпереходы. Имеет место высокий уровень заполнения наличной пропускной способности участков.

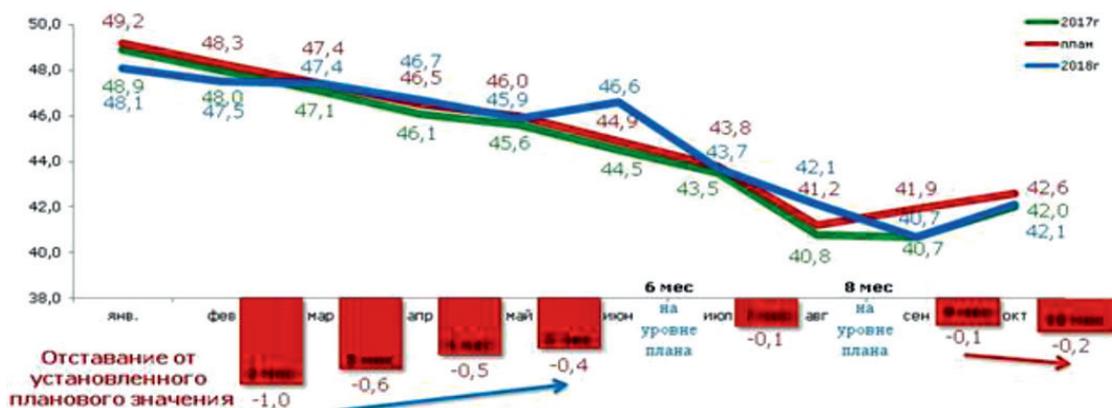
Предусматривается дальнейший рост объемов погрузки в порты Дальнего Востока с увеличением грузопотока по Транссибу и БАМу на 30% в перспективе до 2020 г.

Обеспечение подразделений ресурсами необходимо подкрепить реализацией соответствующих технологически достаточных организационных построений в границах Восточного полигона. В виде примера можно рассмотреть работу энергетического тягового хозяйства, как основному стимулирующего фактора к дальнейшему повышению транзитного потенциала Транссиба [1].

Например, на перегонах Ния – Небель и Небель – Киренга из-за проблем с системой энергоснабжения одновременно может находиться только один тяжеловесный поезд. Из-за недостаточного путевого развития промежуточных станций направления Лена – Хани возникают затруднения с обгоном и скрещением поездов, следующих в пакете. Следовательно, первоначально необходимо провести ряд комплексных мероприятий, по увеличению мощности железнодорожного направления.

Дальнейшая система пропуска тяжеловесных поездов, имеющих повышенную длину, в больших количествах, будет реализована после снятия ограничений инфраструктуры, в первую очередь по устройствам тягового электроснабжения и контактной сети.

Все последующие инвестиции должны быть поддержаны и доказаны с научной точки зрения и поддержаны эффективными технологиями организации движения грузов от мест погрузки до конечных пунктов. Необходимо также отметить факт снижения участковой скорости и производительности локомотива в текущем году на Восточном полигоне, и это имеет объективное обоснование. На рисунке показана динамика выполнения участковой скорости в 2018 г.



Динамика выполнения участковой скорости в 2018 г. на Восточном полигоне

По итогам работы за 2 месяца текущего года отставание по участковой скорости от установленного норматива составляло 1,0 км/час, начиная с марта дорогой при серьезном росте объема перевозок, в условиях максимальной нагрузки по количеству пропускаемых поездов в период летней путевой компании было обеспечена устойчивая динамика на сокращение потерь и по итогам работы за 8 месяцев дорога вошла в план [2].

Последние два месяца (сентябрь и октябрь) привели к снижению скорости продвижения поездопотока. Необходимо отметить, что по состоянию на 20 сентября текущего года дорога выполняла плановое задание по участковой скорости на 100,4% (при плане 45,4 км/час, факт – 45,6 км/час, +0,2 км/час), а отставание по производительности локомотива составляло 24 тыс. ткм брутто (план – 2359 тыс. ткм брутто, факт – 2335 тыс. ткм брутто).

Серьезные проблемы, объективно повлиявшие на продвижение поездопотока и выполнение показателей, начались в сентябре текущего года в период проведения длительных закрытий на перегонах Забитуй – Черемхово и Танхой – Переемная, а также при ликвидации последствий сходов подвижного состава на перегонах Слюдянка-2 – Ангасолка Восточно-Сибирской железной дороги и Кузнга – Приисковая Забайкальской железной дороги.

В результате было замедлено продвижение поездопотока, особенно на участке Черемхово – Иркутск, что стало причиной существенного снижения пропускной и перерабатывающей способности станции Иркутск-Сортировочный и, как следствие, накопления на участке более 30 разборочных поездов и роста наличия транзитного поездопотока на всех диспетчерских участках дороги. На 30 сентября общее наличие на ВСЖД – 73438 вагонов, в том числе транзитный парк – 26091 вагон при плане 19150 ваг (+6941 вагон). На 6 октября на дороге наличие вагонного парка – более 74,5 тыс. вагонов, что выше уровня прошлого года более чем на 6670 вагонов, из них транзитная часть – 25 тысяч вагонов, выше плана и уровня прошлого года более чем на 6 тысяч вагонов.

Кроме того, необеспечение передачи поездов по внешним стыкам дороги привело к завышению парка вагонов (особенно транзитных), массовым сменам локомотивных бригад на линии и соответствующему дефициту локомотивных бригад на узловых станциях.

С 2010 г. ОАО «РЖД» осуществляет политику, которая направлена на увеличения массы поезда и использование тяжеловес-

ных поездов при осуществлении грузовых перевозок. В 2015 г. компания представила программу по развитию тяжеловесного движения поездов до 2020 г. В ней ставится целью наращивание количества тяжеловесных поездов на линии и внедрение на различные направления поездов, имеющих массу 9 тыс. т.

С 2011 г. прирост средней массы грузового вагона составил около 4%, а количество тяжеловесных поездов было увеличено на различных магистралях. Например, на Южно-Уральской железной дороге, за 6 месяцев в 2018 г. было пропущено 49 тыс. поездов, что на 20% больше результатов в 2017 г. При серьезном росте объемов поездопотока, в условиях критического наличия вагонного парка на дороге, дополнительно показателям в октябре 2018 г. нанесен урон издержками в пропуске поездов ввиду действия предупреждений по ограничению скоростей движения при допущенных отказах технических средств.

В октябре текущего года по дороге выдано 3573 ограничения скорости протяженностью 1587,5 км, что ниже уровня прошлого года на 459 штук и по протяженности на 1180,4 км (2017 г. – 4032 шт. на 2767,9 км). При всем вышесказанном дорога ни одни сутки не отработала без отказов в работе технических средств. Время задержек поездов составило более 10 ч, причем это без учета издержек в пропуске поездов ввиду последствий отказов и задержек поездов по удалению на прилегающих участках.

Всего за 10 месяцев 2018 г. по дороге выдано 37024 предупреждения по ограничению скорости грузовых поездов на 29620,7 км, что выше аналогичного периода 2017 г. на 3168 ограничений и 5805,6 км.

Невыполнение участковой и технической скоростей в конце сентября и в октябре текущего года, увеличение времени простоя локомотивов на промежуточных станциях (в среднем в сутки на 94 ч к уровню прошлого года) и завышение времени по прибытию и отправлению с основных технологических станций дороги, превышение среднесуточного нормативного времени нахождения поезда на перегоне (+123 ч) и простоя локомотивов у запрещающих сигналов (+183 ч), привело к невыполнению среднесуточного пробега локомотива.

Таким образом, при расчете показателей в конструктивных единицах локомотивы, работающие по СМЕ, учитываются раздельно как самостоятельные локомотивы на общих основаниях, снижая производительность локомотива [3].

Если объективно говорить про железнодорожную отрасль, то надо признать, что на

сегодняшний день возможности увеличения транзитности вагонопотоков исчерпаны и необходимы новые, организационные мероприятия, подкрепленные информационной составляющей. Целью исследования является разработка методов корректировки графиков движения при оперативном (сменном-суточном планировании) одновременно на всех диспетчерских участках сети дорог на основе имитационного моделирования межвидового взаимодействия. Как один из вариантов – переход на организацию движения грузовых поездов по расписанию. При организации движения грузовых поездов по расписанию основными формами могут стать участково-групповые поезда (включая три-четыре подобранные группы) и регулярные технические маршруты.

Для возможности реализации в масштабах полигонов группового движения грузовых поездов необходимо предварительное плановое накопление подобранных групп вагонов на тех станциях, где планируется их формирование.

При этом хотелось бы отметить, что реализация движения грузовых поездов по расписанию, применяемая в масштабах полигонов, даст возможность повышения среднего веса поезда на участке порядка 5–10% при проведении ряда мер:

- обязательной организации движения поездов с повышенной нормой веса по специально выделенным «ниткам» графика;

- реализацией окончания формирования и дальнейшей обработки на коротких путях;
- перехода от одnogруппного формирования к групповому;

- организации развоза местного груза с возможностью прицепки вагонов к транзитным поездам при условии сохранения всех технологических времен на обработку и норм веса и длины на участке;

- проведение автоматического расчета процесса формирования поездов с использованием системы резервирования вагономест в составах поездов с оперативным наложением незаполненных «ниток».

При этом имеющиеся автоматизированные средства должны обеспечить разработку эффективного и надежного графика движения поездов, при котором осуществляется автоматизированный расчет показателей надежности системы движения грузовых поездов по расписанию [4]. Использование технологии работы по организации движения грузовых поездов по расписанию приводит к тому, что необходимо рассматривать взаимодействие многих транспортных процессов, как единый механизм, не допускающий отклонений каких-либо составляющих подпроцессов, а имен-

но, разработку графика движения грузовых поездов совместно с увязкой вагонопотоков и учетом логистических схем продвижения грузовых потоков при эффективных сочетаниях нормативных и технологических решений. На железнодорожном транспорте также имеются типовые модели управления, которые позволяют оптимизировать перевозочный процесс в части, касающейся эксплуатационной работы.

### Материалы и методы исследования

Вопросы организации вагонопотоков в поездах могут быть рассмотрены и реализованы различными методами, но наиболее широкое распространение получили два:

- методом моделирования последовательности интервалов между моментами окончания накопления составов на путях парка станции с использованием функции распределения;

- методом моделирования разложения расформировываемых составов, поступающих на станцию в переработку.

В первом методе процесс образования поездов как таковой отсутствует, поэтому в рассматриваемой модели реализован второй способ. Как известно из практики, большинство процессов, происходящих на железнодорожном транспорте, носят случайный характер. Поэтому сформированная модель должна отражать характер взаимодействия всех элементов с учетом случайных факторов. При этом текущее значение величин отдельных групп вагонов, согласно [5], определяется по формуле

$$m'_{гр} = m_{cpi} \left[ \ln F(m'_{гр}) \right], \quad (1)$$

$$F(m'_{гр}) = Z_i, \quad (2)$$

где  $Z_i$  – случайное распределенное число из совокупности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале от 0 до +1;

$m_{cpi}$  – средняя величина группы вагонов  $i$  назначения, равная [4]:

$$m_{cp} = Ni/n_{np} = (19 - 0,1k_{наз}) \sqrt{N_i/0,4n_{пер}}, \quad (3)$$

где  $Ni$  – рассматриваемый вагонопоток  $i$  назначения;  $k_{наз}$  – общее количество назначений согласно плану формирования поездов;

$n$  – общее число поездов, прибывающих в расформирование в расчетный период.

Все посуточные колебания поездопотоков, а также внутрисуточная неравномерность, как показал ряд исследований [5, 6], описываются нормальным законом распределения. В процессе моделирования расформирования поездов новые расчетные параметры имитируются на очередные сутки. При этом текущее значение получается с применением случайного числа  $Z_i$ , а также интегральной функции распределения

$$N = N_{cp} + kvN_{cp}(\sum Z_i - 3), \quad (4)$$

$N_{cp}$  – среднесуточное число поездов, которые расформировываются на станции;

$kv$  – текущий коэффициент вариации.

По итогам процесса моделирования был составлен алгоритм формирования различных категорий групповых поездов. В процессе накопления вагонов

и по итогам его завершения подсчитываются следующие величины для каждого назначения плана формирования:

- общий параметр накопления составов –  $c$ ;
- количество накопившихся составов  $\Sigma N_{\text{нак}}$ ;
- время накопления составов  $\Sigma T_{\text{нак}}$ ;
- вагоно-часы накопления  $\Sigma B_{\text{нак}}$ .

**Результаты исследования и их обсуждение**

По итогам ряда экспериментов были получены уравнения регрессии для кодированных значений отдельных факторов. Полученная адекватная линейная модель имеет вид полинома первой степени. По установленным коэффициентам взаимодействия  $b_{ij}$  была определена степень влияния каждого фактора на параметр оптимизации:

$$c(x_1, x_2, x_3) = 13,973 - 0,36x_1 - 0,3925x_2 + 0,9075x_3 - 0,1475x_1x_2 - 0,5075x_1x_3 + 0,32x_2x_3 - 1,005x_1x_2x_3 - \text{ для групповых поездов с нефиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию};$$

$$c(x_1, x_2, x_3) = 17,356 + 0,0238x_1 + 0,836x_2 - 0,2862x_3 + 1,538x_1x_2 - 0,624x_1x_3 + 1,084x_2x_3 - 0,2887x_1x_2x_3 - \text{ для групповых поездов с фиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию}.$$

с фиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию.

где  $x_1$  – фактор, характеризующий изменение доли поездов, в составе которых есть данное назначение;

$x_2$  – фактор, характеризующий изменение величины группы;

$x_3$  – фактор, характеризующий интервал прибытия поездов.

Помимо уравнений регрессии для кодированных значений факторов были также получены уравнения регрессии для натуральных значений. При переходе к натуральным значениям переменных коэффициенты регрессии изменяются, и уравнения примут вид

$$c(s, g, I) = 12,344 - 1,3113s - 0,548g + 0,0751I + 1,39625sg - 0,004sI + 0,0177gI - 0,049sgI - \text{ для групповых поездов с нефиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию};$$

$$c(s, g, I) = 18,377 + 3,322s - 0,593g - 0,0108I + 1,194sg + 0,2350sI + 0,01486gI - 0,0145sgI - \text{ для групповых поездов с фиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию}.$$

Расчетные уточненные формулы для определения суточной затраты вагоно-часов при групповом формировании

Станция	Операции	Групповые поезда		
		$N_c = N_d$	$N_c > N_d$	
Головная формирования А	Накопление (свободное расписание)	$c(s, g)m$	$c(s, g)m$	
	Накопление (фиксированное расписание)	$c(s, g)m \left( 2 - \frac{1}{\alpha_{\text{воз}} \beta n_{\text{гр}}} \right)$	$c(s, g)m \left[ 2 + \frac{(1 + \gamma)(1 - \alpha_{\text{воз}})\beta}{\gamma \alpha_{\text{воз}}} \right]$	
	Дополнительные маневры по соединению групп	$n_{\text{гр}} m \Delta T_{\text{ф}}$	$n_{\text{гр}} m \Delta T_{\text{ф}}$	
Обмена групп Б	Накопление и ожидание расписания	$1,1c(s, g)m\beta$	$c(s, g)m \left[ 1 + \frac{\beta(1 + \gamma - \alpha_{\text{воз}})}{\gamma \alpha_{\text{воз}}} \right]$	
	Расформирование и формирование	Станции с последовательным расположением парков	$\frac{n_{\text{гр}} \beta m}{60} (13,44 + 0,48\beta m)$	$[(13,44 + 0,48\beta m) + (\alpha_{\text{воз}} - 1)(9,72 + 0,031m)] \frac{n_{\text{гр}} \beta m}{60}$
		Станции с параллельным расположением парков	$\frac{n_{\text{гр}} \beta m}{60} (13,56 + 0,6\beta m)$	$[(13,56 + 0,6\beta m) + (\alpha_{\text{воз}} - 1)(9,78 + 0,09m)] \frac{n_{\text{гр}} \beta m}{60}$
		Переработка	–	–
		Дополнительная стоянка транзитных поездов	$N_{\text{гр}} \Delta T_{\text{гр}}$	$N_{\text{гр}} \Delta T_{\text{гр}}$

По результатам проведенных экспериментов получены зависимости параметров накопления  $c(\gamma, g, l)$  и ожидания  $c1(l, g, M)$ .

Здесь  $s$  – доля поездов, в составе которых есть данное назначение;

$g$  – величина группы;

$l$  – интервал поступления вагонов на пути сортировочного парка.

По итогам проводимого эксперимента был установлен ряд зависимостей, позволивший определить поправочные коэффициенты, которые могут быть применены при расчете затрат вагоно-часов и локомотиво-часов при групповом формировании (таблица), с помощью которых можно проводить оперативную корректировку плана формирования поездов.

Применение данных коэффициентов и формул позволит оперативно корректировать план формирования поездов. Необходимо отметить, что на сегодняшний день особо актуально поставлены вопросы о разработке пошаговой инструкции по принятию решений по оперативной корректировке плана формирования диспетчерским аппаратом станций и региональных дирекций с перечнем порядка действий по выработке предложений и их согласованию, периодичность и пр. Также необходимо сказать о важности соблюдения баланса в загрузке всей инфраструктуры в целом, а не отдельных полигонов [7].

### Выводы

На сегодняшний день остро стоит задача эффективного управления парками вагонов на полигонах. Исходя из всего вышеперечисленного, хотелось бы отметить, что в новых сложившихся условиях работы необходимо провести анализ и выявить перечень показателей, значение которых может корректироваться в зависимости от поездной обстановки на рассматриваемый период, для каждой из дорог и полигонов [8]. С учетом работы полигонов необходимо рассмотреть перечень следующих основных показателей:

- нормы выполнения графика движения поездов;

- пробег локомотива;

- степень отказов технических средств;

- общий вагонный парк.

Также принять ряд мер:

- организовать работу по перераспределению локомотивных бригад между структурными подразделениями;

- установить задание и обеспечить контроль за следованием локомотивных бригад на удлиненных плечах обслуживания;

- организовать пополнение поездов на участковых станциях для повышения со-

ставности поездов, в том числе передаваемых по стыкам дорог;

- обеспечить мониторинг простоя локомотивов с простоем более 30 минут от прибытия до сдачи локомотивной бригады по трем часовым периодам работниками сменного аппарата ДЦУП с принятием оперативных мер по исключению простоя;

- установить контроль за простоем поездов на промежуточных станциях более 20 мин. Для исключения задержек поездов на поездо-участках под пропуск пассажирских пригородных поездов и т.д., обеспечить наличие поездов на участках по 3-часовым периодам согласно нормативному графику;

- обеспечить выполнение норм времени по прицепке/отцепке локомотивов-толкачей на горно-перевальном участке.

Дополнительно для обеспечения установленных параметров необходимо:

- дирекциям тяги обеспечить потребную заставку локомотивных бригад в грузовом движении, для Восточного полигона;

- обеспечить содержание эксплуатируемого парка локомотивов;

- организовать выполнение оборота локомотива на станциях не более 5 ч;

- обеспечить развоз местного груза в первую половину суток не менее 60 %;

- обеспечить снижение количества отказов технических средств. Выработать мероприятия, обеспечивающие безаварийную работу технических средств и стабилизацию эксплуатационной работы дороги. Комплекс перечисленных показателей достаточно емко характеризует перевозочный процесс, организованный в новых условиях работы на полигонах, и отражает рыночные требования в работе основного перевозчика ОАО «РЖД», однако их применение требует дальнейших исследований, обоснований и дополнений.

Полный комплекс мероприятий, направленный на улучшение качества работы полигонов, должен включать пересмотр показателей эксплуатационной работы, выявление как актуальных, так и утративших актуальность с последующей разработкой системы нормирования показателей эксплуатационной работы с переходом на экстерриториальные полигонные принципы (взамен территориальных в границах железных дорог), с учетом динамических транспортных схем обращения вагонов компаний-операторов, логистики грузоотправителей, равномерного размещения парков на сети дорог.

### Список литературы

1. Шенфельд К.П. Развитие системы качественных показателей перевозочного процесса в условиях структурной

реформы железнодорожного транспорта // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе: сборник материалов. Часть 2. Новосибирск: СГУПС, 2013. С. 151–153.

2. Белозеров О.В. Доклад генерального директора председателя правления открытого акционерного общества «Российские железные дороги» О.В. Белозерова на расширенном итоговом заседании правления ОАО РЖД // Железнодорожный транспорт. 2018. № 1. С. 4–10.

3. Шенфельд К.П. Скорость на рейсе вагона – комплексный показатель качества перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. 2012. № 28. С. 20–23.

4. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД»: [инстр.: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 27 дек. 2006 г.: по состоянию на 27 дек. 2006 г.]. М.: ОАО «РЖД», 2006. 62 с.

5. Сотников, Е.А., Шенфельд, К.П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 5. С. 3–9.

6. Кобзев С.А., Шаров В.А. О резервах производственных мощностей в условиях множественности операторов подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2013. № 8. С. 16–22.

7. Абуладзе Л.В., Биченов А.Г., Телия Г.Ш., Месхидзе З.Д. Интенсификация переработки групповых вагонопотоков // Железнодорожный транспорт. 1990. № 7. С. 13–16.

8. Шаров В.А. Новые риски при реализации единого интегрированного планирования на железнодорожном транспорте общего пользования // Наука и техника транспорта. 2016. № 2. С. 87–93.9.

УДК 65.011.5

## БИЗНЕС-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ

Махмутова М.В., Белоусова И.Д., Москвина Е.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
Магнитогорск, e-mail: bid711@mail.ru

Предметом исследования, некоторые результаты которого представлены в статье, является эффективность управления ИТ-услугами российской производственно-инжиниринговой компании. Объектом исследования является процесс управления информационными технологиями в компании. В результате проведенного анализа проблем в решении задач бизнеса определен наиболее критичный процесс управления уровнем услуг. Предлагается к рассмотрению бизнес-ориентированная модель управления ИТ-услугами для производственной компании. Модель создана в соответствии с концепцией бизнес-ориентированного управления BSM, разработанной компанией BMC Software. Представлены основные положения концепции внедрения процесса управления уровнем услуг в производственной компании с использованием методики поэтапного контролируемого внедрения бизнес-ориентированного управления ИТ BSM Routes To Value. Показана важная роль процесса управления ИТ-услугами для достижения бизнес-целей компании. Выявлены специфические особенности управления ИТ-услугами, систематизированы факторы, которые оказывают влияние на эффективность деятельности производственной компании с точки зрения поддержки ИТ ее бизнес-процессов. В целях контроля достижения уровня обслуживания, зафиксированного в соответствующем соглашении между ИТ и бизнесом, а также проведения анализа причин инцидентов, событий или изменений, повлекших за собой простои в оказании ИТ-услуг, разрабатывается план тестирования, учета и анализа метрик. Результаты исследования могут быть использованы для выработки рекомендаций по совершенствованию деятельности ИТ-подразделения производственной компании.

**Ключевые слова:** информационно-коммуникационные технологии, управление ИТ-услугой, бизнес-ориентированная модель, методика, производственная компания

## BUSINESS-ORIENTED MODEL OF MANAGEMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY IN A MANUFACTURING COMPANY

Makmutova M.V., Belousova I.D., Moskvina E.A.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: bid711@mail.ru

The subject of the study, some of the results of which are presented in the article, is the efficiency of managing IT services of a Russian production and engineering company. The object of the study is the process of managing information technology in the company. As a result of the analysis of problems in solving business problems, the most critical process of managing the level of services has been identified. It is proposed to consider a business-oriented model of IT service management for a manufacturing company. The model was created in accordance with the concept of business-oriented management of BSM, developed by Naval Enterprise Soundware. Presents the main provisions of the concept of implementing the process of managing the level of services in a manufacturing company using the method of phased controlled implementation of business-oriented management of IT BSM Routes To Value. Shown is the important role of the IT service management process in achieving the company's business goals. Identified specific features of IT service management, systematized factors that influence the performance of a manufacturing company in terms of supporting IT of its business processes. In order to control the achievement of the level of service recorded in the relevant agreement between IT and the business, as well as analyzing the causes of incidents, events or changes that caused downtime in the provision of IT services, a plan is developed for testing, accounting and analyzing metrics. The results of the study can be used to develop recommendations for improving the activities of the IT department of a manufacturing company.

**Keywords:** information and communication technologies, IT service management, business-oriented model, methodology, a manufacturing company

Современный этап развития бизнеса в России и особенно бизнеса, связанного с промышленным производством, предполагает и нуждается в изменении подхода к информационно-коммуникационным технологиям (далее ИТ) и управлению ИТ-подразделением предприятия. Предоставление ИТ-услуг перестает быть вспомогательным процессом на остаточных ресурсах, становится полноценным участником бизнес-модели предприятия и развития бизнеса. ИТ приобретают новую роль

непосредственного влияния на эффективность и конкурентоспособность промышленного предприятия [1].

Сегодня все более остро встает проблема нахождения алгоритма взаимодействия бизнеса и ИТ. Но задачи и цели бизнеса являются приоритетными для компании, а ИТ все больше зависят от бизнеса, как минимум в части финансирования. Требуется максимум усилий для реализации потенциальных выгод от информационных технологий различного масштаба. Задачей

управления компании становится решение вопроса о том, каким образом получить выгоду от автоматизации конкретного бизнес-процесса и до создания новых направлений бизнеса. Можно предположить, что реализация управления предоставлением ИТ-услуг с ориентацией на цели и задачи бизнеса в производственной компании создаст возможности для развития обеих сторон, их движения в одном направлении [2, 3].

Сегодня, по данным рейтинговых агентств, предприятия сферы промышленности очень заинтересованы в комплексных ИТ-проектах. Для достижения бизнес-целей им требуется не просто автоматизация решения конкретной задачи или даже комплексное введение в управление компанией автоматизированной системы, а полная модернизация ИТ-инфраструктуры предприятия с ориентацией на бизнес. Подобный подход дает реальные дивиденды для управления компании на основе оптимизации и корреляции производства и ИТ-услуг.

Для компании, бизнес которой ориентирован на производство, связанное со сложными конструкторскими и технологическими процессами, сегодня востребованы ИТ-услуги, как составляющие в достижении бизнес-целей. Их применение позволяет мониторить состояние ИТ-инфраструктуры производственной компании, своевременно определять различные возникающие инциденты и анализировать возможные риски, оказывать техническую, консультационную поддержку подразделениям компании, обеспечивая гибкое реагирование на изменения задач бизнеса с оптимальным качеством предоставления ИТ-услуг для бизнес-пользователей.

В рамках обоснования степени разработанности научной проблемы можно отметить следующие положения. Изучению проблемы услуг в сфере информационных технологий уделено внимание в работах многих известных авторов (А.П. Горн, Т.И. Корягина, В.М. Рутгайзер и др.). Исследования, учитывающие особенности планирования, моделирования, реализации, управления ИТ-услугами, представлены в работах Д.В. Богданова, Е.В. Колтуновой, Т. Клоппенборга, Э. Купера, Д. Соммервилля, Р. Тириани, Т. Роджерса, Р. Фридмана и др.

Теоретическое изучение и анализ рассматриваемой проблемы позволило определить, что вопросы эффективности управления ИТ-услугами в интересах бизнеса на сегодняшний момент представляют важную и актуальную проблему. Изучение возможностей развития и совершенствования процесса управления ИТ-услугами в рос-

сийской компании, бизнес которой ориентирован на промышленное производство, ориентация на требования мировых стандартов в этой сфере определяет актуальность исследования и, соответственно, его цели и задачи.

Таким образом, все вышесказанное поясняет актуальность выбранной темы исследования о применении бизнес-ориентированной модели управления информационными технологиями в производственной компании. В качестве объекта исследования определен процесс управления информационными технологиями в компании, бизнес которой связан с производством. Предмет исследования – эффективность управления ИТ-услугами российской производственно-инжиниринговой компании.

Цель исследования: повышение эффективности управления ИТ-услугами российской производственно-инжиниринговой компании посредством разработки и внедрения бизнес-ориентированной модели управления ИТ-услугами. В рамках представленной цели возникает необходимость рассмотрения следующих задач: определить подходы к процессу управления информационными технологиями для производственной компании; выполнить анализ состояния проблемы оптимизации управления предоставлением ИТ-услуг в соответствии с целями и задачами бизнес-деятельности компании; рассмотреть методы компании BMC Software, предлагаемые для решению рассматриваемой проблемы с позиции приоритета задач бизнеса; выполнить реинжиниринг бизнес-процессов службы поддержки пользователей производственной компании, по результатам разработать бизнес-ориентированную модель управления ИТ-услугами; рассмотреть возможности методики внедрения бизнес-ориентированной модели управления ИТ-услугами.

Основной исследования с точки зрения науки послужили труды отечественных и зарубежных ученых в сфере управления ИТ, различных подходов и соответствующих методик реализации процесса управления информационными технологиями в производственной компании. Исследование выполнено с использованием общенаучного системного подхода, методов сравнительного анализа, моделирования, оценки результатов [4, 5].

В качестве производственной компании, где были реализованы теоретические и практические результаты исследования, представлена российская производственно-инжиниринговая компания. Основными направлениями деятельности компании являются: разработка конструкторской до-

кументации, изготовление, поставка и монтаж обжигового, сушильного, размольного и приводного оборудования [6].

### Материалы и методы исследования

Способы и методы исследования взаимоотношения ИТ и бизнеса рассматриваются в рамках оптимизации процесса управления ИТ-подразделениями с точки зрения отношений поставщиков услуг для целей бизнеса и клиентами. Описания оптимизации такого взаимодействия представлены в библиотеке лучшего опыта ITIL [7]. Основным является процесс управления уровнем услуг, который ИТ-подразделение предоставляет бизнесу производственной компании. Но для достижения главной цели ИТ – стать реальным партнером и технологией, приносящей прибыль, такого подхода уже маловато. Сегодня в области управления ИТ активно обсуждается более современный подход – управление бизнес-сервисами (business service management, BSM), т.е. ИТ-услуга рассматривается как бизнес-сервис.

Для реализации задач исследования определена стратегия компании BMC Software в отношении бизнес-ориентированного управления ИТ-услугами. За основу взята концепция BSM, которая представляет стратегию, ориентированную на бизнес-процессы, и методика «поэтапного контролируемого внедрения BSM Routes To Value» [8]. Концепция подхода BSM состоит в том, чтобы установить более тесную связь между бизнес-процессами и компонентами ИТ-инфраструктуры, участвующими в их реализации. Информационный сервис, именно с этой точки зрения, рассматривается как услуга ИТ-подразделения, которая обеспечивает эффективность определенного бизнес-процесса компании. Параметры качества такого бизнес-сервиса и результаты их измерения формулируются в терминах бизнеса, а не на

языке ИТ [9]. Основные положения бизнес-ориентированного подхода к управлению ИТ в производственной компании представлены на рис. 1.

Очевидно, что в концепции BSM рассматривается управление качеством предоставляемых ИТ-услуг для бизнеса с точки зрения их участия в реализации бизнес-процессов [7]. Следовательно, за основу для реализации подхода BSM предполагается взять решение задач по приведению в соответствие средств ИТ-инфраструктуры и бизнес-процессов производственной компании, а также разработку метрик для оценки качества этого соответствия с точки зрения бизнес-пользователей.

Концепция внедрения процесса управления уровнем услуг в производственной компании с использованием методики «поэтапного контролируемого внедрения бизнес-ориентированного управления ИТ BSM Routes To Value» [9] представлена следующими положениями: определение потребностей бизнес-подразделений и бизнес-пользователей на регулярной, заранее спланированной периодической основе; определение взаимоотношений между бизнес-пользователями и ИТ-услугами, которые обеспечивают их работу; оптимизация производительности бизнес-подразделений за счет прозрачности взаимоотношений между ИТ и бизнес-пользователями; автоматизация функций предоставления услуг средствами систем ServiceDesk (на примере системы TrackStudio Enterprise), централизованного интегрированного мониторинга и систем отчетности [10].

В соответствии с этапами концепции BSM и методикой «поэтапного контролируемого внедрения» [9] Routes To Value для процесса управления уровнем услуг были определены метрики для измерения соответствия оказания ИТ-услуг требованиям бизнес-процессов: время отклика на инцидент, готовность ИТ-услуги, доступность ИТ-услуги, время реакции на проблему, время разрешения проблемы [12].

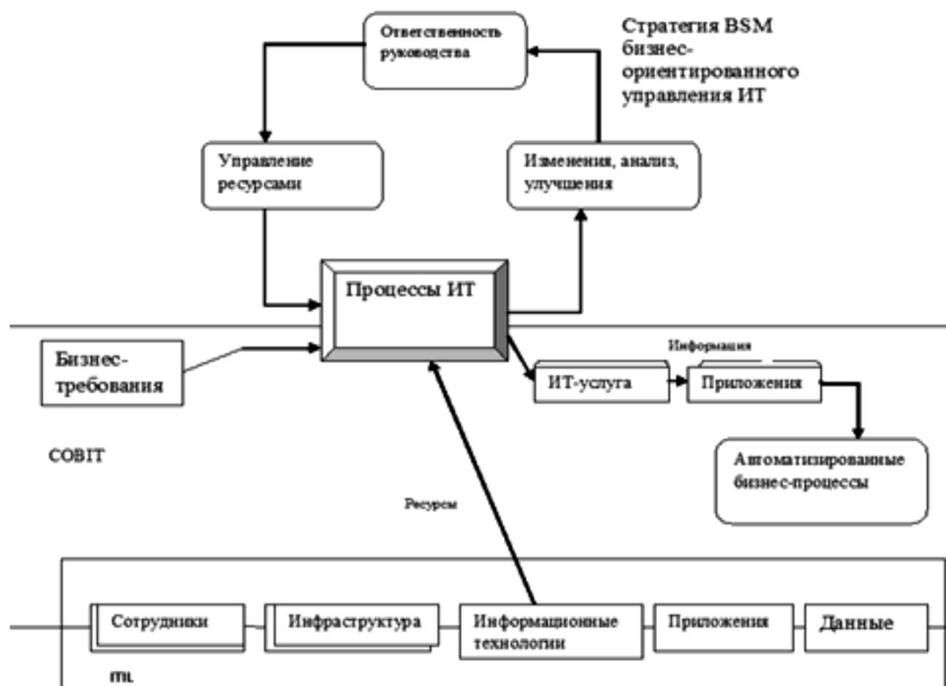


Рис. 1. Основные положения стратегии BSM

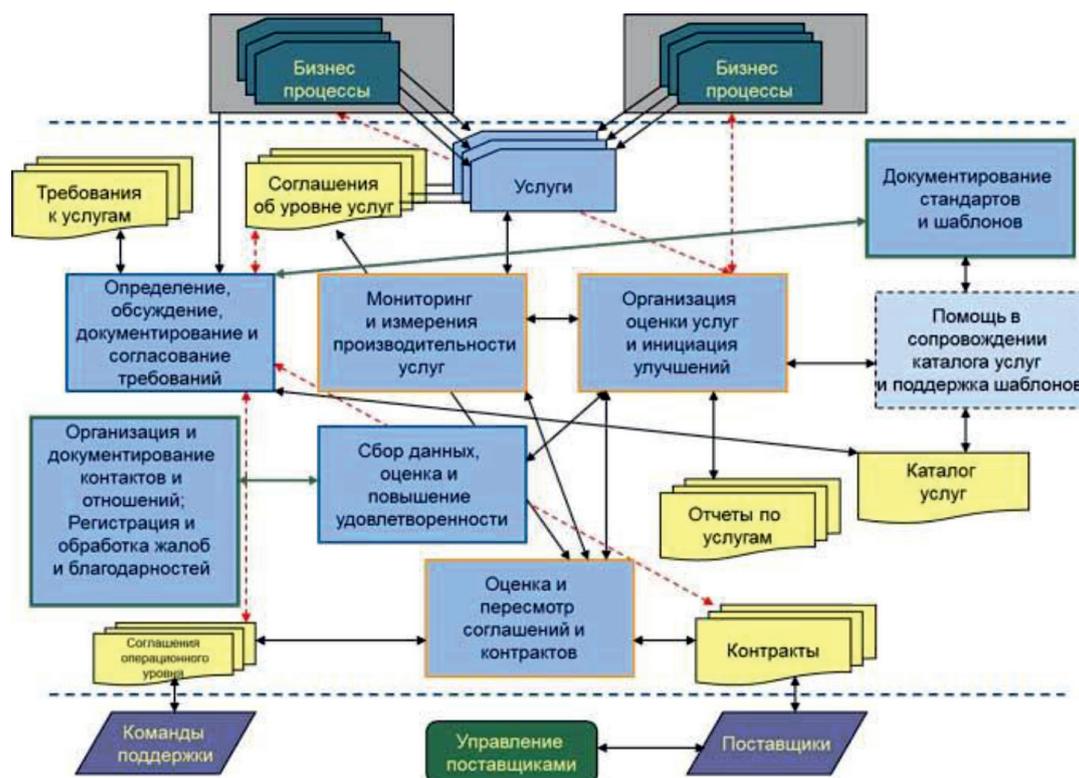


Рис. 2. Бизнес-ориентированная модель управления ИТ-услугами BSM Routes To Value для процесса управления уровнем услуг

Ранее было определено, что цели и задачи бизнес-пользователей являются приоритетными в управлении ИТ-услугами. Качество оказания ИТ-услуги определяется именно бизнесом, его ожиданиями, а также показателями стабильности в оказании информационно-коммуникационных услуг и приемлемыми расходами. Требования бизнес-пользователей должны быть определены измеряемыми значениями, чтобы их можно было использовать при мониторинге уровня предоставления как имеющихся, так и разрабатываемых, ИТ-услуг. Таким образом, все характеристики, параметры и их значения должны быть согласованы ИТ-подразделением с бизнес-пользователями. Первичное определение требований к уровню услуги является довольно непростой задачей.

Существует несколько структур согласования управления уровнем услуги, например: соглашения об уровне услуги, основанные на одной услуге; соглашения об уровне услуги, базирующиеся на заказчиках; многоуровневые соглашения об уровне услуг [13].

Для производственной компании предлагается использование многоуровневой структуры соглашений об уровне услуг: на корпоративном уровне решаются общие задачи для всех бизнес-пользователей, они не требуют частых изменений; на уровне пользователей решаются задачи, характерные для всех услуг конкретного бизнес-подразделения компании; на уровне услуг решаются задачи, специфические по отдельным услугам для определенного бизнес-пользователя. Такая многоуровневая структура повышает управляемость и минимизирует избыточность

документации в компании. Это позволяет проводить обновления только когда требуется, учитывать и контролировать их, так как любое изменение будет влиять на другие уровни. Управлять такой многоуровневой структурой сложно, но проще, чем большим количеством отдельных соглашений об уровне услуг.

Бизнес-ориентированная модель управления ИТ-услугами в производственной компании (для ИТ-подразделения производственно-инжиниринговой компании) BSM Routes To Value для процесса управления уровнем услуг представлена на рис. 2.

В рамках предлагаемой модели отношений «поставщик ИТ-услуги – потребитель ИТ-услуги» достижение успеха находится в существенной зависимости от действий обеих сторон. Это обуславливается высокой сложностью современных ИС, в том числе клиентского оборудования и программного обеспечения, т.е. части сервиса ИТ, которая размещена непосредственно у бизнес-пользователя [13, 14].

### Результаты исследования и их обсуждение

Научная новизна исследования определяется в следующих положениях: доказано усиление роли управления ИТ для достижения бизнес-целей компании в современных условиях; выявлены специфические особенности управления информационными технологиями подразделений производственной компании, определены

и проанализированы факторы, которые оказывают непосредственное влияние на эффективность производственной деятельности компании в современных условиях, что позволило обосновать авторское понимание бизнес-ориентированной модели управления ИТ, основанного на непрерывном взаимодействии с бизнес-клиентом и удовлетворения его требований с точки зрения полезности для бизнеса.

Теоретическая значимость исследования определяется, в рамках выполненного анализа, обоснованием роли процесса управления ИТ-услугами, которую он играет для достижения бизнес-целей компании. Выявлены специфические особенности управления ИТ-услугами, систематизированы факторы, которые оказывают влияние на эффективность деятельности производственной компании с точки зрения поддержки ИТ ее бизнес-процессов.

Практическая значимость исследования выражается тем, что предложенный подход и методика внедрения бизнес-ориентированной модели управления ИТ в производственной компании определяют технологию повышения эффективности в реализации бизнес-целей компании.

Результаты выполненного исследования могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательском, учебно-методическом процессе, для повышения квалификации персонала ИТ-подразделения в производственной компании.

Обеспечением достоверности результатов исследования являются общенаучный системный подход, соответствие цели и задач, методы системного анализа, моделирования и апробация полученных результатов.

### Заключение

Таким образом, предлагаемая бизнес-ориентированная модель управления ИТ-услугами является рабочим инструментом, который можно, при незначительной вариации, использовать в компании любой сферы промышленного производства.

Рекомендации исследования по повышению эффективности взаимодействия службы ИТ и бизнес-подразделений производственной компании на основе бизнес-ориентированной модели управления ИТ-услугами использованы при развитии ИТ-подразделения производственной компании.

Определяя перспективу исследования, следует отметить, что рассмотрены не все аспекты проблемы. Следующим этапом

предполагается определение метрик для измерения соответствия уровня оказания ИТ-услуг требованиям бизнес-процессов. Будет продолжено изучение возможности применения результатов мониторинга метрик для определения уровня предлагаемой ИТ-услуги, причин инцидентов и оценки возможных рисков в оказании ИТ-услуг.

### Список литературы

1. «Ай-Текко», ведущий Российский системный интегратор [Электронный ресурс]. URL: <https://www.i-teco.ru/> (дата обращения: 20.11.2018).
2. Давлеткиреева Л.З., Махмутов Р.Р. Управление ИТ-сервисами в производственно-инжиниринговой компании // Информационные технологии в прикладных исследованиях: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 31 октября 2017 г.). Екатеринбург: Издательство ООО «Информационно-образовательный центр Инфометод», 2017. С. 25–29.
3. Махмутов Р.Р., Белоусова И.Д. Стратегия повышения эффективности обеспечения ИТ-услуг российской производственно-инжиниринговой компании // Новые информационные технологии в образовании и науке: материалы X Международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 27 февраля – 03 марта 2017 г.). Екатеринбург: Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета, 2017. С. 512–516.
4. Kurvaeva L.V., Gavrilova I.V., Mahmutova M.V., Chichilanova S.A., Povituhin S.A. Development of knowledge base of intellectual system for support of formal and informal training of IT staff. Journal of Physics: Conference Series. 2018. vol. 1015. P. 042013.
5. Mahmutova M.V., Davletkireeva L.Z., Laktionova Yu.S., Belousova I.D., Savinova Yu.A., Samarokova I.V. Training of IT-specialists within the university information-educational environment. International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. vol. 8. no. 2. P. 753–761.
6. Махмутова М.В., Белоусова И.Д. Сервисный подход к управлению ИТ-услугами в производственной компании // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2018. Т. 9. № 1. С. 65–68.
7. ALP Group. ИТ-аутсорсинг [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alp.ru/itsm/outsourcing> (дата обращения: 10.11.2018).
8. Бон Ян Ван, Кеммерлинг Георгес, Пондман Дик. ИТ Сервис-менеджмент, введение. М.: IT Expert, 2003. 215 с.
9. Hounslow M. Understanding Business Service Management. [Электронный ресурс]. URL: <https://searchnetworking.techtarget.com/tip/Understanding-business-service-management> (дата обращения: 10.11.2018).
10. Тихонов Е.Н. Повышения эффективности ИТ-консалтинговой деятельности для промышленных предприятий: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2013. 139 с.
11. Функции ITSM [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itsmonline.ru/itsm/functions> (дата обращения: 20.11.2018).
12. Управление бизнес-услугами (BSM) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pronet.ua/rus/uslugi/content582/content618> (дата обращения: 20.11.2018).
13. Описание ключевых процессов управления ИТ-услугами [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itexpert.ru/rus/ITEMS/proces> (дата обращения: 20.11.2018).
14. Андерсен Бьрн Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования. М.: Стандарты и качество, 2013. 272 с.

УДК 004.021

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ХИМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ****Николюкин М.С.***ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,  
e-mail: ch1ppyone@mail.ru*

Подходы к автоматизации химического производства с каждым годом все больше набирают популярность. Появляются и активно развиваются различные сервисы и системы в сфере образования, которые помогают студентам и преподавателям учебных заведений лучше понять химические процессы. При проектировании собственных подобных систем важно разработать эффективный алгоритм решения определенной задачи, который был бы одновременно и быстрым и использовал минимум памяти. Такая проблема может возникнуть, например, при реализации модуля балансировки химического уравнения. Настоящая работа посвящена разработке алгоритма поиска стехиометрических коэффициентов химических уравнений. Проведен анализ математических методов поиска, предложенных другими учеными, а также выявлены их недостатки. Описан алгоритм, предложенный автором статьи, который основывается на представлении химического уравнения в виде системы линейных алгебраических уравнений и ее последующего решения методом Гаусса – Жордана. Алгоритм протестирован на мономолекулярных, бимолекулярных и тримолекулярных реакциях. Для представленной математической модели построена блок-схема алгоритма. Доказана эффективность использования алгоритма по сравнению с существующими разработками-аналогами, при проектировании сервисов и сложных систем для автоматизации химических задач в сфере образования или на производстве.

**Ключевые слова:** алгоритм, химическая реакция, система линейных уравнений, матрица, автоматизация**DEVELOPMENT OF STOICHIOMETRIC COEFFICIENTS SEARCH ALGORITHM  
FOR CHEMICAL REACTION EQUATIONS****Nikolyukin M.S.***Tambov State Technical University, Tambov, e-mail: ch1ppyone@mail.ru*

Approaches to the automation of chemical production are actively gaining popularity every year. Various services and systems in the field of education are emerging and actively developing, which help students and teachers of educational institutions to better understand chemical processes. When designing your own similar systems, it is important to develop an efficient algorithm for solving a specific problem that was both fast and used a minimum of memory. Such a problem may arise, for example, when implementing a chemical equation balancing module. This paper is devoted to the development of an algorithm for the search for stoichiometric coefficients of chemical equations. The analysis of mathematical search methods proposed by other scientists, and also revealed their shortcomings. The algorithm proposed by the author of the article is described, which is based on the representation of a chemical equation in the form of a system of linear algebraic equations and its subsequent solution by the Gauss-Jordan elimination method. The algorithm was tested on monomolecular, bimolecular and trimolecular reactions. The efficiency of using the algorithm has been proved in comparison with analogues when developing services and complex systems for automating chemical tasks.

**Keywords:** algorithm, chemical reaction, linear equation system, matrix, automation

В современных реалиях активно развиваются подходы к автоматизации химического производства. Сфера образования не стала исключением. За последние несколько лет было разработано и введено в эксплуатацию множество систем, автоматизирующих различные химические задачи: поиск результатов химических реакций, балансировка, расчет концентрации растворов и т.д. Большинство подобных сервисов и систем реализованы в виде *Web*-приложений и доступны повсеместно в сети Интернет.

При проектировании собственной системы очень важно разработать эффективный алгоритм решения определенной задачи, который был бы одновременно и быстрым и использовал минимум памяти.

Такая проблема может возникнуть, например при реализации модуля балансировки химического уравнения.

Химические уравнения играют особую роль как в теоретической, так и в промышленной химии. Каждое химическое уравнение описывает некоторую химическую реакцию. Вещества, первоначально участвующие в реакции, называются реагентами, а вновь образовавшиеся – продуктами.

Процесс балансировки химических уравнений, который заключается в поиске стехиометрических коэффициентов, является одним из важнейших в промышленной химии. Специалисты, занимающиеся балансировкой, в основном используют эвристический метод, который рационален лишь для простых химических реакций [1].

В экспертных системах или сервисах, которые направлены на автоматизацию решения различных химических задач, на смену эвристике приходят математические методы поиска стехиометрических коэффициентов.

Один из математических методов, описанный профессором Хирематом Сурешем из Индийского технологического института Брахмадевадра Мане, предполагает представление химического уравнения в виде системы линейных уравнений и последующего ее решения методом Гаусса [2]. Однако алгоритм, предложенный профессором, не является эффективным для решения задачи на компьютере, так как дальнейший вывод конечного результата усложняет алгоритм.

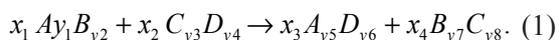
Метод, основанный на поиске ядра матрицы, который предложил Лоуренс Торн из Сандийских национальных лабораторий, не подходит для реализации на компьютере из-за его сложности [3].

Таким образом, появляется необходимость поиска более эффективного алгоритма для решения задачи. Использование метода Гаусса – Жордана в конечном счете может заменить большинство операций преобразований всего лишь нахождением наименьшего общего кратного знаменателей вектора решений системы.

Цель работы: разработка эффективно-го алгоритма поиска стехиометрических коэффициентов химического уравнения. Для несбалансированной химической реакции требуется найти стехиометрические коэффициенты, используя метод Гаусса – Жордана.

#### Алгоритм решения задачи

Пусть дана некоторая несбалансированная химическая реакция:



где  $x_1 - x_4$  – искомые стехиометрические коэффициенты;  $A, B, C$  – участвующие в реакции вещества;  $y_1 - y_8$  – количество атомов каждого вещества в молекулах, участвующих в реакции.

В соответствии с количеством участвующих элементов в реакции, составляются линейные уравнения

$$\begin{aligned} A &\Rightarrow y_1 x_1 = y_5 x_3, \\ B &\Rightarrow y_2 x_1 = y_7 x_4, \\ C &\Rightarrow y_3 x_2 = y_8 x_4, \\ D &\Rightarrow y_4 x_2 = y_6 x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

На основе составленных линейных уравнений формируется система

$$\begin{cases} y_1 x_1 - y_5 x_3 = 0, \\ y_2 x_1 - y_7 x_4 = 0, \\ y_3 x_2 - y_8 x_4 = 0, \\ y_4 x_2 - y_6 x_3 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Далее система записывается в виде матрицы и решается методом Гаусса – Жордана. Этот метод предназначен не только для решения систем линейных уравнений, но и для нахождения обратной матрицы [4]. Первый этап метода – прямой ход, он аналогичен методу Гаусса. Второй этап – обратный ход, он заключается в обнулении всех элементов матрицы коэффициентов системы линейных уравнений, выше ведущих элементов [5].

Решением системы будет являться вектор решений, где последний элемент – произвольное действительное число, которому присваивается единица. Каждый элемент вектора решений системы приводится к обыкновенным дробям. Для всех знаменателей дроби ищется наименьшее общее кратное, значение которого затем умножается на каждый элемент вектора. Таким образом полученные значения и будут являться искомыми стехиометрическими коэффициентами химического уравнения.

Предложенный алгоритм можно применить для всех простых химических реакций (мономолекулярные, бимолекулярные, тримолекулярные). Рассмотрим пример для несбалансированной мономолекулярной реакции:



Представим химическую реакцию в математической форме:



В соответствии с веществами, которые участвуют в реакции, составим два линейных уравнения:

$$\begin{aligned} N &\Rightarrow 2x_1 = x_2, \\ O &\Rightarrow 4x_1 = 2x_2. \end{aligned} \quad (6)$$

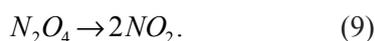
На их основе составим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 2x_1 - x_2 = 0, \\ 4x_1 - 2x_2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

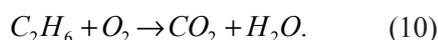
Запишем систему в виде матрицы и решим ее методом Гаусса – Жордана:

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 4 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

В данном случае будет всего два решения –  $x_1 = \frac{1}{2}$ ,  $x_2$  – произвольное действительное число, которому присваивается единица, а при переводе в обыкновенную дробь  $x_2 = \frac{2}{2}$ . Применяв алгоритм НОК для всех знаменателей, получим число, на которое умножим решения системы. В данном случае это число равно двойке.  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 2$ . Подставив полученные коэффициенты в уравнение, получим сбалансированную реакцию



Рассмотрим пример для несбалансированной бимолекулярной реакции



Представим химическую реакцию в математической форме:



В соответствии с веществами, которые участвуют в реакции, составим три линейных уравнения

$$\begin{aligned} C &\Rightarrow 2x_1 = x_3, \\ H &\Rightarrow 6x_1 = 2x_4, \end{aligned} \quad (12)$$

$$O \Rightarrow 2x_2 = 2x_3 + x_4.$$

На их основе составим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 2x_1 - x_3 = 0, \\ 6x_1 - 2x_4 = 0, \\ 2x_2 - 2x_3 - x_4 = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Запишем систему в виде матрицы и решим ее методом Гаусса – Жордана:

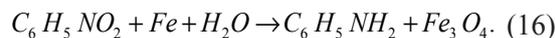
$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & -1 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 2 & -2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\frac{1}{3} \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{7}{6} \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{2}{3} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Данная система имеет четыре решения –  $x_1 = \frac{1}{3}$ ,  $x_2 = \frac{7}{6}$ ,  $x_3 = \frac{2}{3}$ ,  $x_4$  – произвольное действительное число, которому присваивается единица, а при переводе в обыкновенную дробь  $x_4 = \frac{6}{6}$ . Применяв алгоритм НОК для всех знаменателей по-

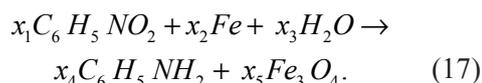
лучим число, на которое умножим решения системы. В данном случае это число равно шести.  $x_1 = 2$ ,  $x_2 = 7$ ,  $x_3 = 4$ ,  $x_4 = 6$ . Подставив полученные коэффициенты в уравнение, получим сбалансированную реакцию:



Рассмотрим пример для несбалансированной тримолекулярной реакции:



Представим химическую реакцию в математической форме:



В соответствии с веществами, которые участвуют в реакции, составим пять линейных уравнений:

$$\begin{aligned} C &\Rightarrow 6x_1 = 6x_4, \\ H &\Rightarrow 5x_1 + 2x_3 = 7x_4, \\ N &\Rightarrow x_1 = x_4, \\ O &\Rightarrow 2x_1 + x_3 = 4x_5, \\ Fe &\Rightarrow x_2 = 3x_5. \end{aligned} \quad (18)$$

На их основе составим систему линейных уравнений

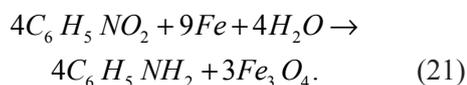
$$\begin{cases} 6x_1 - 6x_4 = 0, \\ 5x_1 + 2x_3 - 7x_4 = 0, \\ x_1 - x_4 = 0, \\ 2x_1 + x_3 - 4x_5 = 0, \\ x_2 - 3x_5 = 0. \end{cases} \quad (19)$$

Запишем систему в виде матрицы и решим ее методом Гаусса – Жордана:

$$\begin{bmatrix} 6 & 0 & 0 & -6 & 0 \\ 5 & 0 & 2 & -7 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & -4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -\frac{4}{3} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -\frac{4}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -\frac{4}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Данная система имеет пять решений –  $x_1, x_3, x_4 = \frac{4}{3}$ ,  $x_2 = 3$ ,  $x_5$  – произвольное действительное число, которому присваивается единица, а при переводе в обыкновенную

дробь  $x_5 = \frac{3}{3}$ . Применив алгоритм НОК для всех знаменателей, получим число, на которое умножим решения системы. В данном случае это число равно трем.  $x_1, x_3, x_4 = 4, x_2 = 9, x_5 = 3$ . Подставив полученные коэффициенты в уравнение, получим сбалансированную реакцию:



Алгоритм в общем виде, изображенный в виде блок-схемы, представлен на рис. 1.

#### Анализ результатов

Разработанный алгоритм поиска стехиометрических коэффициентов химического уравнения на основе метода Гаусса – Жордана улучшает метод, предложенный профессором Хирематом Сурешем, и применим для всех простых химических реакций. Реализация алгоритма на компьютере

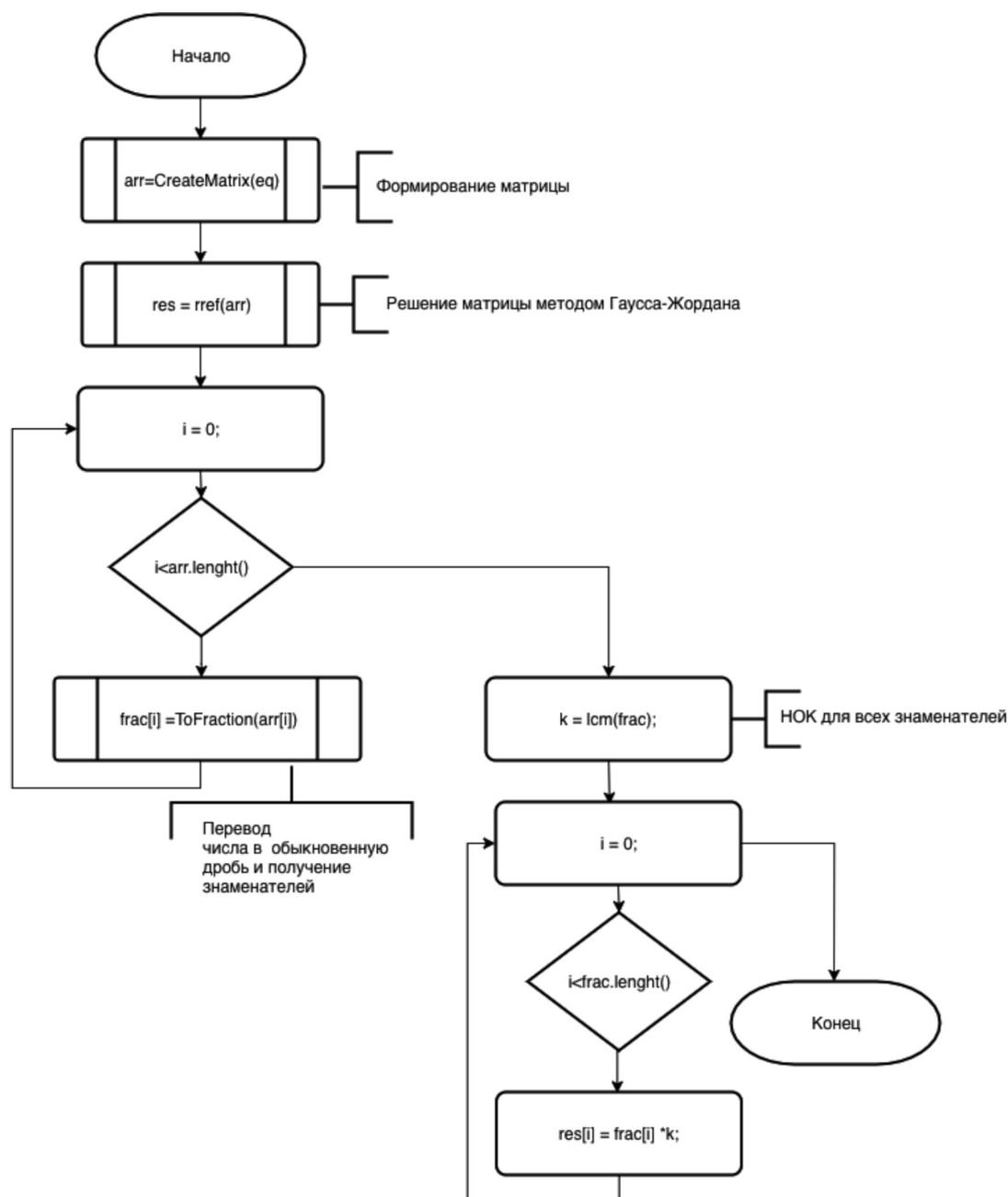
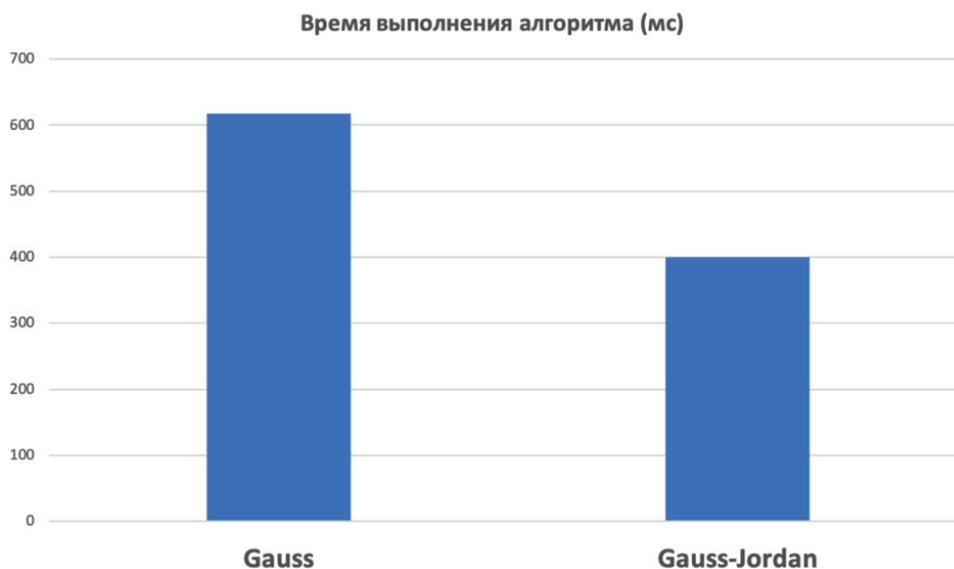


Рис. 1. Блок-схема алгоритма



*Рис. 2. Сравнение времени выполнения алгоритмов*

позволит достичь результатов за меньшее количество времени, чем при решении данной задачи методом Гаусса. Сравнение времени выполнения алгоритмов представлено на рис. 2.

Алгоритм протестирован на мономолекулярных, бимолекулярных и тримолекулярных реакциях и может быть использован при разработке сервисов и сложных систем для автоматизации химических задач в сфере образования или на производстве.

#### Список литературы

1. Егоров В.В. Общая химия. СПб.: Лань, 2018. 192 с.
2. Hiremath S.S. Balancing Chemical Equations by Using Mathematical Model. International Journal of Mathematical Research & Science. 2013. Vol. 11. no. 4. P. 129–132.
3. Lawrence R.T. An Innovative Approach to Balancing Chemical-Reaction Equations: A Simplified Matrix-Inversion Technique for Determining the Matrix Null Space. The Chemical Educator. 2010. P. 304–308.
4. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. Минск: Новое знание, 2013. 584 с.
5. Юдович В.И. Математические модели естественных наук. СПб.: Лань, 2011. 336 с.

УДК 519.85:65.012.122

## ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТА УЧАСТКА ДОРОГИ КАК ЗАДАЧА РАЗБИЕНИЯ МНОЖЕСТВА

**Печников А.А., Абрамов Е.В.**

*Институт прикладных математических исследований – обособленное подразделение  
ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр  
Российской академии наук», Петрозаводск, e-mail: pechnikov@krc.karelia.ru*

В любой стране состояние автомобильных дорог всегда было и остается важным показателем экономики. Считается, что экономическая отдача средств, вложенных в ремонт и содержание дорог, в два-три раза превышает экономический эффект от каждого рубля, вложенного в строительство новых дорог, поэтому оценка состояния дорожно-транспортных сетей и планирование ремонтных работ является важной проблемой, имеющей большое экономическое значение в масштабах района, региона, страны. В данной статье мы считаем, что задача оценки состояния дороги решена, и мы имеем некоторую карту дефектов дороги, содержащую достаточное количество информации для постановки оптимизационной задачи. Более точно, рассматривается задача ямочного ремонта выбоин, позволяющая по заданной карте дефектов сформировать план ремонтных работ, ведущий к наименьшим затратам ресурсов. В качестве математической модели используется модель комбинаторной оптимизации, заключающаяся в поиске оптимального объекта в конечном множестве объектов. Описаны содержательная и формальная постановки задачи, сформулированной как задача нахождения оптимального разбиения множества на непересекающиеся подмножества при заданных ограничениях на допустимые разбиения. Подробно рассматривается пример, демонстрирующий возможности модели. Оценивается сложность задачи, определяются дальнейшие направления исследований.

**Ключевые слова:** ямочный ремонт дороги, маска дорожного покрытия, карта ремонта, комбинаторная оптимизация, разбиение множества

## PLANNING THE REPAIR OF THE ROAD SECTION AS PARTITION OF SET PROBLEM

**Pechnikov A.A., Abramov E.V.**

*Institute of Applied Mathematical Research of the Karelian Research Centre of the Russian Academy  
of Sciences, Petrozavodsk, e-mail: pechnikov@krc.karelia.ru*

In every country, the state of the road infrastructure has always been and will remain an important economic indicator. Return of investments into road repair and maintenance is believed to be two to three times higher than the economic effect of each ruble invested in the construction of new roads. That is why assessing the state of road and transport networks, as well as planning repair works are important issues that have a major economic impact on a district, region or country. In this paper, it is assumed that the task of assessing road conditions has already been completed, and a road defect map containing enough information to formulate an optimization problem already exists. In particular, the article focuses on the problem of pothole patching using the given defect map to design a repair plan ensuring the lowest cost of resources. A combinatorial optimization model aimed at finding an optimal object from a finite set of objects is used as the mathematical model. The informal and formal statements of the problem, formulated as the problem of finding the optimal partition of a set into disjoint subsets under given partition constraints, are described. The author gives a detailed description of an example demonstrating the model capabilities, evaluates the task complexity and outlines directions for further research.

**Keywords:** road patching, road surfacing mask, repair map, combinatorial optimization, partition of a set

Автомобильный транспорт является одним из самых удобных видов перевозок. В любой стране состояние автомобильных дорог всегда было и остается важным показателем экономики. Очевидно, что плохие дороги отрицательно влияют на состояние экономики. Важно не только строительство и реконструкция дорог, требующие капитальных затрат, но и проведение комплекса работ и мероприятий по ремонту и содержанию дорог. В работе [1] говорится, что «...экономическая отдача средств, вложенных в ремонт и содержание дорог, в два-три раза превышает экономический эффект от каждого рубля, вложенного в строительство новых дорог». Поэтому оценка состояния дорожно-транспортных сетей и планирова-

ние ремонтных работ является важной задачей, имеющей большое экономическое значение в масштабах района, региона, страны.

Огромное количество факторов определяют характер эксплуатации автомобильной дороги. Их необходимо учитывать при организации работ по ремонту и содержанию. Оценка состояния дорог производится с применением программно-аппаратных комплексов, использующих записи видеокамер, видеосъемку, показания систем позиционирования и сканирования, с последующей обработкой результатов наблюдений в автоматизированном режиме. Для решения задачи оценки состояния дорог на базе собранной информации применяются различные подходы, такие как статистиче-

ские методы [2], машинное обучение [3], кластерный анализ [4] и др.

Другой стороной проблемы является необходимость оптимизировать затраты. Всем российским автомобилистам известно, что данная статья расходов хронически недофинансируется, особенно на уровне региональных и муниципальных дорог. Соответственно, рациональное использование имеющихся ресурсов приобретает ещё большее значение.

В данной работе мы исходим из того, что задача оценки состояния дороги решена с помощью одного из указанных выше подходов, и мы уже имеем карту дефектов дороги, содержащую достаточное количество информации для постановки оптимизационной задачи.

Задачи непрерывной оптимизации работ при ресурсных ограничениях с приложением к ремонту автодорог рассматриваются в работах [5, 6]. Она исследуется с помощью построения ограниченной неотрицательной непрерывной функции  $f(x,y)$ , характеризующей в каждой точке участка дороги  $M(x,y)$  значимость дефекта. Затем решается задача условной минимизации.

В отличие от непрерывного подхода в нашем случае в качестве математической модели применяется дискретная модель комбинаторной оптимизации, заключающейся в поиске оптимального объекта в конечном множестве объектов [7]. В данной статье приводятся содержательная и формальная постановки задачи, рассматривается небольшой пример, показывающий возможности модели, с помощью известного аппарата оценивается сложность задачи и определяются дальнейшие актуальные направления исследований.

Цель исследования, результаты которого изложены в настоящей статье, заключается в разработке дискретной математической модели комбинаторной оптимизации применительно к задаче планирования дорожных ремонтных работ, решение которой позволяет выбрать наиболее дешевый план по критерию общей стоимости ямочного ремонта заданного участка дороги.

#### *Содержательная формулировка задачи и связанные с ней ограничения*

Пусть имеется ограниченный по длине и одинаковый по ширине участок дороги с асфальтовым покрытием, для которого известна объективная оценка участка, например, в виде маски дорожного покрытия с указанием границ дефектов и их максимальной глубины [5]. Здесь в качестве дефектов будем рассматривать только выбоины, то есть местные разрушения дорожного

покрытия, имеющие вид углублений с резко выраженными краями [1].

Необходимо провести ямочный ремонт данного участка для восстановления его основных качеств. Цитируя [1], в этом случае «...традиционный способ предусматривает обрубку кромок выбоины с приданием ей прямоугольного очертания, очистку ее от асфальтобетонного лома и грязи, подгрунтовку дна и кромок выбоины, заполнение её ремонтным материалом и уплотнение. <...> В качестве ремонтного материала преимущественно используют асфальтобетонные смеси...»

Достаточно часто несколько соседних выбоин вырубается таким образом, что образуют одну единственную яму прямоугольного очертания, для обозначения которой используется термин «карта ремонта» [1]. Далее мы будем использовать его также и для обозначения ямы, возникающей на месте одной выбоины. Таким образом, карта ремонта – это яма прямоугольного очертания, подготовленная для укладки ремонтного материала после вырубки одной или нескольких соседних выбоин. Будем считать, что стороны любой карты ремонта имеют такую же ориентацию, как и участок дороги, что в основном соответствует практике ремонтных работ.

Кроме того, считаем, что один шаг ямочного ремонта – заделка единой заплатой одной или нескольких соседних выбоин, состоит из двух укрупненных этапов: подготовка карты ремонта и ее заполнение и уплотнение.

Поскольку карта ремонта имеет прямоугольное очертание, так называемая «дорожная заплатка» (или просто «заплата»), получаемая в результате заполнения и уплотнения ремонтного материала, – это прямоугольный параллелепипед (кубоид). Если, как в [5], исходить из того, что стоимость заделки ямы пропорциональна объему необходимых для этого работ, то с точки зрения минимизации затрат наиболее рациональным является подход «одна выбоина – одна заплатка».

Однако ситуация может измениться, если считать, что стоимость единицы работ первого этапа убывает с увеличением объема заплаты. Иными словами, подготовка двух отдельных выбоин объемом по  $1 \text{ м}^3$  стоит дороже, чем подготовка одной выбоины объемом  $2 \text{ м}^3$ . При этом будем считать, что стоимость второго этапа, как в [5], пропорциональна объему. В этом случае можно предположить, что за счет удешевления подготовительных работ окажется, что заделывать несколько соседних выбоин одной заплатой будет выгоднее, чем делать на каждую выбоину свою заплату.

Математическая модель, построенная ниже и продемонстрированная на простом примере, показывает, что подобная ситуация вполне реальна. Следовательно, можно говорить о том, что существует некоторое множество планов карт ремонта для заданного участка дороги с известной маской дорожного покрытия, из которых можно выбрать наиболее дешевый план по критерию общей стоимости ямочного ремонта данного участка.

*Формализация задачи*

Пусть рассматриваемый ограниченный участок дороги является прямоугольником, имеющим длину  $L$  и ширину  $W$ . Глубина дорожного покрытия в нашем случае не столь важна, чтобы ее определять отдельным символом, поскольку далее будет иметь значение только глубина выбоин. Выбоины представляют собой ограниченные односвязные непересекающиеся множества (не обязательно выпуклые), отделённые друг от друга неповрежденными участками. Пронумеруем все выбоины и будем считать, что их номера представляют собой множество  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Карта ремонта выбоины – это минимальный прямоугольный параллелепипед (кубоид), в который вписывается данная выбоина. Кубоид для выбоины  $i$  обозначим  $C(\{i\})$ . Уже на этом этапе формальной постановки задачи вместо выбоин можно рассматривать соответствующие им кубоиды. Каждому кубоиду  $C(\{i\})$  можно поставить в соответствие пятерку  $(x_i^1, y_i^1, x_i^2, y_i^2, d_i)$ , где пара  $(x_i^1, y_i^1)$  – координаты нижнего левого угла четырехугольника карты ремонта на плоскости X-Y (обозначим его  $R(\{i\})$ ),

$(x_i^2, y_i^1), (x_i^2, y_i^2), (x_i^1, y_i^2)$  – координаты остальных трёх углов в порядке обхода против часовой стрелки, а  $d_i$  – максимальная глубина выбоины. Здесь мы рассматриваем случай, когда  $\forall i, j: R(\{i\}) \cap R(\{j\}) = \emptyset$  (в случае невыполнения этого условия выбоины  $i$  и  $j$  заранее объединяются в одну). Пример, на котором демонстрируются введенные понятия и обозначения, представлен на рис. 1.

Назовем разбиением множества  $N$  такое множество подмножеств  $\Omega_k = \{\omega_1^k, \omega_2^k, \dots, \omega_r^k, \dots, \omega_{|\Omega_k|}^k\}$ , каждый элемент которого есть подмножество  $\omega_r^k \subseteq N$ ,  $\forall r, t \in N: \omega_r^k \cap \omega_t^k = \emptyset$  и  $\bigcup_{i=1, |\Omega_k|} \omega_i^k = N$ .

Здесь  $|\Omega_k|$  означает количество подмножеств  $\omega$  в разбиении  $\Omega_k$ , которое может варьироваться от 1 до  $N$ . При этом не каждое разбиение является допустимым. Например, на рис. 1 заделке всех выбоин поодиночке соответствует допустимое разбиение  $\Omega_1 = \{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}\}$ , еще одно допустимое разбиение –  $\Omega_2 = \{\{1\}, \{2, 3\}, \{4\}\}$ , а разбиение  $\Omega_3 = \{\{1, 4\}, \{2, 3\}\}$  не является допустимым, поскольку карты ремонта в этом случае будут накладываться друг на друга. В более общем виде можно записать, что из всего множества разбиений  $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots\}$  множества  $N$  разбиение  $\Omega_k = \{\omega_1^k, \omega_2^k, \dots, \omega_r^k, \dots, \omega_{|\Omega_k|}^k\}$  является допустимым, если для  $\forall r, t: R(\omega_r^k) \cap R(\omega_t^k) = \emptyset$ .

Посмотрим, чему равен объем  $V(\omega)$  для кубоида  $C(\omega)$ , построенного на некотором допустимом подмножестве  $\omega$ . Если  $\omega = \{i\}, \forall i \in N$ , то понятно, что  $V(\omega) = V(\{i\}) = (x_i^2 - x_i^1) * (y_i^2 - y_i^1) * d_i$ . В случае, когда  $\omega_k = \{i_1, i_2, \dots, i_k\}, i_k \in N$ , несложно показать, что

$$V(\omega_k) = (\max\{x_{i_1}^2, \dots, x_{i_k}^2\} - \min\{x_{i_1}^1, \dots, x_{i_k}^1\}) * (\max\{y_{i_1}^2, \dots, y_{i_k}^2\} - \min\{y_{i_1}^1, \dots, y_{i_k}^1\}) * \max\{d_{i_1}, \dots, d_{i_k}\}.$$

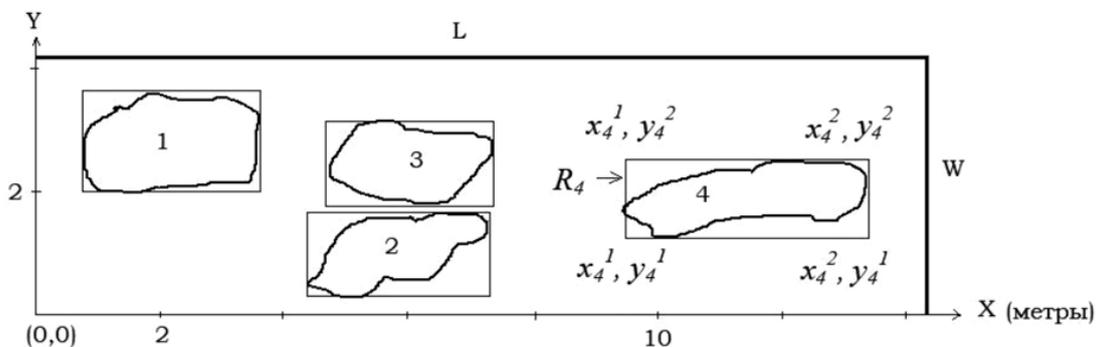


Рис. 1. Пример участка дороги (на плоскости X-Y)

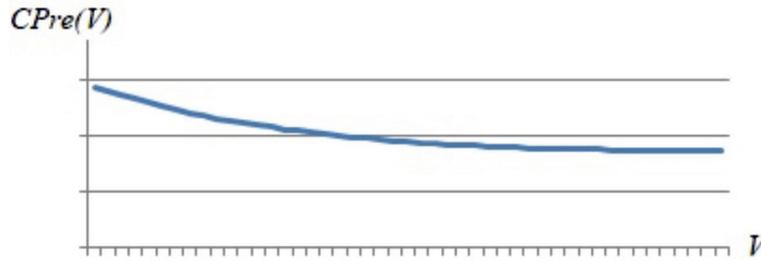


Рис. 2. График функции стоимости выполнения единицы объема первого этапа

Теперь оценим стоимость двух этапов ремонта, а именно подготовки карты ремонта и ее заполнения и уплотнения. Как было отмечено ранее, считаем, что стоимость выполнения единицы объема первого этапа является функцией, зависящей от объема выполняемых работ: чем больше объем кубоида, тем меньше стоимость единицы работ. Пусть  $V$  – вещественный аргумент больше 0, обозначим саму функцию  $CPre(V)$ . Для  $CPre(V)$  из содержательных соображений можно сформулировать следующие свойства:

1.  $CPre(V)$  невозрастающая функция:  
 $CPre(V + \Delta V) \leq CPre(V), \Delta V > 0$ .

2.  $CPre(V)$  ограничена снизу,  
 $\exists C_0 > 0, \forall V : CPre(V) \geq C_0$ .

Содержательно  $C_0$  означает значение, ниже которого стоимость единицы работ опуститься не может при самых больших объемах работ. Примерный график  $CPre(V)$ , который соответствует функции  $CPre(V) = C_0 * (1 + \alpha^V)$ , где коэффициент  $0 < \alpha < 1$ , приведен на рис. 2.

Для второго этапа будем считать, что стоимость заполнения и уплотнения единицы объема не зависит от общего объема выработки; обозначим эту константу  $CFill$ . Для заданного разбиения  $\Omega_k = \{\omega_1^k, \omega_2^k, \dots, \omega_r^k, \dots, \omega_{|\Omega_k|}^k\}$  общая стоимость работ есть функция от разбиения, которая равна

$$F(\Omega_k) = \sum_{i=1}^{|\Omega_k|} CPre(V(\omega_i^k)) * V(\omega_i^k) + CFill * \sum_{i=1}^{|\Omega_k|} V(\omega_i^k),$$

или после незначительных преобразований имеем

$$F(\Omega_k) = \sum_{i=1}^{|\Omega_k|} (CPre(V(\omega_i^k)) + CFill) * V(\omega_i^k).$$

Таким образом, на множестве всех допустимых перестановок  $\Omega$  надо найти перестановку, минимизирующую функцию  $F(\Omega_k)$ .

Оптимизационная задача имеет следующую форму (1–2):

$$F(\Omega_k) = \sum_{i=1}^{|\Omega_k|} (CPre(V(\omega_i^k)) + CFill) * V(\omega_i^k) \rightarrow \min_{\Omega_k \in \Omega}, \quad (1)$$

$$\forall \Omega_k \in \Omega : \forall r, t = 1..|\Omega_k|, \\ r \neq t : R(\omega_r^k) \cap R(\omega_t^k) = \emptyset, \quad (2)$$

где (1) – целевая функция, а (2) – ограничение на допустимость разбиения.

*Пример*

Рассмотрим пример, изображенный на рис. 1. Пятерки, соответствующие выбоинам, зададим численно, причем координаты вершин соответствуют изображению на рисунке, а глубину выбоин зададим самостоятельно:

- 1: (0,7; 2; 3,6; 3,6; 0,2),
- 2: (4,4; 0,3; 7,2; 1,7; 0,15),
- 3: (4,5; 1,8; 7,3; 3,3; 0,16),
- 4: (9,5; 1,2; 13,4; 2,5; 0,3).

Общее количество разбиений множества  $N = \{1,2,3,4\}$  равно 15, но среди них только 7 являются допустимыми. Для конкретных значений (близких к реальным), а именно,  $CFill = 35000$  руб/м<sup>3</sup>,  $C_0 = 7000$  руб/м<sup>3</sup>,  $\alpha = 0,6$  и  $CPre(V) = C_0 * (1 + \alpha^V)$  оптимальное решение достигается при разбиении  $\Omega_4 = \{\{1\}, \{2,3\}, \{4\}\}$ , стоимость ремонта всего участка при этом равна 48469 руб. Следует поодиночке заделывать выбоины 1 и 4, и одной картой выбоины 2 и 3.

Решение  $\Omega_1 = \{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}\}$ , когда все выбоины заделываются поодиночке, стоит 49305 руб.

Решение  $\Omega_{15} = \{\{1, 2, 3, 4\}\}$ , когда все выбоины заделываются одной картой, стоит 1820017 руб.

*Некоторые оценки и возможные направления исследований*

Число неупорядоченных разбиений  $n$ -элементного множества, обозначаемое

$B_n$ , называется числом Белла (при этом формально полагают  $B_0 = 1$ ). Для чисел Белла справедлива формула Добинского

$$B_n = \frac{1}{e} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k^n}{k!} \quad [8].$$

Значения первых 15 чисел Белла (начиная с  $n = 1$ ): 1, 2, 5, 15, 52, 203, 877, 4140, 21147, 115975, 678 570, 4 213 597, 27 644 437, 190 899 322, 1 382 958 545, то есть решение задачи для 15 выбоин требует более 1,3 млрд операций генерации разбиений.

Естественно, что реальное количество дорожных дефектов гораздо больше, чем 15. Отсюда следуют два возможных взаимосвязанных направления для продолжения исследований:

1) распараллеливание задачи и решение её с использованием высокопроизводительных многопроцессорных [9] и/или грид-систем [10];

2) разбиение задачи на подзадачи, очевидно связанное с тем, что достаточно протяженный участок дороги может быть разбит на несколько участков, следующих один за другим.

Одним из возможных математических подходов здесь представляется последовательная кластеризация объектов на плоскости с заданным количеством кластеров (или объектов, попадающих в каждый кластер), что, в свою очередь, приводит к интересной оптимизационной задаче.

### Заключение

В статье рассмотрены содержательная и формальная постановки задачи ямочного участка дороги, сформулированная в виде задачи комбинаторной оптимизации разбиения множества на непересекающиеся подмножества, и дающей оптимум в смысле минимальных затрат ресурсов на ремонт заданного участка. Подробно рассматрива-

ется пример, показывающий адекватность и возможности модели. С помощью чисел Белла оценивается сложность задачи, близкая к экспоненциальной, и определяются дальнейшие направления исследований, связанные с использованием высокопроизводительных вычислителей и разбиением задачи на подзадачи.

### Список литературы

1. Справочная энциклопедия дорожника. Т. 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог / Под ред. А.П. Васильева. М., 2004. 897 с.
2. Oliveira H., Correia P.L. Automatic road crack segmentation using entropy and image dynamic thresholding // Proc. European Signal Processing Conf. (EUSIPCO'09). 2009. P. 622–626.
3. Sudakov S. et al. Semantic segmentation of road images based on cascade classifiers // Proc. of the ISPRS XXI Congr. 2008. P. 601–604.
4. Sidorov D., Wong S.W., Vasilyev I., Salerno S. Automatic defects classification with p-median clustering technique // Proc. of 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008 (ICARCV). P. 775–780.
5. Лемперт А.А., Сидоров Д.Н., Жуков А.В., Нгуен Г.Л. Комбинированная технология оптимизации работ при ресурсных ограничениях с приложением к ремонту автодорог // Автоматика и телемеханика. 2016. № 11. С. 4–17.
6. Лемперт А.А., Сидоров Д.Н., Жуков А.В. Об одном подходе к оптимизации ремонта автомобильных дорог в условиях ограниченного финансирования // Сб. трудов VII Международного симпозиума «Обобщенные постановки и решения задач управления» (GSSCP-2014). Геленджик; Дивноморское, 26–30 сентября 2014 г. С. 114–118.
7. Ватутин Э.И., Титов В.С., Емельянов С.Г. Основы дискретной комбинаторной оптимизации. М.: Аргамак-Медиа, 2016. 270 с.
8. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику. М.: Высшая школа, 2006. 392 с.
9. Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности / Под ред.: В.А. Садовниченко, Г.И. Савина, Вл.В. Воеводина. М.: Изд-во Московского университета, 2009. 232 с.
10. Ivashko E. Enterprise Desktop Grids // BOINC-based High Performance Computing: Fundamental Research and Development. Proceedings of the Second International Conference BOINC:FAST 2015 (Petrozavodsk, Russia, September 14–18). 2015. P. 16–21.

УДК 62-9

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕПАРИРУЮЩИХ ЛИНИЙ  
ПУТЕМ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА****Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.***ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: pivenvv@yandex.ru*

При сепарировании сыпучих смесей технологическая линия предусматривает разделение смеси в несколько этапов. При сложном составе смеси сепарирующие рабочие органы должны обеспечивать разделение смеси по нескольким признакам. Чаще всего сепарируемый материал обрабатывают на нескольких машинах или направляют его на повторную обработку. Для более эффективной работы предыдущие машины должны обеспечивать благоприятные условия сепарации на последующих машинах. Чтобы снизить удельную нагрузку на сепарирующие машины, целесообразно на каждом этапе сепарирования выделять часть готового продукта. При разделении исходного материала на несколько разнокачественных фракций удельная производительность повышается. Это происходит вследствие того, что для каждой фракции подбирается соответствующий рабочий орган. Обоснование рабочего органа для фракционирования, необходимое количество фракций должно определяться в зависимости от исходного состава материала. Подготовка материала для сепарирования на ситах должна предусматривать предварительное удаление мелких компонентов, имеющих низкую плотность. Такую подготовку можно осуществить одновременно с фракционированием. При расчете процесса ситового сепарирования необходимо учитывать толщину слоя материала на сите. За время сепарирования все мелкие компоненты должны просеяться сквозь слой материала и сито.

**Ключевые слова:** сепарирование сыпучих смесей, фракционирование, сепарирующий рабочий орган**IMPROVING THE PERFORMANCE OF SEPARATING LINES  
BY FRACTIONATION OF THE SOURCE MATERIAL****Piven V.V., Umanskaya O.L., Krivchun N.A.***Federal State budget institution of higher education «Tyumen Industrial University»,  
Tyumen, e-mail: pivenvv@yandex.ru*

When separating bulk mixtures, the production line provides for the separation of the mixture in several stages. With a complex composition of the mixture, the separating working bodies should provide separation of the mixture on several grounds. This files most often separated piece material processed on multiple machines, or send it for further processing. For more efficient operation of the previous machine should provide a good separation conditions in the subsequent machines. To reduce the specific load on the separating machine is advisable at each stage of separation to allocate part of the finished product. When the source material is divided into several different fractions, the specific productivity increases. This is due to the fact that the appropriate working body is selected for each faction. Justification of the working body for fractionation, the required number of fractions should be determined depending on the initial composition of the material. Preparation of material for separation on sieves should provide for the pre-removal of small components with low density. Such training can be carried out simultaneously with fractionation. When calculating the sieve separation process, it is necessary to take into account the thickness of the material layer on the sieve. During separation, all small components should be sifted through a layer of material and a sieve.

**Keywords:** separation of bulk mixtures, fractionation, separating working body

В различных отраслях промышленности при подготовке исходного сырья, доведения промежуточного или конечного продукта до нормативных требований применяется сепарирование сыпучих материалов. В строительной отрасли при классификации по крупности песков, сыпучих строительных смесей широко применяются вибрационные грохоты [1–3]. Аналогичное оборудование используется в горнодобывающей промышленности [4], металлургии [5], пищевой промышленности [6, 7]. Для сепарирования мелкодисперсных материалов применяется воздушное сепарирование [8–10], которое очень часто используется совместно с ситовым сепарированием.

Проблема качества сепарирования существует при подготовке семенного материала в аграрном производстве и вы-

делении вредных и опасных примесей в мукомольной и крупяной промышленности. Возникает необходимость использования для сепарирования материала совокупности признаков разделения. При организации технологического процесса перспективным направлением является применение фракционных технологий сепарирования [11–13]. Суть данных технологий заключается в разделении исходного сыпучего материала на разнокачественные по своему составу фракции (части). Дальнейшая обработка данных фракций осуществляется отдельно [14]. Технологией обработки полученных фракций должна учитывать их качественный состав.

Фактическая производительность сепарирующих линий в реальных условиях может быть в 1,5–3,0 раза ниже паспортной.

Основными причинами этого являются: неполное использование производительности машин из-за сложного исходного состава сепарируемого материала, невозможность получить необходимые качественные характеристики готового продукта при последовательном соединении машин в технологической линии. Неэффективная работа сепарирующих машин обуславливается жесткой технологической связью между машинами, невозможностью гибкого управления качеством и количеством фракций, получаемых после каждой машины. В большинстве случаев предыдущие машины не обеспечивают необходимый состав материала для эффективной работы последующих машин. Основными причинами вышеизложенных недостатков существующих технологических линий является несоответствие необходимого времени сепарирования материала действительному времени его нахождения на рабочем органе. Превышение необходимого времени сепарирования над действительным приводит к необходимости повторной обработки материала, а их отношение определяет кратность обработки.

Цель исследования: получить математические зависимости для обоснования целесообразности фракционирования сепарируемой смеси и выбора рабочего органа для этого.

### Материалы и методы исследования

Необходимое время сепарирования определяется физико-механическими свойствами компонентов исходного материала, требуемым качеством готового материала, его процентным выходом, удельной нагрузкой, кинематическими параметрами рабочих органов.

Повышение качества процесса сепарирования или увеличение производительности при прочих равных условиях возможно за счет предварительного перераспределения компонентов зерновой смеси между фракциями.

При работе ситовых сепараторов увеличение удельной нагрузки приводит к повышению эффективности выделения крупной легкой примеси при двухъярусном расположении сит. Это объясняется всплыванием легкой примеси в слое движущегося по ситам материала и выделения ее сходом с верхнего сита. Увеличение нагрузки на нижнее или основное сито приводит к затруднению прохода мелких компонентов сквозь слой сепарируемого материала. В результате этого эффективность процесса сепарирования снижается. Неоптимальная нагрузка отдельных сепарирующих рабочих органов может возникать при изменении процентного содержания примесей в исходном материале. Поэтому перед подачей исходного сепарируемого материала на основную сепарирующую машину необходимо обеспечить стабильный процентный состав материала. Применение универсальных машин оправдано с точки зрения оптимизации их номенклатуры, но не обеспечивает

универсальность применения сепарирующих машин с комбинированными рабочими органами, сокращает их номенклатуру, но ограничивает возможности отдельных сепарирующих рабочих органов из-за их жесткой связи друг с другом.

Сравнительный анализ делительной способности сепарирующих рабочих органов при разделении по основным признакам (аэродинамическим свойствам, толщине, ширине, длине) показывает, что в реальных условиях хуже всего используются возможности воздушного потока. Технологическая эффективность работы воздушного потока может составлять всего лишь 15–30%. В комбинированных сепарирующих машинах воздушные каналы конструируются как единое целое с привязкой канала к ситам по его ширине. Это обеспечивает равномерную загрузку материала по ширине сита. Одновременно с этим сечение воздушного канала не является оптимальным по соотношению его ширины и глубины. Происходит неравномерная загрузка воздушного канала, требуемая равномерность воздушного потока не соблюдается, она дополнительно нарушается от стесненного движения частиц. За время движения компонентов в воздушном потоке они не успевают перераспределиться. При использовании воздушного канала как отдельного сепарирующего рабочего органа этих недостатков удается избежать.

При выборе очередности расположения сепарирующих рабочих органов в технологических линиях на первой стадии следует отдать предпочтение воздушному потоку, так как эффективность работы воздушного потока в меньшей степени зависит от влажности и засоренности исходного материала. При работе технологических линий по фракционным схемам рекомендуется выделять в различные отходы от 5 до 30% компонентов основного продукта. Выделение такой фракции на первых стадиях обработки позволяет повысить делительную способность последующих рабочих органов и разгрузить технологическую линию.

Из проведенного анализа следует, что фракционировать исходный материал следует с помощью воздушного потока или сита с учетом физико-механических свойств его компонентов. Возможно также двухэтапное фракционирование: на первом этапе – воздушным потоком, на втором – ситом. Фракционирование должно являться подготовительной операцией перед сепарированием материала на последующих рабочих органах с целью повышения их делительной способности. При этом необходимо осуществлять гибкое регулирование качества и объема получаемых фракций для снижения влияния изменяющегося состава исходного материала.

Для обоснования эффективности применения фракционирования как технологического приема, повышающего делительную способность сепарирующих рабочих органов, необходимо теоретически рассмотреть процесс разделения исходного материала на разнокачественные фракции. За базу для сравнения примем параллельную работу двух одинаковых сит, имеющих ширину  $B$  и длину  $L_1$  (рис. 1). Поток исходного материала делится на две одинаковые по своему объему и качеству части. Каждое сито имеет производительность  $Q_0$ . Суммарная производительность обоих сит равна  $Q_1$ . Исходное содержание примесей в поступающем на сита исходном материале обозначим  $A_0$ .

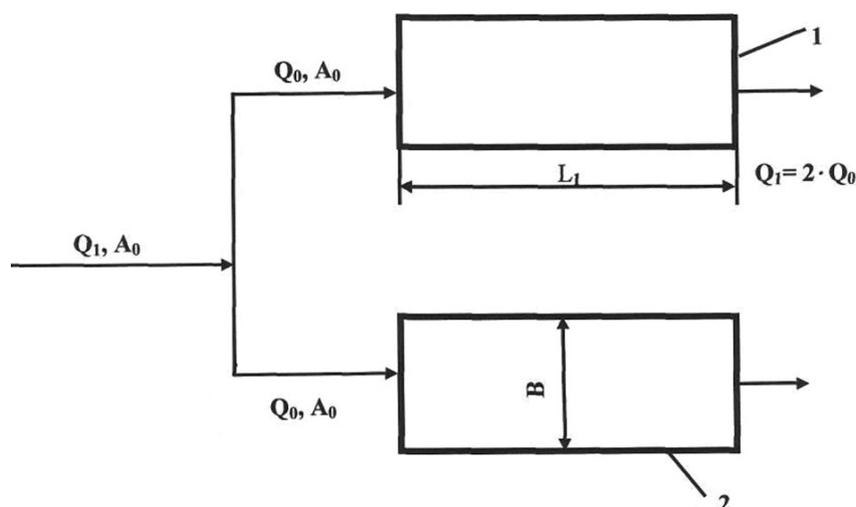


Рис. 1. Схема расположения рабочих органов в базовом варианте: 1, 2 – сита

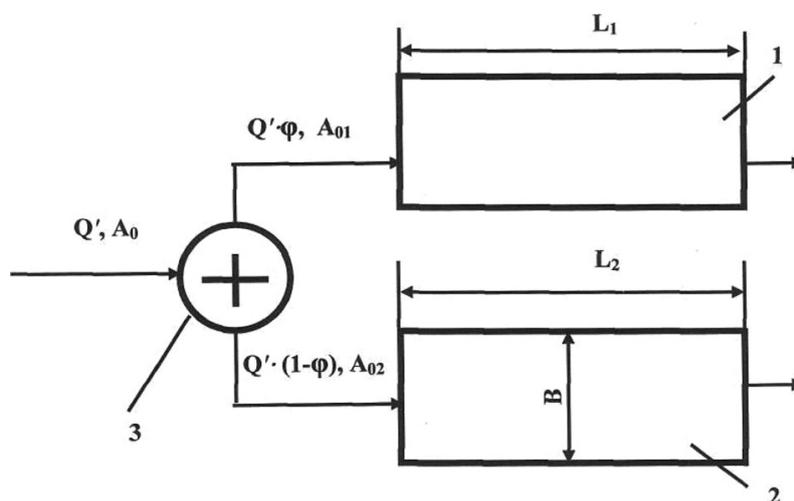


Рис. 2. Схема расположения рабочих органов при фракционировании: 1, 2 – сита, 3 – фракционирующий рабочий орган

При работе по фракционной схеме (рис. 2) в технологическую линию включен рабочий орган для фракционирования. Производительность по входу на этот орган равна  $Q'$  при той же исходной засоренности материала  $A_0$ . На выходе с рабочего органа для фракционирования исходный материал делится на две фракции и поступает на такие же, как и в базовом варианте, сита. Количество исходного материала, поступающего на сито 1, составляет  $Q' \cdot \varphi$ , на сито 2 –  $Q' \cdot (1 - \varphi)$ . Величиной  $\varphi$  определяется доля выхода первой основной фракции, которая имеет засоренность  $A_{01}$ . Засоренность второй фракции равна величине  $A_{02}$ .

Допустим, что фракционирующий рабочий орган перераспределяет примеси из первой фракции во вторую таким образом, что засоренность первой фракции будет пропорциональна ее выходу. Тогда

$$D_{01} = D_0 \cdot \varphi, \quad (1)$$

$$D_{02} = D_0 \cdot (1 - \varphi). \quad (2)$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Пусть, общее количество примесей, извлекаемых с единицы площади сита за время сепарирования, в обеих технологических линиях одинаково и равно  $Q_n$ . В этом случае более рациональное использование рабочих органов технологических линий за счет фракционирования позволит увеличить их удельную производительность. Удельная производительность сит первой технологической линии (рис. 1) определится по формуле

$$G_{u0} = Q_0 / S \cdot L. \quad (3)$$

Второй линии (рис. 2) – по формуле

$$G_u = Q' / (S \cdot L_1 + S \cdot L_2). \quad (4)$$

Коэффициент увеличения удельной производительности второй линии по отношению к первой

$$\eta_Q = G_u / G_{u0}. \quad (5)$$

Время самосортирования проходных компонентов на сите (рис. 3) определяется следующим выражением [6]:

$$t_0 = (h - \Delta h) / W_z, \quad (6)$$

где  $H_0$  – начальная толщина слоя материала, м;  $\Delta h$  – высота одной частицы, м;  $W_z$  – вертикальная скорость проходных частиц, м/с.

$$W_z = r \cdot \omega (m_0 (\Delta - 1) g) \cdot F_V^{-1} \left[ \left( m_0 (\Delta - 1) / m_1 (1 - \delta)^{1/2} \right) - \left( F_h / (m_1 \cdot r \cdot \omega^2) \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (7)$$

где  $r$  – радиус траектории частицы в проекции на сито, м;  $\omega$  – угловая скорость движения сита, рад/с;  $m_0$  – масса сепарируемого материала в объеме, эквивалентном объему частицы, кг;

$\Delta = \rho / \rho_0$  – отношение плотностей проходного компонента и слоя материала;  $F_V$  – вертикальная составляющая сил сопротивления среды, Н;  $F_h$  – горизонтальная составляющая сил сопротивления среды, Н;  $m_1 = m + m'$  – масса частицы, учитывающая инерционный эффект, кг;

$\delta$  – безразмерный параметр, учитывающий способность частицы двигать внутри слоя материала.

Производительность первой линии (рис. 2) с учетом выражения (6) при условии просеивания всех мелких компонентов сквозь слой материала, имеющего на начале сита толщину  $H$ , определится как

$$Q_1 = (W_z \cdot L_1 / V_R + \Delta h) \cdot S \cdot V_R \cdot \rho, \quad (8)$$

где  $V_R$  – скорость сепарируемого материала вдоль сита, м/с;  $\rho$  – объемная плотность сепарируемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

Производительность второй линии при условии просеивания всех мелких частиц сквозь слой материала на сите 1 (рис. 3)

$$Q' = (W'_z \cdot L_1 / V_R + \Delta h) \cdot S \cdot V_R \cdot \rho_0 / \varphi, \quad (9)$$

где  $W'_z$  – скорость вертикального перемещения мелких частиц в слое материала по схеме, представленной на рис. 2, м/с.

На сито 2 (рис. 2) поступает исходный материал с большим содержанием мелких компонентов. Поэтому для более эффективного выделения из нее примесей подачу исходного материала на сито 2 необходимо осуществлять в один элементарный слой. Мелкие примеси на сите 2 начинают просеиваться с момента попадания на сито. Поэтому длину сита 2 представим в виде

$$L_2 = t_2 \cdot V_R, \quad (10)$$

где  $t_2$  – время нахождения материала на сите, с.

Время  $t_2$  определяется из зависимостей, полученных в работе [14]

$$t_2 = -\ln(1 - Q_{R2} / F_{N2}) / C_{Y2}, \quad (11)$$

где  $F_{N2}$  – концентрация примесей в нижнем слое сита 2 (рис. 2);  $C_{Y2}$  – коэффициент интенсивности просеивания, 1/с.

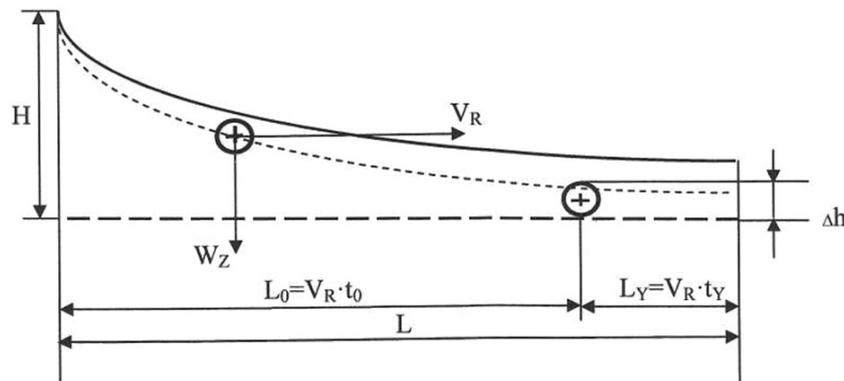


Рис. 3. Схема движения мелкого компонента в слое сепарируемого материала на сите:  $L_0$  – длина участка сита, на котором происходит просеивание мелкого компонента сквозь слой материала;  $L_Y$  – длина участка сита, на котором происходит просеивание мелкого компонента сквозь отверстия сита

Количество примесей, извлекаемое с единицы площади обоих сит за время сепарирования, равно сумме примесей с первого и второго сита:

$$Q_R = Q_{R1} + Q_{R2}. \quad (12)$$

С учетом исходного содержания примесей ( $A_0$ ) и нормативной технологической эффективности ( $E_\phi$ )

$$Q_R = N \cdot D_0 \cdot Q_1 / (S \cdot V_R). \quad (13)$$

Концентрация примесей в элементарном слое на втором сите

$$F_{N2} = D_{02} \cdot \Delta \cdot \rho_0. \quad (14)$$

С учетом (12)–(14) выражение (11) принимает следующий вид:

$$t_2 = -C_{Y2}^{-1} \cdot \ln \left[ 1 - \left( N \cdot D_0 \cdot Q_1 / (S \cdot V_R) - Q_{R1} \right) \cdot (D_{02} \cdot \Delta \cdot \rho_0)^{-1} \right]. \quad (15)$$

Величина  $Q_{R1}$ , входящая в выражение (12), согласно работе [14] определяется как

$$Q_{R1} = D_{01} \cdot \rho_0 \left[ W'_z \cdot L_1 / V_R + (\Delta h - W'_z / C_Y) \cdot (1 - \exp(-C_Y \cdot L_1 / V_R)) \right]. \quad (16)$$

С учетом вышеприведенных зависимостей выражение для определения коэффициента увеличения производительности (5) принимает следующий вид:

$$\eta_Q = \left[ (W'_z \cdot L_1 / V_R + \Delta h) L_1 \right] \cdot \left[ \varphi(L_1 + t_2 V_R) (W'_z \cdot L_1 / V_R + \Delta h) \right]^{-1}. \quad (17)$$

### Заключение

Выражения (12)–(17) являются достаточными условиями для определения целесообразности использования рабочего органа в технологических линиях для фракционирования. Полученные выражения позволяют определять это в зависимости от состояния исходного сепарируемого материала, размеров ситовых поверхностей, скорости движения материала по ситам. Целесообразность использования конкретного рабочего органа для фракционирования будет также определяться долей перераспределения примесей между фракциями ( $\varphi$ ), которую обеспечивает данный рабочий орган. При изменяющемся качественном составе исходного материала с помощью гибких технологических схем может реализовываться традиционная поточная технология, фракционная технология с фракционированием на одном или нескольких ее этапах.

### Список литературы

1. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. СПб.: Издательский дом «Руда и металлы», 2013. 640 с.
2. Вавилов А.В., Елеукенов М.Т. Моделирование процессов грохочения и конструкций грохотов для получения качественных заполнителей при раздельном приготовлении бетонов // Вестник ВКГТУ. 2014. № 2. С. 31–34.
3. Вайсберг Л.А., Акимова А.В., Иванов К.С. Новые методы моделирования и расчета вибрационных грохотов и грохотов-сепараторов // Современное машиностроение. Наука и образование. 2013. № 3. С. 651–658.

4. Никифорова Л.В., Матвеев А.И., Слепцова Е.С., Яковлев Б.В. Математическое моделирование процесса отсадки // Математические заметки СВФУ. 2014. Т. 21. № 1. С. 106–112.

5. Слепцова Е.С., Федосеев С.М. Извлечение золота из магнитных шлихов отсадкой в поле действия полусоперемного магнитного поля // Горн. информ.-аналит. бюл. 2015. № 7. С. 260–264.

6. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с.

7. Чурин Ю.Г. Применение теории сепарации при проектировании сепараторов вибрационного типа // Вестник Московского государственного агроинженерного университета. 2010. № 1. С. 29–32.

8. Пономарев В.Б. Переработка металлургических шлаков методом пневматической сепарации // Сталь. 2015. № 2. С. 82–83.

9. Пономарев В.Б. Выделение узких фракций порошков методом воздушной классификации // Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья: материалы научно-технической конференции, 2015. С. 62–65.

10. Пономарев В.Б. Разделение шамотных порошков методом воздушной сепарации // Новые огнеупоры. 2014. № 10. С. 68–69.

11. Чумаков В.Г. Деление зернового вороха на фракции пневморешетным сепаратором // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 12. С. 31–33.

12. Косилов Н.И., Пивень В.В. Технологические возможности модернизации и создания перспективных поточных линий для послеуборочной обработки зерна // АПК России. 2000. Т. 31. С. 28.

13. Пивень В.В., Уманская О.Л. Основные направления совершенствования технологии и техники для послеуборочной обработки зерна // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 8. С. 205–208.

14. Пивень В.В., Уманская О.Л. Основные тенденции совершенствования фракционных технологий очистки зерна // Проблемы современной науки и образования. 2013. № 1 (15). С. 39–42.

УДК 519.688

## ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ КВАНТОВОГО АЛГОРИТМА ФАКТОРИЗАЦИИ ПИТЕРА ШОРА ПУТЁМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КЛАССИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

**Разумов П.В., Смирнов И.А., Черкесова Л.В., Сафарьян О.А., Пилипенко И.А.**

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: therazumov@gmail.com, terran.doatk@mail.ru, chia2002@inbox.ru, safari\_2006@inbox.ru, irenphil@yandex.ru*

В предлагаемой статье произведено сравнение квантового алгоритма факторизации Питера Шора и алгоритма факторизации  $\rho$ -метода Джона Полларда. Как известно, квантовый алгоритм факторизации Шора состоит из классической и квантовой частей. В классической части для нахождения наибольшего общего делителя чисел (НОД) предлагается использовать алгоритм Евклида. Однако существует достаточно большое количество алгоритмов нахождения наибольшего общего делителя чисел. Авторами данной статьи рассмотрены результаты вычислений восьми алгоритмов, среди которых был найден алгоритм с наибольшим быстродействием поиска НОД. Это позволяет квантовому алгоритму в целом работать быстрее. В свою очередь, это обеспечивает большой потенциал для практического применения квантового алгоритма Шора. Таким образом, авторы модифицировали стандартный квантовый алгоритм П. Шора путем замены бинарного алгоритма поиска НОД итерационным алгоритмом со сдвигом, отмены операции генерации случайного числа и использования алгоритма аддитивных цепочек для быстрого возведения в степень. Полученный модифицированный алгоритм Шора отличается более высокой производительностью и быстродействием при осуществлении факторизации. Эффективность данного модифицированного алгоритма оказалась, в целом выше, чем у стандартного алгоритма Шора, за счёт усовершенствования его классической части. В результате быстродействие алгоритма повысилось на 50 %.

**Ключевые слова:** квантовый алгоритм, факторизация, наибольший общий делитель, кубит, бинарный алгоритм, рекурсивный алгоритм, итерационный алгоритм

## IMPROVING THE PERFORMANCE OF P. SHOR'S FACTORING QUANTUM ALGORITHM BY IMPROVING ITS CLASSICAL PART

**Razumov P.V., Smirnov I.A., Cherkesova L.V., Safaryan O.A., Pilipenko I.A.**

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: therazumov@gmail.com, terran.doatk@mail.ru, chia2002@inbox.ru, safari\_2006@inbox.ru, irenphil@yandex.ru*

The proposed article compares the quantum factorization algorithm of Peter Shor and the factorization algorithm of the  $\rho$ -John Pollard method. As is well known, the quantum algorithm for factoring Shor consists of classical and quantum parts. In the classical part, it is proposed to use the Euclidean algorithm to find the greatest common divisor of numbers (GCD). However, there are quite a number of algorithms for finding the greatest common divisor of numbers. The authors of this article reviewed the results of calculations of eight algorithms, among which the algorithm with the highest GOD search speed was found. This allows the quantum algorithm as a whole to work faster. In turn, this provides a great potential for the practical application of the quantum Shor algorithm. Thus, the authors modified the standard quantum algorithm of P. Shor by replacing the binary NOD search algorithm with an iterative shift algorithm, canceling the random number generation operation and using the additive chain algorithm for fast exponentiation. The obtained modified Shor's algorithm is distinguished by higher performance and speed in the implementation of factorization. The effectiveness of this modified algorithm turned out to be, in general, higher than that of the standard Shor algorithm, due to the improvement of its classical part. As a result, the performance of the algorithm increased by 50 %.

**Keywords:** quantum algorithm, factorization, the greatest common divisor, qubit, binary algorithm, recursive algorithm, iterative algorithm

На сегодняшний день область квантовых вычислений постепенно выходит на ведущие позиции в области информационных технологий и вычислительной техники. Все большее внимание ученых и научных исследователей уделяется суперсовременной вычислительной модели, основанной на понятии кубита – квантового бита, призванной вытеснить давно известную модель, нашедшую применение практически во всех средствах вычислительной техники и основанной на

понятии бита, которая была разработана Аланом Тьюрингом и Джоном фон Нейманом [1, 2].

Квантовым битом является некая квантовая система, которая до измерения находится в произвольной линейной суперпозиции двух базисных квантовых состояний, а в результате измерения с некоторой вероятностью принимает одно из двух возможных значений. С одной стороны, этот элемент является тем же битом, потому что принимает два значения, а с другой сторо-

ны – является квантовым, так как эти два значения находятся в суперпозиции друг с другом [3].

В последнее время квантовая вычислительная модель привлекает к себе все большее внимание ученых и инженеров. Это связано с возможностью её практического применения, что в перспективе даст огромные возможности для решения задач, не нашедших эффективных алгоритмов решения в битовой вычислительной модели.

Одним из ярких примеров таких задач является задача факторизации некоторого числа, решением которой является поиск делителей этого числа [4].

Цель исследования: доказать преимущество квантового алгоритма перед алгоритмами других вычислительных моделей. Как известно, алгоритм Шора имеет квантовую и классическую части, что позволяет увеличить скорость вычисления алгоритма в целом, максимально модернизировав и упростив классическую часть. Несмотря на достоинства квантового алгоритма, он имеет свои недостатки, так как имеет классическую часть, которая выполняется на обычных компьютерах. Именно классическая часть является слабым звеном в алгоритме Шора. И поэтому, модернизируя и максимально упростив её, есть возможность увеличить скорость вычислений квантового алгоритма Шора.

Предполагаемая большая вычислительная сложность задачи факторизации лежит в основе криптостойкости некоторых алгоритмов шифрования с открытым ключом, таких как RSA. Более того, система взламывается однозначно, если известен хотя бы один из параметров ключей алгоритма RSA.

*$\rho$ -метод факторизации Полларда.* Рассмотрим следующий алгоритм:

1. Рассмотрим последовательность целых чисел  $x_n$ , такую, где каждое следующее число  $x_{i+1} = (x_i^2 - 1) \bmod N, n = 0, 1, 2, \dots$ . В этой последовательности  $x_0$  – небольшое число.

2. На каждом шаге будем вычислять значение  $d = \text{НОД}(n, |x_i - x_j|)$ , где  $j < i$ .

3. Если  $d \neq 1$ , то вычисления заканчиваются. Найденное число  $d$  является делителем числа  $n$ . Если  $n/d$  не является простым числом, то процедуру можно продолжить, взяв вместо  $n$  число  $n/d$ .

Главным недостатком данного метода является выделение дополнительной памяти для хранения предыдущих значений  $x_j$ . Заметим, что если  $(x_i - x_j) \equiv 0 \pmod{p}$ , то  $(f(x_i) - f(x_j)) \equiv 0 \pmod{p}$ . Поэтому, если пара  $(x_i, x_j)$  дает нам решение, то решение даст любая пара  $(x_i + k, x_j + k)$  [5].

*Программная реализация алгоритма  $\rho$ -метода факторизации Полларда*

```
int  $\rho$  – Pollard (int  $n$ )
{
  int  $x = \text{random}(1, n - 2)$ ;
  int  $y = 1$ ; int  $i = 0$ ; int  $stage = 2$ ;
  while(НОД( $n, \text{abs}(x - y)$ ) = 1)
  {
    if ( $i == stage$ ) {
       $y = x$ ;
       $stage = stage * 2$ ; }
     $x = x * x + 1 \pmod{n}$ ;
     $i = i + 1$ ;
  }
  return НОД( $n, \text{abs}(x - y)$ ); }

```

*Квантовый алгоритм Шора*

Суть данного метода заключается в том, что задача факторизации сводится к задаче поиска периода функции. Когда период функции известен, факторизация осуществляется на классическом компьютере за полиномиальное время при помощи алгоритма Евклида. Квантовой части алгоритма отведено выполнение поиска периода функции. А классическая часть алгоритма сначала специальным образом готовит оную функцию, а потом проверяет найденный квантовой частью период на достаточность для решения задачи. Если период найден правильно (алгоритм вероятностный, так что может найти не то, что хочется), то задача решена. Если же нет, то квантовая часть алгоритма выполняется ещё раз. А поскольку проверка правильности решения для задачи факторизации очень проста (умножили два числа да сравнили с третьим), то эту часть алгоритма вообще можно не принимать во внимание с точки зрения подсчёта сложности [6].

*Алгоритм факторизации Шора*

1. Выбрать случайное число  $a$ , меньшее  $M : a < M$ .

2. Вычислить  $\text{НОД}(a, M)$ . Это может быть сделано при помощи алгоритма Евклида.

3. Если  $\text{НОД}(a, M)$  не равен 1, то существует нетривиальный делитель числа  $M$ , так что алгоритм завершается (вырожденный случай).

4. В противном случае необходимо использовать квантовую подпрограмму поиска периода функции  $f(x) = a^x \bmod M$ .

5. Если найденный период  $r$  является нечётным, то нужно вернуться на шаг 1 и выбрать другое число  $a$ .

6. Если  $a^{r/2} \equiv M - 1 \pmod{M}$ , то вернуться на шаг 1 и выбрать другое число  $a$ .

7. Наконец, определить два значения НОД( $a^{r/2} \pm 1, M$ ), которые и являются нетривиальными делителями числа  $M$ .

Важным является выбор количества кубитов, которые будут использованы в квантовой схеме. Необходимо выбрать такое количество кубитов  $q$ , чтобы выполнялось неравенство  $M^2 \leq 2^q < 2M^2$ . При выполнении данного равенства обеспечивается, что данного количества кубитов достаточно, чтобы достаточное количество раз выполнить функцию, для которой ищется период, чтобы сработала конструктивная интерференция [7].

#### Реализация квантового алгоритма Шора

Перед реализацией необходимо определить некоторые вспомогательные функции и константы.

```

numberToFactor :: Int
numberToFactor = 21
simpleNumber :: Int
simpleNumber = 2
nofAncillas :: Int
nofAncillas = 5
nofWorkingOubits :: Int
nofWorkingOubits = 4
nofOubits :: Int
nofOubits = nofWorkingOubits + nofAncillas
periodicFunction :: Int -> Int
periodicFunction x = simpleNumber ^ x 'mod' numberToFactor

```

Константа *numberToFactor* задаёт число, которое необходимо разложить на простые множители. Константа *simpleNumber* представляет собой взаимно простое число с предыдущей константой. Далее константы *nofAncillas*, *nofWorkingOubits* и *nofOubits* представляют количество вспомогательных и рабочих кубитов, а также общее количество кубитов в квантовой схеме.

Функция *periodicFunction* является собой как раз ту периодическую функцию, задачу поиска периода которой и выполняет квантовая подпрограмма алгоритма Шора.

Далее реализуем квантовую схему в виде функции.

```

quantunFactoring :: Matrix (Complex Double) -> IO String
quantunFactoring o =
  initial |> gateHn nofWorkingOubitd < ++ >
    gateIn nofAncillas
  |> o
  |> qft nofWorkingOubits < ++ >
    gateIn nofAncillas
  >>> (measure . fromVector nofOubits )

```

Данное определение соответствует нижеприведенной диаграмме квантовой схемы.

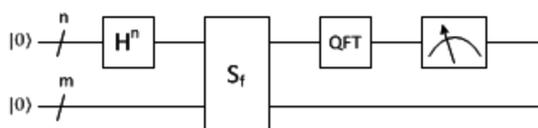


Рис. 1. Диаграмма квантовой схемы

Сравнительный анализ данных алгоритмов на практике

Квантовый алгоритм факторизации Шора, как упоминалось ранее, можно условно разделить на две части – классическую и квантовую. Рассмотрим наиболее слабое место данного алгоритма, а именно классическую часть, которую можно модифицировать и модернизировать.

*Классическая часть*

В классической части для нахождения НОД предлагается использовать алгоритм Евклида, но, более того, существует достаточно большое количество алгоритмов нахождения наибольшего общего делителя пары чисел. Ниже рассмотрены результаты вычислений каждого из этих алгоритмов, среди которых требуется идентифицировать алгоритм с наименьшей скоростью выполнения поставленной задачи, что позволит квантовому алгоритму в целом работать несколько быстрее, что, в свою очередь, обеспечит больший потенциал для практического применения квантового алгоритма Шора.

В качестве исследуемых отобраны восемь наиболее распространенных алгоритмов нахождения НОД и произведена проверка их скорости вычисления на числах разной сложности. Номерам gcd 1 – gcd 8 соответствуют следующие названия:

1. Перебор от произвольного числа.
2. Перебор от минимального числа.

3. С разложением на делители.
4. Алгоритм Евклида рекурсивный.
5. Алгоритм Евклида итерационный.
6. Бинарный алгоритм рекурсивный.
7. Бинарный алгоритм итерационный.
8. Бинарный алгоритм итерационный со сдвигом.

Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Самым эффективным алгоритмом является gcd8 (бинарный с итерационным сдвигом), а gcd 5 (алгоритм Евклида итерационный) является третьим по эффективности.

Наиболее рациональным является выбор алгоритма gcd 8 (бинарный алгоритм итерационный со сдвигом), причиной чему служит то, что он предназначен для решения весьма трудоёмких задач. В связи с этим данный алгоритм вряд ли будет применяться с практической точки зрения для чисел с малым диапазоном, меньших 1000. Рассчитывать среднюю эффективность алгоритма будем по следующей формуле:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{\text{эфф\_алг}_i}{\text{станд\_алг}_i} \right) \quad (*)$$

Таким образом, использование данного алгоритма в среднем позволит вычислять нахождение НОД двух чисел на 29% быстрее, чем при использовании стандартного алгоритма Евклида. В алгоритме, при формировании случайного числа  $a$ , используется операция генерации случайного числа, которая при вычислении не является достаточно быстрой и кибербезопасной. Поэтому было принято решение заменить эту операцию на  $n - M$ , где  $n < M$ . Рассчитанный результат средней эффективности алгоритма по формуле (\*) составил 72%. Результаты тестирования этих алгоритмов представлены в табл. 2.

Таблица 1

Вычисления классических алгоритмов

	10–100	100–1000	1000–10000	10000–100 000	100 000–1 000000
gcd 1	0,0040	0,0402	0,3531	1,7404	7,7908
gcd 2	0,0030	0,0305	0,2490	1,3123	7,4236
gcd 3	0,0028	0,0134	0,0436	0,1089	0,4675
gcd 4	0,0068	0,0150	0,0273	0,0277	0,0454
gcd 5	0,0010	0,0017	0,0025	0,0029	0,0036
gcd 6	0,0030	0,0064	0,0085	0,0099	0,0124
gcd 7	0,0012	0,0018	0,0020	0,0022	0,0026
gcd 8	0,0009	0,0014	0,0016	0,0018	0,0020

Таблица 2

Вычисления преобразованного алгоритма

	1–10	10–10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup> –10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> –10 <sup>8</sup>
random	0,0019	0,0019	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
M-n	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006

Таблица 3

Вычисления алгоритма аддитивных цепочек

	$2^5$	$2^{10}$	$2^{20}$	$2^{40}$	$2^{80}$	$2^{160}$	$2^{320}$
обычный	0,0008	0,0010	0,0014	0,0022	0,0039	0,0072	0,0139
Аддитивные цепочки	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009

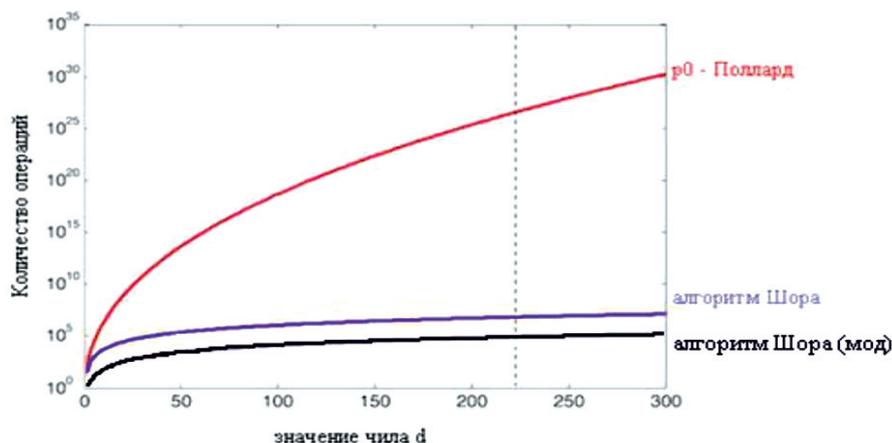


Рис. 2. Сравнение алгоритмов

Стандартная операция возведения в степень также является недостаточно быстрой в данном алгоритме. Проанализировав все существующие алгоритмы, было принято решение использовать алгоритм аддитивных цепочек, средняя эффективность которого, согласно формуле (\*), на 53% выше по сравнению со стандартным алгоритмом. Результаты тестирования алгоритмов представлены в табл. 3.

Произведя модернизацию классической части алгоритма Шора, было произведено тестирование с целью вычисления секретной экспоненты  $d$  шифра RSA с ключом в 1024 бита. Результат вычислений с использованием алгоритмов  $p$ -метода Полларда, стандартного алгоритма Шора и предложенного авторами модифицированного алгоритма Шора представлен на рис. 2.

Исходя из результатов данного эксперимента, наблюдается преимущество предложенного авторами модифицированного квантового алгоритма Шора, модернизированного путем усовершенствования его классической части, которая работает на 50% быстрее, чем в стандартном алгоритме П. Шора.

Таким образом, сравнивая стандартный и модифицированный авторами алгоритмы Шора и  $p$ -метод Полларда, можно отметить, что предложенный авторами алгоритм осуществляет процесс обработки данных существенно быстрее. Анализируя график, можно увидеть, что в зависимости от увеличения значения обрабатываемого числа, количество вычислений и затраченное на них время возрастает несущественно.

## Заключение

Результаты исследования показывают преимущество квантовых алгоритмов вычислений перед традиционными не квантовыми алгоритмами, вычислительная мощность которых значительно меньше. Оба рассмотренных алгоритма (стандартный и модифицированный) отличаются своей высокой производительностью.

Из рис. 2 видно, что, в зависимости от увеличения значения обрабатываемого числа, количество вычислений и затраченное на них время возрастает несущественно.

Авторам удалось усовершенствовать квантовый алгоритм Шора так, что эффективность полученного алгоритма оказалась выше, чем у стандартного алгоритма, за счет усовершенствования классической части, которая работает на 50% быстрее.

## Список литературы

1. Душкин Р.В. Квантовые вычисления и функциональное программирование. М.: ДМК Пресс, 2014. 318 с.
2. Нильсен М., Чуанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. Кембридж: Издательство Кембриджского университета, 2010. 704 с.
3. Monz T., Nigg D., Realization of a scalable Shor algorithm, Science. 2016. vol. 351. no. 6277. P. 1068–1070. DOI: 10.1126/science.aad9480.
4. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. Ижевск: ПХД, 2004. 320 с.
5. Lucero E., Computing prime factors with a Josephson phase qubit quantum processor, Nature Physics. 2012. vol. 8. no 10. P. 719–723. DOI: 10.1038/nphys2385.
6. Markov I.L., Saeedi M., Constant-optimized quantum circuits for modular multiplication and exponentiation. Quantum Information and Computation. 2012. vol. 12. no 5. P. 361–394.
7. Косяков М.С. Введение в распределенные вычисления. СПб.: НИУ ИТМО, 2014. 155 с.

УДК 004.3

**СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ  
ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ****<sup>1</sup>Сыцевич Н.Ф., <sup>2</sup>Крахмалев Д.В., <sup>1</sup>Жабоев Ж.Ж., <sup>1</sup>Кулиев Р.С.**<sup>1</sup>*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик;*<sup>2</sup>*Финансовый университет при правительстве РФ, Москва, e-mail: kuliye@mail.ru*

Материалы исследования, приводимые в настоящей работе, посвящены повышению надежности систем управления, в частности их аппаратных средств, выполненных по схеме с горячим резервированием. Особый акцент авторами сделан на применении узких интерфейсов при обмене сигналами между резервированными комплектами. Как правило, на практике широко распространены резервированные системы, в которых сигналы широких интерфейсов непосредственно подаются на мажоритарные элементы комплектов. При этом, добиваясь приемлемого быстродействия системы, увеличивается сложность аппаратных средств системы комплексирования резервированной системы. Сложность заключается в том, что при работе системы, как правило, часть ее функциональных частей должна функционировать в различных режимах резервирования, таких как повторительный, дублированный, мажоритарный. Это значительно усложняет управление мажоритарными элементами. В работе предложено введение механизма мультиплексирования сигналов межкомплектного обмена резервированной системы, что значительно упростит работу системы комплексирования. Целью проводимого исследования является повышение надежности систем управления, в которых не предъявляются высокие требования по быстродействию. Для достижения поставленной цели решается задача синтеза схемы резервированного комплекта, позволяющая снизить аппаратные затраты системы комплексирования мажоритарно-резервированных систем.

**Ключевые слова:** мультиплексирование, резервированные системы, мажоритарный элемент**COMPLEXING SCHEME BASED ON MULTIPLEXING  
FOR RESERVED CONTROL SYSTEMS****<sup>1</sup>Sytsevich N.F., <sup>2</sup>Krakhmalev D.V., <sup>1</sup>Zhaboev Zh.Zh., <sup>1</sup>Kuliev R.S.**<sup>1</sup>*Kabardino-Balkarian State University of Kh.M. Berbekov, Nalchik;*<sup>2</sup>*Financial University under the government of the Russian Federation, Moscow, e-mail: kuliye@mail.ru*

The materials of the study presented in this paper are devoted to improving the reliability of control systems, in particular their hardware made according to the scheme with hot backup. Special emphasis is placed on the use of narrow interfaces in the exchange of signals between redundant sets. As a rule, in practice, redundant systems are widespread, in which signals of wide interfaces are directly fed to the majority elements of sets. At the same time, achieving an acceptable system performance, the complexity of the hardware of the redundant system integration system increases. The difficulty lies in the fact that the system as a rule, part of its functional parts must operate in different backup modes, such as repeated, duplicated, majority. This greatly complicates the management of majority elements. The paper proposes the introduction of a mechanism for multiplexing the signals of the intercomplex exchange of the redundant system, which will greatly simplify the operation of the complexing system. The aim of the study is to improve the reliability of control systems that do not have high performance requirements. To achieve this goal, the problem of synthesis of the redundant set scheme is solved, which allows to reduce the hardware costs of the system of integration of majority-redundant systems.

**Keywords:** the Multiplexing, redundant systems, the majority element

Одним из основных недостатков резервированных систем управления является сложность системы комплексирования ее резервированных функциональных частей.

Как правило, на практике широко распространены резервированные системы, в которых сигналы широких интерфейсов непосредственно подаются на мажоритарные элементы комплектов. При этом, добиваясь приемлемого быстродействия системы, увеличивается сложность аппаратных средств, особенно системы комплексирования резервированной системы. В ходе исследования авторами предложено введение механизма мультиплексирования сигналов межкомплектного обмена резервированной системы, что значительно упростит работу системы комплексирования.

Целью проводимого исследования является повышение надежности резервированных систем управления с горячим резервированием аппаратных средств, не обладающих повышенным быстродействием. Для достижения поставленной цели решается задача применения мультиплексирования сигналов на входе мажоритарных элементов (в дальнейшем – МЭ) с последующим демultipлексированием сигналов на выходе последних. Цель достигается в том числе за счет упрощения системы комплексирования функциональных частей системы, которые должны функционировать в различных режимах резервирования, таких как повторительный, дублированный, мажоритарный.

Особенности структурной организации резервированных систем управления, рабо-

тающих в мажоритарном, дублированном и повторительном режимах и использующих в своем составе аппаратные средства функциональных частей, выполненных по схеме с горячим резервированием, представлены в ряде публикаций [1–3].

Модели и методы расчета надежности технических систем, в том числе резервированных, подробно представлены в публикациях [4, 5]. На практике, как правило в системах управления, работающих в реальном масштабе времени, с применением горячего резервирования, часто отдают предпочтение резервированным системам с дублированием аппаратных средств [3].

В работе [1] было показано, что повышение живучести мажоритарно-резервированной системы обеспечивается тем, что резервируются сигналы системных магистралей комплектов, как правило построенных по трехшинной структуре – шина адреса, шина данных, шина управляющих сигналов. В качестве примера может служить структура, приведенная в [1], изображенная на рис. 1.

На рис. 1 приведена система комплексов управления (ПУ) и контролируемых пунктов (КП) в основе построения которых применяются мажоритарно-резер-

вированные комплекты. Обмен информацией между комплектами осуществляется по межкомплектным связям, использующим в качестве среды передачи сигналов – физические проводные линии связи. Каждый из резервированных комплектов передает свои сигналы соседним комплектам (свой левому и свой правому) и принимает сигналы от соседних комплектов (от левого своему и от правого своему), которые поступают на входы мажоритарных элементов для дальнейшего формирования сигналов управления резервированных интерфейсов.

В работе [1] синтезирована функциональная схема управляемого мажоритарного элемента, а также представлена структурная схема резервируемого комплекта, изображенная на рис. 2.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

1) МИ – магистраль интерфейса резервируемого комплекта;

2) З – задатчик магистрали интерфейса МИ, включающий в себя, как правило, процессор, схему системы комплексов резервированных комплектов и управления межкомплектными связями, мажоритарные элементы, схемы формирования сигналов магистрали интерфейса;

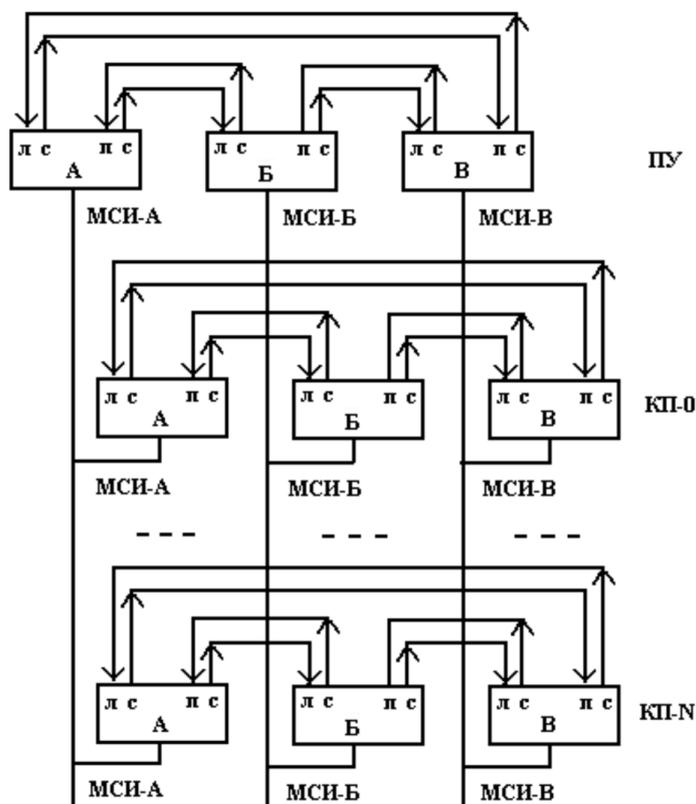


Рис. 1. Система комплексов управления ПУ-КП

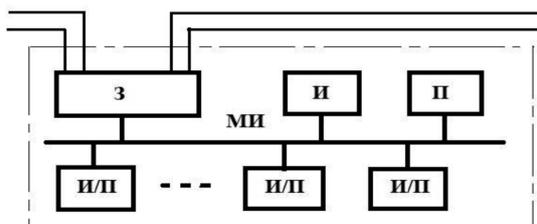


Рис. 2. Структурная схема комплекта

3) И, П, И/П – функциональные модули источники, приемники и комбинированные модули – источники/приемники данных по отношению к магистрали интерфейса резервированного комплекта.

*Синтез схемы резервированного комплекта*

Одним из основных недостатков мажоритарно-резервированных магистрално-модульных систем является аппаратная избыточность, обусловленная сложной схемой МЭ и наличием большого количества этих схем.

Решения, предложенные в [1], могут быть использованы при построении резервированных магистрално-модульных систем, в которых предъявляются высокие требования к повышенному быстродействию. При этом возрастает и громоздкость аппаратуры при построении таких систем, вызванная в том числе и наличием большого числа межкомплектных связей.

В том же случае, когда от системы не требуется высокого быстродействия, можно уменьшить аппаратные затраты на резервирование аппаратуры в части уменьшения количества МЭ, а значит, и упрощения межкомплектных связей за счет введения мультиплексирования сигналов на входах МЭ и демультимплексирования сигналов на выходах МЭ. Таким образом, можно перейти от резервирования сигналов широких интерфейсов с большим количеством сигнальных линий, подлежащих резервированию, к резервированию сигналов узких интерфейсов с малым количеством сигнальных линий.

В результате выполнения работы синтезирована схема резервированного комплекта для случая мажоритарного резервирования «2 из 3», представленная на рис. 3.

На схеме (рис. 3) приняты следующие обозначения:

1) ЗМЛ – задатчик магистрали локальный, включающий в себя, как правило, процессор, схему системы комплексирования резервированных комплектов и схему управления межкомплектными связями;

2) МЛИК – магистраль локального интерфейса комплекта;

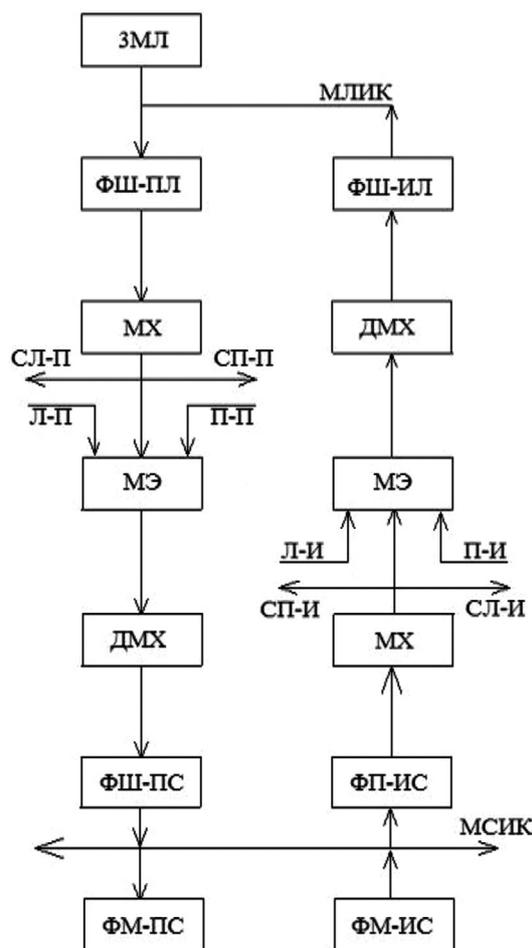


Рис. 3. Схема резервированного комплекта

3) ФШ-ПЛ, ФШ-ИЛ – формирователи шинные сигналов приемника и источника локального соответственно;

4) МХ – мультиплексоры сигналов на входах МЭ;

5) ДМХ – демультимплексоры сигналов на выходах МЭ;

6) ФШ-ПС, ФШ-ИС – формирователи шинные сигналов приемника и источника системного соответственно;

7) ФМ-ПС, ФМ-ИС – функциональные модули приемника и источника системного соответственно;

8) СЛ-П, СП-П, СЛ-И, СП-И – сигналы приемника и источника своего комплекта, передаваемые/принимаемые правому и левому комплекту соответственно;

9) Л-П, Л-И, П-П, П-И – сигналы приемника и источника от левого и правого комплекта, принимаемые своим комплектом;

10) МСИК – магистраль системного интерфейса комплекта.

Сигналы на входы МЭ подаются последовательно во времени с выхода МХ своего

комплекта. В то же время одновременно из соседних комплектов подаются сигналы, одноименные с сигналами своего комплекта. Сигналы, подлежащие мажоритированию на МЭ, поступают от задатчика или от функциональных модулей комплекта.

Основное отличие в системах резервирования магистрально-модульных систем, рассмотренных в [1] и в настоящей статье – в интерфейсах, сигналы которых подлежат голосованию на МЭ. В [1] рассмотрены вопросы мажоритарного резервирования сигналов широких интерфейсов, в настоящей статье – вопросы мажоритарного резервирования сигналов узких интерфейсов.

Основное различие заключается в том, что в первом случае мажоритирование сигналов осуществляется параллельно всех разрядов или локальных групп разрядов во времени, а во втором случае – последовательно всех разрядов или локальных групп разрядов во времени, что приводит к существенному сокращению числа мажоритарных элементов комплектов, работающих в различных режимах резервирования в мажоритарно-резервированных системах в режимах повторительном (1002, 1003), дублированном (2002), мажоритарном (2003).

Временные диаграммы работы схемы резервированного комплекта приведены на рис. 4.

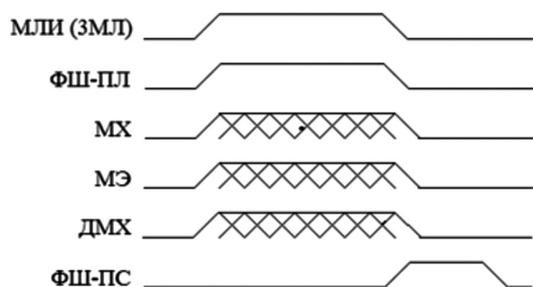


Рис. 4. Временные диаграммы работы схемы резервированного комплекта

Из временных диаграмм работы схемы резервирования комплекта, представленного на рис. 4, видно, что благодаря введению временного мультиплексирования сигналов на передающей стороне и демультиплексирования сигналов на приемной стороне, возможно использование одного мажоритарного элемента для получения мажоритарно-резервированных сигналов, при этом мажоритирование сигналов осуществляется последовательно разряд за разрядом, а с выхода мажоритарных элементов сигналы демультиплексируются и получается параллельный код на выходе системы комплек-

сирования резервированного комплекта. Количество шагов преобразования будет равно количеству разрядов, подлежащих резервированию. При этом существенно уменьшаются аппаратные затраты и упрощается схема межкомплектных связей резервированных комплектов.

Узкие интерфейсы характеризуются, в частности, простотой схемы межкомплектных связей, а значит, и простотой системы комплексирования. Это упрощает работу мажоритарно-резервированной системы, построенной по схеме резервирования «2 из 3», в частности возможность простой реализации межкомплектных связей, использующих, например, беспроводные каналы связи, в том числе радиоканал, оптический канал. В работе показан пример передачи данных между резервированными комплектами с использованием одного канала связи между ними.

При необходимости повышения быстродействия системы число каналов связи между комплектами может быть увеличено, например, до трех в случае, если для передачи адреса, данных и сигналов управления широких интерфейсов использовать отдельные каналы. Аппаратные затраты системы комплексирования резервированных комплектов при этом вырастут, в том числе и за счет усложнения схемы системы синхронизации работы комплектов.

Вопросы синхронизации работы различных комплектов подробно рассмотрены в работах [6, 7] и не рассматриваются в данной публикации с одной целью – упростить изложение и обеспечить доходчивость материала.

Использование мультиплексирования с последующим демультиплексированием сигналов, подлежащих резервированию, позволяет упростить систему комплексирования резервированных комплектов, а также осуществлять резервирование комплектов в распределенных системах управления, в том числе когда резервированные комплекты находятся на значительных и различных расстояниях друг от друга, в том числе размещенных на подвижных объектах.

### Выводы

В работе показано, что введение мультиплексирования в мажоритарно-резервированные системы позволит значительно упростить систему комплексирования резервированных комплектов при схеме резервирования «2 из 3» в режимах работы 1001, 1002, 1003, 2002, 2003, что в свою очередь позволит использовать в качестве межкомплектных связей беспроводные каналы связи, в том числе оптический и радиоканал, а значит, повысить живучесть систем

управления работающих в реальном масштабе времени в различных режимах резервирования: в режимах повторительном или нерезервируемом (1001, 1002, 1003), дублированном (2002), мажоритарном или резервируемом (2003).

#### Список литературы

1. Ксенофонтов А.С., Сыщевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Сыщевич С.Н. Повышение живучести мажоритарно-резервированных систем управления // Известия КБНЦ РАН. 2015. Том II. № 6 (68). С. 100–104.
2. Игнатущенко В.В. Организация структур управляющих многопроцессорных вычислительных систем. М.: Энергоатомиздат, 1984. 184 с.
3. Анищенко В.А., Мысло Е.Л., Иванова А.Н. Надежность дублированных технических систем с устройствами встроенного контроля // Энергетика. 2013. № 5. С. 5–10.
4. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем. М.: ЛЕНАНД, 2014. 256 с.
5. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности, изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Книжный дом «Либроком», 2012. 582 с.
6. Сыщевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Москаленко Л.А., Моллов М.З. Синхронизация работы мажоритарных элементов резервированных комплектов систем управления // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 8 (2). С. 261–264.
7. Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. М., 2003. 272 с.

УДК 691.54

**РАЗРАБОТКА ФИБРОБЕТОНОВ НА БЕСЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ****Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лисейцев Ю.Л., Пезин Д.Н.,  
Зеленский И.Р., Смоляков А.К., Хроменок Д.В.***ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, e-mail: roman44@ya.ru*

Статья посвящена проектированию составов и технологии изготовления высокотехнологичных бетонных композитов с заданными физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, необходимыми для конструкционных материалов особо ответственных сооружений. Определена оптимальная температура термической обработки геополлимерных образцов, а также зависимости «вяжущее-заполнитель» и «фиброволокно-бетонная смесь». В качестве контролируемых параметров выступали компоненты геополлимерных вяжущих, наполнитель, фиброволокно, условия твердения, прочностные характеристики и модуль упругости. Данные композиты разрабатывались по «зеленой» энерго- и ресурсоэффективной технологии на основе геополлимерных вяжущих. Исследованы щелочеактивированные вяжущие различного состава и дисперсно-армированные бетоны на их вяжущей основе. Произведен выбор наиболее эффективной золы уноса из трех крупнейших теплоэлектростанций Приморского края, данная зола уноса способна в присутствии метакеолина снизить количество непрореагировавшей фазы при затворении щелочным активатором. Выявлен механизм геополлимеризации щелочеактивированных вяжущих на основе золы уноса и на основе системы «зола уноса + метакеолин». Усовершенствована технология изготовления геополлимерных дисперсно-армированных бетонов, в частности доказано, что смешение фибры и золы уноса в жидкой фазе позволяет избежать комкования смеси. Экспериментально сравнено базовое сырье для геополлимерных фибробетонов: на основе щелочеактивированной системы «зола уноса + метакеолин» и на основе золы уноса.

**Ключевые слова:** щелочеактивированные вяжущие, геополлимеры, фибробетоны, зола уноса, метакеолин**CREATION OF FIBROUS CONCRETE ON CEMENT-FREE BINDERS****Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Liseytsev Yu.L., Pezin D.N.,  
Zelenskiy I.R., Smolyakov A.K., Khromenok D.V.***Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Far Eastern Federal University,  
Vladivostok, e-mail: roman44@ya.ru*

The article is devoted to the design of structures and manufacturing technology of high-tech concrete composites with given physical and mechanical properties and performance characteristics necessary for the construction materials of especially important structures. The optimum temperature for heat treatment of geopolymer samples, as well as the «binder-filler» and «fiber-concrete mix» dependencies, are determined. Components of geopolymer binders, aggregates, fiber, curing conditions, strength characteristics and modulus of elasticity were used as controlled parameters. These composites were developed using «green» energy- and resource-efficient technology based on geopolymer binders. Alkaline-activated binders of different composition and dispersion-reinforced concretes on their binding basis are investigated. The selection of the most efficient fly ash from the three largest thermal power plants of the Primorsky Territory has been made; this fly ash can, in the presence of metakaolin, reduce the amount of unreacted phase when mixed with an alkaline activator. The mechanism of geopolymerization of alkali-activated binders on the basis of fly ash and on the basis of the fly ash + metakaolin system has been revealed. Improved manufacturing techniques for geopolymer dispersion-reinforced concrete, in particular, proved that mixing fiber and fly ash in the liquid phase avoids clumping the mixture. Experimentally compared base raw materials for geopolymeric fiber concrete: based on the alkaline-activated «fly ash + metakaolin» system and on the basis fly ash.

**Keywords:** alkali-activated binders, geopolymers, fiber-reinforced concrete, fly-ash, metakaolin

Для высокотехнологичных сооружений стратегического значения требуется применение материалов, способных обеспечить безаварийное функционирование в условиях экстремальных воздействий. В частности, для таких ответственных объектов, как космодромы, шахтные пусковые установки, взлетно-посадочные полосы, в первую очередь необходима оптимизация таких характеристик конструкционных материалов, как статическая и динамическая прочность, износостойкость, жаропрочность.

Повышением прочности и износостойкости конструкционных сооружений занимались ведущие научные школы В.А. Graybeal [1, 2], D.-Y. Yoo [3, 4], В.С. Ле-

совика [5, 6], Ю.М. Баженова [7], Л.А. Урхановой [8] и др. Доказано, что проектирование высокоплотных и высокопрочных композитов нового поколения возможно только за счет синергетического воздействия органических и минеральных добавок, а также за счет управления структурообразованием на нано-, микро- и макроуровнях.

Защита сооружений от воздействий высоких температур и огня исследовалась Т.В. Загоруйко [9], Т.А. Хежевым [10], В.Л. Страховым [11] и др. Доказано, в частности, что хороший потенциал огнестойкости и жаропрочности имеют бесцементные («зеленые») материалы, например геополлимерные бетоны.

Здесь следует акцентировать внимание на том, что многотоннажное производство цемента значительно ухудшает экологическую среду обитания человека, поэтому необходимо стремиться минимизировать его применение. Таким образом, повышение эффективности бетонных композитов представляется перспективным осуществлять за счет применения малощелочного (или бесщелочного) вяжущего.

Одной из наиболее перспективных технологий строительных материалов, использующих в качестве сырья промышленные отходы, является производство композиционных геополлимерных (минерально-щелочных) вяжущих. Геополлимерные вяжущие представляют собой неорганические материалы, которые могут обеспечивать вяжущие характеристики в результате щелочной активации алюмосиликатной основы. Молекулы вяжущего представляют собой трехмерную сеть, в которой алюминат и силикаты ковалентно связаны путем совместного разделения атомов кислорода. Однако до настоящего времени модель и механизм геополлимеризации остаются малоизученными. Необходимы дополнительные исследования для понимания и контроля свойств полученных геополлимеров.

Основой для геополлимерных вяжущих служат отходы производства, такие как зола уноса теплоэлектростанций, гранулированный доменный шлак, зола рисовой шелухи, красный шлам (отходы обработки

боксита) и т.д. Фактически любой материал, который в основном состоит из алюмосиликата, может быть использован в качестве основного материала для производства связующего геополлимера.

Таким образом, применение геополлимерных вяжущих различных составов (и изготовленных по различной технологии) позволяет создавать композиты с заранее заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Однако для создания заданной структуры необходимо научное проектирование составов, а также теоретико-экспериментальный выбор технологии изготовления вяжущих.

Цель исследования: разработка геополлимерных вяжущих и фибробетонов на их основе с заданными физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, необходимыми для конструктивных материалов особо ответственных сооружений.

Для образцов применялись золы уноса крупнейших угольных теплоэлектростанций Приморского края: Артемовской ТЭЦ, Приморской ГРЭС и Партизанской ГРЭС (табл. 1). Зола уноса Партизанской ГРЭС, в отличие от зол двух других теплоэлектростанций, является низкокальциевой, поэтому более перспективной для щелочеактивированного вяжущего.

В качестве добавки к золе уноса в исследовании использовался метакаолин МКЖЛ (Челябинская обл.) (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав зол ТЭС Приморского края

Преобладающий тип угля		Теплоэлектростанция		
		Приморская ГРЭС	Артемовская ТЭЦ	Партизанская ГРЭС
		Лучегорский бурый (Бикинское месторождение)	Приморский бурый (Павловский разрез)	Нерюнгринский каменный
Содержание элементов в расчете на оксиды, %	SiO <sub>2</sub>	55,3	48,1	75,7
	TiO <sub>2</sub>	0,5	0,0	0,9
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,6	24,3	16,0
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,7	6,5	3,8
	CaO	12,5	14,7	1,0
	MgO	3,5	1,8	0,4
	K <sub>2</sub> O	1,0	1,2	1,2
	Na <sub>2</sub> O	0,4	0,2	0,3
	SO <sub>3</sub>	3,4	2,3	0,2
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,0	<0,1	0,1
	ZrO <sub>2</sub>	<0,1	<0,1	0,1
	MnO	<0,1	<0,1	0,2
	п.п.п	2,3	0,6	1,4

Таблица 2

## Химический состав метакаолина МКЖЛ

Оксид	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	ппп
Содержание, %	42–43	53–54	0,4–0,8	0,3–0,5	0,8–1,1	0,05	0,15	<1,5

В качестве щелочных активаторов при проведении экспериментальных исследований применялись растворы силиката натрия и гидроксида натрия. Гидроксид натрия (NaOH) был в форме гранул с чистотой 99%, в то время как силикат натрия (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) использовали в жидкой форме плотностью примерно 1,5 г воды на миллилитр при 20 °С с силикатным модулем 2,5 (SiO<sub>2</sub> / Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> = 30% и Na<sub>2</sub>O = 12%).

В качестве мелкого заполнителя применялся песок Раздольненского месторождения с модулем крупности 2,4. Данный песок относится к средним пескам и удовлетворяет по всем показателям требованиям ГОСТ 8735-88.

Для дисперсного армирования в данной работе использовалась стальная латунированная фибра (табл. 3).

Таблица 3

Технические характеристики применяемой стальной латунированной фибры

Характеристики	Показатели
Прочность на растяжение, МПа	600–1500
Диаметр волокна, мм	1,2
Длина волокна, мм	13
Модуль упругости, ГПа	190
Коэффициент удлинения, %	3,5
Температура плавления, °С	1550
Стойкость к щелочам и коррозии	средняя
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7800

Для затворения вяжущих, изготовления бетонных смесей использовалась вода КГУП «Приморский водоканал», удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов». Вода не содержит вредных примесей и имеет рН = 6,52. Общая жесткость воды составляет 0,41–0,60 мг-экв/л.

Методологической основой выполненных научных исследований является комплексный анализ системы «состав (сырье) – структура (сырье, материал) – свойства (материал)». Результаты исследования были получены с использованием современных научных методов исследования, при применении стандартизованных ме-

тодик определения состава и свойств сырьевых компонентов, вяжущего и бетона с использованием сертифицированного и поверенного оборудования Дальневосточного федерального университета [12], а также Института химии Дальневосточного отделения РАН.

*Теоретические исследования механизма геополимеризации*

Геополимерное вяжущее имеет механизм структурообразования, отличающийся от реакций гидратации портландцемента. Реакционные процессы в геополимерных вяжущих (реакции геополимеризации) в основном связаны с тремя процессами; первый процесс – это процессы растворения, в которых щелочной раствор растворяет алюмосиликатное сырье для высвобождения в смеси частиц алюминия и кремния. Эти растворенные алюминаты и силикаты гидролизуются и депротонируют с получением алюминатных и силикат-мономеров [Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup> и [Si(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup> соответственно. Второй процесс представляет собой процессы конденсации, в которых алюминатные и силикатные мономеры примыкают друг к другу путем совместного разделения атомов кислорода с образованием олигомеров и образованием более крупных сетей. Во время этого процесса вода, которая была израсходована во время процессов гидролиза, исключается из структуры. Последняя стадия происходит, когда смесь становится перенасыщенной алюмосиликатным гелем (который изначально обогащен связями алюминия). Большинство силикатов растворяется в смеси, где происходят процессы перегруппировки, и в алюмосиликатный гель вводится больше силикатов. Это увеличивает связь сети, и геополимерный гель начинает затвердевать [3]. Эти процессы описаны на рис. 1. Процессы геополимеризации контролируются несколькими факторами, которые в основном определяют скорость растворения. Основные факторы, влияющие на этот показатель, включают: количество реакционной фазы в исходном материале, размер частиц исходного материала, щелочность смеси, температура отверждения и количество сжиженного силиката, которое может быть получено щелочным раствором [2].

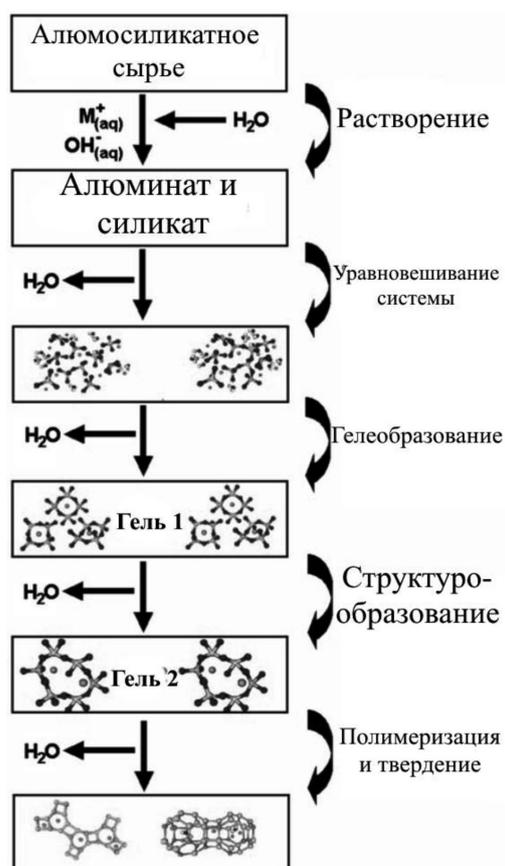


Рис. 1. Механизм геополимеризации

Разработка технологии производства геобетонов

Традиционным сырьем для производства геополимеров являются алюмосиликаты кислого состава различного происхождения с высоким содержанием рентгеноаморфной составляющей. Свойства геополимеров зависят от таких факторов, как физико-химические особенности сырья, степень кристалличности,

растворимость силикатной и алюминатной составляющих, а также их соотношение в общем объеме алюмосиликатного компонента. Таким образом, варьируя состав сырья, а также подбирая вид и концентрацию щелочного активатора, можно получать составы геополимерного вяжущего и композитов на его основе с различными характеристиками.

Для определения оптимального состава вяжущего и условий твердения было проведено двухфакторное варьирование «состав – температура» (табл. 4).

Выявлено, что оптимальный состав вяжущего 2-65, для него, как и для других составов, оптимальной температурой термической обработки в первые сутки является 65 °С. Технология изготовления геополимерного вяжущего включает в себя следующие этапы:

1. 16%-ный раствор NaOH смешивали с  $Na_2SiO_3$  (жидким стеклом).

2. Смесь разбавляли дополнительной водой для обеспечения удобоукладываемости геополимерной смеси после смешивания с золой – уноса и метаксаолином и получения пропорции  $Na_2SiO_3:NaOH:H_2O$  в массовом соотношении 2,5:1,0:0,7.

3. Полученная смесь перемешивалась в течение 5 мин; материал сразу же выливали в формы из нержавеющей стали и выдерживали в печи при 65 °С в течение 24 ч.

4. После этого образцы извлекали из форм и выдерживали в условиях окружающей среды со средней температурой и влажностью 32 °С и 65% соответственно, до дня испытания (28 суток).

Для повышения прочности на растяжение геополимерного композита был запроэкструирован мелкозернистый фибробетон на основе полученного вяжущего. В качестве варьируемых факторов принимались количество заполнителя и процент дисперсного армирования в объеме композита (табл. 5).

Таблица 4

Оптимизация состава и технологии получения вяжущего

Шифр состава вяжущего	Компоненты вяжущего, мас. %					Температура в первые сутки, °С	Прочность на сжатие, МПа
	Зола уноса	Метаксаолин	Жидкое стекло	16%-ный раствор NaOH	Вода		
1-50	30	30	30	6	4	50	22,54
2-50	33	33	20	8	6	50	24,30
3-50	36	36	15	7	6	50	20,77
1-65	30	30	30	6	4	65	26,32
2-65	33	33	20	8	6	65	34,23
3-65	36	36	15	7	6	65	24,37
1-80	30	30	30	6	4	80	28,56
2-80	33	33	20	8	6	80	25,85
3-80	36	36	15	7	6	80	29,36

Таблица 5

## Оптимизация состава геополимерного фибробетона

Шифр состава бетона	Вязущее, мас. %	Заполнитель, мас. %	Вода, мас. %	Фибра, мас. %	Модуль упругости, ГПа	Прочность на растяжение, МПа
2-65-0,5	46	46	7,5	0,5	23,6	2,21
2-65-0,5	30	58	11,5	0,5	24,0	2,21
2-65-0,5	21	63	15,5	0,5	23,6	2,28
2-65-3	45	45	7	3	26,1	3,61
2-65-3	29	57	11	3	26,3	3,64
2-65-3	20	62	15	3	25,9	3,45
2-65-5	44,5	44,5	6	5	25,3	2,62
2-65-5	28,5	56,5	10	5	25,3	2,61
2-65-5	19,5	61,5	14	5	25,0	2,61

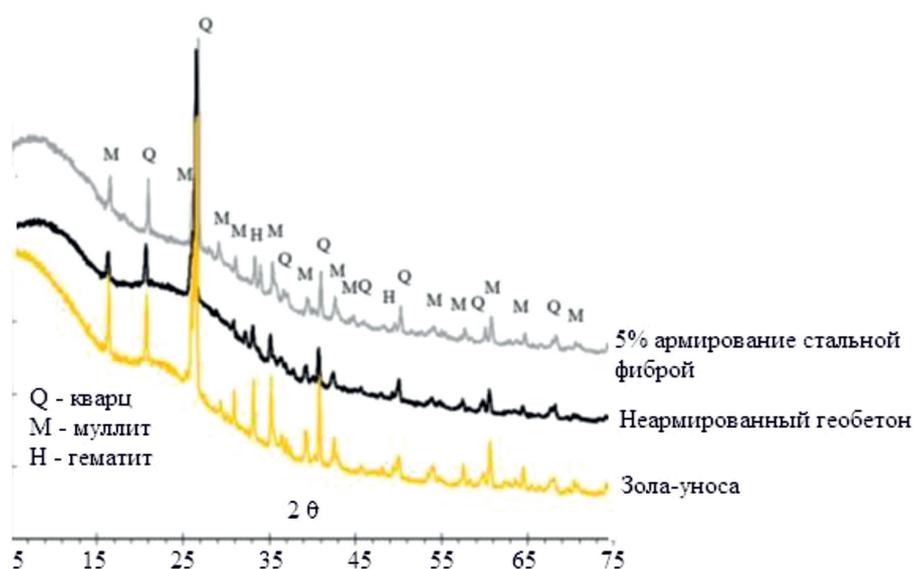


Рис. 2. Результаты РФА армированного и неармированного геобетона, а также исходной золы уноса

Выявлено, что при соотношениях «вяжущее – заполнитель» 1:1, 1:2, 1:3 физико-механические характеристики друг от друга отличаются незначительно. При этом, значения модуля упругости также между собой отличаются незначительно, вне зависимости от количества вводимой фибры и заполнителя. Это объясняется разработанным оптимальным составом геополимерной матрицы (табл. 4), что является основным для характеристик упругости материала. Однако при исследовании прочности на растяжение, выявлено, что введение фибры в количестве 3% увеличивает данный показатель на 60% по сравнению с 0,5%-ным армированием композита. При увеличении концентрации фибры до 5% отмечается некоторое снижение контролируемого параметра по сравнению с оптимальным составом.

Фибра добавлялась к щелочному активатору и перемешивалась для получения однородной суспензии. Полученная смесь добавлялась к золе уноса постепенно с водо-твердым соотношением 0,5 и следует отметить, что, согласно [13], в случае добавления фибры и золы уноса в сухие смеси, происходит накопление волокон фибры и зерен золы в определенном месте, неравномерности и агломерации их в геополимерной матрице, поэтому технология и была усовершенствована авторами – смешивание производилось в жидком виде.

На рис. 2 показаны рентгенограммы золы уноса, и геополимеров на основе золы уноса без армирования и с 5%-ным армированием. Как было замечено, геополимерная смесь на основе золы уноса состоит из основных кристаллических фаз

кварца и муллита (за счет золы уноса). Когда зола уноса реагирует с щелочными активаторами, ее аморфность уменьшается, и, следовательно, кристалличность геополимера увеличивается. Кроме того, РФА подтвердил, что включение фибры в геополимер на основе золы уноса не привело к образованию других кристаллических фаз в композите.

Микроструктура геополимера состоит в основном из трех фаз:

- геополимерная алюмосиликатная гелевая фаза, которая рассматривается как основная фаза геополимеров;
- фаза непрореагировавших и не полностью прореагировавших частиц;
- фаза пористой воды.

На рис. 3 показана микроструктура полученных геополимеров, по которой видно, что основу составляет алюмосиликатный гель (точки 4 и 5), также можно видеть большое количество непрореагировавших и не полностью прореагировавших округлых частиц золы уноса (точки 2 и 3 соответственно). Морфология золы уноса состоит из сферических частиц разного размера в диапазоне от 10 до 200 мкм, большинство из этих сфер являются сплошными, хотя имеются и полые сферы (точка 3 на рис. 2, а). На этом рисунке также показано образование новой кристаллической фазы, которая похожа на кристаллы цеолита, и эта фаза может рассматриваться как последняя стадия процессов геополимеризации. Одна-

ко некоторые из этих кристаллов первоначально существовали в составе исходных материалов, которые содержали кварц и гематит в виде кристаллической фазы; эти кристаллы представлены точками 6, 7 и 8 на рис. 3, б, г).

На рис. 3, в, показаны некоторые из частиц золы уноса, которые не полностью покрыты продуктами реакции, что указывает на неполные или слабые процессы геополимеризации. На этом рисунке также представлена вариация реакционной способности золы уноса, которая указывает на изменчивость свойств частиц золы уноса, частичное или неадекватное действие частиц золы уноса на реакции геополимеризации. Следовательно, будет трудно предсказать степень геополимеризации в случае использования золы уноса в качестве основы геополимера.

По сравнению с геополимером на основе только золы уноса, при добавлении к золе метаксаолина, геополимер демонстрирует более однородную микроструктуру с меньшим количеством непрореагировавшей или не полностью прореагировавшей фазы (рис. 2, д). Это связано с более высокой реакционной способностью метаксаолина. Напротив, геополимер на основе только золы уноса демонстрирует менее однородную микроструктуру, где присутствует большое количество непрореагировавших частиц (рис. 2, е). Эти частицы соединяются вместе продуктами реакции.

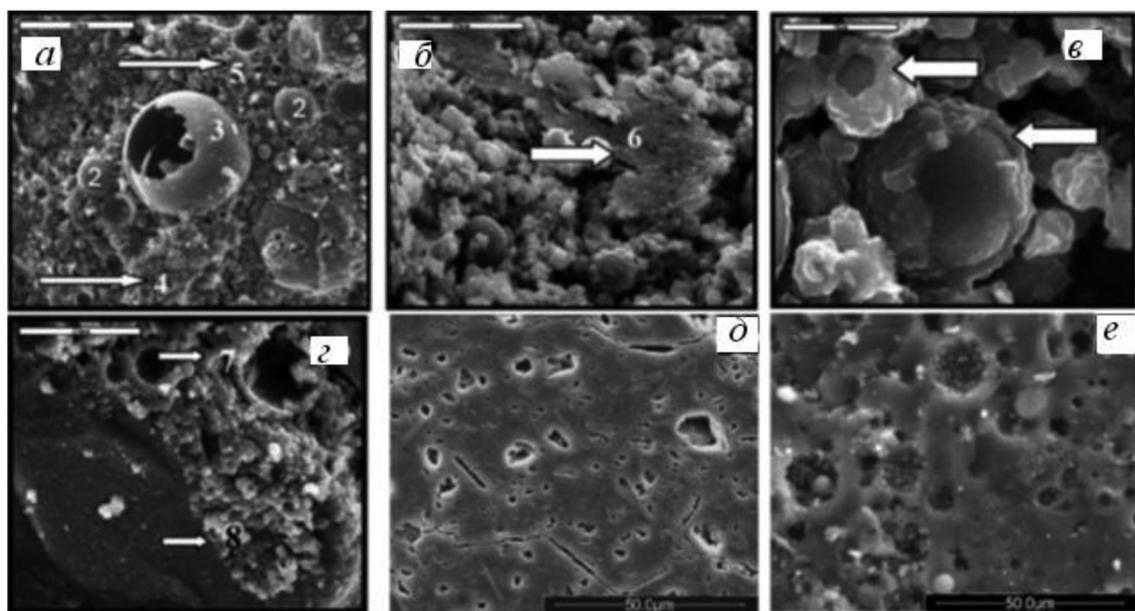


Рис. 3. Микроструктура геополимеров на основе золы уноса и метаксаолина: а, б, в – на основе золы уноса; г, д, е – на основе золы уноса и метаксаолина

Следует подчеркнуть, что степень реакции в основном зависит от морфологии исходных материалов [14, 15]. Частицы метакаолина, состоят из оксида алюминия и диоксида кремния в виде слоистых листов. По сравнению с частицами золы уноса, которые имеют сферическую форму, реакция растворения частиц метакаолина будет направлена от поверхностных слоев; в то время как для округлых частиц золы уноса продукты реакции растворения будут осажаться на наружную поверхность. Это приведет к появлению реакций в дополнительных слоях частиц метакаолина, в то время как для частиц золы уноса осажденные продукты будут инкапсулировать поверхность частиц и предотвращать дальнейшее растворение, в этом случае реакция будет контролироваться диффузией, и это замедлит скорость реакции, и большее количество частиц будет оставаться непрореагировавшими или частично прореагировавшими.

### Заключение

Разработаны геополимерные вяжущие различного состава. Оптимальные прочностные характеристики затвердевшего композита были для состава содержащего 33% золы уноса, 33% метакаолина, 20% жидкого стекла, 8% раствора NaOH и 6% воды. Твердение осуществляется в течение 24 ч при температуре 65 °С с дальнейшим выдерживанием в условиях окружающей среды со средней температурой и влажностью 32 °С и 65%. Соблюдение данной технологии позволило получить геополимерный композит с пределом прочности на сжатие 34 МПа.

Получая из данного композита мелкозернистый фибробетон, выявлено, что при соотношениях «вяжущее-заполнитель» 1:1, 1:2, 1:3 физико-механические характеристики друг от друга отличаются незначительно. При этом, для модуля упругости количество вводимой фибры и заполнителя также изменяет контролируемый параметр в узком диапазоне. Это объясняется разработанным оптимальным составом геополимерной матрицы, что является основным для характеристик упругости материала. Однако при исследовании прочности на растяжение выявлено, что введение фибры в количестве 3% увеличивает данный показатель на 60% по сравнению с 0,5%-ным армированием композита. При увеличении концентрации фибры до 5% отмечается некоторое снижение контролируемого параметра по сравнению с оптимальным составом.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на исследование таких эксплуатационных характеристик геополимерных бетонов, как морозостойкость, водопоглощение, износостойкость и т.д.

### Список литературы

1. Haber Z.B., Muñoz J.F., De la Varga I., Graybeal B.A. Bond Characterization of UHPC Overlays for Concrete Bridge Decks: Laboratory and Field Testing. *Construction and Building Materials*. 2018. vol. 190. P. 1056–1068. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.167.
2. De la Varga I., Spragg R., Muñoz J.F., Graybeal B.A. Cracking, Bond, and Durability Performance of Internally Cured Cementitious Grouts for Prefabricated Bridge Element Connections. *Sustainability*. 2018. vol. 10. no. 11. P. 3881. DOI: 10.3390/su10113881.
3. Yoo D.-Y., Banthia N. Mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete: A review. *Cement and Concrete Composites*. 2016. vol. 73. P. 267–280.
4. Yoo D.-Y., Banthia N., Yoon Y.-S. Predicting service deflection of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete beams reinforced with GFRP bars. *Composites Part B: Engineering*. 2016. vol. 99. P. 381–397.
5. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // *Вестник МГСУ*. 2017. № 1. С. 9–16.
6. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2018. № 7. С. 77–85.
7. Баженов Ю.М., Прошин А.П., Еремкин А.И., Королев Е.В. Сверхтяжелый бетон для защиты от радиации // *Строительные материалы*. 2005. № 8. С. 6–8.
8. Лесовик В.С., Урханова Л.А., Федюк Р.С. Вопросы повышения непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем // *Вестник ВСГУТУ*. 2016. № 1 (58). С. 5–10.
9. Загоруйко Т.В. Бетон повышенной термостойкости для огнестойких железобетонных изделий: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2015. 163 с.
10. Хезев Т.А. Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2007. 39 с.
11. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // *Строительные материалы*. 2002. № 6. С. 2–5.
12. Мочалов А.В., Федюк Р.С., Тимохин А.М., Муталибов З.А. Комплекс современных методов исследования минералов в Дальневосточном федеральном университете // *Уральская минералогическая школа*. 2016. № 22. С. 70–72.
13. Ranjbar N., Talebian S., Mehrali M., Kuenzel C., Metselaar H.S.C., Jumaat M.Z. Mechanisms of interfacial bond in steel and polypropylene fiber reinforced geopolymer composites. *Composites Science and Technology*. 2016. no. 122. P. 73–81.
14. Батаршин В.О., Федюк Р.С., Струк К.В., Бутенко Ю.В. Особо тяжелые бетоны специального назначения // *Фундаментальные основы строительного материаловедения Сборник докладов Международного онлайн-конгресса*. 2017. С. 258–267.
15. Смоляков А.К., Федюк Р.С. Разработка бетона на композиционных вяжущих для высокопрочных фортификационных сооружений // *Строительство-2016: материалы II Брянского международного инновационного форума*. 2016. С. 143–147.

УДК 373.57

## МОДЕЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЛИЧНОСТНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ СИТУАЦИЙ УСПЕХА

Алейникова Н.Ю.

*ГАОУ ВО города Москвы «Московский городской педагогический университет»,  
Москва, e-mail: nina.25@bk.ru*

Несмотря на большой педагогический потенциал применения ситуации успеха в качестве средства педагогического сопровождения личностного самоопределения старшекласников, в настоящее время существует необходимость совершенствования методики педагогического сопровождения старшекласников с учетом новых требований к уровню образования и развития выпускников. Это обуславливает противоречия между: характерными для старшекласников проявлениями пессимистических ожиданий, вызванными негативным отношением окружающих к их успехам или неудачам, и традиционными средствами педагогического сопровождения, специально не ориентированными на обеспечение положительного переживания личностью собственных достижений; необходимостью активизации субъектной позиции старшекласников в моделируемых педагогами ситуациях взаимодействия участников образовательных отношений и недостаточным учётом личностных индивидуальных предпочтений обучающихся в процессе педагогического сопровождения их личностного самоопределения. В данной статье рассмотрена сущность ситуации успеха как средства педагогического сопровождения, а также представлена теоретическая модель педагогического сопровождения личностного самоопределения старшекласников, с применением в образовательном процессе ситуаций успеха, описаны разработанные критерии и показатели оценки уровня развития личностного самоопределения старшекласников. В статье педагогические ситуации успеха рассматриваются как средство педагогического сопровождения, интегрирующее когнитивный, эмоционально-ценностный, деятельностный компоненты субъектного опыта и представляющие возможность личностной самореализации и самоопределения подростков.

**Ключевые слова:** самоопределение старшекласников, личностное самоопределение, ситуация успеха, педагогическое сопровождение, теоретическая модель

## MODEL OF PEDAGOGICAL SUPPORT OF PERSONAL SELF-DETERMINATION OF HIGH SCHOOL STUDENTS WITH THE USE IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF SUCCESS SITUATIONS

Aleynikova N.Yu.

*State Autonomous educational institution of higher education of the city of Moscow  
«Moscow City Pedagogical University», Moscow, e-mail: nina.25@bk.ru*

Despite the great pedagogical potential of applying the situation of success as a means of pedagogical support for the personal self-determination of high school students, there is currently a need to improve the methods of pedagogical support for high school students to meet new educational requirements for graduates. This causes contradictions between: characteristic for high school students manifestations of pessimistic expectations, caused by the negative attitude of others to their successes or failures, and traditional means of pedagogical support, which are not specifically aimed at ensuring a positive person's personal experience; the need to enhance the subjective position of high school students in situations simulated by teachers of interaction between participants of educational relations and insufficient consideration of personal individual preferences of students in the process of pedagogical support of their personal self-determination. The essence of the situation of success as a means of pedagogical support is considered in this article, as well as a theoretical model of pedagogical support for personal self-determination of high school students with the use of success situations in the educational process is described, developed criteria and levels for assessing the formation of personal self-determination of high school students. The article considers pedagogical situations of success as a means of pedagogical support, integrating cognitive, emotional-axiological, activity components of subject experience and representing the possibility of personal self-realization and self-determination of adolescents.

**Keywords:** self-determination of senior pupils, personal self-determination, the situation of success, pedagogical support, theoretical model

Одним из важнейших условий эффективности функционирования современной системы образования является создание такого пространства для обучающихся, в котором каждый участник образовательных отношений будет осознавать личностную значимость учебно-познавательной деятельности, сможет критически оценивать ее результаты, а также ориентироваться

на успех. Стремление к успеху, являющееся доминантой в сознании школьника, есть важнейшая составляющая развития позитивного «образа Я», а также основа личностного самоопределения человека. В данной связи очевидной становится необходимость развития личностного самоопределения обучающихся, благодаря специально организованной системе пе-

дагогического сопровождения. Одним из средств педагогического сопровождения, отвечающих вышеуказанному приоритету, является ситуация успеха.

Цель исследования: разработать, обосновать и экспериментально апробировать модель педагогического сопровождения личностного самоопределения старшеклассников с применением в образовательном процессе ситуаций успеха.

#### **Методы исследования:**

1) общетеоретические (библиографический и ретроспективный анализ, сравнение, обобщение, синтез);

2) эмпирические (наблюдение, педагогический эксперимент, прогнозирование, моделирование, тестирование, анкетирование, ранжирование, метод экспертных оценок).

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

Возраст ранней юности является одним из ключевых в развитии личности. Именно в данный период происходит формирование личностной идентичности и развитие личностного самоопределения, которое определяет успешность дальнейшего жизненного и профессионального пути человека.

В научном поле не существует единства понимания сущности личностного самоопределения. Так, в зарубежной литературе обоснование понятия «личностное самоопределение» вариативно и рассматривается в зависимости от степени свободы индивида от определенных внутренних и внешних условий.

З. Фрейд высказывал мнение о том, что абсолютно любые проявления активности личности напрямую обусловлены бессознательным. По его мнению, человек живет лишь «иллюзией свободы», в реальной действительности не обладая способностью выбрать между различными способами поведения и действия.

Э. Эриксон обращал большее внимание не на бессознательное в поведении человека, а на сознательное. Его основной вклад в разработку проблемы личностного самоопределения – создание и развитие теории идентичности или психосоциальной тождественности личности. Под идентичностью он понимал «твердо усвоенный и личностно понимаемый образ себя во всем богатстве отношений личности к окружающему миру с соответствующими формами поведения». Согласно мнению ученого, основа развития идентичности закладывается в юношеском возрасте [1, с. 132].

Экзистенциалисты (Р. Мей, В. Франкл, Э. Фромм), а также представители когнитивной и социально-когнитивной психологии

(А. Бандура, Дж. Келли) признавали равенство детерминизма и свободы. По мнению А. Адлера, А. Маслоу и К. Роджерса, человек обладает абсолютной свободой.

Термин «самоопределение» широкомаштабно в своих трудах использует Ш. Бюлер. По ее мнению, самоопределение, так же как и стремление к самоосуществлению, присущи человеку с самого рождения и обуславливают развитие личности. Самоосуществлением автор называет «процесс, который в зависимости от возраста выступает, то как хорошее самочувствие, то как переживание завершения детства, то как самореализация, то как самозавершенность, в итоге реализации целей» [2, с. 31]. Специфика данного процесса определяется самоопределением человека, которое, в свою очередь, является способностью личности ставить цели, адекватные его внутренним особенностям.

В отечественной науке разработкой проблемы личностного самоопределения занимались Л.И. Божович, М.Р. Гинзбург, Н.С. Пряжников, С.Л. Рубинштейн, Ф.Р. Филиппов, М.М. Шибалева и др.

Особый интерес представляет позиция, отраженная в работах М.Р. Гинзбурга. Он трактует личностное самоопределение, применяя сразу полный спектр параметров, которые другие исследователи определяли обособленно друг от друга, а именно, рассматривает личностное самоопределение и как «явление», и как «процесс». М.Р. Гинзбург разработал и обосновал структуру личностного самоопределения, выделив в ней следующие компоненты: психологическое прошлое, настоящее и будущее. Все эти компоненты имеют пространственно-временные и ценностно-смысловые аспекты [3, с. 229], что позволило трактовать изучаемый феномен как «обретение человеком ценностно-смыслового единства и самореализации». Таким образом, позиция М.Р. Гинзбурга является наиболее полной, и отражающей синтез взглядов отечественных и зарубежных исследователей [4, с. 49].

Обращаясь к рассмотрению факторов, влияющих на развитие личностного самоопределения старшеклассников, особое внимание уделим образовательному процессу. Е.В. Демченко делает акцент на взаимообусловленности самоопределения личности и образовательного процесса. По мнению исследователя, «с одной стороны, самоопределение личности, её выбор формируют позицию по отношению к образованию, с другой – образование влияет на самоопределение» [5].

По мнению Е.А. Сорокоумовой, современный продукт образовательной систе-

мы – это «личность, обладающая индивидуальностью, способная к непрерывному образованию, к гибкому изменению способов своей образовательной, профессиональной и социальной деятельности, умеющая работать с другими и над собой, причем работать не по стереотипу, а с учетом меняющихся условий, требований и т.д.» [6, с. 98]. Данное положение еще раз подтверждает необходимость разработки специальных механизмов и проектирования условий, которые будут способствовать эффективности процесса развития личностного самоопределения школьников.

По мнению В.А. Слостенина, важнейшим механизмом стимулирования учебной деятельности обучающихся является ситуация успеха. Создание ситуаций успеха должно быть основано на дифференцированном подходе, исходя из личностных особенностей и выявленных у каждого конкретного обучающегося трудностей [7, с. 302].

Г.А. Цукерман считает, что ситуация успеха является важным фактором организации подлинного сотрудничества между учителем и обучающимся [8, с. 22]. Подобной позиции придерживается и И.С. Хохлов. Согласно мнению исследователя, потребность в обучении и получении новых знаний может быть сформирована только на основе доброжелательных взаимоотношений между педагогами и обучающимися, построенных на уважении и в то же время требовательности. Уверенность школьникам призвана дать ситуация успеха, которая позволит укрепить чувство собственной значимости [9, с. 103].

С точки зрения С.А. Смирнова, важно уделять особое внимание созданию атмосферы доброжелательности при выполнении различных заданий, в том числе и учебных, формировать справедливое отношение учителя ко всем обучающимся, объективно оценивая их учебные успехи. Важно организовать условия, при которых развитие способностей ребенка происходит максимально эффективно и гармонично. Такие условия призваны обеспечивать внутренний покой обучающихся и уверенность в собственных силах. Их соблюдение возможно при систематическом создании ситуаций успеха [10, с. 192].

С.М. Мантров считает, что «педагогические ситуации успеха, как средство педагогического сопровождения, интегрируют когнитивный, эмоционально-ценностный, деятельностный компоненты субъектного опыта и представляют возможность личностной самореализации и самоопределения» [11, с. 18].

Таким образом, ситуация успеха обладает выраженным педагогическим потенциалом в развитии личности школьников, а также является одним из средств развития личностного самоопределения.

На основании проведенного теоретического анализа и выделенных концептуальных положений, нами была разработана теоретическая модель педагогического сопровождения личностного самоопределения старшеклассников с применением в образовательном процессе ситуаций успеха, в которой были выделены следующие взаимосвязанные компоненты:

1) целевой, в рамках которого, была сформулирована цель и задачи реализации модели, а также определены основополагающие подходы и принципы, выступающие базисом построения содержания последующей деятельности;

2) организационный, отражающий организационно-педагогические условия, необходимые для успешной реализации деятельности по сопровождению личностного самоопределения старшеклассников;

3) функционально-содержательный, который обозначает функции моделируемой деятельности, а также основные этапы реализации теоретической модели, формы и методы, применяемые в работе со старшими школьниками;

4) оценочно-рефлексивный, содержащий в себе критерии и уровни оценки эффективности моделируемой деятельности, соотносящиеся с ожидаемым результатом.

Основой построения и реализации модели педагогического сопровождения личностного самоопределения старшеклассников с применением в образовательном процессе ситуаций успеха явились следующие методологические подходы: системный, аксиологический, индивидуально-дифференцированный, личностно-ориентированный.

На основании поставленной цели и задач, а также с опорой на выделенные методологические подходы и принципы, в рамках организационного компонента, нами были спроектированы организационно-педагогические условия реализации основных мероприятий модели, а именно:

1) обеспечение доверительных отношений в системе «учитель – обучающийся» и создание доброжелательной атмосферы в классном коллективе;

2) разработка алгоритма и систематическое применение ситуаций успеха в урочной и внеурочной деятельности;

3) организация взаимодействия всех участников образовательных отношений, влияющих на личностное самоопределение старшеклассников;

Критерии и показатели оценки уровня  
развития личностного самоопределения старшеклассников

Критерии оценки уровня развития личностного самоопределения старшеклассников	Показатели оценки уровня развития личностного самоопределения старшеклассников
Когнитивный	1. Наличие целей в жизни и жизненной перспективы. 2. Уровень осмысленности жизни и прошлого опыта. 3. Осознание ответственности за собственные действия и управление собственной жизнью
Ценностно-мотивационный	1. Ориентация на социально значимые ценности. 2. Сформированность мотивации достижения успеха
Эмоционально-волевой	1. Уровень тревожности. 2. Уровень самооценки. 3. Способность к волевым усилиям и управлению собственными эмоциями
Деятельностный	1. Активность в различных видах деятельности. 2. Способность к установлению и поддержанию контактов с окружающими

4) индивидуально-дифференцированная и личностно-ориентированная организация образовательного процесса;

5) организация комплексного, систематического мониторинга развития личностного самоопределения старшеклассников.

Основными методами реализации теоретической модели педагогического сопровождения личностного самоопределения старшеклассников выступили: игровые, проблемно-поисковые, творческие.

Для оценки эффективности реализации моделируемой деятельности, в рамках оценочно-рефлексивного компонента, были определены (на основе выделенных Л.Н. Кузнецовой и Т.А. Шульгиной критериев личностного самоопределения) показатели оценки уровня развития личностного самоопределения старшеклассников.

На основе критериев и показателей оценки уровня развития личностного самоопределения старшеклассников, была выстроена трехуровневая система оценки, которая позволит ранжировать участников исследуемых групп по общему показателю уровня развития личностного самоопределения.

**Высокий уровень.** Старшеклассники с высоким уровнем развития личностного самоопределения имеют цели в жизни, осмысленно относятся к прошлому опыту и готовы самостоятельно нести ответственность за результаты собственной деятельности, а не приписывают успехи и неудачи внешним детерминантам. Они умеют устанавливать и поддерживать позитивные (компетентные) взаимоотношения с окружающими, при этом сохраняя автономию, так как способны прогнозировать результаты собственных действий и соотносить

их с системой общественных норм. Преобладает потребность в достижении успеха, трудности и неудачи воспринимаются ими как временные, которые поддаются разрешению при приложении определенных волевых усилий. У старшеклассников сформированы смысложизненные ориентации и социально значимые ценности, они готовы проявлять личностную активность в различных видах деятельности. Помимо этого, старшеклассники обладают сформированной системой знаний о себе как субъекте жизнедеятельности и реализуемых социальных ролях, адекватной самооценкой и нормальным уровнем тревожности.

**Средний уровень.** Старшеклассники имеют нечеткие цели в жизни, так как не обладают сформированной системой знаний о себе как субъекте деятельности (сформированы только основные смысложизненные ориентации, характер ценностей разрозненный). Самооценка старшеклассников носит нестабильный характер, может быть несколько завышена или занижена. Мотивация достижения успеха и избегания неудач равнозначны, а ответственность за собственные действия (успехи или неудачи) в равной степени приписываются как внутренним, так и внешним детерминантам. Взаимоотношения с окружающими носят зависимый характер, подвержены мнению окружающих. Активность в различных видах деятельности имеет ситуативный характер и зависит в большей степени от внешних факторов. Уровень тревожности может быть завышен.

**Низкий уровень.** Старшеклассники не имеют осознанных целей в жизни, не способны к анализу опыта социального взаимодействия, собственные смысложиз-

ненные ориентации не сформированы. Ответственность за результаты своих действий они возлагают на внешние детерминанты, так как практически не способны к волевым усилиям для преодоления трудностей. Самооценка у таких старшеклассников неадекватна, а уровень тревожности может быть как очень высоким, так и очень низким. Взаимоотношения с окружающими выстроены формально, возникают трудности в процессе установления новых контактов. В различных видах деятельности старшеклассники мало заинтересованы, проявляют низкую активность, могут воспринимать мнение окружающих негативно, враждебно или, наоборот, полностью следовать ему. Преобладает мотивация избегания неудач, волевых усилий для разрешения трудностей старшеклассники не прикладывают. Общие знания о себе как субъекте деятельности не сформированы, выполнение социальных функций затруднено.

### Заключение

Таким образом, сконструированная на основе теоретического анализа педагогического потенциала ситуации успеха, в контексте личностного самоопределения, модель педагогического сопровождения личностного самоопределения старшеклассников создает предпосылки системной организации образовательного процесса, позволяющей в перспективе достичь поставленной цели.

### Список литературы

1. Эриксон Э. Идентичность: юность и кризис / Под ред. А.В. Толстых. М., 1996. 236 с.
2. Charlotte Bühler: Selbstdarstellung. In: Ludwig Pontratz u. a. (Hrsg.): Psychologie in Selbstdarstellungen. Band 1. Huber, Bern u. a. 2010. P. 9–42.
3. Алисов Е.А. Виртуальные и сенсорно-экологические ценности современного образовательного пространства // Виртуальное пространство культуры. Сборник научных статей / Под ред. Е.В. Листвиной. Саратов: Издательский центр «Наука», 2008. С. 229–235.
4. Гинзбург М.Р. Психологическое содержание личностного самоопределения // Вопросы психологии. 1994. № 3. С. 43–50.  
Демченко Е.В. К вопросу о концептуальных основах самоопределения личности в условиях интеркультурного диалога [Электронный ресурс]. URL: [http://www.pglu.ru/lib/publications/University\\_Reading/2011/XII/uch\\_2011\\_XII\\_00004.pdf](http://www.pglu.ru/lib/publications/University_Reading/2011/XII/uch_2011_XII_00004.pdf) (дата обращения: 17.07.2018).
5. Сорокоумова Е.А. Типовые и уровневые характеристики понимания ситуаций взаимодействия и общения с современными подростками // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Психологические науки». 2011. № 1. С. 95–105.
6. Сластенин В.А. Исаев И.Ф., Шиянов Е.Н. Педагогика: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / 4-е изд., стереотип. М.: Издательский центр «Академия», 2015. 576 с.
7. Цукерман Г.А. Развитие учебной самостоятельности М.: ОИРО, 2010. 432 с.
8. Хохлов И.С. Как удержать внимание детей // Воспитание школьников. 1997. № 2. С. 42–48.
9. Смирнов С.А., Котова И.Б. и др. Педагогика: педагогические теории, системы и технологии / Под ред. С.А. Смирнова. 4-е изд., испр. М.: Изд. центр «Академия», 2014. 533 с.
10. Мантрова С.М. Ситуация успеха как фактор развития позитивного образа я современного подростка // Вестник ОГУ. 2013. № 2 (151). С. 15–20.

УДК 378.147

## **ПОВЫШЕНИЕ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «РЕКЛАМА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ» В ПРОЦЕССЕ ПРЕДМЕТНО-ЯЗЫКОВОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ (CLIL)**

**Баранова Т.А., Кобичева А.М., Токарева Е.Ю.**

*ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
Санкт-Петербург, e-mail: baranova.ta@flspbpu.ru, kobicheva92@gmail.com, tokareva.euy@gmail.com*

В последнее десятилетие в европейских странах активно развивается предметно-языковое интегрированное обучение. Данная статья посвящена реализации идеи предметно-языкового интегрированного обучения в системе высшего профессионального образования и оценке влияния применения данной методики на мотивацию обучающихся, а также проанализирована взаимосвязь между результатами обучения иностранному языку и мотивационными аспектами. В Санкт-Петербургском политехническом университете был проведен эксперимент по внедрению CLIL в учебную программу четвертого курса кафедры «Реклама и связи с общественностью». Методика CLIL была использована в процессе изучения одной из профессиональных дисциплин – Международный бизнес. В статье представлено сравнение результатов тестирования по английскому языку для обеих групп. Для анализа мотивации студентов были выделены следующие показатели: желание изучать английский язык после университета, волнение, позитивное отношение к английскому языку, самооценка и требовательность к себе. Таким образом, на основе полученных данных в статье изучаются и сравниваются достижения студентов из CLIL и не-CLIL групп, анализируются изменения в мотивации студентов к обучению, а также проводится статистический анализ мотивационных аспектов студентов обеих групп.

**Ключевые слова:** предметно-языковое интегрированное обучение, повышение мотивации студентов, иноязычная компетенция

## **IMPROVING THE MOTIVATION OF STUDENTS FROM DEPARTMENT «ADVERTISING AND PUBLIC RELATIONS» IN THE PROCESS OF CONTENT AND LANGUAGE INTEGRATED LEARNING (CLIL)**

**Baranova T.A., Kobicheva A.M., Tokareva E.Yu.**

*Saint-Petersburg Peter the Great Polytechnic University, Saint-Petersburg,  
e-mail: baranova.ta@flspbpu.ru, kobicheva92@gmail.com, tokareva.euy@gmail.com*

In the last decade, subject-language integrated learning has been actively developing in European countries. This article is devoted to the implementation of the idea of content-language integrated education in the system of higher professional education and the assessment of the impact of the application of this methodology on students' motivation, and also analyzed the relationship between foreign language learning results and motivational aspects. In St. Petersburg Polytechnic University, an experiment was conducted on the implementation of CLIL in the curriculum of the 4 course of the department «Advertising and Public Relations». The CLIL methodology was used in the process of studying one of the professional disciplines – International Business. The article presents a comparison of the results of testing in English for both groups. For the analysis of student motivation, the following indicators were highlighted: the desire to learn English after university, anxiety, a positive attitude towards the English language, self-esteem and self-demand. Thus, on the basis of the data obtained, the article examines and compares the achievements of students from CLIL and non-CLIL groups, analyzes changes in students' motivation to learn, and also conducts a statistical analysis of the motivational aspects of students in both groups.

**Keywords:** content and language integrated learning, increasing students motivation, foreign language competence

В концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации, разработанной на период до 2020 г., формирование инновационной экономики (которая указана в качестве ключевой стратегической цели Российской Федерации) обусловлено модернизацией образовательной системы, которая является основой стабильного социально-экономического развития общества, основополагающего фактора благосостояния граждан и безопасности страны [1].

Система образования в настоящее время ставит перед собой следующие задачи:

– разработка и внедрение новых эффективных форм и методов обучения;

– непрерывный процесс модернизации содержания образовательных программ;  
– повышение качества образования и улучшение результатов обучения.

В основе обучения лежит системный подход, позволяющий сформировать способность «учиться». Данный подход обеспечивает студентов такими социально значимыми навыками, как эрудиция, знание законов и коммуникативные навыки. В настоящее время общество нуждается в специалистах, обладающих развитыми коммуникативными навыками, проявляющими настойчивость и готовность к исследовательской деятельности. Учебные заведения должны обучать молодых людей

согласно данным требованиям, повышая их конкурентоспособность на рынке труда. Методика CLIL рассматривается как один из эффективных способов развития необходимых социально значимых навыков и позволяет учебным заведениям успешно подготовить будущего специалиста к зарубежной профессиональной коммуникации.

В Санкт-Петербургском политехническом университете был проведен эксперимент по внедрению CLIL в учебную программу кафедры «Реклама и связи с общественностью». Методика CLIL была использована в процессе изучения одной из профессиональных дисциплин с целью повышения мотивации студентов к изучению английского языка.

Мотивационный аспект оказывает огромное влияние на качество образовательного процесса. Мотивация играет решающую роль в совершенствовании процесса обучения; она способствует развитию интеллектуальной деятельности и, в конечном счете, ведет к повышению эффективности учебного процесса.

В данной статье проводился анализ мотивации студентов из двух разных групп – обучающихся по методике CLIL и обучающихся по традиционной методике. Мотивационные аспекты классифицировались по пяти основным показателям: желание изучать английский язык после университета, волнение, позитивное отношение к английскому языку, самооценка и требовательность к себе. Также нами была оценена степень значимости влияния уровня мотивации студентов на их показатели знания иностранного языка после прохождения курса.

Следующие вопросы составляют основу данного исследования:

1. Существуют ли статистически значимые различия между уровнями достижений в сфере владения иностранным языком студентов CLIL и не-CLIL групп?

2. Являются ли студенты CLIL более заинтересованными в изучении английского языка, чем студенты не-CLIL? Значительны ли различия в уровне мотивации?

3. Как влияют мотивационные аспекты на языковые достижения студентов CLIL и не-CLIL?

### Материалы и методы исследования

В последнее десятилетие в европейских странах активно развивается предметно-языковое интегрированное обучение. В российских университетах эта методика только появляется и уже заслуженно занимает свое место в образовательных программах лучших учебных заведений. Методика CLIL рассматривается как один из эффективных способов развития междисциплинарных связей и позволяет учебным за-

ведениям успешно подготовить будущего специалиста к зарубежной профессиональной коммуникации.

Одним из основных преимуществ, выдвинутых сторонниками этого подхода, является повышение мотивации студентов в результате участия в таких программах. Поскольку мотивация является одним из наиболее влиятельных индивидуальных факторов, когда речь заходит об обучении, предполагается, что преимущества этого подхода очевидны.

Противники методологии предметно-языкового интегрированного обучения утверждают, что объединение двух дисциплин в процессе одного урока отрицательно влияет на результаты обучения, так как студенты обращают внимание только на один из двух предметов.

Однако до сих пор разница в мотивации и результатах обучения при сопоставлении традиционных методов обучения и предметно-языкового интегрированного обучения недостаточно исследована.

Предметно-языковое интегрированное обучение (CLIL) является результатом работы группы ученых из ведущих европейских университетов, среди которых можно отметить следующих: David Marsh, Do Coyle, Oliver Meyer, Victor Pavon и другие. Данная методология означает «предметно-языковое интегрированное обучение», что позволяет применить ее по отношению к образовательным программам, ориентированным на два предмета [2]. При этом дисциплина преподается для студентов на иностранном языке, на котором проходит весь курс обучения [3].

Принципиальные отличия CLIL от других аналогичных методов, таких как EMI (English as Medium of Instruction) и ESP (English for special purposes) не очевидны без детального изучения. На практике видно, что данный подход соотносит языковой компонент и профессионально-ориентированное содержание специальной дисциплины в равной степени, не отмечая более важный из двух компонентов.

Западные учителя, которые были в числе первых, применявших подход CLIL в своей практике, уделяли особое внимание повышению мотивации обеих сторон, как учителей иностранного языка, так и учеников [4]. Среди студентов CLIL рассматривается как «инвестиция в развитие своей личности» и особенно ценится возможность изучения новых дисциплин, не задумываясь о языке.

Метод CLIL имеет свои ограничения. Во-первых, важно отметить, что студенты, а также преподаватели должны иметь возможность говорить на иностранном языке достаточно хорошо. Кроме того, ожидается, что студенты будут развивать грамотность и познавательные навыки. Особое внимание в рассматриваемой методологии уделяется когнитивной концепции. Это обусловлено таким формированием эффективной учебной среды, которая способствует развитию у студентов познавательных способностей. Применение CLIL в практической деятельности, по мнению Виктора Павона, приведет к серьезным изменениям в компетенциях самого преподавателя, который работает в соответствии с принципами этого подхода. По словам Терезы Тин, когнитивный компонент этой техники предполагает создание эффективной учебной среды, с помощью которой ученикам предлагается развивать когнитивные способности [5].

Анализ литературы показал, что до сих пор не найдено готовых решений или универсальных рекомендаций по преодолению многих трудностей на пути внедрения предметно-языкового интегрированного об-

учения в высшем образовании [6]. Проблемы заключаются в следующем: отсутствие владения английским языком у студентов и преподавателей для проведения лекций и их восприятия на иностранном языке так же эффективно, как и на их родном языке; сложность в реализации эффективного сотрудничества преподавателей иностранных языков и учителей специальных дисциплин с целью разработки учебных материалов и повышения навыков владения английским языком как студентами, так и преподавателями [7, 8].

В России были предприняты следующие попытки реализации подходов и моделей междисциплинарной интеграции [9]:

1. В Томском политехническом университете были сформированы междисциплинарные педагогические тандемы.

2. В Казанском федеральном университете и в Ижевском государственном техническом университете им. М.Т. Калашникова были разработаны программы для изучения языка на занятиях по профессиональным дисциплинам.

3. В Санкт-Петербургском политехническом университете было несколько проектов, а именно: программа для ознакомления с темами профессиональных дисциплин на уроках иностранных языков, междисциплинарные проекты года и специальная программа на иностранном языке, интегрированная в содержание профессионального образования.

Мы создали собственный способ внедрения CLIL в учебные программы Санкт-Петербургского политехнического университета. Для эксперимента были выбраны 2 группы студентов 4 курса кафедры «Реклама и связи с общественностью», изучающих дисциплину «Международный бизнес». В группу CLIL входили 23 студента, в группу, не использующую CLIL, – 22 студента. Эксперимент проводился в течение 1 семестра (с 02.02.18 по 30.06.18).

## Результаты исследования и их обсуждение

### Тестирование по английскому языку

Результаты первоначального и финального тестирования по иностранному языку представлены в табл. 1.

Результаты тестирования студентов из группы CLIL оказались гораздо выше, чем результаты студентов из группы, не использующей CLIL, практически по всем категориям теста. Исключением стало аудирование, отражающее навыки восприятия иностранной речи, при этом различия согласно критерию Стьюдента были незначительны. Сравнивая результаты двух тестов (до и после курса) всех участников эксперимента по другим категориям (чтение, письмо, разговор), было выявлено, что улучшения в группе CLIL были значительными (уровень значимости был установлен на 0,05). Следовательно, подтверждается эффективность применения методики CLIL для изучения английского языка. Как только было установлено, что уровень успеваемости по английскому языку студентов CLIL и не-CLIL различался, было уместно предположить, что в данном различии значимую роль играли мотивационные факторы помимо других аспектов программы CLIL. В связи с этим мы решили рассчитать, были ли различия в показателях мотивации значительны или нет.

Таблица 1

Описание результатов первоначального и финального тестирования по английскому языку

Категория теста	Программа	Тестирование	Результаты (среднее значение)	Дисперсия среднего значения	Коэффициент Стьюдента
Аудирование	CLIL-группа (n = 23)	Pre-test	14,3	2,14	5,4***
		Post-test	17,87	2,18	
	Не-CLIL группа (n = 22)	Pre-test	14,4	1,97	7,1***
		Post-test	19,04	2,14	
Чтение	CLIL- группа (n = 23)	Pre-test	15,32	1,94	5,8***
		Post-test	19,13	1,92	
	Не-CLIL группа (n = 22)	Pre-test	15,1	2,28	4***
		Post-test	17,8	2,03	
Письмо	CLIL- группа (n = 23)	Pre-test	17,35	2,51	4,1***
		Post-test	20,57	2,27	
	Не-CLIL группа (n = 22)	Pre-test	17,37	2,5	2,3*
		Post-test	18,7	1,93	
Разговор	CLIL- группа (n = 23)	Pre-test	16,82	2,04	5,9***
		Post-test	21,22	2,33	
	Не-CLIL группа (n = 22)	Pre-test	16,75	1,98	1
		Post-test	17,3	1,98	

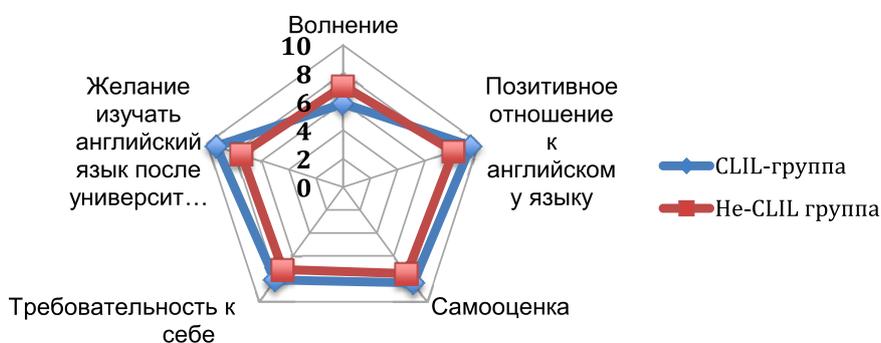
Примечание. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

*Тест на определение мотивации*

Поскольку мы хотели провести всестороннюю оценку применения методики CLIL, всем студентам изучаемой группы предлагалось анонимно заполнить мотивационную анкету. Все студенты прошли эти тесты через онлайн-платформу Moodle, разработанную для Санкт-Петербургского политехнического университета. Закрытые вопросы были разработаны для изучения восприятия студентами метода преподавания и обучения, предлагаемого курсом на основе CLIL. Были выделены пять показателей: желание изучать английский язык после университета (Q1-Q2), волнение (Q3-Q4), позитивное отношение к английскому языку (Q5-Q6), самооценка (Q7-Q8) и тре-

бовательность к себе (Q9-Q10). По каждому из вопросов участники отметили один из пяти ответов по шкале Ликерта (5 = сильно согласен, 4 = согласен, 3 = скорее да, чем нет, 2 = не согласен, 1 = категорически не согласен). Поскольку вопросник включал 2 вопроса, определяющих каждый фактор мотивации, максимальный балл в каждой группе факторов составлял 10. Результаты представлены на рисунке.

Студенты из группы CLIL были более склонны к изучению английского языка после курса. В этом случае мы можем предположить, что факторы мотивации могут играть влиятельную роль в процессе обучения в CLIL-группе и способствовать улучшению результатов по английскому языку.



*Уровень факторов мотивации студентов*

**Таблица 2**

Статистический анализ мотивационных аспектов

Факторы мотивации	Программа	Результаты (среднее значение)	Дисперсия среднего значения	Коэффициент Стьюдента
Волнение	CLIL-группа (n = 23)	5,89	0,9	4,7***
	Не-CLIL группа (n = 22)	7,13	0,87	
Позитивное отношение к английскому языку	CLIL-группа (n = 23)	9,38	0,76	5,2 ***
	Не-CLIL группа (n = 22)	8,11	0,81	
Самооценка	CLIL-группа (n = 23)	8,34	0,7	2,1*
	Не-CLIL группа (n = 22)	7,54	1,9	
Требовательность к себе	CLIL-группа (n = 23)	8,1	0,83	2,1*
	Не-CLIL группа (n = 22)	7,2	1,75	
Желание изучать английский язык после университета	CLIL-группа (n = 23)	9,34	1,66	4,1***
	Не-CLIL группа (n = 22)	7,5	1,75	

Примечание. \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\*p < 0,001.

Для того, чтобы подтвердить гипотезу о том, что у студентов, обучающихся по программе CLIL, уровень мотивации к изучению иностранного языка значительно выше, чем у студентов не-CLIL группы, нами был проведен статистический анализ показателей мотивационных аспектов студентов из CLIL группы и не-CLIL группы (табл. 2).

Согласно проведенному анализу показатели мотивации студентов из CLIL-группы значительно выше, чем у студентов из не-CLIL группы, в особенности, наиболее значимая разница оказалась по следующим факторам: волнение, позитивное отношение к английскому языку, желание изучать английский язык после университета.

### Заключение

Можно сделать вывод о том, что введение методики CLIL в учебную программу студентов оказало положительное влияние на учебный процесс, и реализованный эксперимент можно назвать успешным.

Студенты из группы CLIL имеют более высокий уровень мотивации для изучения английского языка, чем студенты из группы, не использующей CLIL. Таким образом, мы поддерживаем предыдущие выводы исследователей [10–12], которые признают взаимосвязь между мотивацией и достижениями в изучении иностранного языка.

Следовательно, широкое использование образовательной технологии CLIL приводит к увеличению мотивации студентов и развитию компетентности в области иностранного языка в процессе овладения профессиональной дисциплиной, что подтверждает целесообразность ее внедрения в современные образовательные программы.

### Список литературы

1. Кобичева А.М. Фактор университетского образования в инновационной экономике России // Аудит и финансовый анализ. 2016. № 3. С. 357–362.
2. Coyle D., Hood Ph., Marsh, D. CLIL: Content and Language Integrated Learning. Cambridge: Cambridge University Press. 2010. 184 p.
3. Dudley-Evans A., St. John A.M. Developments in English for Specific Purposes: A multi-disciplinary approach. Cambridge: Cambridge University Press. 1998. 301 p.
4. Pavón, V. & Ellison, M. Examining Teacher Roles and Competences in Content and Language Integrated Learning (CLIL). LINGVARVMARENA. 2013. Vol. 4. P. 65–78.
5. Ting Y.L.T., Grandinetti M., Langellotti M. How CLIL Can Provide a Pragmatic Means to Renovate Science- Education even in a Sub-Optimally Bilingual Context. Content and Language Integrated Learning: Language Policy and Pedagogical Practice. International Journal of Bilingual Education and Bilingualism. 2016. № 16/3. P. 354–374. DOI: 10.1080/13670050.2013.777390.
6. Dario L.B. Putting CLIL into practice, International Journal of Bilingual Education and Bilingualism, 21:2, 265268, 2018. DOI: 10.1080/13670050.2016.1146425.
7. Khalyapina, L., Popova, N. & Kogan. Professionally-oriented content and language integrated learning (CLIL) course in higher education perspective. ICERI 2017 Proceedings: 10th International Conference of Education, Research and Innovation. 16th-18th November, 2017. Seville, SPAIN, P. 1103–1112.
8. Алмазова Н.И., Баранова Т.А., Халяпина Л.П. Педагогические подходы и модели преподавания интегрированных иностранных языков и профессиональных дисциплин в иностранной и русской лингводидактике // Язык и культура. 2017. № 39. С. 116–135. DOI: 10.17223/19996195/39/8.
9. Халяпина Л.П. Современные тенденции в обучении иностранным языкам на базе CLIL // Вопросы методики преподавания в вузе. 2017. № 6. С. 46–52. DOI: 10.18720/HUM/ISSN 2227-8591.20.5.
10. Seikkula-Leino J. «CLIL learning: Achievement levels and affective factors», in Language and Education, 2007. 21, 4. P. 328–341.
11. Lasagabaster D., Doiz A. «A longitudinal study on the impact of CLIL affective factors», in Applied Linguistics, 2015. Vol. 38. 5. P. 688–712.
12. Pfenninger S. «All good things come in threes: Early English learning, CLIL and motivation in Switzerland», in Cahiers de l'ILSL. 2016. Vol. 48. P. 119–147.

УДК 378.22

## ХИМИЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ БАКАЛАВРОВ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ И ПОДХОДЫ К ЕЁ РАЗВИТИЮ

**Вострикова Н.М.***ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: vnatali59@mail.ru*

Фундаментальная естественнонаучная подготовка, в том числе и химическая, является основой профессиональной компетентности инженера. Цель исследования заключается в формировании понятия «химическая компетенция бакалавров технико-технологических направлений» как показателя качества фундаментальной химической подготовки на младших курсах, в выявлении подходов к ее формированию в современных условиях. На основе контент-анализа используемых в литературе понятий химическая компетенция бакалавров технико-технологических направлений понимается как способность и готовность использовать фундаментальные химические понятия, законы, теории, опыт решения химических задач при изучении специальных дисциплин, в решении инженерных задач в будущей профессиональной деятельности. Структура химической компетенции бакалавров включает мотивационно-ценностный, когнитивный, операционально-деятельностный, рефлексивно-оценочный компоненты, обосновано их содержательное наполнение. Обосновано применение информационно-деятельностного подхода к проектированию образовательной среды системы развития химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений в процессе фундаментальной химической подготовки на младших курсах. Отмечается, что значимыми компонентами информационно-деятельностной образовательной среды смешанного обучения являются электронные обучающие курсы химических дисциплин, современные педагогические технологии. На примере будущих бакалавров-металлургов показана результативность информационно-деятельностного подхода к проектированию системы развития их химической компетенции.

**Ключевые слова:** химическая компетентность, фундаментальная химическая подготовка, химическая компетенция, информационно-деятельностная образовательная среда, технологии и модели смешанного обучения

## CHEMICAL COMPETENCE OF BACHELORS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL AREAS AND APPROACHES TO ITS DEVELOPMENT

**Vostrikova N.M.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: vnatali59@mail.ru*

Fundamental natural science training, including chemical one, is the basis of the professional competence of an engineer. The purpose of this research is to clarify the definition «chemical competence of bachelor's technical and technological areas» as a result of basic chemical training in junior courses, to identify approaches to its formation in modern conditions. Based on the content-analysis, the chemical competence of bachelors of technical and technological areas is understood as the ability and willingness to use fundamental chemical concepts, laws, theories, experience in solving chemical problems in the study of special disciplines, in solving engineering problems in future professional activities. The structure of chemical competence of bachelors includes motivational-value, cognitive, operational-activity, reflexive-evaluative components. The content of the components have been justified. The application of information-and-activity-based approach to the design of the educational environment of the system of development of chemical competence of bachelors of technical and technological directions in the process of fundamental chemical training in Junior courses has been justified. It is noted that the significant components of information-and-activity-based educational environment of blended learning are electronic training courses of chemical disciplines, modern pedagogical technologies. On the example of future bachelors-metallurgists the effectiveness of information-and-activity-based approach to the design of the system of development of their chemical competence has been shown.

**Keywords:** fundamental chemical training, chemical competence, information-and-activity-based educational environment, blended learning technologies and models

В настоящее время российская система высшего образования находится в состоянии модернизации, ориентированной на подготовку высококвалифицированных кадров для обеспечения инновационного развития отечественной промышленности. Основными тенденциями модернизации высшего образования являются фундаментализация, усиление профессиональной направленности, гуманизация, информатизация. Наряду с этим в условиях присоединения России к Болонскому процессу требования к отечественному инженерному образованию должны соответствовать общеевропейским требованиям в частности, положениям «дублинских дескрипторов». В соответствии с ними бакалавр технико-технологических направлений подготовки должен быть высококвалифицированным профессионалом в инженерной области, обладающим знаниями инженерных наук на основе фундаментальных наук (математики, физики, химии).

Овладение содержанием фундаментальных естественнонаучных дисциплин, необходимых для формирования профессиональной компетентности инженера, является основой для формирования химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений. В настоящее время в России наблюдается тенденция к снижению уровня фундаментальной подготовки студентов на младших курсах. Это приводит к снижению качества подготовки бакалавров, что негативно сказывается на их профессиональной деятельности. В связи с этим актуальным является исследование подходов к формированию химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений в процессе фундаментальной химической подготовки на младших курсах. В данной статье рассматривается структура химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений, обосновывается применение информационно-деятельностного подхода к проектированию образовательной среды системы развития химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений в процессе фундаментальной химической подготовки на младших курсах. Отмечается, что значимыми компонентами информационно-деятельностной образовательной среды смешанного обучения являются электронные обучающие курсы химических дисциплин, современные педагогические технологии. На примере будущих бакалавров-металлургов показана результативность информационно-деятельностного подхода к проектированию системы развития их химической компетенции.

предусмотренное программами подготовки бакалавров технико-технологических направлений на младших курсах университета, является необходимым условием инновационных технико-технологических решений инженеров в будущей профессиональной деятельности. Однако в ФГОС третьего поколения в качестве результатов образования заявлены общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, при отсутствии предметных компетенций. Отдельные знания, умения фундаментальных естественнонаучных дисциплин входят в качестве составляющих профессиональных компетенций. Оставляя за рамками данной статьи, ввиду ограниченности ее объема, обсуждение целесообразности такого решения, отметим, что обеспечение качества фундаментальной химической подготовки обуславливает использование понятия «химическая компетенция» как ее основного результата.

Химические дисциплины всегда играли важную роль в системе профессиональной подготовки будущих инженерных кадров. С одной стороны, обучение химическим дисциплинам направлено на формирование химической картины мира как значимой составляющей естественнонаучного мировоззрения современного инженера, с другой – химическая компетенция является составляющей его профессиональной компетентности. Так, например, инженеру-металлургу при оценке эффективности технологических операций комплексной переработки руд, концентратов необходимо решать комплекс проблем, связанных с подбором химических реагентов, с выполнением металлургических расчетов по определению количества сырья, топлива, реагентов с учетом химического состава сырья, физико-химических закономерностей протекающих процессов.

Острая конкуренция на мировом рынке технико-технологических решений, быстрое обновление научных технических знаний, информатизация всех сфер деятельности человеческого сообщества обуславливают необходимость модернизации инженерного образования, в том числе и фундаментальной химической подготовки бакалавров технико-технологических направлений, которая сегодня не в полной мере соответствует основным трендам развития общества и образования. Снижение качества фундаментальной химической подготовки бакалавров в российских вузах обусловлено рядом причин, среди которых выделяют недостаточный уровень школьной подготовки абитуриентов по естественнонаучным дисциплинам, падение «престижа» инженерных профес-

сий, невысокий уровень сформированности интеллектуальных умений, низкую мотивацию к учению [1, 2].

Цель исследования заключается в формировании понятия «химическая компетенция бакалавров технико-технологических направлений» как результата фундаментальной химической подготовки на младших курсах, в выявлении подходов к ее формированию в современных условиях.

### Материалы и методы исследования

В исследовании использовались анализ специализированной литературы, образовательной практики фундаментальной химической подготовки, контент-анализ, анкетирование.

### Результаты исследования и их обсуждение

Из анализа литературных источников следует, что для проектирования системы формирования/развития химической компетенции будущих учителей химии использовались средовой подход (Ю.Ю. Гавронская) [3], информационно-деятельностный подход (Н.П. Безрукова) [4]; в системе подготовки врачей – интегративно-модульный подход (Т.Н. Литвинова, Т.Г. Юдина) [5]; для развития химической компетенции фармацевтов – проблемно-интегративный подход (И.П. Агафонова) [6], для подготовки бакалавров в системе «колледж – технический университет» – системно-аксиологический подход (Н.Н. Двудичанская) [1] и др. Вопросам развития химической компетенции будущих горных инженеров посвящены работы Н.И. Комаровой [7]; будущих технологов химической промышленности – О.С. Григорьевой [8]; будущих врачей – Е.Л. Гринченко, О.И. Курдумановой [9].

По результатам контент-анализа понятий «химическая компетенция»/«химическая компетентность», представленных в выше указанных работах, под химической компетенцией бакалавров технико-технологических направлений нами понимается готовность и способность применять химические знания, умения, навыки, ценностные отношения при освоении специальных дисциплин, а также в ходе решения инженерных задач, проблем в будущей профессиональной деятельности. Основы химической компетенции закладываются в процессе фундаментальной химической подготовки бакалавров на младших курсах университета, ее дальнейшее развитие реализуется в процессе освоения специальных дисциплин и далее при обучении в магистратуре.

На основе анализа исследований, связанных со структурой химической компетенции (Е.Л. Гринченко, О.И. Курдуманова,

Т.Н. Литвинова, Т.Г. Юдина и др.), нами выделены следующие ее компоненты: мотивационно-ценностный, когнитивный, операционально-деятельностный, рефлексивно-оценочный. Для содержательного наполнения выделенных компонентов на примере будущих бакалавров-металлургов было проведено анкетирование работодателей промышленного сектора г. Красноярска, в частности ОАО «Красцветмет», ОАО «Ачинский глиноземный комбинат», преподавателей спецкафедр Института цветных металлов и материаловедения СФУ (52 респондента) по оценке фундаментальных химических знаний и умений, востребованных в профессиональной деятельности инженера-металлурга. Результаты анкетирования представлены на рисунке.

Ранее нами было обосновано понятие «фундаментальная химическая подготовка бакалавров технико-технологических направлений» и показано, что ее содержание должно включать наряду с предметным (химическим) инвариантом методологический инвариант, а также вариативный компонент в контексте будущей профессиональной деятельности бакалавра [2]. С учетом этого, а также принимая во внимание результаты анкетирования работодателей, когнитивный компонент химической компетенции бакалавров включает:

– методологические знания – общенаучные термины, методы научного познания (наблюдение, объяснение, измерение), правила осуществления общелогических операций (классификации, сравнения, обобщения, выдвижения и проверки гипотезы), способов деятельности, операций;

– фундаментальные химические понятия – химические и физико-химические явления, химический элемент, вещество, строение, химическая реакция, химическое уравнение, количество вещества, растворимость, концентрация, электродный потенциал, теплота и др.;

– фундаментальные химические теории, законы, принципы – теория строения атома и учение о периодичности, теория химической связи, теория строения вещества, стехиометрические законы, теория растворов, теория химических процессов (термодинамические законы, основной закон термохимии, основной закон химической кинетики, принцип Ле-Шателье).

Операционально-деятельностный компонент включает:

– методологические умения – использование общелогических операций, способов деятельности, планирование и проведение эксперимента как инструмента познания на предметном химическом материале;

– базисные операции – составление формул веществ, уравнений химических реакций; расчеты по химической формуле, по уравнению реакции; выполнение химического эксперимента по инструкции, интерпретация его результаты, формулирование выводов;

– базисные методы – методы обнаружения, получения химических веществ, методы прогнозирования и доказательства кислотно-основных, окислительно-восстановительных свойств соединений, термодинамический и кинетический методы.

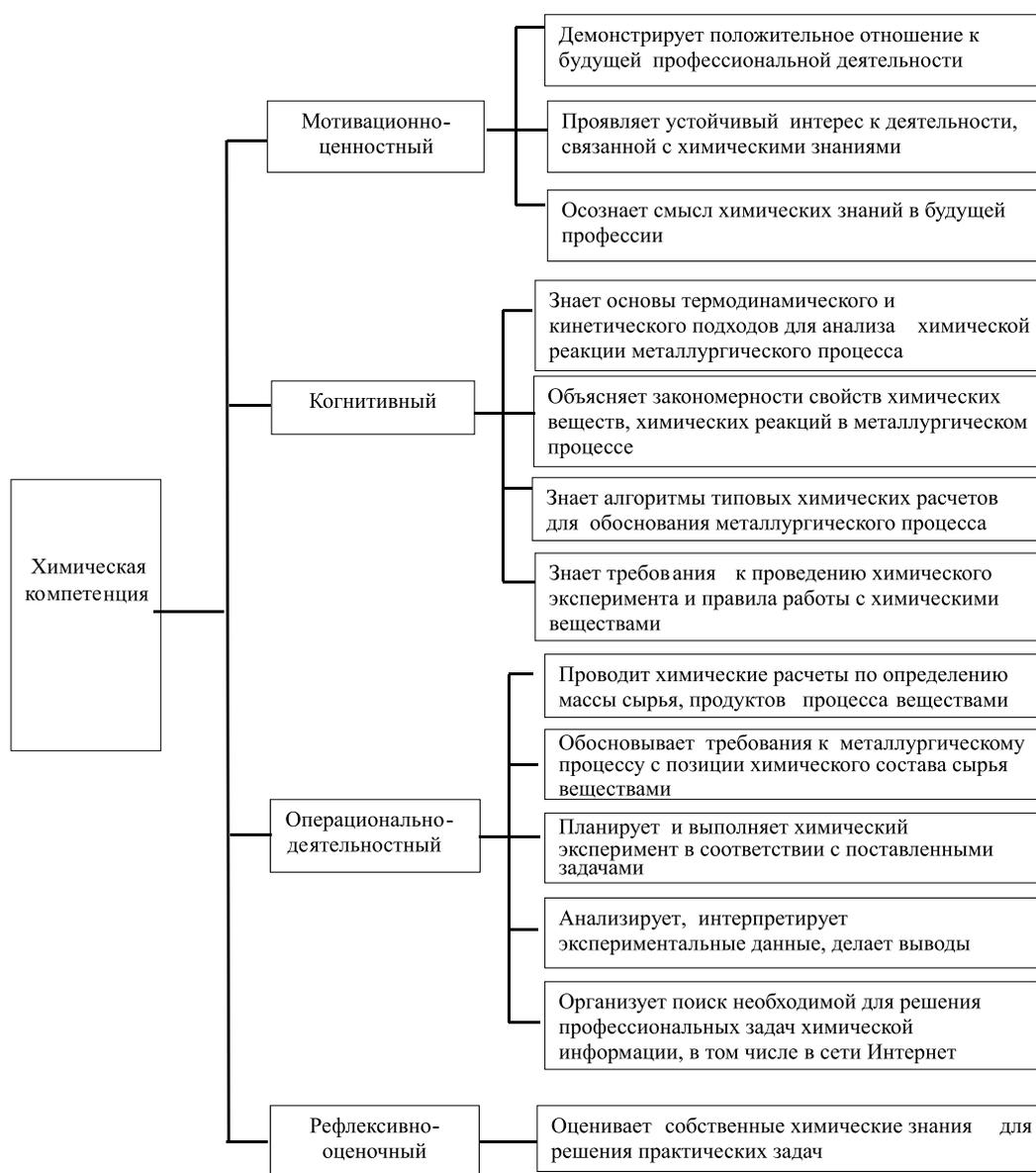
Мотивационно-ценностный компонент показывает степень интереса к химическим дисциплинам, понимание роли химических знаний, умений в будущей профессиональной деятельности. Рефлексивно-оценочный компонент отражается в умениях самооценки сформированности химических знаний, умений, рефлексии, необходимой для преодоления трудностей в ходе овладения химическими знаниями, умениями.

В контексте такой тенденции развития профессионального образования, как информатизации, а также учитывая, что компоненты компетенций формируются в деятельности, для проектирования системы развития химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений, с нашей точки зрения, значимым является информационно-деятельностный подход. Одним из положений информационно-деятельностного подхода является активное использование возможностей современных ИКТ в образовательном процессе [4, 10]. На сегодняшний день наиболее значимым педагогическим феноменом, связанным с ИКТ, является электронное обучение (e-Learning), реализация которого поддерживается на уровне законодательных инициатив (ФЗ «Об образовании в РФ»). Для профессионального образования, по мнению экспертов в области e-Learning, перспективными являются технологии и модели смешанного обучения. В контексте информационно-деятельностного подхода нами обосновано понятие и структура информационно-деятельностной образовательной среды (ИДОС) фундаментальной химической подготовки бакалавров технико-технологических направлений на младших курсах с использованием технологий и моделей смешанного обучения [11]. Значимым компонентом данной среды являются электронные обучающие курсы, включающие виртуальные лабораторные работы, обучающие компьютерные программы, программы-тренажеры [12]. В контексте другого положения информационно-деятельностного подхода при разработке электронных образовательных

курсов необходимо учитывать особенности восприятия информации с экрана компьютера [10]. С учетом изложенного выше нами разработаны электронные обучающие курсы «Химия», «Химия металлов», «Химия неорганических и органических соединений» для будущих бакалавров-металлургов.

В соответствии с информационно-деятельностным подходом, значимой составляющей ИДОС являются современные педагогические технологии [4, 10, 11]. Нами обосновано использование наряду с ИКТ проектно-исследовательской технологии, технологии развития критического мышления через чтение и письмо.

Реализация смешанного обучения в ИДОС обуславливает модернизацию всех его организационных форм. В частности, традиционная лекция трансформируется в лекцию с компьютерным сопровождением, в онлайн-лекцию. Лабораторный химический практикум модернизирован в направлении последовательного введения исследовательской компоненты в лабораторные работы, предполагающем переход от выполнения лабораторных работ по методическим указаниям к исследовательским лабораторным работам с профессиональным контекстом [13]. Внеаудиторная самостоятельная работа бакалавров организуется как традиционно, так и в электронной компоненте ИДОС.



*Структура химической компетенции как составляющей профессиональной компетентности инженера-металлурга*

Что касается диагностического инструментария для оценки уровней сформированности компонентов химической компетенции, сформированность когнитивного компонента оценивалась с помощью тестовых заданий, практико-ориентированных расчетных задач и заданий, промежуточных и итоговых контрольных работ, анализа ответов бакалавров при защите отчетов по лабораторным работам и на экзамене. Сформированность операционально-деятельностного компонента оценивалась по результатам выполненных интерактивных заданий в электронном обучающем курсе (написание эссе, составление ментальных карт, таблиц сравнения, заданий на взаимно-оценивание), а также при выполнении лабораторных работ и защите их отчетов (сформированность умений выдвигать гипотезу, интерпретировать результаты, делать вывод на основе фундаментальных химических знаний. Мотивационно-ценностный компонент оценивался по методике сформированности интереса к химии (Т.В. Дубовицкая), рефлексивно-оценочный – на основе методике Е.Н. Ильиной.

Педагогический эксперимент, проведенный в ИЦМиМ СФУ, в процессе фундаментальной химической подготовки бакалавров-металлургов в ИДОС смешанного обучения, показал результативность применяемого подхода в развитии химической компетенции. Отдельные результаты приведены в ряде публикаций, например [13].

### Заключение

Несмотря на то, что химическая компетенция не указана в ФГОС ВО в качестве образовательного результата подготовки бакалавров технико-технологических направлений, она является показателем качества фундаментальной химической подготовки как одной из фундаментальных основ формирования профессиональных компетенций будущих инженеров, и это актуализирует поиск подходов к её развитию в условиях информатизации образования. Содержательное наполнение компонентов химической компетенции как целевых ориентиров фундаментальной химической подготовки бакалавров реализуется с учетом требований работодателей.

Выполненное исследование позволило сделать вывод о целесообразности применения информационно-деятельностного подхода к проектированию среды для развития химической компетенции бакалавров технико-технологических направлений. При этом особое значение имеют разработка электронных обучающих курсов, и выбор современных образовательных технологий,

в том числе технологии, модели смешанного обучения. Информационно-деятельностная образовательная среда смешанного обучения позитивно сказывается на развитии химической компетенции за счет предоставления бакалаврам выбора индивидуальной траектории обучения, активизации их познавательной деятельности.

### Список литературы

1. Двучичанская Н.Н., Тупикин Е.И. Теория и практика общеобразовательной естественнонаучной подготовки в системе «колледж – вуз» (на примере химии). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 254 с.
2. Вострикова Н.М., Безрукова Н.П. О содержании фундаментальной химической подготовки бакалавров технико-технологических направлений подготовки в современных условиях // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 7. С. 183–187.
3. Гавронская Ю.Ю. Формирование специальной химической профессиональной компетентности при интерактивном обучении химическим дисциплинам студентов педагогического вуза // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2007. № 30. С. 144–154.
4. Безрукова Н.П. Теоретико-методологические аспекты модернизации обучения аналитической химии в высшей школе // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2006. № 10. С. 384–389.
5. Литвинова Т.Н., Юдина Т.Г. Моделирование процесса формирования химических компетенций в курсе аналитической химии у студентов фармацевтического факультета // Актуальные проблемы химического образования в средней и высшей школе: Витебский гос. университет. 2018. С. 261–263.
6. Агафонова И.П. Методика проблемно-интегративного обучения химическим дисциплинам студентов – будущих фармацевтов: дис. ... канд. пед. наук. Красноярск, 2014. 192 с.
7. Комарова Н.И. Химическая компетенция как компонент профессиональной готовности будущих горных инженеров // Фундаментальные исследования. 2012. № 3. С. 44–47.
8. Григорьева О.С. Формирование профессиональной химико-технологической компетенции у бакалавров (для направления 240100 «Химическая технология»): автореф. дис. ... канд. пед. наук. Казань, 2012. 23 с.
9. Гринченко Е.Л., Курдуманова О.И. Структура, содержание и уровни сформированности химических компетенций у студентов медицинского вуза // Научное обозрение. Педагогические науки. 2017. № 5. С. 18–24.
10. Безрукова Н.П., Безруков А.А., Нейверт Ю.В. Информационно-деятельностный подход к развитию информационной компетенции студентов магистерских программ естественнонаучного цикла педагогического образования // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 4–1. С. 35–39.
11. Вострикова Н.М., Безрукова Н.П. К вопросу о современной образовательной среде химической подготовки студентов – будущих инженеров горно-металлургической отрасли // Химическая технология. 2016. Т. 17. № 2. С. 89–96.
12. Вострикова Н.М., Безрукова Н.П. Компьютерные тренажеры в организации самостоятельной работы студентов при изучении химических дисциплин // Химическая технология. 2009. Т. 10. № 10. С. 635–639.
13. Вострикова Н.М. Возможности модели смешанного обучения в химической подготовке будущих бакалавров металлургического направления // Открытое и дистанционное образование. 2018. № 1 (69). С. 5–11.

УДК 378(075.8)

## ПАРАДИГМАЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ

Горшкова О.О.

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал, Сургут,  
e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

В статье представлены тенденции развития современного производства, определяющие характер и структуру инженерной деятельности, которая носит выраженный исследовательский характер; обозначены проблемы технического образования, связанные с изменениями в обществе и производстве; обоснована необходимость парадигмальной трансформации технического образования в условиях внедрения компетентностного подхода с необходимостью разработки концепции исследовательской подготовки студентов технических вузов; в концепции обоснуется построение дидактики технического вуза, на основе исследовательского обучения студентов; проанализированы результаты существующих отечественных и зарубежных исследований по вопросу исследовательской подготовки студентов технических вузов, определены положения, включенные в методологическую основу при разработке концепции; представлена структура концепции исследовательской подготовки студентов технического вуза, выделены базовые принципы для ее успешной реализации; описан критериальный аппарат для определения уровня сформированности исследовательской компетенции студентов технических вузов, представлен комплекс состоящий из деятельностного, когнитивного, личностного компонентов, выделены уровни их сформированности от нулевого до высшего; представлена динамика формирования исследовательской компетенции студентов по этапам эксперимента, демонстрирующая эффективность внедрения концепции исследовательской подготовки студентов, реализованной посредством функциональной модели, включающей мотивационный, целевой, операционально-деятельностный, содержательный, контрольно-результативный компоненты.

**Ключевые слова:** исследовательская компетенция, исследовательская подготовка, исследовательская деятельность, технический вуз, техническое образование

## PARADIGM TRANSFORMATION OF TECHNICAL EDUCATION AND ITS INFLUENCE ON THE FORMATION OF RESEARCH COMPETENCES OF GRADUATES

Gorshkova O.O.

*Industrial University of Tyumen, branch, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

The article presents the trends in the development of modern production, determining the nature and structure of engineering activities, which is expressed research character; identified the problems of technical education associated with changes in society and production; justified the need for a paradigm transformation of technical education in the implementation of the competence approach with the need to develop the concept of research training of students of technical universities; the concept will settle the construction of a didactics of the technical University, based on research of student learning; analyzes the results of the existing domestic and foreign research on the research training of students of technical universities, defined by the provisions included in the methodological basis for developing the concept; the structure of the concept of the research training of students of technical universities, identified the basic principles for its successful implementation; the article describes the criteria apparatus for determining the level of formation of research competence of students of technical universities, presents a complex consisting of activity, cognitive, personal components, the levels of their formation from zero to higher; presents the dynamics of the formation of research competence of students at the stages of the experiment, demonstrating the effectiveness of the implementation of the concept of research training of students, implemented through a functional model, including motivational, target, operational and activity, content, control and effective components.

**Keywords:** research competence, research training, research activities, technical University, technical education

Возрастающая динамичность в общественных процессах в производстве, возникающие новые виды деятельности, изменяющееся социальное устройство, проникновение на новые уровни познания природы характеризуют развитие современного общества. Система технического образования занимает особое место, так как оно ориентировано не только на духовное воспроизводство человеческого потенциала, но и на стимулирование экономического развития человеческого общества.

Формирование и развитие инновационной экономики в России, специфика инженерной деятельности, внедрение в техническое образование компетентностного подхода, образовательных и профессиональных стандартов способствуют принципиально изменению системы подготовки в технических вузах, с ориентацией на формирование выпускников, способных к принятию нестандартных решений, к выполнению исследовательских проектов и работ, с целью модернизации производства.

Цель исследования: рассмотреть возможность трансформации технического образования с целью формирования исследовательских компетенций выпускников технических вузов. Вопросы исследовательской подготовки определяют необходимость трансформации образовательного процесса и построения инновационной дидактики технического вуза с целью формирования конкурентоспособного выпускника.

### **Материалы и методы исследования**

Нами применены следующие методы: теоретические – изучение и систематизация российских и зарубежных исследований по вопросу; моделирование образовательного процесса; обобщение полученных результатов; эмпирические – анализ нормативных документов, педагогическое проектирование; экспериментальные – педагогический эксперимент.

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

Уровень развития современного производства можно охарактеризовать тенденциями, обусловленными переходом индустриального общества на уровень постиндустриального: изменение ориентаций труда как функциональных и ценностных; интеллектуализация производственных процессов; интеграция науки и производства; повсеместная информатизация деятельности человека. Выделенные тенденции находятся в тесном взаимодействии и определяют требования к выпускнику технического вуза.

Деятельность современного инженера креативна, ее определяющей характеристикой является исследовательский характер, что неразрывно связано с расширением объема научных знаний, изменением производственных процессов, их усложнением, усовершенствованием инженерных объектов. Современный инженер посредством исследовательской деятельности взаимодействует с окружающим миром, способен его изменять и трансформировать [1]. Требования к подготовке выпускника технического вуза ориентированы на удовлетворение потребностей глобальной экономики знаний, определяющей характерные черты современного выпускника технического вуза, который нацелен на применение и развитие достижения современной науки, использование передовых наукоемких технологий; отслеживание инновационных изменений и научных достижений с целью внедрения их в производственных условиях; обеспечивать удовлетворение социальных потребностей технологиями и инновациями.

Анализ исследований по вопросам технического образования позволяет заключить, что существует ряд проблем, а имен-

но: недостаточный уровень подготовки выпускников технических вузов, что сказывается на возникновении затруднений в процессе конкуренции инженерного труда на мировом рынке; профессиональная адаптация выпускников технических вузов (особенно уровень – бакалавриат) находится на невысоком уровне инженеров; невысокий проходной балл при приеме в вуз; невысокий статус технических специальностей в обществе; изменении организационно-педагогических условий организации образовательного процесса в новых социально-экономических условиях сталкивается с консерватизмом вузовского сообщества, что обуславливает медлительность в переходе на практико-модульные, проектные, практико-ориентированные технологии; недостаток молодых научных кадров в вузах; недостаточное участие представителей предприятий в реализации основных профессиональных образовательных программ [1–4]. В современном техническом образовании можно обозначить противоречие, состоящее в несоответствии комплекса компетенций, приобретаемых выпускниками в процессе обучения в вузах, и возрастающих требований высокотехнологичных производств с наукоемкими технологиями.

Разработка модели образовательного процесса технического вуза, которая ориентирована на подготовку конкурентоспособного выпускника, является целью трансформации и развития системы инженерного образования в России. При этом выпускник должен быть профессионально мобильным, готовым к принятию нестандартных решений, к проведению исследований с целью повышения эффективности производственных процессов. При этом традиции, уникальный опыт, ценности российской технической школы должны быть приняты за основу [5]. На принципах меж- и мультидисциплинарности должна быть основана подготовка в современных технических вузах, с целью подготовки выпускника, способного генерировать новые идеи, готового к проведению исследований для модернизации производственных процессов [6].

Изучение основ психологической антропологии, психологии развития человека позволяет заключить, что анализ возрастных особенностей студентов показал, что формирование исследовательской компетенции обусловлено возрастными особенностями студентов вузов, изменениями в различных сферах развития личности [7].

В процессе исследования нами изучены, проанализированы и систематизированы существующие ранее подходы к решению вопроса организации исследовательской

подготовки студентов технических вузов, которые мы учитывали в процессе разработки методологических основ этой подготовки. Определено, что при формировании готовности к исследовательской деятельности необходимо развивать мотивацию студентов к исследованию (А.Л. Мазалецкая, О.О. Ненашева, Е.М. Тимофеева, И.Ю. Данилова и др.); внедрять лично-ориентированные технологии, активные и интерактивные методы, направленные на формирование приемов самообразовательной деятельности, способствующие развитию рефлексии в процессе обучения (Е.П. Грошева, Е.Г. Леонтьева, Е.В. Нехода, Р.С. Рафикова, Н.П. Чурляева и др.), расширять возможности использования проектных методов, IT- и ТРИЗ-технологий (А.А. Губайдуллин, Т.П. Злыднева, Г.С. Кочеткова, Р.М. Лобацкая и др.); использовать исследовательские задания в аудиторной и самостоятельной работе (Е.А. Гребенникова, А.А. Ермакова, Е.С. Казанцева и др.). При всем многообразии работ можно сделать вывод, что возможности исследовательской подготовки студентов технических вузов не рассматривались в качестве основы построения инновационной дидактики, при этом исследовательская деятельность как основа формирования комплекса компетенций не изучалась исследователями.

Изучение мирового опыта формирования исследовательской компетенции студентов вузов позволило выделить ряд положений, которые были учтены при разработке концепции исследовательской подготовки в тех-

ническом вузе. Среди них выделяем следующие: широкое применение эвристических методов; использование метода проектов; воспитание этичности в процессе исследования; развитие эстетических способностей студентов, формирование умений промышленного проектирования [8–10].

Анализ содержания современных образовательных, профессиональных стандартов; структуры инженерной деятельности; комплекса компетенций, требований работодателей позволяет утверждать, что во всех компонентах инженерной деятельности инженера, проявляется исследовательский характер, что определяет необходимость формирования исследовательской компетенции студентов в процессе обучения в техническом вузе.

Разработанная концепция исследовательской подготовки студентов технического вуза определяет процесс подготовки, методы и средства эффективной реализации процесса. В концепцию включены: общие положения (цель, задачи, предпосылки разработки, методическое обеспечение, нормативная база, терминологический аппарат); методологическое обеспечение; содержательное наполнение в виде функциональной модели; верификация (рисунок) [11].

В процессе исследования определены базовые принципы, способствующие реализации концепции, а именно:

– изменение системы управления качеством образования в техническом вузе с переходом на принципы программно-целевого управления;



Структура концепции исследовательской подготовки студентов технического вуза

– проектирование и реализация функциональной модели исследовательской подготовки, которая предполагает организацию развивающей образовательной среды в техническом вузе, обеспечивающей развитие субъектности студентов, мотивацию к исследовательской деятельности; осуществление межпредметной интеграции, структурирование содержания технического образования; создание специальных форм и средств деятельности студентов, преподавателей совместно с представителями предприятий-партнеров; широкое применение сетевых технологий и образовательных ресурсов; разработку системы исследовательских заданий, разработку положений дидактики обучения студентов способам выполнения исследовательских заданий и проектов;

– развитие самоконтроля и рефлексии студентов;

– критериальность и диагностируемость полученных результатов.

Основной частью концепции является функциональная модель исследовательской подготовки студентов технических вузов, которая включает мотивационный, целевой, содержательный, операционально-деятельностный, контрольно-результативный компоненты. В процессе реализации модели достигнуты следующие результаты:

– сформирована мотивация студентов к исследовательской деятельности, при этом в основу положена гармонизация интересов всех субъектов деятельности; реализован индивидуальный подход в процессе обучения в вузе [12];

– содержание технического образования структурировано, реализованы интеграционные процессы, в вариативную часть учебного плана включены и реализованы спецкурсы и спецпрактикумы, ориентированные на формирование исследовательской компетенции студентов;

– разработаны и реализованы специальные формы и средства деятельности студентов и преподавателей при непосредственном участии представителей предприятий-партнеров (выездные работы, выполнение исследовательских проектов, заданий);

– при реализации основных профессиональных образовательных программ использованы сетевые образовательные ресурсы, информационные технологии;

– разработана и использована система заданий, размещенная в электронной системе поддержки учебного процесса Edukon, что обеспечило доступность и индивидуальный подход в процессе выполнения заданий в процессе обучения и в период всех видов практики;

– сформированы умения самооценки, самоанализа действий в процессе обучения, студенты активно вовлекались в процесс самопознания, само- и взаимооценки.

Для определения уровня сформированности исследовательской компетенции студентов технических вузов, нами предложена, обоснована и апробирована система критериев и показателей, включающая ряд компонентов: когнитивный, личностный, деятельностный. Градация каждого компонента осуществлялась по 5 уровням: нулевой; низкий, средний, высокий, высший. Согласно требованиям образовательного стандарта исследовательская компетенция у студентов должна быть сформирована на базовом уровне. В процессе исследований было определено, что ряд студентов наиболее ориентированы на выполнение исследовательских заданий, было определено, что уровень сформированности их исследовательской компетенции будет соответствовать высшему. Применялся индивидуальный подход, к процессу исследовательской подготовки привлечены тьютеры, оказывающие консультационную помощь студентам, наиболее ориентированным на исследовательскую деятельность. Совместно с тьютерами студенты разрабатывали индивидуальные образовательные траектории, способствующие формированию исследовательской компетенции. Студенты участвовали в работе творческих групп, организованных на кафедрах, выполняли исследовательские индивидуальные и групповые задания, проекты. С результатами исследований выступали на конференциях различных уровней, участвовали в конкурсах. Для организации практики данных студентов задействованы базы проектных институтов и бюро предприятий-партнеров, что способствовало изучению опыта проведения исследовательской работы на предприятии.

Формирование у выпускников исследовательской компетенции, комплекса общекультурных, общепрофессиональных, профессиональных компетенций, предусмотренных ФГОС ВО, навыков исследовательской деятельности как универсальных способов контакта с окружающим миром, подтверждают эффективность функциональной модели исследовательской подготовки модели, о чем свидетельствуют результаты экспериментальной работы. В эксперименте было задействовано 1520 человек: 130 преподавателей и 1390 студентов. Динамика формирования исследовательской компетенции студентов по этапам эксперимента представлена в таблице [12].

## Формирование исследовательской компетенции студентов по этапам эксперимента, %

Личностный компонент	2013–2014 уч.г.		2014–2015 уч.г.		2015–2016 уч.г.		2016–2017 уч.г.	
	Экс.	Конт.	Экс.	Конт.	Экс.	Конт.	Экс.	Конт.
Мотивационный и рефлексивный (данные одинаковые)								
Высший	0	0	3	0	4	2	5	3
Высокий	0	0	25	2	37	3	45	9
Средний	5	2	25	10	28	15	40	26
Низкий	55	40	30	55	29	61	9	52
Нулевой	40	58	17	33	3	20	1	10
$\chi^2$	121							
Когнитивный компонент								
Высший	0	0	3	0	3	1	3	2
Высокий	1	0	25	4	38	7	50	20
Средний	4	5	25	18	32	25	40	38
Низкий	50	48	30	48	24	50	7	38
Нулевой	45	47	17	30	3	17	0	2
$\chi^2$	110,8							
Деятельностный компонент								
Высший	0	0	2	0	3	1	3	2
Высокий	0	0	24	3	42	5	49	10
Средний	5	2	27	20	35	30	40	44
Низкий	35	40	27	39	15	44	7	39
Нулевой	60	58	20	38	5	20	1	5
$\chi^2$	132,8							

Результаты статистического анализа подтверждают достоверность данных, представленных в таблице по уровням сформированности компонентов исследовательской компетенции по этапам эксперимента показывает стабильный рост показателей по всем компонентам у студентов экспериментальных групп в сравнении сопоставляемыми результатами студентов контрольных групп.

### Заключение

Тенденции развития современного производства, структурные изменения в инженерной деятельности определяют парадигмальные преобразования, происходящие в инженерном образовании, что неразрывно влечет за собой трансформацию образовательного процесса в вузе. Разработка и внедрение концепции исследовательской подготовки студентов, предусматривающей формирование инновационной дидактики технического вуза с опорой на специфику исследовательского обучения с целью формирования компетентного выпускника.

### Список литературы

1. Похолков Ю.П., Агранович Б.Л. Подходы к формированию национальной доктрины инженерного образования России в условиях новой индустриализации: проблемы, цели, вызовы // Инженерное образование. 2012. № 9. С. 5–11.
2. Приходько В.М., Мануйлов В.Ф. Высшее техническое образование: мировые тенденции развития, образова-

тельные программы, качество подготовки специалистов. М., 2010. 304 с.

3. Сазонова З.С. Современные вызовы инженерному образованию и поиск адекватных ответов на них // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. 2013. № 5. С. 97–102.

4. Огородова Л.М., Кресс В.М., Похолков Ю.П. Инженерное образование и инженерное дело в России: проблемы и решения // Инженерное образование. 2012. № 11. С. 18–23.

5. Горшкова О.О. Формирование познавательной активности студентов технических вузов как средство подготовки к инновационной деятельности // Фундаментальные исследования. 2005. № 6. С. 38–41.

6. Чучалин А.И. Модернизация экономики и повышение качества инженерного образования // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2011. № 11. С. 12–18.

7. Слободчиков В.И., Исаев Е.И. Психология развития человека: Развитие субъективной реальности в онтогенезе. М.: Изд-во ПСТГУ, 2013. 400 с.

8. Mulders W.M. Инженерное образование на примере технологического университета Эйндховена // Инженерное образование. 2013. №13. С. 115–123.

9. Блестящее тридцатилетие: новый этап развития образования в Китае [Электронный ресурс]. URL: [http://russian.china.org.cn/Sci-Edu-Cult/txt/2008-10/13/\\_16605970.htm](http://russian.china.org.cn/Sci-Edu-Cult/txt/2008-10/13/_16605970.htm) (дата обращения: 24.10.18).

10. Глотова Г.В. Развитие творческого потенциала будущих инженеров в вузах США и Западной Европы: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. Казань, 2005. 209 с.

11. Горшкова О.О. Концептуальные основы профессиональной подготовки студентов инженерных вузов к исследовательской деятельности // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2015. № 1. С. 58–62.

12. Майстренко Е.В., Ибрагимов Н.И., Андреева Т.С., Майстренко В.И. Особенности мотивации студентов – будущих специалистов по охране труда // Высшее образование сегодня». 2018. № 12. С. 68–70.

УДК 374:37.047

## АНАЛИЗ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗА СРЕДИ ШКОЛЬНИКОВ 9–11 КЛАССОВ

**Иванова О.Н., Софронеева О.Л.**

*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: olgadoctor@list.ru*

Данная статья посвящена актуальной проблеме современной педагогики – профориентационной работе в средней школе. Учащиеся должны знать круг обязанностей специалиста по выбранной профессии. Преподаватели высших учебных заведений могут заниматься профориентационной работой учащихся, так как они знают нюансы специальности, критерии и требования к отбору специалистов и могут привить любовь к выбранной профессии. В данной статье проведен анализ работы преподавателей медицинского института Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова совместно с классным руководителем и заместителем директора по воспитательной работе в средней школе № 31 г. Якутска в медико-биологическом классе, анализ результатов обучения выпускников данного класса в медицинском институте. Данная преемственность показала хорошие результаты в формировании мотивации к обучению учащихся в школе, а затем в вузе. Показаны результаты анкетирования в начале обучения в 9 классе и конце обучения в 11 классе, было выявлено осознание приверженности школьников к выбранной специальности и формированию интереса к будущей профессии. Участие в профориентационной работе преподавателей вузов помогает учащимся определиться с выбором будущей профессии и мотивирует к изучению профильных дисциплин для поступления по выбранной специальности.

**Ключевые слова:** профориентационная работа, средняя школа, мотивация, преемственность, преподаватели, школьники, профессия, специальность

## THE RESULTS OF THE CAREER GUIDANCE TEACHERS OF THE UNIVERSITY AMONG STUDENTS IN GRADES 9–11

**Ivanova O.N., Sofroneeva O.L.**

*Federal State of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk,  
e-mail: olgadoctor@list.ru*

This article is devoted to the actual problem of modern pedagogy-career guidance in high school. Students should know the range of duties of a specialist in the chosen profession. Teachers of higher education can engage in career-oriented work of students, as they know the nuances of the specialty, criteria and requirements for the selection of specialists and can instill a love for the chosen profession. This article analyzes the work of teachers of the medical Institute of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, together with the class teacher and Deputy Director for educational work in high school № 31 in Yakutsk medical and biological class, and analysis of the results of training of graduates of this class in the Medical Institute. This continuity has shown good results in the formation of motivation to teach students at school and then at University. The results of the survey at the beginning of training in the 9th grade and at the end of training in the 10th grade were shown, the awareness of students' commitment to the chosen specialty and the formation of interest in the future profession was revealed. Participation in career-oriented work of University teachers helps students to choose their future profession and motivates them to study specialized disciplines for admission to the chosen specialty.

**Keywords:** career guidance, secondary school, motivation, continuity, teachers, students, profession, specialty

Профориентация школьников – важный аспект воспитательной работы в средней школе, так как выбор профессии определяет не только судьбу одного человека, но и перспективы кадрового потенциала региона.

Координирующую роль в профориентационной работе играет школа, а именно классный руководитель 9–10–11 классов.

Немало примеров, когда такие специалисты вели профориентационную работу заинтересованно и успешно, но в большинстве случаев примеры, все-таки неудачные. Главная причина таких неудач объясняется высокой загруженностью педагогов и большим объемом документационной работы [1, 2].

Если студент «бросает» учебу, поступив в вуз, он занимал место, которое мог бы

занять человек, который бы хотел учиться по данной специальности. Кроме того, что человек теряет время и годы жизни в поисках «своей» профессии, государство тратит деньги на оплату педагогов и выплату стипендий безрезультатно [3].

Профориентационная работа обязательно должна включать не только профессиональную психодиагностику и выдачу рекомендаций, кто к какой профессии «подходит». Учащиеся должны знать круг обязанностей специалиста по выбранной профессии [4]. Преподаватели высших учебных заведений могут заниматься профориентационной работой учащихся, так как они знают нюансы специальности, критерии и требования к отбору специалистов и могут привить любовь к выбранной профессии.

Таблица 1

Отчет по профориентационной работе кафедры педиатрии и детской хирургии среди образовательных учреждений г. Якутска

Мероприятие	Место проведения	Количество детей	Наименование охваченных улусов	Краткое описание
беседа	ГКГ	15		Беседа
лекция	Национальная гимназия	20		Знакомство с профессией врача
лекция	Национальная гимназия	18		Знакомство с профессией врача
лекция	17 школа	21		Знакомство с профессией врача
лекция	7 школа	15		Знакомство с профессией врача
лекция	Школа «Айыы кыһата»	15		Знакомство с профессией врача
лекция	школы 1 и 2 Намцы	40	Намский	Знакомство с профессией врача
лекция	31 школа	40		Знакомство с профессией врача

Профориентационная работа – огромный труд педагогов, преподавателей вузов, специалистов предприятий, психологов [5, 6]. Научной новизной данного исследования является доказательство эффективности проведения профориентационной работы преподавателей вуза совместно с учителями средней школы. Данная преемственность показала хорошие результаты в формировании мотивации к обучению учащихся в школе, а затем в вузе.

Цель исследования: проанализировать результаты профориентационной работы со школьниками преподавателя высшего учебного заведения.

#### Материалы и методы исследования

Проведен анализ профориентационной работы преподавателей кафедры педиатрии медицинского института Северо-Восточного федерального университета с учащимися медико-биологического класса средней школы № 31 г. Якутска. Проведено анкетирование среди учащихся в начале обучения в 9 классе и в конце обучения в 11 классе. В медико-биологическом классе обучалось 30 человек.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Медицинский институт Северо-Восточного федерального университета проводит подготовку по специальностям «Лечебное дело», «Педиатрия», «Стоматология», «Медико-профилактическое дело», «Фармация», «Сестринское дело».

Одним из критериев деятельности вуза является средний балл абитуриента при поступлении, поэтому любое высшее учебное заведение заинтересованно в поступлении школьников с высоким баллом ЕГЭ.

В 2014 г. преподаватели кафедры педиатрии и детской хирургии медицинского ин-

ститута СВФУ в течение учебного года проводили лекции и классные часы в 9 классах средних школ г. Якутска с целью формирования медико-биологического класса (табл. 1).

Мероприятия осуществлялись с помощью классных руководителей 9 классов и заместителя директора школы по внеучебной работе.

На следующий год в 10 классе средней школы № 31 был сформирован медико-биологический класс, в котором уделялось большое внимание химии, биологии и русскому языку – профильным предметам для поступления в медицинские вузы.

В 10 и 11 классах преподаватели медицинского института проводили экскурсии в Национальном центре медицины, музее Анатомического корпуса Медицинского института, симуляционном центре Медицинского института СВФУ. Большая работа проводилась по формированию навыков научной деятельности: школьники: написание совместных тезисов и статей с преподавателями вузов, подготовка и участие в научных конференциях, публикация в научных журналах.

Подробно объяснялась методология научных исследований, совместно проводился сбор первичного материала. Также подробно разбиралась техника написания статей: как написать резюме статьи, что такое ключевые слова. Большое внимание уделяется формированию структуры статьи: введению, цели исследования, материалам и методам, результатам исследования и выводам. Изучались методы математической обработки первичного материала. Подробно разбиралось, что такое средняя величина и ошибка средней величины, а также методы их вычисления. Изучались мате-

математическая обработка результатов на базе прикладных программ «SAS» и «SPSS», а также сравнения средних величин проводили однофакторным дисперсионным анализом с помощью Т-критерия Стьюдента для оценки равенства средних F-критерия Фишера для оценки равенства дисперсии. Обязательно объяснялись такие моменты, как ответственность авторов и плагиат. Проводилось обучение пользованию системы «Антиплагиат». Школьники научились структурировать первичный материал в таблицы и диаграммы. В результате написаны и опубликованы статьи в изданиях «Студенческий вестник» и «Международный студенческий вестник» (табл. 2).

**Таблица 2**  
Публикации школьников  
в научных изданиях

Научное издание	Количество опубликованных работ
Студенческий вестник	1
Международный студенческий вестник	1
Старт в науке	1
Евразийское научное объединение	2
Medicus	1

Школьники участвовали в конференциях «Шаг в будущее», «Лаврентьевские чтения», «Аммосов», приобрели опыт публичных выступлений, научились излагать материал своих исследований. Результатом публичных выступлений явился опыт изложения научного материала, умение сконцентрироваться и ответить на неожиданные вопросы. Каждый школьник имел портфолио научных достижений (табл. 3).

**Таблица 3**  
Участие школьников  
в научных конференциях

Название научной конференции	Количество участников
Конференция «Аммосов»	6
«Лаврентьевские чтения»	6
«Шаг в будущее»	12

В 10 классе уделялось большое внимание формированию практических навыков у школьников – обучение методике проведения сердечно-легочной реанимации детям и взрослым, оказанию первой помощи при отравлении, электрошоке, солнечном ударе и потере сознания.

В течение 10–11 классов школьники обучались методике измерения артериального давления.

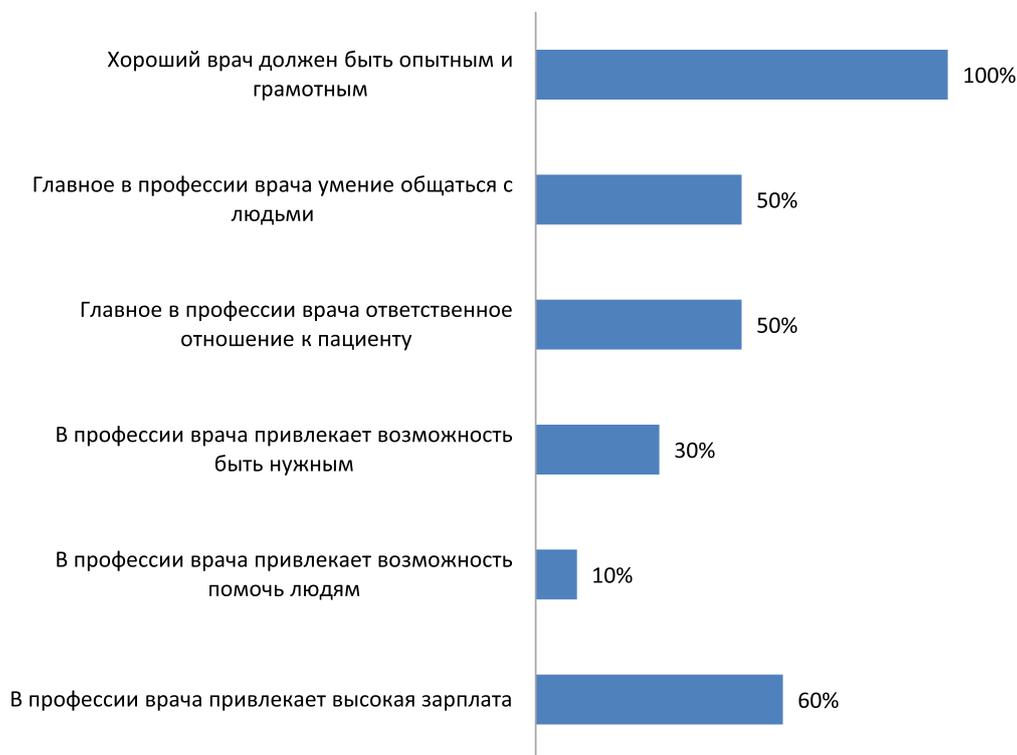


Рис. 1. Результаты анкетирования учащихся средней школы в 9 классе

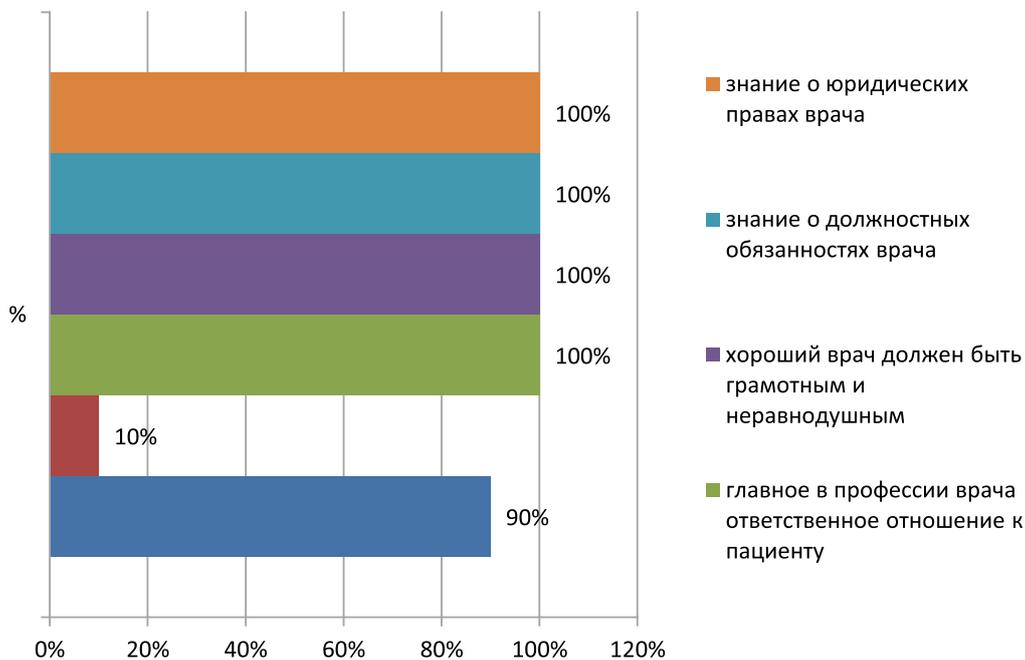


Рис. 2. Результаты анкетирования учащихся средней школы в 11 классе

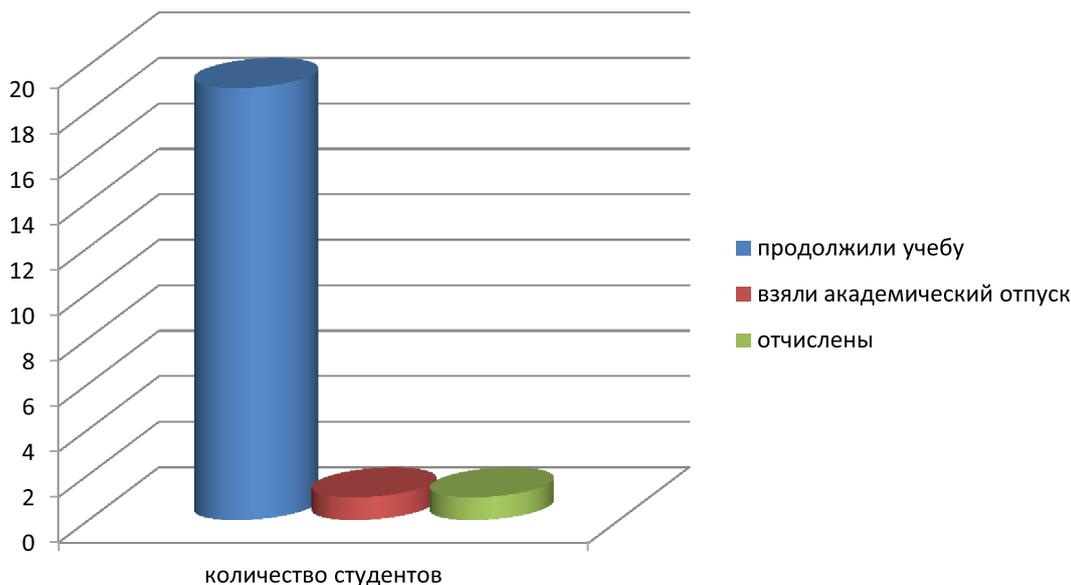


Рис. 3. «Выживаемость» студентов 1 курса

В начале 9 и конце 11 классов обучающихся было проведено анкетирование учащихся классным руководителем и преподавателями медицинского института. Всего опрошено 30 человек.

Анкета включала в себя следующие вопросы:

- Что тебя привлекает в профессии врача?
- Что ты считаешь главным в профессии врача?

- Каким должен быть хороший врач?
- Какие специальности врача тебя привлекают?
- Что ты знаешь о должностных обязанностях врача?
- Какими юридическими правами обладает врач?

В начале обучения в девятом классе результаты анкетирования были такими: в профессии врача привлекал высокий уро-

вень зарплаты – 18 человек (60%), возможность помочь больному человеку – 3 (10%), быть нужным – 9 школьников (30%).

Главным в профессии врача называли ответственное отношение к пациенту – 15 школьников (50%), умение общаться с людьми – 15 учащихся (50%). Хороший врач должен быть грамотным и опытным, ответили 100% опрошенных школьников. О юридических правах и должностных обязанностях учащиеся не были информированы (рис. 1).

В конце обучения в одиннадцатом классе результаты анкетирования были такими: в профессии врача привлекал возможность помочь больному человеку – 27 учащихся (90%), возможность внедрить и разработать новые методы лечения пациентов – 3 ребенка (10%).

Главным в профессии врача называли ответственное отношение к пациенту – 100% школьников (50%). Хороший врач должен быть грамотным, внимательным и равнодушным, ответили 100% опрошенных школьников (рис. 2).

По окончании 11 класса учащиеся поступили в медицинский институт СВФУ (70%), остальные в Центральные вузы медицинского профиля (г. Москва, Новосибирск, Санкт-Петербург).

В течение первого года студенты активно занимались научной работой и прилежно учились. За первый год обучения в вузе отчислено только 1 студент из курируемой школы, 1 студентка взяла академический отпуск (рис. 3).

### Выводы

1. Профориентационная работа – огромный труд педагогов, преподавателей вузов, специалистов предприятий, психологов.

2. Участие в профориентационной работе преподавателей вузов помогает учащимся определиться с выбором будущей профессии и мотивирует к изучению профильных дисциплин для поступления по выбранной специальности.

### Список литературы

1. Носкова О.Г. Психология труда: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 384 с.
2. Пряжникова Е.Ю., Пряжников Н.С. Профориентация. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 288 с.
3. Пряжников Н.С., Румянцева Л.С. Самоопределение и профессиональная ориентация учащихся. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 208 с.
4. Климов Е.А. Психология профессионального самоопределения: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 304 с.
5. Шевцов М.Ф. Тренинг «Профориентация для старшеклассников». СПб.: Речь, 2006. 215 с.

УДК 378:37.03

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ПЕРСПЕКТИВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАВОВОГО СОЗНАНИЯ СТУДЕНТОВ ЮРИДИЧЕСКОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗОВ

<sup>1</sup>Иванова С.В., <sup>2</sup>Янгирова З.З.

<sup>1</sup>ФКОУ ВО «Самарский юридический институт ФСИН России», Самара, e-mail: karb-svetlana@yandex.ru;

<sup>2</sup>Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Октябрьский

Статья посвящена проблеме формирования правового сознания студентов высших учебных заведений. Широко рассмотрены основные подходы к раскрытию содержания понятия «правовое сознание». Проведен сравнительный анализ сущностных характеристик правового сознания, в результате которого авторы делают вывод о том, что основной трансформированной характеристикой правового сознания на современном этапе является его нацеленность на регулирование социальных взаимодействий. Особое внимание в статье уделяется разведению понятий «обыденное» и «научное» виды правосознания. Доказано, что образовательная среда как юридических, так и технических вузов на современном этапе предусматривает и способствует формированию правового сознания студентов. При этом образовательная среда юридических вузов направлена одновременно на формирование обыденного и теоретического правосознания, а технического – только на обыденное правосознание, но достаточного для эффективного профессионального становления будущих специалистов. В статье также продемонстрированы результаты исследования, констатирующие факт целенаправленной работы вузов в данном направлении работы. Проведен сравнительный анализ уровня сформированности правового сознания у студентов юридических и технических вузов. Доказано, что формирование правового сознания одновременно способствует формированию общекультурных компетенций, предусмотренных федеральными образовательными стандартами высшего образования. Показаны тенденции дальнейшего формирования правового сознания студентов юридических и гражданских вузов.

**Ключевые слова:** общекультурная компетенция, правовое сознание, правовая психология, правовая идеология, профессиональное становление, социальное взаимодействие

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DYNAMICS AND PROSPECTS FOR FORMING THE LEGAL CONSCIOUSNESS OF STUDENTS IN LEGAL AND TECHNICAL UNIVERSITIES

<sup>1</sup>Ivanova S.V., <sup>2</sup>Yangirova Z.Z.

<sup>1</sup>The Federal Government Educational Establishment Samara Law Institute  
of the Federal Penitentiary Service of Russia, Samara, e-mail: karb-svetlana@yandex.ru;

<sup>2</sup>Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrskiy

The article is devoted to the problem of forming the legal consciousness of students in higher education. The main approaches to the disclosure of the term «Legal awareness» are widely considered. A comparative analysis of the essential characteristics of legal consciousness has been carried out, as a result, the authors conclude that the main transformed characteristic of legal consciousness at the current stage is its focus on regulating social interactions. Special emphasis is put on interpretations of the terms «ordinary» and «scientific» as a types of legal consciousness. It is proved that the educational environment of both legal and technical fields at the present stage provides and contributes to the formation of the legal consciousness of students. At the same time, the educational field of law schools is aimed simultaneously at the formation of ordinary and theoretical legal conscience, and in the technical universities, there are only ordinary sense of justice, but it is sufficient for the effective professional development of future specialists. The article also demonstrates the results of the study, stating the fact of purposeful work of universities in this area. A comparative analysis of the level of development of legal consciousness among students of legal and technical universities has been carried out. It has been proven that the formation of legal awareness at the same time contributes to the formation of general cultural competencies envisaged by the federal educational standards of higher education. The tendencies of further formation of legal awareness of students of legal and civil universities are shown.

**Keywords:** general cultural competence, legal consciousness, legal psychology, legal ideology, professional development, social interaction

Современное общество похоже на мозаику экспансирующих в него разнообразных событий и явлений. Очевидно, что при таком влиянии не происходит дифференциации на положительные и отрицательные общественные явления. Социум впитывает все происходящее, оказывая зачастую негативное влияние на социализацию молодежи, как наиболее уязвимую часть общества, накапливающую жизненный опыт.

Одним из проявлений этого негатива выступает массовое проникновение криминальной субкультуры в молодежную среду, выраженное в применении молодыми людьми соответствующего жаргона; в татуировках, как слепом следовании моде; в конфронтации взглядов молодежи с поведенческими догмами и тотальной регламентацией действий со стороны социальных институтов и т.д.

Как следствие таких разногласий в купе с борьбой поколений – отклоняющееся поведение, подъем преступности, распространение наркомании.

В поисках решения проблемы представители психолого-педагогической общест­венности (Н.Н. Алесеев, С.Н. Апиян, Р.С. Байниязов, Т.В. Болотина, Э.З. Генишер, Е.Е. Герасимович, Б.А. Грушин, Ю.И. Дутов, Т.С. Славин и др.) обнаружили одну из причин этого явления – низкий уровень правового сознания. Рассматривая его через призму социологии права, ученые доказывают влияние правосознания на поведение людей.

Возникает проблема – каковы пути формирования правового сознания и происходит ли их реализация в современном мире?

Поскольку основные проявления криминальной субкультуры, как было сказано выше, наблюдаются у молодых людей от 18 лет и старше, особое внимание решению данной проблемы необходимо уделить именно в образовательном пространстве вузов. Вышесказанное обусловило определение цели нашего исследования:

- во-первых, выявить сущностные характеристики правового сознания и его роль в профессиональном становлении будущих специалистов разных профессиональных областей;

- во-вторых, выделить основные направления работы вузов по формированию правового сознания молодежи и оценить их результативность;

- в-третьих, определить потенциальные возможности образовательных процессов юридического и технического вузов в формировании правового сознания студентов.

Обращение к правовому сознанию уводит своими корнями к концу XIX – началу XX века (И.А. Ильин, Б.А. Кистяков, С.А. Муромцев, П.И. Новгородцев, П.И. Петражицкий, Л.А. Тихомиров, В.Г. Щеглов), когда оно рассматривалось, как опосредованное психологической или социальной реальностью.

На современном этапе, следуя логике В.А. Александрова, Р.С. Байниязова, А.В. Грошева, В.В. Кожевникова, Ю.Ю. Комлева, Н.И. Матузова, В.М. Миниярова, О.В. Пристанской, А.П. Семитько, В.А. Туманова, С.В. Шушинского и др., мы не исключаем социальной опосредованности правового сознания, но во главу угла ставим нацеленность его на регулирование социальных взаимодействий» [1, с. 9].

### Материалы и методы исследования

Правомочность наших взглядов мы доказываем результатами анализа литературы по проблеме взаимосвязи социальных взаимодействий и право-

вого сознания. Так, следуя логике Е.А. Одинцовой, Е.И. Петровой, правосознание, как «форма осознания права, оказывает мощное воздействие на поведение людей, оказывая влияние на их правомерную деятельность [2, с. 9]. Подобной же точки зрения придерживается В.В. Хоружий, поставив правосознания во главу угла правовой жизни общества, исследователь отмечает его главный функционал – определение поведения человека в обществе в отношении права». В.Л. Васильева определяет правосознание как форму общественного сознания, отражающую общественные отношения, урегулированные нормами права [3]. Н.Н. Ярушкин в определении правосознания акцентирует внимание на его главный функционал – регуляция общественных отношений [4].

В процессе конкретизации основного содержания понятия «правосознание» мы обнаружили, что это интегрированная категория, синтезирующая в себе философский, психологический, политический и правовой аспекты. Так, И.А. Ильин рассматривает правосознание в контексте решения интегрированных проблем государства, общества, права, политики, религии, философии. Автор наделяет правосознание функциональной универсальной способностью определения социальных и правовых реалий (общества, государства, правопорядка, власти, естественного права, правового обычая, правового поведения и т. д.), а также дефинирует это понятие как обязательную основу подготовки к общественным реформам. [5]. В аспекте истории права, нам импонирует определение, данное С.В. Кривцовым: «правосознание – это особая юридизированная форма общественного сознания, обеспечивающая творческое отражение и конструирование правовой действительности, а также определяющая и регулирующая отношение личности к юридически значимым явлениям и процессам» [6]. В психологическом аспекте нам близка точка зрения В.М. Миниярова, рассматривающего правосознание как средство регулирования социальных связей в системе общественных отношений [1, с. 9]. Автор выделяет и видовые проявления правосознания – обыденное (правовая психология) и научное (правовая идеология). При этом первый структурный элемент представляет собой слав взглядом теоретиков права, юридической, педагогической и социальной психологии. Второй, на наш взгляд, имеет прикладной характер и выступает отражением правовых явлений общественной жизни, принятых в данном обществе систем политических и правовых идей [Там же, с. 14]. В целом, В.М. Минияров в структуре правового сознания выделяет три компонента: когнитивный, аксиологический и конативный.

Касаемо социальных взаимодействий, Т. Парсонс в качестве регуляторов социальных связей выделяет систему ценностей, деньги и власть (закон); П. Сорокин подчеркивает главное условие социального взаимодействия – эмпатию; С.С. Фролов в основу социального взаимодействия вкладывает циклическую причинную зависимость.

Сопоставляя выводы исследователей со структурой правового сознания, мы пришли к выводу, что сама структура правового сознания направлена на регуляцию социальных взаимодействий.

Актуальность и стремление общественности решить данную проблему подчеркиваются содержанием общекультурных компетенций, определенных в федеральных государственных образовательных стандартах всех специальностей. Общекультурная компе-

тенция представляет собой «базовую компетентность личности, обеспечивающую вхождение в мировое пространство культуры и самоопределение в нем, овладение культурой межнационального общения и способностью ориентироваться в социуме», в актуальных проблемах общественной жизни; умение устанавливать связь с определенной системой ценностей, определять собственное аксиологическое поле [7].

В то время как, согласно В.Л. Васильевой, «правосознание – это одна из форм общественного сознания, отражающая общественные отношения, которые регулируют или должны быть урегулированы нормами права, чье содержание и развитие обуславливаются условиями существования в обществе». [3]. Следуя логике Д.Я. Ягофарова, правовое сознание – совокупность знаний, идей, убеждений, в целом мировоззрения, а также чувств, эмоций, настроений, ценностных ориентаций, установок, оценок, выражающих отношение людей, социальных групп, общества в целом к действующему или желаемому праву, его ценностям, принципам, нормам, поведению в сфере права как правомерному или неправомерному, справедливому или несправедливому [8]. Поддерживая авторитетное мнение А.В. Грошева, правовое сознание – это не только совокупность распространенных в обществе идей, представлений и ценностных отношений, выражающих отношение людей к праву, поведению людей, к ценности общественных учреждений и действующих правовых норм, но и фактор, детерминирующий правовую норму как способ отражения общественной необходимости правового регулирования той или иной сферы общественных отношений [9].

Ряд взглядов и мнений, раскрывающих содержание правового сознания, можно продолжить. Однако все они приводят нас к выводу о том, что оно выступает детерминантой установления и регулирования социальных взаимодействий, что обуславливают актуальность и необходимость его формирования в процессе профессионального становления.

Под последним, вслед за Э.Ф. Зеер, мы понимаем «процесс развития и саморазвития личности, освоения и самопроектирования профессионально ориентированных видов деятельности, определение своего места в мире профессий, реализации себя в профессии и самоактуализации своего потенциала для достижения вершин профессионализма, процесс повышения уровня и совершенствования структуры профессиональной направленности, профессиональной компетентности, социально и профессионально важных качеств, профессионально значимых психофизиологических свойств через разрешение противоречий между актуальным уровнем их развития, социальной ситуацией и развивающей ведущей деятельностью» [10, с. 33].

Данное определение позволило нам обозначить место правового сознания в профессиональном становлении. На наш взгляд, оно представляет собой психологическую составляющую этого процесса, выступающего фундаментом.

Однако здесь возникает необходимость уточнения вида правосознания достаточного для эффективного профессионального становления.

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

Существует много классификаций правосознания. В данной интерпретации

нам интересны такие его виды, как обыденное и теоретическое правосознание: теоретическое – раскрывает концептуальные основы явлений и их закономерностей; обыденное – отражает правовую действительность, опираясь на личный опыт человека. Существует много мнений о том, что приоритетное место должно занимать все-таки теоретическое правосознание. Однако А.Р. Ратинов доказал приоритетное место обыденного правосознания в регуляции поведения человека, подкрепив результаты своих исследований, фактом отсутствия среди людей с обыденным правосознанием, вставших на путь преступного поведения [11].

Очевидно, что уровень даже обыденного правосознания у студентов юридических и гражданских вузов будет существенно отличаться, так как у студентов юридических вузов оно формируется в совокупности с теоретическим правосознанием. Однако важно проследить и констатировать факт существования самой организации процесса формирования правосознания в вузах [12].

С этой целью мы, используя относительные величины динамики, а также методы криминологического анализа, изучили динамику формирования правосознания у студентов юридического и технического вузов. Диагностическим инструментарием при этом выступали соответствующие анкеты, автор которых доктор педагогических наук В.М. Минияров [1]. Респондентами являлись студенты 1–4 курсов факультета внебюджетной подготовки ФКОУ ВО «Самарский юридический институт ФСИН России» и филиала ФГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Октябрьском [13–15].

Для обработки полученного материала мы использовали методы статистического анализа, среди которых: абсолютный прирост, темп роста, темп прироста [16–17]. Механизмом расчета выступал базисный способ, где в качестве нулевого уровня было значение, соответствующее первому курсу. Результаты диагностики мы отразили в таблице.

Таблица демонстрирует положительную динамику обыденного правосознания, как у студентов юридического, так и технического вузов. Однако относительные величины динамики по высокому уровню более высокие у будущих юристов, что объясняется объективными причинами (формирование обыденного правосознания идет в совокупности с теоретическим). Хотя по показателям среднего уровня, такой тенденции не наблюдается [18–19].

С целью установления дальнейшей тенденции формирования правового сознания студентов мы использовали статистические методы прогноза, результаты которого отражены на рис. 1–3. Очевидно, что представленный нами прогноз не может устранить неточностей и случайностей, которые, возможно, могут возникнуть в будущем, однако с его по-

мощью их можно частично предвидеть и частично избежать [20].

Из рисунков видно, что в перспективе резко уменьшается количество студентов, уровень правового сознания которых соответствует низкому и среднему. При этом положительная тенденция формирования правового сознания наблюдается на высоком уровне.

Динамика формирования правового сознания у студентов юридического и технического вузов

Относительные величины динамики	2–4 курсы юридический вуз			2–4 курсы технический вуз		
	Высокий	Средний	Низкий	Высокий	Средний	Низкий
Уровни	Высокий	Средний	Низкий	Высокий	Средний	Низкий
Абсолютный прирост	10	-6	-1	8	-3	-2
Темп роста	200%	74%	50%	166%	85%	33%
Темп прироста	100%	-26%	-50%	66%	-15%	-67%

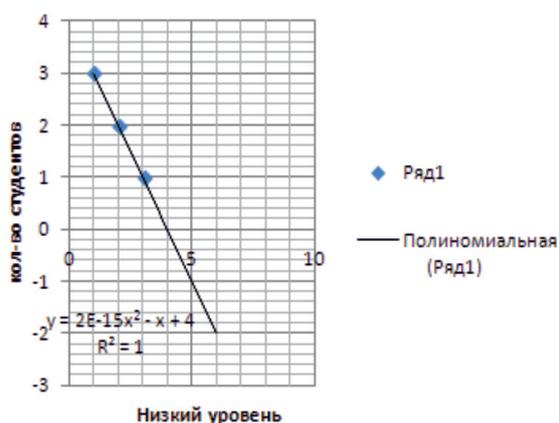


Рис. 1. Тенденция соответствия сформированности правового сознания студентов вузов низкому уровню

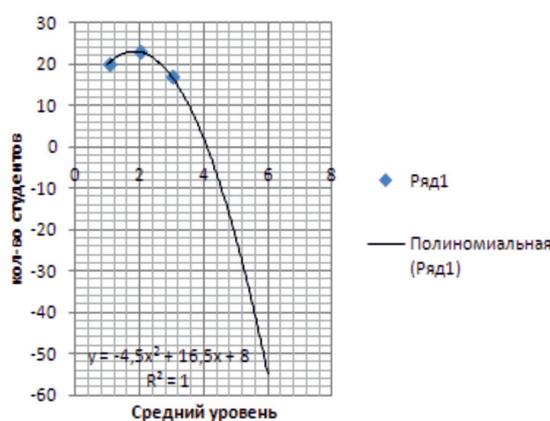


Рис. 2. Тенденция соответствия сформированности правового сознания студентов вузов среднему уровню

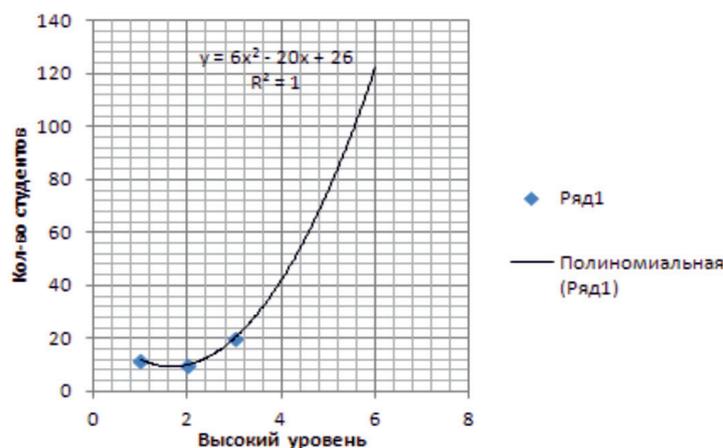


Рис. 3. Тенденция соответствия сформированности правового сознания студентов вузов высокому уровню

### Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что образовательная среда не только юридических, но и технических вузов на современном этапе предусматривает и способствует формированию правового сознания студентов. Более высокие результаты, которые продемонстрировали студенты юридического вуза, объясняются тем, что образовательная среда их вузов направлена одновременно и на формирование теоретического правосознания. Кроме того, в рамках Самарского юридического института ФСИН России еще функционирует и юридическая клиника, работа в которой, безусловно, накладывает определенный и значительный отпечаток на формирование правового сознания будущих юристов в процессе их профессионального становления.

### Список литературы

1. Минияров В.М. Правовое сознание учащихся в зависимости от их характера: монография. Самара: СФ ГБОУ ВПО МГПУ, 2013. 128 с.
2. Одинцова Е.А., Петрова Е.И. Правосознание как регулятор социальной активности молодежи // Правовая культура, правосознание и правореализация: проблемы, приоритеты и перспективы: сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции (30 октября 2017 г.). Казань: НОО «Профессиональная наука», 2017. 196 с.
3. Васильева Ю.А. Особенности смысловой сферы личности при нарушениях социальной регуляции поведения // Психологический журнал. 1997. № 2. С. 58–75.
4. Ярушкин Н.Н. Правовая психология: учеб. пособие. Самара: Издательство Самар. гуманитар. академия, 2003. 121 с.
5. Матарас А.В. Правосознание в учении И.А. Ильина [Электронный ресурс]. URL: <http://pravmisl.ru> (дата обращения: 28.10.2018).
6. Кривцов С.И. Правосознание личности в современной России: теоретические аспекты: автореф. дис. ... канд. юрид. наук. Омск, 2009. 26 с.
7. Общекультурные компетенции как базис для формирования профессиональных компетенций [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/6220645/page:6/> (дата обращения: 29.10.2018).
8. Ягофаров Д.А. Категории и понятия общей теории государства и права. Екатеринбург, 1995. 108 с.
9. Грошев Л.В. Правосознание в системе оснований криминализации общественно опасных влияний // Российский юридический журнал. 1997. № 1. С. 122–132.
10. Зеер Э.Ф. Психология профессий: учеб. пособие для студентов вузов. 2-е изд., перераб., доп. М.: Академический проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2003. 33 с.
11. Рагинов А.Р., Ефремова Г.Х. Правовая психология и преступное поведение. Красноярск, 1998. 156 с.
12. Бахрах Д.Н., Россинский Б.В., Стариков Ю.Н. Административное право: учебник 3-е изд., пересмотр. и доп. М.: Норма, 2008. 816 с.
13. Гладков Н.Г. Реализация и защита трудовых прав, свобод и законных интересов работников: настольная книга профсоюзного работника и профсоюзного актива. 2-е изд., доп. и акт. М.: Проспект, 2015. 928 с.
14. Гусов К.Н., Полетаев Ю.Н. Ответственность по российскому трудовому праву. М.: Проспект, 2008. 272 с.
15. Давлетгильдеев Р.Ш. Международно-правовая защита трудовых прав человека: учеб. пособие. М.: РУДН, 2017. 509 с.
16. Диалектика развития трудового права: от советского периода до наших дней: избранные труды Ю.П. Орловского. М.: РГ-Пресс, 2018. 776 с.
17. Лютов Н.Л., Герасимова Е.С. Международные трудовые стандарты и российское трудовое законодательство: монография 2-е изд., доп. и перераб. М.: Центр социально-трудовых прав, 2015. 190 с.
18. Исаев И.А. История государства и права России: учеб. пособие. М.: Проспект, 2009. 334 с.
19. Марченко М.Н. Теория государства и права: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2011. 636 с.
20. Финансовое право Российской Федерации: учебник / Под ред. М.В. Карасевой. 4-е изд., перераб. и доп. М.: КНОРУС, 2014. 608 с.

УДК 378:353.9

## ФОРМЫ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ФИЗИКЕ В УСЛОВИЯХ РЕЙТИНГОВОГО ОБУЧЕНИЯ

Клещёва Н.А., Плотников В.С.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,  
e-mail: rectorat@dvfu.ru, rectorat@dvfu.ru

Переход вузов страны на рейтинговые стратегии построения образовательного процесса с новой силой фокусирует внимание педагогической общественности на проблеме контроля знаний, как дидактической форме учебного процесса. В частности, появился большой пласт исследований, в которых обсуждается возможность использования традиционных форм контроля в рейтинговых схемах обучения. В продолжение обсуждения данного вопроса в статье представлен опыт разработки системы мониторинга обучения физике в условиях модульно-рейтингового подхода, сочетающей в себе и традиционные формы контроля, и тестовые технологии. Проанализированы особенности структуры и содержания учебной информации по физике, определяющие характер контрольных мероприятий по дисциплине. С учетом проведенного анализа выбраны три показателя оценки качества усвоения физического знания: уровень элементарных теоретических знаний, уровень умения решать физические задачи и уровень системных представлений по физике. Обсуждается зависимость частоты контрольных срезов от онтологических и гносеологических особенностей учебной информации, подлежащей проверке. Обоснованы виды и формы контроля, закрепляющие процесс усвоения учебного знания дисциплины, раскрыты их структура и содержание. Показано, что предлагаемые формы контроля соотношены с выбранными показателями качества усвоения дисциплины. Представлены принципы формирования рейтинговой шкалы.

**Ключевые слова:** контроль знаний, рейтинговые стратегии обучения, курс физики, учебный модуль, формы контроля по физике, весовые коэффициенты, рейтинговая шкала

## FORMS OF CONTROL MEASURES FOR PHYSICS AT THE RATING TRAINING CONDITIONS

Klescheva N.A., Plotnikov V.S.

Far-Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: rectorat@dvfu.ru, rectorat@dvfu.ru

The transition of higher educational institutions of our country to rating strategies for building of the educational process with new force is focuses the attention of the pedagogical community on the problem of knowledge control, as a didactic form of the educational process. In particular, has emerged a large reservoir of research, in which the possibility of using traditional forms of control in rating training schemes is discussed. In continuation of the discussion of this issue, the article presents the experience of developing an interconnected complex of control measures, implemented in a modular-rating approach to building a learning process of physics. The structure and content of educational information on the discipline are analyzed. Three indicators for assessing the quality of learning physical knowledge were selected: the level of elementary theoretical knowledge, the level of ability to solve physical problems, and the level of system representations in physics. The dependence of the frequency of monitoring activities of the ontological and epistemological features of educational information, to be tested, is discussed. The types and forms of control, that reinforce the process of mastering the academic knowledge of the discipline are substantiated, their structure and content are disclosed. It is shown that the proposed forms of control are correlated with the selected indicators of the quality of mastering the discipline. The principles of the formation of the rating scale are presented.

**Keywords:** control forms of knowledge, rating learning strategies, physics course, training module, types of control in physics, weights, rating scale

В решении задачи повышения качества и эффективности образовательного процесса существенную роль играет не только педагогически целесообразная организация процесса обучения, но и организация разнообразных форм и методов контроля знаний, поддерживающего этот процесс в течение всего срока обучения. К настоящему времени в отечественной психолого-педагогической литературе решение этой задачи представлено большим комплексом фундаментальных и методических разработок. Определены основные функции контроля знаний как педагогической процедуры [1], сформулированы дидактические принципы, на которых она должна базироваться [2],

представлены технологии ее осуществления [3], проанализированы особенности педагогической диагностики, поддерживаемой информационными технологиями [4, 5]. В последнее десятилетие появился большой пласт исследований, посвященных различным аспектам контроля знаний в условиях балльно-рейтинговой системы оценки качества усвоения дисциплины [6–8].

Интерес к данной проблеме вполне очевиден. С одной стороны, приоритетными образовательными стратегиями обозначены рейтинговые технологии, имманентно предполагающие построение взаимосвязанных комплексов педагогических мер и методов измерений по получению ин-

формации о ходе и результатах обучения. С другой – резкое уменьшение трудоемкости ряда фундаментальных учебных дисциплин (физики, математики, информатики и ряда других) существенно затрудняет организацию такого мониторинга. Так, например, в Дальневосточном федеральном университете курс физики включен в структуру профессиональной подготовки на 24 группах укрупненных специальностей, и только в пяти из них рабочими планами предусмотрены контрольные работы – важнейшая форма оценки качества знаний по дисциплине. Детальное изучение данного вопроса позволяет констатировать, что аналогичная ситуация характерна для многих вузов страны – традиционные формы контроля знаний практически выведены из системы аудиторной работы. Основным инструментом диагностики учебных достижений студентов все чаще становятся тестовые технологии, организуемые в системе самостоятельной работы. Ни в коей мере не умаляя очевидные достоинства тестовых технологий, особенно поддерживаемых новейшими инструментальными средствами, следует все же отметить, что существует большой спектр дисциплин, для которых информативная рейтинговая шкала должна содержать в себе и результаты традиционных форм контроля знаний, адаптированных к современным образовательным условиям.

К числу таких дисциплин, безусловно, относится физика. При изучении курса физики студенты должны не только овладеть теоретическим знанием, но и сформировать большой комплекс практических умений и навыков: решать физические задачи, проводить физические эксперименты и владеть навыками их статистической обработки и интерпретации. По завершению изучения курса студенты должны иметь четкие представления о методологических и гносеологических основах физической науки и принципах ее организации. Именно эти позиции обуславливали значительный «удельный вес» физического образования в структуре профессиональной подготовки специалистов инженерных и естественнонаучных специальностей в отечественном образовании на протяжении многих лет. Достаточное число часов, отводимых на изучение дисциплины, обеспечивало использование разнообразных форм и методов текущего контроля знаний, позволяющего поддерживать качество обучения на должном уровне. В последние годы на фоне дефицита учебного времени, отводимого на изучение дисциплины, – сокращается число лекций, некоторые формы учебных занятий вообще

выводятся из структуры предметной подготовки, экзамен все чаще заменяется зачетом или вообще исключается, как форма итоговой аттестации – наблюдается неуклонная тенденция к снижению качества физического образования в вузах страны. Преодоление этой негативной тенденции требует, прежде всего, нормативных актов, но в этом направлении ситуация представляется нерешаемой, во всяком случае, в ближайшие годы. Поэтому на кафедрах физики практически во всех вузах страны ведется поиск структурных, организационных и методических инноваций, позволяющих поддерживать качество физического образования на соответствующем уровне. В числе таких разработок не последнее место отводится проблеме мониторинга качества образовательного процесса по физике в новых условиях функционирования учебной дисциплины в вузе.

Цель исследования заключается в обосновании целесообразности выбора и использования определенных форм контроля качества учебного процесса по физике, поддерживающих обозначенный нормативными документами требуемый уровень освоения дисциплины. В статье предложен комплекс контролируемых мероприятий по физике для системы аудиторной и самостоятельной работы студентов, реализуемой в Дальневосточном федеральном университете в условиях модульно-рейтинговой схемы организации учебного процесса.

При планировании рейтинг-плана по дисциплине с необходимостью встает вопрос о частоте контрольных мероприятий. Систематичность контроля – это один из важнейших принципов дидактики, на которых базируется данная форма учебного процесса. При организации рейтинговых схем обучения данный принцип особо актуализируется – чем больше позиций в рейтинговой шкале, тем она считается статистически достовернее. Анализ рейтинг-планов по ряду учебных дисциплин позволяет констатировать, что многие преподаватели именно так понимают систематичность и стараются контролировать практически каждый учебный акт студента. Представляется такой подход не вполне целесообразным. Систематичность контроля должна быть адекватна логике построения учебного знания дисциплины, по которой осуществляется контроль. Физическое знание, представляющее собой большой массив информации, пронизано множеством взаимосвязей, «переходящих» от темы к теме. Разрабатываемые средства контроля по физике (во всяком случае, в вузе) должны оценивать не только степень усвоения отдельных элементов зна-

ния, но и степень освоения механизма образования физических теорий. Каждая физическая теория формирует соответствующий раздел курса физики. При организации рейтинговой схемы обучения семестровый курс был структурно разбит на три модуля (по числу разделов, изучаемых в каждом семестре). Основной формой контроля, включенной в рейтинг-план, были выбраны контрольные работы – по завершению изучения каждого модуля. Несмотря на традиционное название – «контрольная работа» – данная форма контроля знаний была сформирована по принципиально новому формату. Контрольная работа в каждом модуле представляет собой комплекс содержательно и дидактически связанных заданий, фиксирующих требуемый на определенном этапе обучения уровень сформированности и теоретических знаний, и практических умений, и навыков мышления.

Как уже отмечалось, в настоящее время контрольные работы по физике для большой группы специальностей выведены из сетки аудиторной работы. Поэтому изыскивать время на их проведение преподавателю приходится самостоятельно. Логичнее всего использовать для этих целей консультации, регламентируемые учебными планами еженедельно: на предпоследней консультации каждого модуля проводить саму контрольную работу, а на последней – анализ ее результатов и разбор характерных ошибок.

Текущие результаты успеваемости, посещаемость занятий, а также отдельные формы внеаудиторной работы, включаемые в рейтинг, было решено интегрировать в один показатель, обозначенный как *учебная активность* (подробнее о формировании данного показателя будет сказано ниже).

Контрольные работы первого и второго модуля имеют одинаковый формат и состоят из трех разноуровневых заданий, ответы на которые позволяют устанавливать: что знает данный студент, как он умеет применять полученные знания и как он мыслит. Первое задание ориентировано на определение уровня *элементарных теоретических знаний*, в него включаются вопросы двух типов: «запишите формулу» и «сформулируйте явление, закон, или дайте определение физической величины». Во втором задании предлагается выполнить вывод базового физического закона или явления по содержанию изучаемого раздела. При выполнении данного задания студент помимо владения необходимым объемом понятийного аппарата уже должен продемонстрировать определенный уровень развития аналитико-синтетических компонент мышления. Третье задание определяет уровень

*умений решать физические задачи*. В него было решено включать две задачи среднего уровня сложности. Задачи повышенной сложности в контрольных работах студентам не предъявляются, они выступают в качестве «резервного» контроля при достижении студентом «переходных» значительных рейтинговых баллов, соответствующих оценкам «хорошо» и «отлично».

При построении рейтинговой шкалы контрольным работам первого и второго модуля был приписан весовой коэффициент 15%, максимальное число баллов за выполнение данного контрольного мероприятия было определено равное 10 (все цифры приводятся для 100-балльной рейтинговой шкалы).

Несколько иной формат имеет контрольная работа третьего, завершающего семестровый цикл обучения физике, модуля. Она состоит из двух заданий. В первом, как и в двух предыдущих контрольных работах, предлагаются элементы обязательного минимума образовательной программы, только уже по всему семестровому курсу физики. Второе задание носит творческий характер и для его успешного выполнения требуется наличие у студентов общей ориентировки по всему изученному курсу и отражает *уровень системных представлений* по физике. В данном задании студентам предлагается построить структурно-логический граф из тех понятийных элементов, содержание которых студенты раскрывали в первом задании. Технология построения графовых моделей учебной информации по физике демонстрируется преподавателем на лекциях. Данное задание было ориентировано не только на проверку уровня владения студентами фундаментальным понятийным аппаратом дисциплины, но и на проверку степени осознанности ими логики развития физической науки, принципов построения учебного материала. Весовой коэффициент данного контрольного мероприятия был установлен в 25%, а максимальный балл за его выполнения – 20 баллов.

В системе самостоятельной работы студентов формой рубежного контроля по каждому модулю выбрано электронное тестирование. Тестовые задания представлены на университетской электронной платформе Blackboard, и каждый студент в хронологических рамках проведения модуля может в удобное для себя время пройти процедуру тестирования. Методология составления тестовых заданий и тестовых шаблонов, организация сеансов тестирования и система их оценивания подробно описана в [9].

Совершенно очевидно, что студенты в отсутствие контроля со стороны препода-

давателя «привлекают» к решению заданий дополнительные источники информации, помимо собственных знаний. Данная проблема не вызывает у нас опасений. Во-первых, тестовые задания подобраны таким образом, что, отвечая на них, студент должен продемонстрировать не только то, что он знает, но и как умеет применять эти знания. Время выполнения заданий фиксировано, и явно неподготовленные студенты просто не «успевают» найти нужную информацию. В то же время, если студент в состоянии в рамках определенного временного цейтнота, найти и корректно использовать необходимую ему информацию, то он, тем самым, демонстрирует достаточно важные качества мышления и поведения, которые определяют его общекультурную компетентность. Весовой коэффициент данного контрольного мероприятия был зафиксирован на уровне 5%, максимальный балл за его выполнение положен равным десяти.

По каждому модулю включен в рейтинг-план и такой показатель, как *учебная активность* (весовой коэффициент 10%, максимальный балл 10). Данный показатель является интегральным и включает в себя три позиции: текущие результаты успеваемости внутри модуля; «стимулирующие» баллы; показатели посещаемости занятий.

К результатам текущей успеваемости отнесены оценки за выполнение лабораторных работ и результаты самостоятельных работ по темам практических занятий, если они включены в структуру предметной подготовки.

Для возможности определенного «управления» студентом своим рейтингом в число контрольных мероприятий включены и некоторые виды необязательной учебной деятельности: выступление на студенческой конференции, участие в олимпиаде, написание рефератов. Правила назначения «стимулирующих» баллов за данные виды деятельности, как и вся технология построения рейтинговой шкалы, доводятся до сведения студентов на первом занятии в семестре.

Выскажем некоторые соображения относительно принципов формирования показателя посещаемости занятий. Любая образовательная стратегия, в том числе и рейтинговая, должна быть, с одной стороны, ориентированной на стимулирование постоянной учебной деятельности, а с другой – не подавляющей индивидуально-типологические и организационные особенности студентов.

Проблема посещения студентами занятий и педагогических воздействий со стороны преподавателя на их пропуски всегда

стоит достаточно остро. Однако острота этой проблемы может быть существенно снижена, если в арсенале кафедры имеются средства дистанционного обучения. Электронные пособия компьютерные тренажеры по обучению решению физических задач, глобальная сеть Интернет также выступают источниками учебной информации и в этом смысле дополняют, например, роль лекций как основного звена передачи знаний. Работа с этими источниками требует гораздо больших и временных, и интеллектуальных затрат, но если студент демонстрирует способность самостоятельно и на достаточном уровне овладеть лекционным материалом без посещения лекций, то такое право ему должно быть предоставлено. Посещение занятий фиксируется, но в *первом* модуле в семестре их пропуски не влияют на результаты показателя учебной активности. Если студент по итогам выполнения первой контрольной работы получил не менее 70% от максимально возможного значения, то в дальнейшем посещение занятий не является обязательным. Тем самым стимулируется развитие учебной, научной и творческой самостоятельности студентов, у них появляется перспектива выбора своей учебной стратегии. Если же описанные выше условия не выполнены студентом, то при переходе им в следующий модуль, посещение занятий носит контролирующий характер – за пропуски занятий вычитаются баллы из показателя учебной активности по определенной в начале семестра схеме. Обязательными для посещения остаются лабораторные занятия, однако и этот вопрос может решаться по согласованию с преподавателем, поскольку на кафедре разработана и активно внедряется в образовательную практику система имитационного моделирования лабораторных работ [8].

Несмотря на такой лояльный подход к проблеме пропусков занятий, следует все же отметить, что большинство студентов практикуют традиционный регламент посещения занятий – обязательный. Очевидно, взаимодействие с преподавателем, особенно на первых курсах, способствует более осознанному восприятию информации по сравнению с самостоятельным изучением. Однако практически в каждом потоке есть студенты, которые пользуются предоставленным им правом «свободного» посещения и демонстрируют при этом высокие учебные показатели.

### Заключение

В статье предложен комплекс контрольных мероприятий по физике, позволяющих с необходимой регулярностью оценивать

основные компоненты усвоения курса физики: уровень элементарных теоретических знаний, уровень умений решать физические задачи и уровень системных представлений по физике. Предлагаемые контрольные мероприятия ориентированы на так называемый «нулевой» рейтинг, исключая, без особых «педагогических потерь», экзамен как форму итоговой аттестации. Конечно, в идеале, экзамен (но не зачет) по физике в конце семестра является необходимым элементом образовательного процесса, который не могут заменить отдельные контрольные мероприятия. Только полностью погружаясь в учебный материал дисциплины, студенты могут оценить логичность и целостность физического знания. Кроме этого, экзамен развивает культуру речи, вырабатывает навыки логического мышления, т.е. способствует формированию общекультурных компетенций. Однако наблюдаемая тенденция к уменьшению сроков экзаменационных сессий или полному их исключению из графика учебного процесса (оборотная сторона рейтинговых моделей обучения) диктует необходимость разработки рейтинговых стратегий, в которых включаются разнообразные формы контроля, оценивающие все аспекты усвоения физического знания и методологии его познания. Таким образом, уровень текущих, рубежных и итоговых учебных достижений студентов по физике могут фиксировать следующие показатели: результаты контрольных работ, результаты электронного тестирования, результаты учебной активности студентов. Рейтинговая шкала полностью сформирована – весовой коэффициент всех контрольных мероприятий:  $BK = 3 \cdot 5\% + 2 \cdot 15\% + 25\% + 30\% = 100\%$ .

Максимально возможный балл за их выполнение:  $B_{\max} = 30 + 20 + 20 + 30 = 100$  баллов. При переводе рейтинговых баллов в традиционные оценки использовалась следующая шкала: до 61 балла – «неудовлетворительно»; от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»; от 76 до 90 баллов – «хорошо»; от 91 до 100 баллов – «отлично». Несмотря на определенную «жесткость» схемы перевода студенты в целом довольно положительно воспринимают возможности итоговой аттестации в виде рейтингового оценивания.

#### Список литературы

1. Бабанский Ю.К. Оптимизация процесса обучения М.: Педагогика, 1977. 257 с.
2. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. М.: Педагогика, 1989. 156 с.
3. Милевич А.С. К вопросу о современных технологиях контроля знаний студентов студентов // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 6–1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=1328> (дата обращения: 28.11.2018).
4. Современные образовательные технологии: учеб. пособие / Под ред. Н.В. Бордовской. М.: КНОРУС, 2010. 432 с.
5. Жунусакунова А.Д. Методы контроля и оценки результатов обучения в учебном процессе // Молодой ученый. 2016. № 20.1. С. 26–29.
6. Антипина И.О. Механизмы независимой оценки качества образования. // Инновационные проекты и программы в образовании. 2015. № 4. С. 12–17.
7. Кудинов В.А., Ильина, И.В., Белова С.В. Балльно-рейтинговая система оценки качества освоения основной образовательной программы высшего образования: учеб. пособие. Курск: КГУ, 2014. 145 с.
8. Юсупова А.В., Завада Г.В., Фролов А.Г. Современные технологии обучения и контроля знаний: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 150с.
9. Клещева Н.А., Исаев Д.А., Плотников В.С., Шилова Е.С. Информационно-образовательная среда предметной подготовки по физике: монография. Владивосток: ДВФУ, 2016. 103 с.

УДК 378:004.8

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ЕГО МОДЕЛИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ КОМПОНЕНТОМ

<sup>1</sup>Соболевская Е.Ю., <sup>2</sup>Левченко Н.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского», Владивосток, e-mail: study\_z@list.ru

Рассмотрен процесс электронного обучения. Разработан перечень вопросов с вариантами ответов по теме электронного обучения для опроса студентов в онлайн-режиме. Проведен анализ процесса электронного обучения по результатам проведенного онлайн-анкетирования обучающихся курсантов и студентов Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского. Выявлены актуальные проблемы электронного обучения и потребности обучающихся, а также необходимые требования к системе электронного обучения, обеспечивающие эффективность, понятность и прозрачность процесса обучения. Обоснована необходимость при разработке компонентов электронного обучения учитывать не только различные законодательные и нормативные документы, но и потребности участников учебного процесса и также применять передовые информационные технологии. Предложены пути решения проблем и реализации потребностей всех участников образовательного процесса с помощью моделирования процесса электронного обучения на базе современных информационных технологий: нейронных сетей, математического аппарата нечеткой логики, экспертной системы. Разработана структура модели процесса электронного обучения с интеллектуальным компонентом, включающим экспертную систему на базе гибридного нейросетевого аппарата, которая будет накапливать и обрабатывать знания преподавателя по той или иной дисциплине.

**Ключевые слова:** электронное обучение, моделирование, экспертная система, интеллектуальный компонент, анкета

## ANALYSIS OF THE ELECTRONIC LEARNING PROCESS AND DEVELOPMENT OF ITS MODEL WITH INTELLIGENT COMPONENT

<sup>1</sup>Sobolevskaya E.Yu., <sup>2</sup>Levchenko N.G.

<sup>1</sup>Vladivostok State University of Economics and Service», Vladivostok;

<sup>2</sup>Maritime State University adm. G.I. Nevelskoy», Vladivostok, e-mail: study\_z@list.ru

The process of e-learning and its «flipped classroom» element have been considered. A list of multiple choice questions about e-learning for an online student survey has been developed. The analysis of the e-learning process has been carried out based on the results of an online survey taken by students in higher education institution cadets and students Maritime State University. adm. GI Nevelskogo. Current e-learning problems and students' needs, have been identified as well as necessary requirements for the e-learning system, ensuring effectiveness, clarity and transparency of the learning process. When developing e-learning components it is necessary, to consider not only various legislative and regulatory documents, but also the needs of participants in the educational process, as well as the use of advanced information technologies. The ways of solving problems and fulfilling the needs of all the participants in the educational process have been proposed using the e-learning process simulation based on modern information technologies: neural networks, the mathematical tool of fuzzy logic, and an expert system. The structure of the e-learning process model has been developed with an intelligent component that includes an expert system based on a hybrid neural network tool that will accumulate and process teacher's knowledge in a particular discipline.

**Keywords:** e-learning, modeling, expert system, intelligent component, multiple choice questions

Уже не первый год продолжается глобальный процесс в системе высшего образования, а именно идет переход к «смешанному обучению» или так называемым «перевернутым классам».

Влияние информационных технологий на все сферы жизни современного человека не могло обойти и образование. В данной статье рассматривается влияние электронного обучения на высшее образование на примере высшего учебного заведения – Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского.

Цель исследования: выявление аспектов отношения студентов и курсантов к элек-

тронному обучению и разработка модели процесса электронного обучения с интеллектуальным компонентом.

### Материалы и методы исследования

Одной из технологий электронного обучения является перевернутый класс. Он может применяться как в дистанционной форме обучения, так и в очной форме, когда часть очных занятий замещается электронным контентом. Перевернутый класс – это учебная стратегия и тип смешанного обучения, которые меняют традиционную среду обучения, предоставляя учебный контент, часто в онлайн-режиме, вне аудиторных занятий [1].

Преимущества данной технологии:

– учащиеся получают необходимые знания перед аудиторными занятиями;

– преподаватели направляют учащихся к активному и интерактивному участию во время занятий и применению полученных знаний.

Этот подход позволяет преподавателям играть ключевую роль, они направляют своих учеников к более глубокому мышлению и более высоким уровням применения своих знаний [1].

Но нельзя обойти вниманием и недостатки:

– у обучающихся возникают проблемы с пониманием учебного материала;

– не всегда есть возможность в реальном времени получить разъяснения по учебному материалу.

Когда заходит речь о высшем образовании, можно услышать различные мнения студентов, родителей студентов, профессорско-преподавательского состава, выпускников вузов, лиц, принимающих решения по набору профессиональных квалифицированных кадров, и, как правило, они по-разному понимают, что именно включает в себя это понятие.

В федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» дано определение для профессионального образования: вид образования, который направлен на приобретение обучающимися в процессе освоения основных профессиональных образовательных программ знаний, умений, навыков и формирование компетенции определенных уровня и объема, позволяющих вести профессиональную деятельность в определенной сфере и (или) выполнять работу по конкретным профессии или специальности [2].

Для разработки электронных курсов существует ГОСТР 53625-2009 (ИСО/МЭК 19796-1: 2005) – Информационная технология. Обучение, образование и подготовка. Менеджмент качества, обеспечение качества и метрики [3]. Тем не менее при разработке компонентов электронного обучения разработчики должны учитывать не только законодательные и нормативные документы, но и потребности участников учебного процесса и передовые информационные технологии.

### Результаты исследования и их обсуждение

Приведем анализ проблем и потребностей обучающихся в процессе электронного обучения. Несомненно, что для руководства любого вуза введение смешанного обучения или перевернутых классов это выгодный экономический маневр, так как освобождается часть аудиторного фонда, сокращается доля профессорско-преподавательский состава.

Но не надо забывать о потребностях студентов, так как именно они являются основным участником образовательного процесса, именно студенты оценивают и выбирают наиболее качественные образовательные услуги. Для выявления проблем и потребностей обучающихся была разработана анкета для опроса и размещена в сети интернет [4]. Данная анкета являлась анонимной, что позволяет говорить о реальном мнении студентов.

На базе двух вузов было предложено пройти опрос студентам, которые участвуют в смешанном обучении, в котором ауди-

торные лекционные занятия заменены электронными лекциями и оценкой усвоения материала являются тесты.

На рис. 1 представлены диаграммы:

а) «Участники опроса» – в опросе участвовали 224 человека очной формы обучения разных курсов, на диаграмме 47% опрошенных студенты и курсанты 1 курса обучения;

б) «Согласны ли Вы с утверждением, что электронное обучение предоставляет более качественное образование?», на которой 52% опрошенных выбрали ответ – «согласен, но частично»;

в) «Согласны ли Вы с утверждением, что электронное обучение предоставляет доступ к качественному образованию людям с ограниченными возможностями здоровья?», на которой 74% опрошенных выбрали ответ – «согласен»;

г) «Согласны ли Вы с утверждением, что электронное обучение лучше традиционного?», на которой 49% опрошенных выбрали ответ – «согласен, но частично».

Анализируя результаты первой части опроса, представленного на рис. 1, приходим к выводу, что электронное обучение для студентов и курсантов актуально, они считают его более качественным и доступным, чем традиционная очная форма обучения.

На рис. 2 представлены диаграммы:

а) «Согласны ли Вы с утверждением, что при электронном обучении будет иметь место недостаточное понимание учебного материала?», на которой 50% опрошенных выбрали ответ – «согласны»;

б) «Согласны ли Вы с утверждением, что все аудиторные лекционные занятия необходимо перевести в электронную форму обучения?», на которой 46% опрошенных выбрали ответ – «не согласен»;

в) «Как Вы считаете, какой процент аудиторных лекционных занятий стоит перевести в электронное обучение?», на которой 33% опрошенных выбрали ответ – «до 50%»;

г) «В какой форме необходимо предоставлять обучающимся консультации преподавателя при электронной форме обучения?», на которой 84% опрошенных выбрали ответ – «в очной».

Анализируя результаты второй части опроса, представленного на рис. 2, делаем вывод, что студенты и курсанты уверены в необходимости непосредственного контакта с преподавателями.

Диаграмма, представленная на рис. 3, только подтверждает выводы, сделанные выше. Так же было предложено отметить требования к системе электронного обучения (рис. 4).

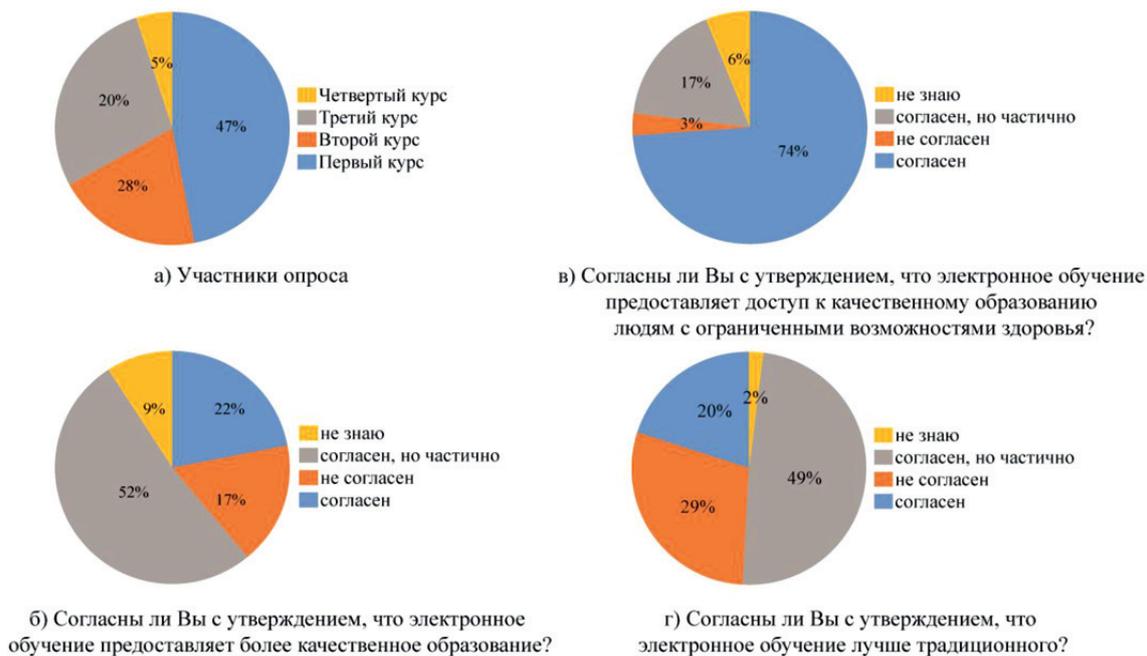


Рис. 1. Результаты анкетирования, первая часть

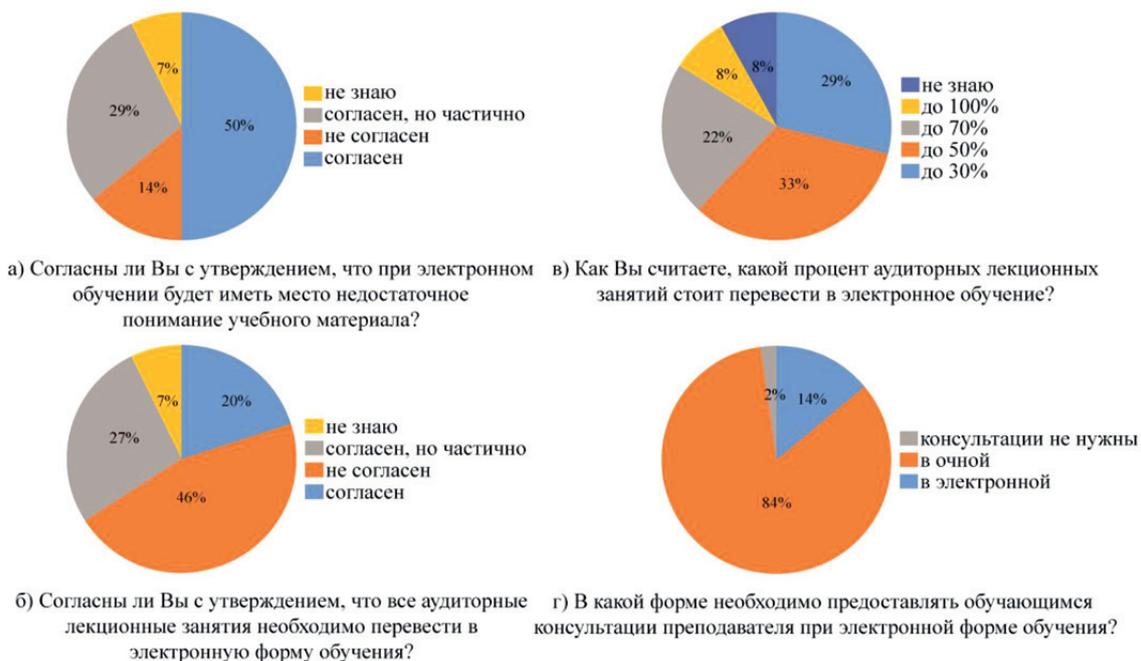


Рис. 2. Результаты анкетирования, вторая часть

Анализ ответов показал, что студенты считают электронное обучение более качественным, но, с другой стороны, они только частично согласны, что оно лучше традиционного. Далее по анализу ответов становится понятно, почему студенты в большинстве считают, что при электрон-

ном обучении они сталкиваются с недостаточным пониманием учебного материала, в связи с этим они согласны перевести только до 50% лекций в электронное обучение. Также они нуждаются в очных консультациях и в передаче опыта от преподавателя к студенту.

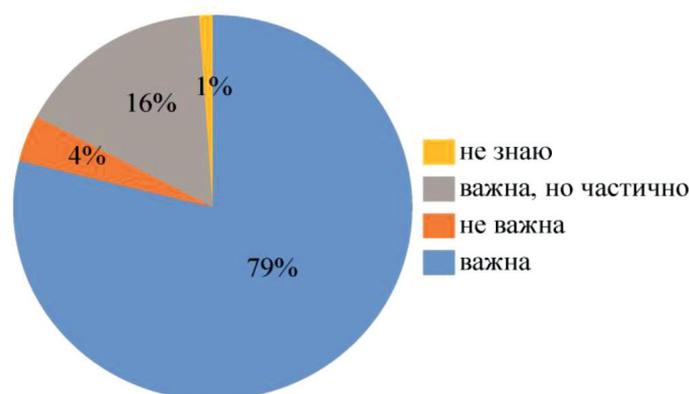


Рис. 3. Как Вы считаете, важна ли непосредственная передача опыта преподавателя обучающемуся?



Рис. 4. Необходимые требования к системе электронного обучения, обеспечивающие эффективность, понятность и прозрачность процесса обучения

Даже если выполнить все требования к системе электронного обучения, включая предоставление возможности задать вопрос на форуме или организации онлайн-встречи с преподавателем, это не исправит полностью ситуацию. Требуется разработать новую модель электронного обучения с учётом требований и потребностей всех участников образовательного процесса и возможностями современных информационных технологий.

*Разработка структуры модели процесса электронного обучения с интеллектуальным компонентом*

Безусловно, если у преподавателя поток более чем 150 человек, он не в состоянии ответить на все вопросы аудитории и поделиться собственным опытом в полном объёме в режиме реального времени.

Говоря о современных информационных технологиях, надо рассмотреть возможность применения экспертных систем,

как основного элемента модели процесса электронного обучения.

Экспертные системы – класс программных систем, аккумулирующих знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующих эмпирический опыт для консультаций менее квалифицированных пользователей [5].

Появляется такое понятие, как онтология знаний [6]. Важным компонентом экспертной системы является база знаний, которая обладает такими определениями, как полнотой и непротиворечивостью представленных в ней знаний, для получения качественных управленческих решений.

Интеллектуальные системы – автоматизированные системы, основанные на знаниях или комплексе программных, лингвистических и логико-математических средств для реализации основной задачи – осуществления поддержки деятельности человека и поиска информации в режиме продвинутого диалога на естественном языке.

Таким образом, к существующему электронному обучению, независимо на какой платформе оно реализовано, необходимо добавить интеллектуальный компонент (рис. 5).

выступать как эксперт по знаниям и наполнять систему своими знаниями. Тем самым решится главная проблема студентов – это потребность в консультации и передаче опыта от преподавателя к обучающемуся, так как, обращаясь к системе, они смогут получить своевременный и полный ответ.

Как бы то ни было, в среде преподавателей могут возникнуть опасения, что они станут «ненужными», которые не захотят делиться знаниями и опытом, но надо понимать, что, например, программное обеспечение меняется каждый год, и вопросы у студентов могут быть различными и опыт с каждым годом новый. Экспертная система будет нуждаться в постоянном пополнении новыми знаниями, что только улучшит качество образования в целом.

### Заключение

Структура модели процесса электронного обучения с интеллектуальным компонентом при дальнейшей успешной реализации, безусловно, займёт свою нишу в электронном обучении. При наполнении информационной системы, базовым компонентом которой будет являться база знаний

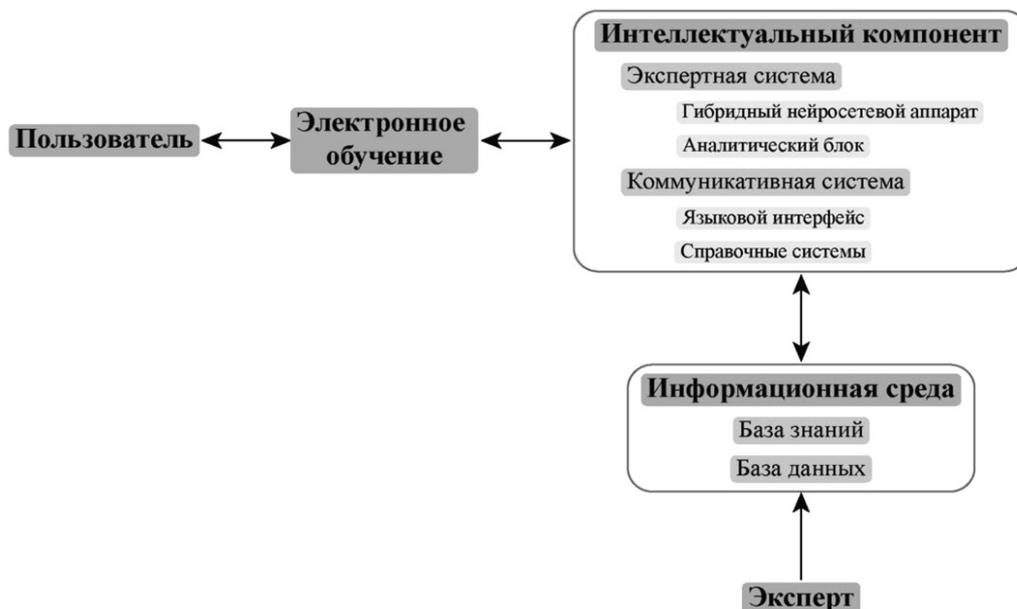


Рис. 5. Структура модели процесса электронного обучения с интеллектуальным компонентом

Интеллектуальный компонент будет включать гибридный нейросетевой аппарат, который будет накапливать и обрабатывать знания преподавателя по той или иной дисциплине. Преподаватель не только вуза, в котором реализуется электронное обучение, но и других учебных заведений сможет

экспертов-преподавателей, то есть будет иметь место база стандартных вопросов и ответов, но также надо не забывать проводить опрос студентов, чтобы учитывать их научные и исследовательские интересы. Также при удачной реализации интеллектуального компонента появится возможность

предоставлять пользователю аналитическую информацию и студенту, и преподавателю, и управляющим структурам, чтобы своевременно принимать решения, например, что актуально или что требует кардинальной переработки, и позволит развивать электронное обучение и привлечь больше студентов к обучению.

#### Список литературы

1. Официальный сайт The University of Texas at Austin Faculty Innovation Center. Flipped Classroom [Электронный ресурс]. URL: <https://facultyinnovate.utexas.edu/flipped-classroom> (дата обращения: 24.10.18).

2. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный

ресурс]. URL: <https://минобрнауки.рф/документы/2974> (дата обращения: 24.10.18).

3. ГОСТ Р 53625-2009 (ИСО/МЭК 19796-1: 2005) Информационная технология обучение, образование и подготовка. Менеджмент качества, обеспечение качества и метрики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/50205> (дата обращения: 24.10.18).

4. Опрос на тему «Электронное обучение» [Электронный ресурс]. URL: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfh1CeufP06XLSvsWyz0j\\_fzKu1NCEpWVNcA-O5vcksV8IJQg/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfh1CeufP06XLSvsWyz0j_fzKu1NCEpWVNcA-O5vcksV8IJQg/viewform) (дата обращения: 24.10.2018).

5. Соболевская Е.Ю., Глушков С.В., Левченко Н.Г. Архитектура интеллектуальной системы организации арктических морских грузоперевозок // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 4 (19). С. 27–37.

6. Юдин А.А., Попов А.А. Разработка модели базы знаний учебного курса // Информатизация и связь. 2017. № 2. С. 51–55.