

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,899  
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,338

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 электронному каталогу «Почта России» – ПА037

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

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

**Ответственный секретарь редакции**

*Бизенкова Мария Николаевна*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

д.т.н., профессор, Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., профессор, Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., профессор, Алов В.З. (Нальчик); д.т.н., доцент, Аршинский Л.В. (Иркутск); д.т.н., профессор, Ахтулов А.Л. (Омск); д.т.н., профессор, Баёв А.С. (Санкт-Петербург); д.т.н., профессор, Баубеков С.Д. (Тараз); д.т.н., профессор, Беззубцева М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.-м.н., профессор, Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., профессор, Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.-м.н., профессор, Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., профессор, Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., профессор, Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Горбатько С.М. (Москва); д.т.н., профессор, Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., профессор, Далингер В.А. (Омск); д.псих.н., профессор, Долгова В.И. (Челябинск); д.э.н., профессор, Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., профессор, Дресвянников А.Ф. (Казань); д.псих.н., профессор, Дубовицкая Т.Д. (Сочи); д.т.н., доцент, Дубровин А.С. (Воронеж); д.п.н., доцент, Евтушенко И.В. (Москва); д.п.н., профессор, Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.т.н., профессор, Завражнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загrevский О.И. (Томск); д.т.н., профессор, Ибраев И.К. (Караганда); д.т.н., профессор, Иванова Г.С. (Москва); д.х.н., профессор, Ивашкевич А.Н. (Москва); д.ф.-м.н., профессор, Ижугкин В.С. (Москва); д.т.н., профессор, Калмыков И.А. (Ставрополь); д.п.н., профессор, Качалова Л.П. (Шадринск); д.псих.н., доцент, Кибальченко И.А. (Таганрог); д.п.н., профессор, Клемантович И.П. (Москва); д.п.н., профессор, Козлов О.А. (Москва); д.т.н., профессор, Козлов А.М. (Липецк); д.т.н., доцент, Козловский В.Н. (Самара); д.т.н., доцент, Красновский А.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Крупинин 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, Схимбаев 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, Туголмин А.В. (Глазов); д.т.н., профессор, Умбетов У.У. (Кызылорда); д.м.н., профессор, Фесенко Ю.А. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Хода Л.Д. (Нерюнгри); д.т.н., профессор, Часовских В.П. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Ченцов С.В. (Красноярск); д.т.н., профессор, Червяков Н.И. (Ставрополь); д.т.н., профессор, Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., профессор, Шарафеев И.Ш. (Казань); д.т.н., профессор, Шишков В.А. (Самара); д.т.н., профессор, Щипицын А.Г. (Челябинск); д.т.н., профессор, Яблокова М.А. (Санкт-Петербург)

---

«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 бесплатный.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,899.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,305.**

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

Учредитель, издательство и редакция:  
ООО ИД «Академия Естествознания»

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

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

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

Подписано в печать – 31.01.2022  
Дата выхода номера – 28.02.2022

Формат 60×90 1/8  
Типография  
ООО «Научно-издательский центр Академия Естествознания»  
410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка  
Доронкина Е.Н.  
Корректор  
Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный  
Распространение по свободной цене  
Усл. печ. л. 22  
Тираж 1000 экз.  
Заказ СНТ 2022/1  
Подписной индекс ПА037

© ООО ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Технические науки (05.02.02, 05.02.04, 05.02.07, 05.02.09, 05.02.10, 05.02.11, 05.02.13, 05.02.18, 05.02.22, 05.13.06, 05.13.10, 05.13.11, 05.13.17, 05.13.18)**

**СТАТЬИ**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДНОГО КОМПЛЕКСА <i>Ахмедзянов Г.Г., Дремин В.В., Литвинов А.В.</i> .....	9
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ВЕБ-КВЕСТОВ <i>Виштак Н.М., Ходакова Н.П.</i> .....	14
ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СРЕДСТВАМ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ УМНОГО ГОРОДА <i>Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р., Садаков В.А., Чупаков М.В.</i> .....	20
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» <i>Гурский С.М., Полубенцев В.А.</i> .....	25
ЦИФРОВАЯ ТЕНЬ РОССИЙСКИХ МЕЖДУНАРОДНЫХ МЕГАПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС ЗА РУБЕЖОМ: ОЦЕНКА ТОНАЛЬНОСТИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ <i>Гусева А.И., Кузнецов И.А., Бочкарёв П.В., Смирнов Д.С.</i> .....	32
АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ТЕСТИРОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА БАЙЕСА <i>Гусятников В.Н., Соколова Т.Н., Безруков А.И., Каюкова И.В.</i> .....	40
АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ <i>Еделев А.В., Береснева Н.М., Горский С.А.</i> .....	47
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦИФРОВОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ <i>Калугина А.В., Мамоненко Н.В., Ковшов Е.Е.</i> .....	53
СТЕНД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Костромин Р.О.</i> .....	59
ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ДЛИННЫХ ВОЛН В ТЯЖЕЛОЙ ГРАВИТИРУЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В МОДЕЛИ ВЛАСОВСКОГО ТИПА <i>Краснослободцева Т.П., Скворцова М.И.</i> .....	65
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «МАГТУ.АНТИПЛАГИАТ» <i>Киселев А.В., Гаврилова И.В.</i> .....	74
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ <i>Пачкин С.Г., Котляров Р.В., Шевцова Т.Г., Иванов П.П., Ли С.Р., Преснова А.С.</i> .....	80

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ <i>Сапсалева А.В., Брованов С.В., Харитонов А.С.</i> .....	85
СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ <i>Толымбекова Л.Б., Жунусов А.К., Морсков Ю.А., Саутов А.Е.</i> .....	91
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫБОРА СРЕДСТВ КАЛИБРОВКИ СЧЕТЧИКА РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ ПУТЕМ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ <i>Федорович Н.Н., Студеникина О.Д.</i> .....	96
ДИСКРЕТНЫЕ МОДЕЛИ ВЫБОРА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК <i>Феоктистов А.Г.</i> .....	102
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ, ВИЗУАЛЬНАЯ ИНСПЕКЦИЯ ПО ВИДЕОЗАПИСЯМ И ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ <i>Фраленко В.П., Шишкин О.Г.</i> .....	107
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УЧАСТКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ОПК <i>Харитонов Д.В., Блинов А.Н., Анашкин Д.А.</i> .....	114

**Педагогические науки (13.00.01, 13.00.02, 13.00.03, 13.00.04, 13.00.05, 13.00.08)**

**СТАТЬИ**

РЕАЛИЗАЦИЯ ИГРОВЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ <i>Бузов В.А.</i> .....	121
ПОДГОТОВКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО ВЫПУСКНИКА, ОБЛАДАЮЩЕГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ, В ИННОВАЦИОННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ ИНЖЕНЕРНОГО ВУЗА <i>Горикова О.О.</i> .....	128
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОЙСТВ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КИКБОКСЕРОВ И БОРЦОВ ГРЕКО-РИМСКОГО СТИЛЯ <i>Ишмухамедов Т.Р., Пойдунов А.А., Покотилова А.А., Бекетов О.В., Собянин Ф.И., Рахметжанов А.С.</i> .....	133
БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ИХ ФАЗОВОГО СОСТАВА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ БОБСЛЕИСТОВ <i>Павельев И.Г., Остриков А.П., Костенко Е.Г., Алдарова Л.М.</i> .....	138
ХУДОЖЕСТВЕННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБУЧЕНИЯ УЧАЩИХСЯ НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ ИЛЛЮСТРИРОВАНИЮ РУССКИХ НАРОДНЫХ СКАЗОК <i>Польнская И.Н., Нагоричная М.Р.</i> .....	144

---

К ПОСТРОЕНИЮ КОНЦЕПЦИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЦЕССА И КАЧЕСТВА  
ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ КАК СИСТЕМЫ КВАЗИПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ  
И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

*Смыковская Т.К.* ..... 152

ОЛИМПИАДЫ И КОНКУРСЫ ПО ЧЕРЧЕНИЮ  
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ, ГОТОВЯЩИХСЯ К ПОСТУПЛЕНИЮ  
В ВУЗ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «АРХИТЕКТУРА»

*Супрун Л.И., Супрун Е.Г., Устюгова Л.А., Хлудеева М.Н.* ..... 160

**НАУЧНЫЙ ОБЗОР**

НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ – НЕОТЪЕМЛЕМАЯ  
СОСТАВЛЯЮЩАЯ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ИЛИ ПЕРЕЖИТКИ ПРОШЛОГО?

*Назарова Ж.А.* ..... 166

**Психологические науки (13.00.04)**

**СТАТЬЯ**

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ТРЕНИНГ КАК РЕСУРС  
ПОВЫШЕНИЯ КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ  
СТУДЕНТОВ – БУДУЩИХ ТРЕНЕРОВ ПО ФИТНЕСУ

*Москаленко К.Ю.* ..... 171

---

**CONTENTS**

**Technical sciences (05.02.02, 05.02.04, 05.02.07, 05.02.09, 05.02.10, 05.02.11, 05.02.13, 05.02.18, 05.02.22, 05.13.06, 05.13.10, 05.13.11, 05.13.17, 05.13.18)**

**ARTICLES**

IMPROVE THE MANAGEMENT OF PARAMETERS OF RAILWAY INFRASTRUCTURE TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF THE LEVEL CROSSING COMPLEX <i>Akhmedzyanov G.G., Dremine V.V., Litvinov A.V.</i> .....	9
SOFTWARE MODULE FOR THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL WEB QUESTS <i>Vishtak N.M., Khodakova N.P.</i> .....	14
ESTABLISHMENT OF REQUIREMENTS FOR MEANS OF INFORMATION SUPPORT OF THE INTELLIGENT CITY AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM <i>Grishin I.Yu., Timirgaleeva R.R., Sadakov V.A., Chupakov M.V.</i> .....	20
INFORMATION SECURITY IN THE INTERNET INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORK <i>Gurskiy S.M., Polubentsev V.A.</i> .....	25
DIGITAL SHADOW OF RUSSIAN INTERNATIONAL MEGAPROJECTS OF NPP CONSTRUCTION ABROAD: ASSESSMENT OF THE TONE OF UTTERANCES <i>Guseva A.I., Kuznetsov I.A., Bochkarev P.V., Smirnov D.S.</i> .....	32
ADAPTIVE MODEL FOR TESTING SEVERAL COMPETENCIES BASED ON THE BAYES ALGORITHM <i>Gusyatnikov V.N., Sokolova T.N., Bezrukov A.I., Kayukova I.V.</i> .....	40
VULNERABILITY ANALYSIS OF ENERGY INFRASTRUCTURE AND ITS IMPLEMENTATION <i>Edelev A.V., Beresneva N.M., Gorskiy S.A.</i> .....	47
DECISION SUPPORT SYSTEM IN DIGITAL METALLOGRAPHY <i>Kalugina A.V., Mamonenko N.V., Kovshov E.E.</i> .....	53
STAND FOR SIMULATION MODELING AND VISUALIZATION OF WORK PROCESSES OF INFRASTRUCTURAL OBJECTS <i>Kostromin R.O.</i> .....	59
DESCRIPTION OF LONG WAVE DYNAMICS IN HEAVY WAVE GRAVITATING FLUID IN VLASOV TYPE MODEL <i>Krasnoslobodzeva T.P., Skvortsova M.I.</i> .....	65
ENSURING INTEROPERABILITY OF THE UNIVERSITY INFORMATION EDUCATIONAL ENVIRONMENT ON THE EXAMPLE OF THE WEB-APPLICATION «MAGTU.ANTIPLAGIAT» <i>Kiselev A.V., Gavrilova I.V.</i> .....	74
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PLENUM EXHAUST VENTILATION <i>Pachkin S.G., Kotlyarov R.V., Shevtsova T.G., Ivanov P.P., Li S.R., Presnova A.S.</i> .....	80

TO THE QUESTION OF ENERGY SAVING IN ELECTROMECHANICAL SYSTEMS <i>Sapsalev A.V., Brovanov S.V., Kharitonov A.S.</i> .....	85
WAYS TO INCREASE THE PERFORMANCE OF THE ELECTROLYZER BY ADJUSTING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS <i>Tolymbekova L.B., Zhunusov A.K., Morskoy Yu.A., Sautov A.E.</i> .....	91
CONTROL OF THE PROCESS OF SELECTING THE MEANS OF CALIBRATION OF THE LIQUID FLOW METER BY ASSESSING THE UNCERTAINTIES OF THE MEASUREMENT RESULTS <i>Fedorovich N.N., Studenikina O.D.</i> .....	96
DISCRETE MODELS OF CHOOSING SIMULATION RESULTS OF OPERATING ENVIRONMENTAL EQUIPMENT <i>Feoktistov A.G.</i> .....	102
INTELLIGENT TELEMETRY DATA PROCESSING, VISUAL INSPECTION ON VIDEO AND LASER SCANNING DATA <i>Fralenko V.P., Shishkin O.G.</i> .....	107
IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF THE CERAMIC PRODUCTS MACHINING SITE IN THE DEFENSE INDUSTRY <i>Kharitonov D.V., Blinov A.N., Anashkin D.A.</i> .....	114

**Pedagogical sciences (13.00.01, 13.00.02, 13.00.03, 13.00.04, 13.00.05, 13.00.08)**

**ARTICLES**

IMPLEMENTATION OF GAME METHODS OF TEACHING A FOREIGN LANGUAGE TO STUDENTS OF A TECHNICAL UNIVERSITY USING OPEN ELECTRONIC RESOURCES <i>Burov V.A.</i> .....	121
PREPARATION OF A COMPETITIVE GRADUATE WITH RESEARCH POTENTIAL IN AN INNOVATIVE INTEGRATED ENVIRONMENT OF AN ENGINEERING UNIVERSITY <i>Gorshkova O.O.</i> .....	128
COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE HIGHER NERVOUS ACTIVITY IN KICKBOXERS AND GRECO-ROMAN WRESTLERS <i>Ishmukhamedov T.R., Poydunov A.A., Pokotilova A.A., Beketov O.V., Sobyenin F.I., Rakhmetzhanov A.S.</i> .....	133
BIOMECHANICAL ANALYSIS OF SPORTS MOVEMENTS TAKING INTO ACCOUNT THEIR PHASE COMPOSITION TO IMPROVE THE TECHNICAL SKILLS OF QUALIFIED BOBSLEDDERS <i>Pavelev I.G., Ostrikov A.P., Kostenko E.G., Aldarova L.M.</i> .....	138
ARTISTIC AND PEDAGOGICAL BASIS OF TRAINING STUDENTS IN ELEMENTARY CLASSES ILLUSTRATION OF RUSSIAN FOLK FAIRY TALES <i>Polynskaya I.N., Nagorichnaya M.R.</i> .....	144
TOWARDS THE CONSTRUCTION OF THE CONCEPT OF THE EXAMINATION OF THE PROCESS AND QUALITY OF PEDAGOGICAL PRACTICE AS A SYSTEM OF QUASI-PROFESSIONAL AND PROFESSIONAL EVENTS <i>Smykovskaya T.K.</i> .....	152

---

OLYMPIADS AND DRAWING COMPETITIONS FOR STUDENTS PREPARING  
TO ENTER THE UNIVERSITY IN THE DIRECTION OF «ARCHITECTURE»

*Suprun L.I., Suprun E.G., Ustyugova L.A., Khludeeva M.N.* ..... 160

**REVIEWS**

IS DESCRIPTIVE GEOMETRY AN INTEGRAL PART  
OF MODERN TECHNICAL EDUCATION OR REMNANTS OF THE PAST?

*Nazarova Zh.A.* ..... 166

**Psychological sciences (13.00.04)**

**ARTICLE**

PSYCHOLOGICAL TRAINING AS A RESOURCE FOR INCREASING  
THE COMMUNICATIVE COMPETENCE OF FUTURE FITNESS STUDENTS

*Moskalenko K.Yu.* ..... 171

СТАТЬИ

УДК 656.216.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДНОГО КОМПЛЕКСА**

<sup>1</sup>Ахмедзянов Г.Г., <sup>1</sup>Дремин В.В., <sup>2</sup>Литвинов А.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»,  
Омск, e-mail: lzzzzlomsk@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГКОУ ВО «Омская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации»,  
Омск, e-mail: artyom\_hawk@mail.ru

Рассматривается проблема повышения эффективности эксплуатации железнодорожного переездного комплекса. Железнодорожный переездный комплекс включает элементы инфраструктуры автомобильных и железных дорог, устройства сигнализации и ограждения, системы контроля и видеонаблюдения. Количество дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах остается на одном уровне за последние десять лет. Предметом исследования является модель железнодорожного переездного комплекса. Целью работы является совершенствование информационной модели железнодорожного переездного комплекса для повышения эффективности его эксплуатации. Для исследования использовались модель связи устройств железнодорожного переездного комплекса, развернутый граф информационных связей объектов инфраструктуры железнодорожного переезда, информационный граф железнодорожного переездного комплекса. В статье сравнивается динамика дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации на автомобильных дорогах и железнодорожных переездах за последние десять лет. Больше всего дорожно-транспортных происшествий происходит на неохраемых нерегулируемых железнодорожных переездах. Предложено исследовать полную схему железнодорожного переездного комплекса для разработки технических мероприятий по повышению эффективности и безопасности его эксплуатации. Представлены модели связи устройства переездного комплекса и неохраемого нерегулируемого переезда. На основании развернутого информационного графа построены графы переездного комплекса с видеонаблюдением и неохраемого нерегулируемого железнодорожного переезда. Для совершенствования информационных связей участников движения на неохраемом нерегулируемом железнодорожном переезде предложен вариант его модернизации.

**Ключевые слова:** железнодорожный переезд, автоматическая переездная сигнализация, модель связи устройств, неохраемый нерегулируемый переезд, информационный граф, непрерывный мониторинг

**IMPROVE THE MANAGEMENT OF PARAMETERS  
OF RAILWAY INFRASTRUCTURE TO IMPROVE  
THE EFFECTIVENESS OF THE LEVEL CROSSING COMPLEX**

<sup>1</sup>Akhmedzyanov G.G., <sup>1</sup>Dremin V.V., <sup>2</sup>Litvinov A.V.

<sup>1</sup>Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: lzzzzlomsk@gmail.com;

<sup>2</sup>Omsk City academy of the Ministry of Internal Affairs Russia, Omsk, e-mail: artyom\_hawk@mail.ru

The problem of increasing the efficiency of operation of the level crossing complex is discussed. The level crossing complex includes elements of the infrastructure of roads and railways, signaling and barrier devices, control and video surveillance systems. The number of road traffic accidents at level crossings has remained at the same level over the past ten years. The object of study is a model of a level crossing complex. The aim of the work is develop the information model of the level crossing complex to increase the operating efficiency. For research, we used a model of communication between devices of a level crossing complex, an information graph of a level crossing complex. The article compares road accidents dynamics. To date, the number of road traffic accidents at level crossings had not decreased significantly. It is proposed to study the complete scheme of the level crossing complex to its improvement. Models of communication between the components of the level crossing complex had been developed. On the basis of the extended information graph, the graphs of the level crossing complex were built. A variant of its upgrading has been proposed, to improve the information connections of road users at passive level crossing.

**Keywords:** level crossing, active level crossing, passive level crossing, device communication model, information graph, continual monitoring

Железнодорожный переездный комплекс (ЖДПК) – это технологический комплекс, включающий железнодорожный переезд (место пересечения в одном уровне железной и автомобильной дорог), технические средства ограждения и сигнализации (как для автомобильного, так и железнодорожного транспорта), системы контроля и диагностики, существующую инфраструктуру желез-

нодорожной линии (контактную сеть, рельсовые цепи и рельсовый путь) и автомобильной дороги (дорожное и резинокордовое покрытие, дорожные знаки, разметка). ЖДПК служит для обеспечения безопасного движения железнодорожного подвижного состава и автомобильного транспорта, сохранности перевозимых грузов, пассажиров и здоровья людей в зоне железнодорожного переезда.

Несмотря на общее снижение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в Российской Федерации (с 2009 по 2020 г. снижение на 28,8%) количество ДТП на переездах остается на одном уровне (с 2009 по 2020 г. рост на 1%) [1]. Поэтому задача повышения эффективности и безопасности эксплуатации ЖДПК требует новых подходов. Также следует отметить, что большая часть ДТП (58,8% на 2020 г.) приходится на неохраняемые нерегулируемые железнодорожные переезды (четвертая категория).

**Материалы и методы исследования**

В работе использован метод описания информационного взаимодействия элементов инфраструктуры железнодорожного переездного комплекса и участников движения. Материалом работы послужили данные о ДТП на железнодорожных переездах Западно-Сибирской железной дороги с 2015 по 2020 г.

**Результаты исследования и их обсуждение**

На первом этапе для определения причин ДТП на ЖДПК необходимо построить

схему ЖДПК и рассмотреть имеющиеся подсистемы и их связи. ЖДПК включает множество различных технических средств, обеспечивающих безопасное движение по переезду. Рассмотрим ЖДПК с максимальным техническим оснащением. Он будет включать следующие элементы: автоматическую переездную сигнализацию с автошлагбаумом (АПС АШ), устройство ограждения переезда (УЗП) с датчиками контроля занятости (КЗ), переездный светофор, устройства звукового оповещения, противотаранные устройства, дорожные знаки, дорожную разметку, систему видеонаблюдения, релейный шкаф, батарейный шкаф, рельсовую цепь, рельсовый путь, автомобильную дорогу, резинокордовое покрытие, заградительный светофор, автоматическую локомотивную сигнализацию, аппаратуру диспетчерского контроля (ДК), переездный пост, контактную сеть [2]. На рис. 1 представлены связи между отдельными элементами ЖДПК. Выделены информационные и механические связи, передача команд управления и линии электропитания.

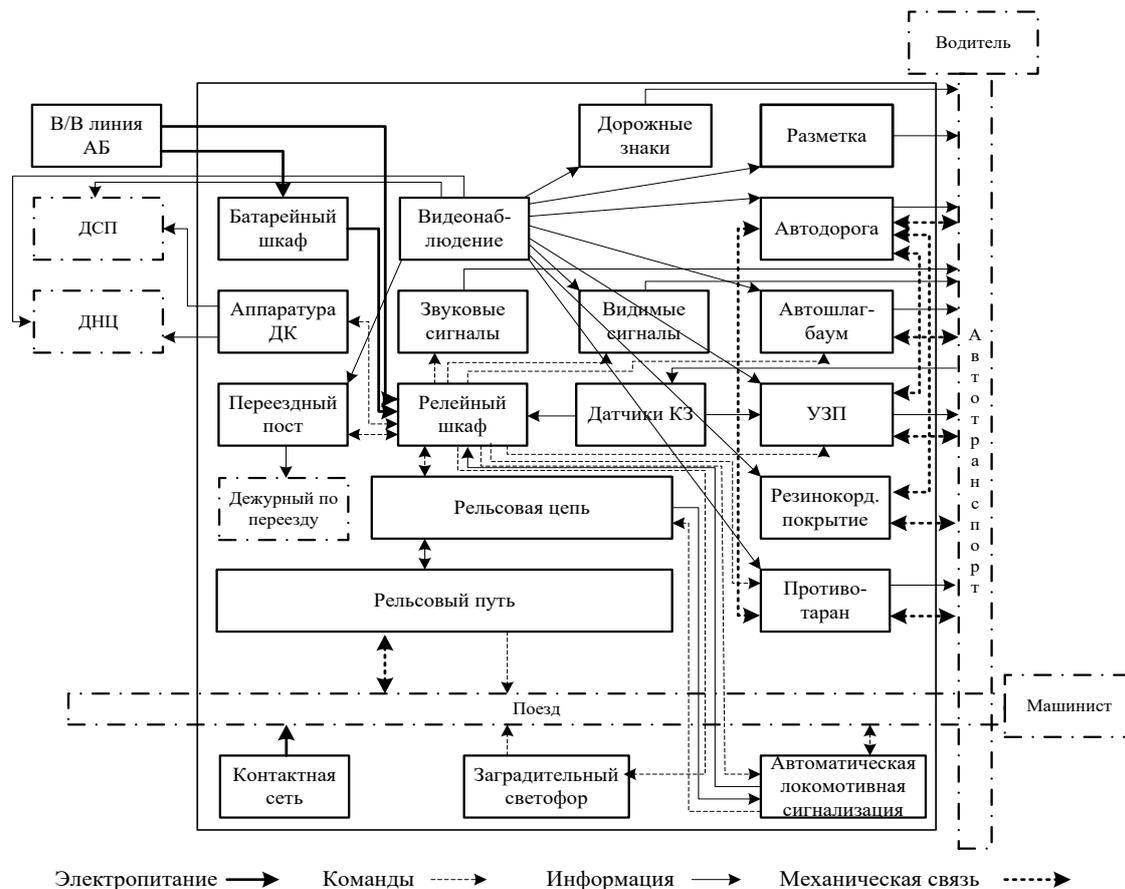


Рис. 1. Модель связи устройств на ЖДПК

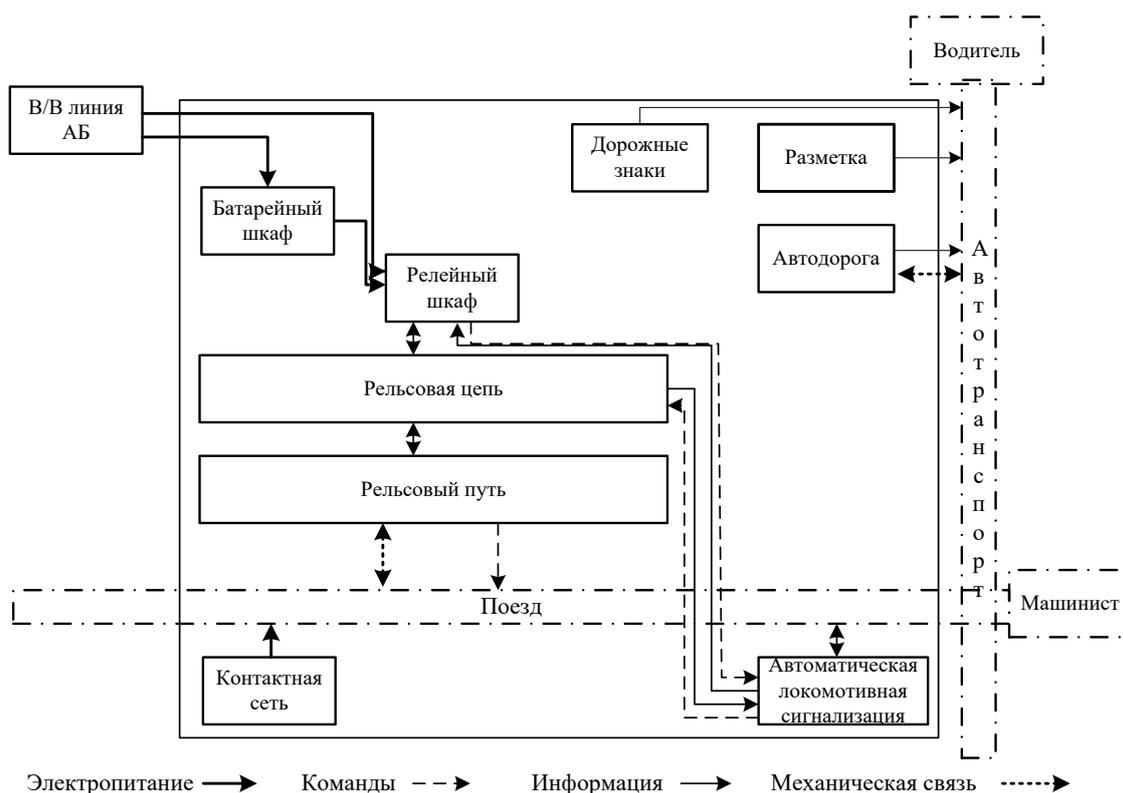


Рис. 2. Модель связи устройств на неохраняемом нерегулируемом ЖДПК

Из модели связи устройств на ЖДПК видно, что основная информация о большинстве устройств может быть получена через систему видеонаблюдения. Имеющиеся на сегодняшний день системы видеонаблюдения позволяют контролировать небольшое число объектов ЖДПК. Так система «Кордон» позволяет контролировать зону конфликта и показание переездного светофора [3]. Расширение области обзора видеокамер позволит контролировать состояние всех объектов ЖДПК и повысит эффективность его работы.

Основным местом концентрации ДТП являются железнодорожные переезды четвертой категории, поэтому рассмотрим отдельно модель связи устройств для неохраняемого нерегулируемого переезда (рис. 2).

Количество элементов ЖДПК для неохраняемых нерегулируемых переездов сокращается. Водитель автотранспорта получает информацию о приближении зоны переезда только с помощью разметки и дорожных знаков, а машинист остается без информации о текущей ситуации на переезде и может рассчитывать только на свое зрение. В случае неблагоприятных атмосферных явлений видимость для машиниста и водителя автомобиля

резко ухудшается. Поэтому для повышения эффективности работы неохраняемых нерегулируемых переездных комплексов необходимо дополнить такие ЖДПК дополнительными средствами сигнализации для водителя автотранспорта и информирования для машиниста поезда. Для автомобильной дороги можно использовать автономный желтый мигающий сигнал, хорошо себя зарекомендовавший для повышения безопасности на пешеходных переходах [4]. Машинист может получать информацию о нештатной ситуации на переезде с помощью линии автоматической локомотивной сигнализации [5].

Важной проблемой эксплуатации ЖДПК являются неудовлетворительный уровень контроля технического состояния отдельных устройств и систем комплекса. Отсутствие полного обмена информацией не позволяет участникам движения формировать точную оценку ситуации на переезде. Существует концепция полносвязного непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры, объединенных в одну сеть [6]. Данный способ может представляться в виде развернутого графа информационных связей элементов инфраструктуры переезда и участников движения (рис. 3).

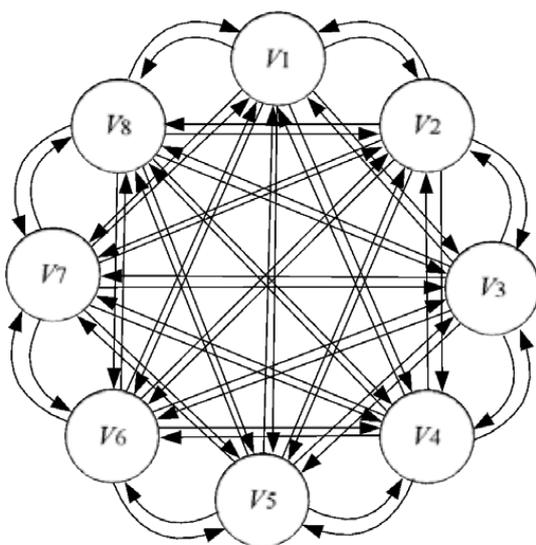


Рис. 3. Развернутый информационный граф ЖДПК

На рисунке показаны следующие вершины:  $V_1$  – железнодорожный транспорт;  $V_2$  – автоматическая переездная сигнализация;  $V_3$  – рельсовая цепь;  $V_4$  – рельсовый путь;  $V_5$  – электрическая контактная сеть;  $V_6$  – резинокордовое покрытие;  $V_7$  – автодорога;  $V_8$  – автомобильный транспорт. Реализация данного способа с использованием информационных технологий позволит интегрировать ЖДПК в «цифровую железную дорогу» [7].

Недостатком представленного графа является отсутствие некоторых объектов ЖДПК (УЗП, противотаран, видеонаблюдение и т.д.). Также на графе представлены избыточные информационные связи, например связь между резинокордовым покрытием и остальными вершинами (тот факт, что резинокордовое покрытие будет получать информацию о состоянии контактной сети, никак не повлияет на работу ЖДПК). Кроме этого, представленная модель не учитывает роль дежурного по переезду и поездного диспетчера. Изменим граф информационных связей ЖДПК, дополнив его новыми элементами и оставив только актуальные информационные связи (рис. 4).

Представленная модель позволяет осуществлять мониторинг устройств ЖДПК с резервированием основных информационных каналов, отслеживать нештатные ситуации на переезде и передавать эту информацию машинисту, водителю автотранспорта и поезвному диспетчеру. Использование видеонаблюдения для комплексного определения параметров инфраструктуры позволяет значительно уменьшить количе-

ство информационных связей между вершинами графа и сократить финансовые затраты на реализацию этих связей.

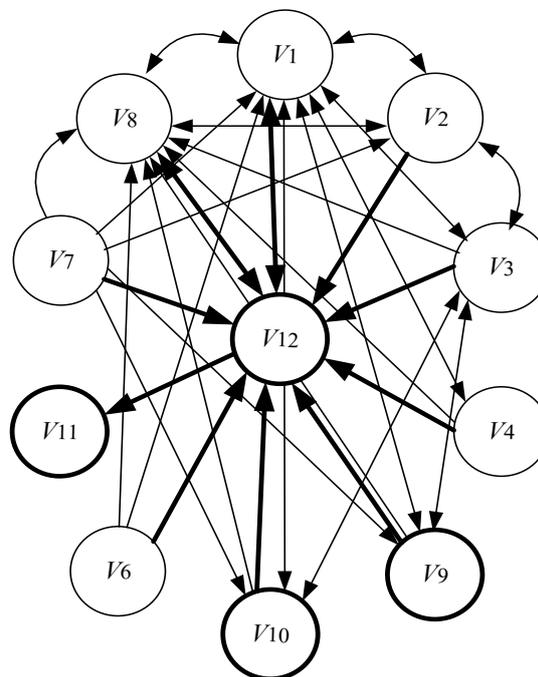


Рис. 4. Информационный граф ЖДПК с видеонаблюдением

Информационный граф дополнен следующими вершинами:  $V_9$  – устройство заграждения переезда;  $V_{10}$  – противотаранное устройство;  $V_{11}$  – дежурный по станции (поездной диспетчер);  $V_{12}$  – видеонаблюдение. Если рассматривать информационный граф неохраемого нерегулируемого ЖДПК (рис. 5), то на нем будет отсутствовать автоматическая переездная сигнализация ( $V_2$ ) ключевая вершина, реализующая функцию информирования водителя автотранспорта о занятости переезда. Также вместо резинокордового покрытия ( $V_6$ ) будет обычное асфальтовое покрытие.

Для повышения эффективности эксплуатации неохраемого нерегулируемого ЖДПК предлагается оснастить его системой контроля нештатных ситуаций на основе АЛСН ( $V_{13}$ ) и устройствами дополнительной сигнализации ( $V_{14}$ ). В качестве устройств дополнительной сигнализации могут использоваться лазерная стена [8] или желтый мигающий светофор, питающийся от аккумулятора и солнечной батареи [4]. Внедрение таких простых и экономичных технических решений позволит организовать дополнительные информационные связи для автоводителя и машиниста локомотива.

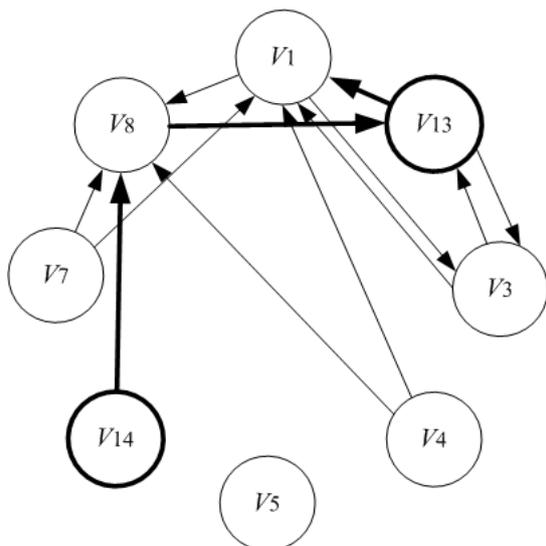


Рис. 5. Информационный граф для неохраяемого нерегулируемого ЖДПК

### Заключение

Использование видеонаблюдения, системы контроля нештатных ситуаций и устройств дополнительной сигнализации позволит при небольших финансовых затратах значительно усовершенствовать учет параметров объектов железнодорожной инфраструктуры и повысить эффективности эксплуатации ЖДПК.

### Список литературы

1. Официальный сайт Госавтоинспекции. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: <http://stat.gibdd.ru> (дата обращения: 28.10.2021).
2. Сапожников Вл.В., Кокурин И.М., Кононов В.А. Эксплуатационные основы автоматки и телемеханики: учебник для вузов железнодорожного транспорта. М.: Маршрут, 2006. 247 с.
3. Барский И.В. Комплексы «Кордон-М» КР. Новый уровень автоматической фиксации нарушений ПДД на пересечениях дорог // Вестник НЦБЖД. 2016. № 1 (27). С. 11–15.
4. Шешера Н.Г. Альтернативные источники энергопитания для светофорных объектов. Автономные пешеходные переходы на солнечных батареях // Безопасность дорожного движения: сборник научных трудов. М.: ФКУ НЦ БДД МВД России, 2020. С. 239–243.
5. Ахмедзянов Г.Г., Дремин В.В., Галиакберов Д.Р., Филиппова К.Г. Система контроля нештатных ситуаций на неохраяемых железнодорожных переездах // Патент РФ № 2759756. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения». 2021. Бюл. № 32.
6. Ефанов Д.В., Осадчий Г.В., Плотников Д.Г., Хорошев В.В. Комплексный учет параметров объектов инфраструктуры железной дороги, железнодорожного подвижного состава и автомобильного транспорта для обеспечения безопасности движения на переездах // Автоматика на транспорте. 2018. № 2 (4). С. 167–194.
7. Хорошев В.В., Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Концепция полного мониторинга инфраструктуры переездов // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 1 (74). С. 47–52.
8. Кованов А.Н. В России разработали светофор, который нельзя не заметить [Электронный ресурс]. URL: <https://auto.mail.ru/article/73828-v-rossii-razrabotali-svetofor-kotoryij-nelzya-ne-z> (дата обращения: 25.10.2021).

УДК 004.415.2

## ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ВЕБ-КВЕСТОВ

<sup>1</sup>Виштак Н.М., <sup>2</sup>Ходакова Н.П.

<sup>1</sup>*Балаковский инженерно-технологический институт – филиал  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Балаково, e-mail: kafist2007@mail.ru;*

<sup>2</sup>*ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», Москва, e-mail: honipa@bk.ru*

Применение игровых методик в образовании рассматривается как «геймификация образования». Педагогический опыт показывает, что использование этой технологии позволяет значительно активизировать учебный процесс как в основном, так и в дополнительном образовании. Использование цифровых образовательных ресурсов: обучающих программ, онлайн-курсов и различных онлайн-сервисов – формирует цифровую образовательную среду и повышает мотивацию обучающихся на развитие цифровой грамотности и личностное развитие. Это, в свою очередь, дает возможность преподавателям в игровые технологии интегрировать такие программно-педагогические средства, как веб-квесты. Веб-квесты при своем многообразии имеют следующие основные структурные компоненты: предметную область, цель квеста, субъектов (организатор и участники игры), сценарий квеста, механизм игры, включая представление полученных результатов, что позволяет создавать их с помощью конструкторов. В данной статье рассматриваются возможности конструкторов квестов, проводится их анализ. Показано, что использование конструкторов веб-квестов позволяет минимизировать трудозатраты и временные затраты на их разработку, что и обуславливает актуальность разработки программного модуля – конструктора квестов. При разработке программного модуля квестов необходимо провести анализ этапов его создания, анализ действующих пользователей, разработать диаграммы состояний, компонентов. Использование программного модуля – конструктора позволяет создавать квесты различной направленности и для различных учебных курсов.

**Ключевые слова:** игровые технологии, программный модуль, веб-квест, конструктор квестов

## SOFTWARE MODULE FOR THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL WEB QUESTS

<sup>1</sup>Vishtak N.M., <sup>2</sup>Khodakova N.P.

<sup>1</sup>*Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI  
(Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, e-mail: kafist2007@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Moscow City Pedagogical University, Moscow, e-mail: honipa@bk.ru*

The use of gaming techniques in education is regarded as «gamification of education». Pedagogical experience shows that the use of this technology makes it possible to significantly intensify the educational process, both in basic and additional education. The use of digital educational resources: training programs, online courses and various online services forms a digital educational environment and increases the motivational component of teachers for the development of digital literacy and personal development. This, in turn, makes it possible for teachers to integrate such software and pedagogical tools as web quests into game technologies. Web quests, with their diversity, have the following main structural components: the subject area, the goal of the quest, the subjects (the organizer and participants of the game), the scenario of the quest, the mechanism of the game, including the presentation of the results obtained, which allows you to create them with the help of designers. This article discusses the possibilities of quest designers and analyzes them. It is shown that the use of web quest designers allows minimizing labor and time spent on their development, which determines the relevance of the development of a software module – a quest designer. When developing a quest software module, it is necessary to analyze the stages of its creation, analyze existing users, develop state diagrams, components. Using the software module – constructor allows you to create quests of various directions and for various training courses.

**Keywords:** game technologies, software module, web quest, quest builder

Динамичное использование современных информационно-коммуникационных технологий обуславливает возрастающую потребность формирования цифровой образовательной среды, в которой все субъекты образовательного процесса взаимодействуют, используя цифровые образовательные ресурсы (ЦОР), обучающие программы, онлайн-курсы и различные онлайн-сервисы, в том числе и информационно-образовательную среду. Цифровизация образования, в том числе дополнительного образования

взрослых и детей, требует качественно иного подхода к его содержанию и организации образовательного процесса, нацеленного на повышение мотивации обучающихся на личностное развитие и самоопределение, на развитие способностей к творческим нестандартным решениям, а также развитие коммуникативных навыков. В образовательной среде с использованием ЦОР и программно-педагогических средств, по мнению авторов, оптимальными являются смешанное обучение и самообучение, ко-

торые обеспечивают реализацию процессов проектирования, формирования и освоения индивидуальных образовательных маршрутов. При таком подходе вполне очевидно, что вопросы по разработке и использованию в учебном процессе цифровых образовательных ресурсов и программно-педагогических средств по-прежнему остаются актуальными и предопределяют необходимость создания инструментов для их разработки.

В условиях дополнительного образования, когда обучающийся сам выбирает образовательную программу в соответствии со своими личными интересами, процесс его вовлечения и мотивации в учебный процесс для педагога становится первоочередным. Поэтому в дополнительном образовании игровые технологии получили широкое распространение и, как показывает педагогическая практика, позволяют значительно повышать эффективность учебного процесса [1–3]. Игровые педагогические технологии включают в себя методы и приемы организации учебного процесса в форме педагогической игры. В условиях цифровизации образовательного процесса наиболее востребованной оказалась такая игровая технология, как веб-квест [4, 5]. Веб-квесты позиционируются как эффективное средство активного вовлечения обучающихся в творческий процесс исследования, активного «добывания» информации, которое помогает ориентироваться в поиске необходимой информации в Интернете, а не блуждать от сайта к сайту в надежде найти нужную информацию [6].

Веб-квест как педагогическая игра имеет существенные признаки: цель обучения и соответствующий ей результат учебно-познавательной и развивающей направленности. В настоящее время существуют различные типологии веб-квестов [5, 7]. Но как основные структурные элементы веб-квеста, как правило, выделяют следующие: предметную область, цель квеста, субъектов (организатора и участников игры), сценарий квеста, механизм игры, включая представление полученных результатов [8–11]. Разработка всех структурных компонентов квеста является очень трудозатратным процессом, требующим творческого подхода как в педагогическом аспекте, так и в технологическом. Оперативное изменение тематики квеста, содержательной части является достаточно сложной проблемой для педагога, не связанного со сферой программирования. Потому использование конструкторов веб-квестов служит решением, которое позволяет применять эту технологию и активно внедрять в учебный процесс.

Целями данного исследования являются анализ этапов создания образовательных веб-квестов и определение функциональных требований к программному модулю – конструктору, позволяющему автоматизировать процесс создания веб-квестов и построение на их основе функциональной модели разрабатываемого программного модуля.

*Анализ этапов создания программного модуля – конструктора веб-квестов*

Разработка веб-квеста проводится в несколько этапов, следование которым позволяет педагогу оптимизировать весь процесс его создания [8, 11, 12]. На первом этапе осуществляется проектирование образовательного контента квеста. Производится выбор темы и формулируется цель его включения в учебный процесс: объяснение нового материала, закрепление, повторение учебного материала, контроль полученных знаний. Далее следует этап сюжетного проектирования, при выполнении которого разрабатывается сценарий, который далее будет реализовываться в квесте. В сценарии должны быть прописаны сюжетные линии и роли, а также задания в контексте сюжетной линии. Следующий этап – технологический, на котором осуществляется выбор инструментальных средств создания веб-квеста, производятся разработка квеста и его наполнение содержательным контентом.

На методическом этапе создания веб-квестов разрабатываются методические рекомендации по работе с квестом как для преподавателей, которые будут использовать его в учебном процессе, так и для обучающихся, с предоставлением им всей необходимой информации с пошаговым выполнением задания. Следующий этап – это процесс апробации разработанного веб-квеста и его использования в учебном процессе, включая последующий этап анализа результатов учебной деятельности при использовании квеста.

Остановимся на этапе технологического проектирования. Здесь проводится выбор конструктора сайтов, который удовлетворяет цели и реализации образовательной и сюжетной задач. В настоящее время имеются готовые конструкторы квестов, например конструктор «Learning Apps» [13]. Ресурс создан для поддержки обучения и преподавания с помощью небольших общедоступных интерактивных модулей – упражнений, которые создаются онлайн и могут быть использованы в учебном процессе. Для разработки таких упражнений на сайте предлагается несколько шаблонов (упражнения на классификацию, тесты с множественным выбором и т.д.). Данные упражнения не являются законченными учебными еди-

ницами и должны быть интегрированы в сценарий обучения. Недостатком ресурса является то, что веб-квест создается только с одним заданием, без возможности комбинирования нескольких.

Следующий ресурс, позволяющий создать свой веб-квест, – это Glogster Edu [14]. Данный сервис является инструментом, которым педагоги могут пользоваться для создания или демонстрации интерактивных плакатов, интерактивных биографий, лент времени, демонстрации математических и физических формул, результатов экспериментов. Особенно хорошо подойдет данный сервис, если в классе установлено интерактивное оборудование (доска). Недостатком является то, что при использовании сервиса Glogster у многих педагогов могут возникнуть проблемы с созданием своего квеста из-за достаточно простого интерфейса, а также ограниченных возможностей самого конструктора. Ресурс «Zunal» является бесплатным сервисом, осуществляющим поддержку всех этапов создания веб-квеста [15]. На каждом этапе предлагаются пошаговые инструкции. Сервис позволяет просмотреть, как другие преподаватели использовали данный ресурс, также имеется возможность интеграции учебных заданий, тестов и других заданий, выполненных в других сервисах, представляющих HTML-код для вставки, что существенно помогает разнообразить учебные задания. Недостатком ресурса является ограниченный функционал при создании веб-квеста, а также у пользователей с низкими навыками в области информационных технологий могут возникнуть проблемы при использовании сервиса.

Даже краткий обзор ресурсов показывает, что проектирование и разработка программного модуля – конструктора веб-квестов являются актуальной задачей, решение которой позволит преподавателям максимально быстро и эффективно создавать квесты по различным темам изучаемого учебного материала и для объяснения нового материала, повторения и закрепления учебного материала, контроля полученных знаний по соответствующим темам. Предваряя проектирование программного модуля и его практическую реализацию, следует выделить следующие технологии для реализации подобных веб-ресурсов: разработка клиентской части веб-приложения – JQuery и JavaScript; разработка серверной части веб-ресурса – PHP; система управления базами данных – MySQL.

*Проектирование программного модуля – конструктора веб-квестов*

На основе полученных данных первых двух этапов создания веб-квеста выделяют-

ся действующие лица и варианты действий, составляется диаграмма вариантов использования. Часто в системе определяются несколько групп пользователей, таких как: администратор; пользователь с делегированием определенных функций (как правило, преподаватель); простой пользователь системы (как правило, обучаемые). В случае разрабатываемого программного модуля диаграмма вариантов использования необходима для одной группы пользователей – преподаватель. Диаграмма вариантов использования для преподавателя представлена на рисунке 1.

На диаграмме выделены пользователь, модель шаблона, шаблон, аутентификация, модель задания, задание, квест.



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования для преподавателя

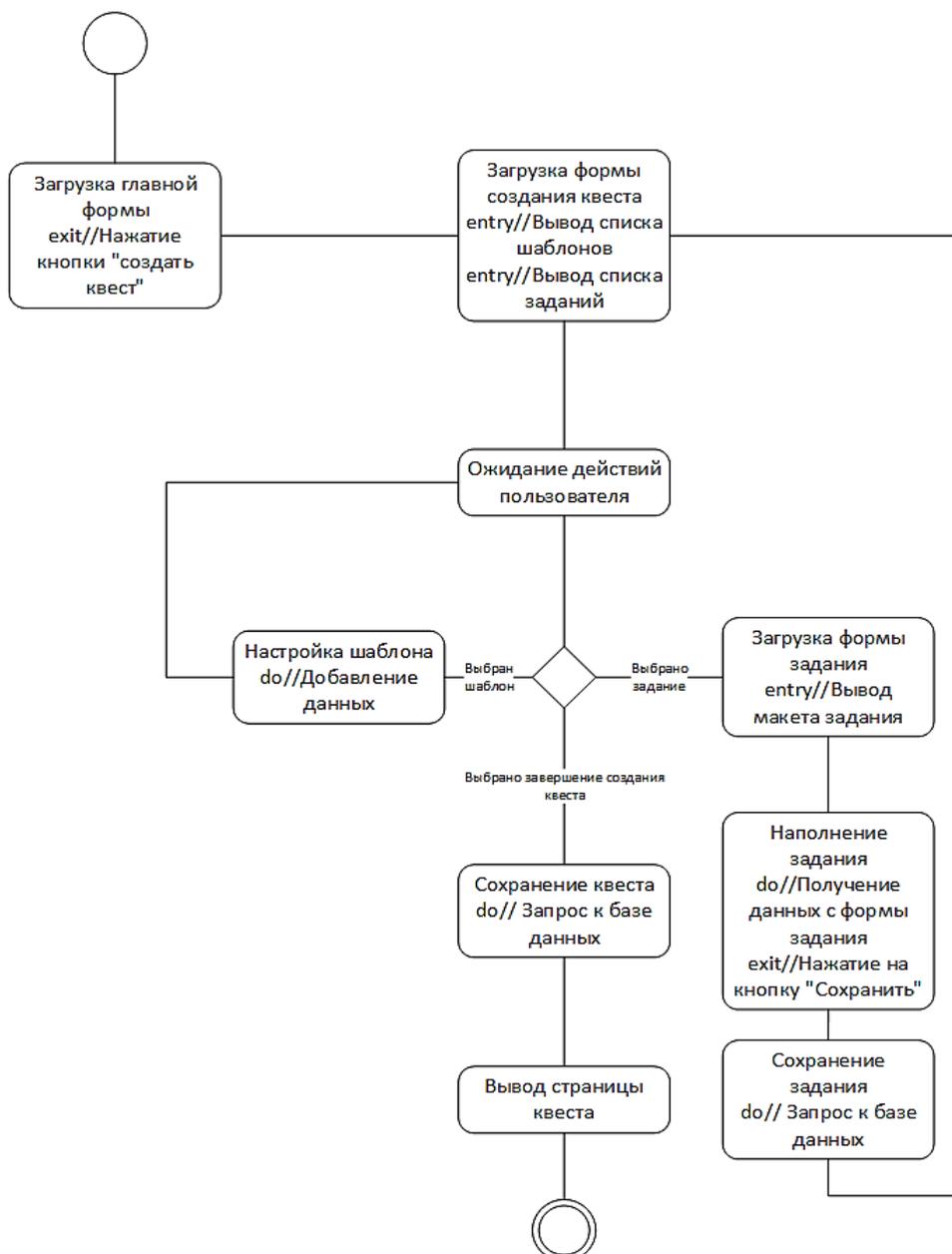


Рис. 2. Диаграмма состояний

Конечный класс «квест» является объединяющим элементом, который содержит в себе все классы программного продукта и их параметры, такие как: модель шаблона; наполнение квеста; модель задания; наполнение задания; проверка аутентификации. После проведения анализа классов выполнено построение диаграммы классов, основанной на паттерне проектирования MVC.

Процесс создания квеста начинается с загрузки главной формы. Следующее состояние – это загрузка формы создания квеста, в которой выводится список шаблонов.

Далее пользователь переходит к настройке и выбору шаблона, затем происходит переход в форму задания, на которой выведен список шаблонов заданий, пользователь настраивает и выбирает задания. После выбора он сохраняет все данные в базу данных. Затем происходит переход на главную форму с выбранным шаблоном и заданиями, соответственно, появляется возможность добавить другие задания. Если пользователь завершает процесс создания квеста, то выполняется запрос к базе данных с последующим выводом страницы квеста.

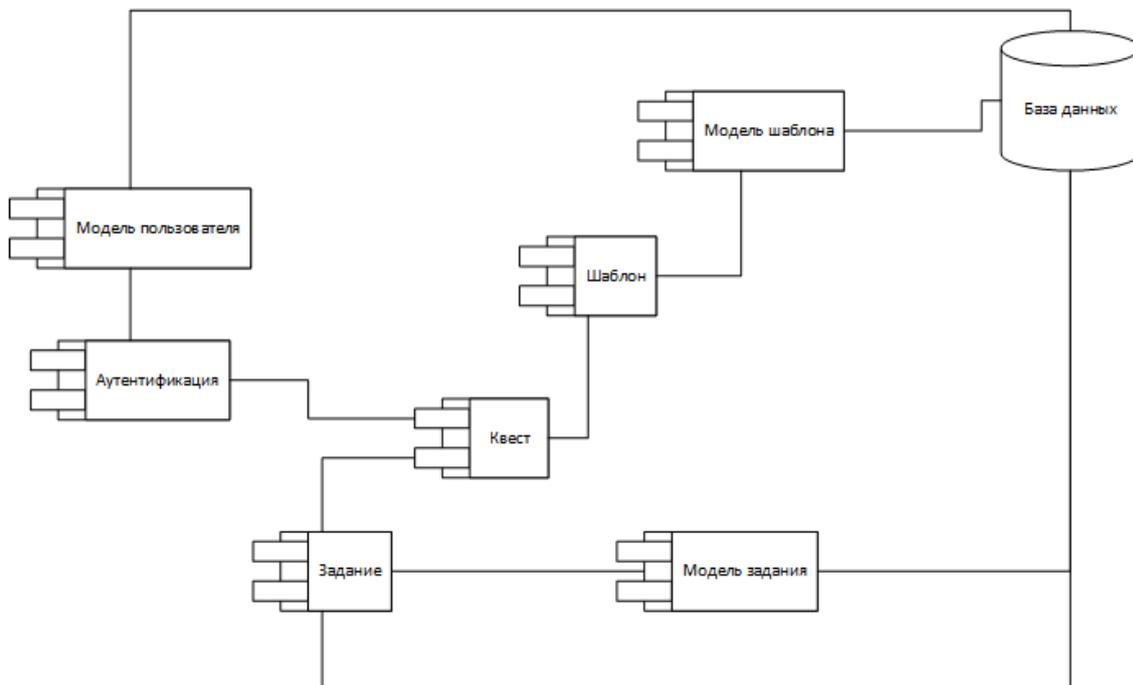


Рис. 3. Диаграмма компонентов

В результате выявлены состояния, в которых может оказаться система в процессе создания образовательного квеста. На основе полученных данных была разработана диаграмма состояний, которая представлена на рисунке 2. Для разбиения программного модуля на структурные компоненты и связи между компонентами, визуализации общей структуры исходного кода программного модуля, разработки спецификации исполняемого варианта программного модуля, обеспечения многократного использования отдельных фрагментов программного кода, представления концептуальной и физической схем баз данных разработана диаграмма компонентов модуля для создания веб-квестов, представленная на рисунке 3. Диаграмма составляет общую архитектуру всего модуля и отображает общие зависимости между компонентами модуля.

Для визуализации элементов и компонентов программы разрабатывается диаграмма развертывания, содержащая графические изображения процессоров, устройств, процессов и связей между ними с отражением особенностей ее реализации. Разработанная диаграмма состоит из сервера базы данных; сервера приложения; рабочей станции 1; рабочей станции 2.

Проведенный ранее анализ предметной области показывает необходимость разработки и внедрения веб-квестов, которые являются, в свою очередь, очень мощным

педагогическим инструментом в процессе индивидуального обучения. Выполненное проектирование предлагаемого к разработке веб-квеста позволило определить внутренние свойства будущей системы и детализацию ее внешних свойств с учетом особенностей сферы образования и реализации веб-квестов. Разработанные диаграммы позволят не только определить внутренние связи, но и провести более глубокий анализ.

### Заключение

Безусловно, основными преимуществами внедрения веб-квестов в учебный процесс являются мотивирование обучающихся к самостоятельной познавательной деятельности и творческому мышлению, вовлечение их в цифровую образовательную среду. Соответственно, использование программного модуля – конструктора квестов позволит преподавателям создавать квесты с экономией времени и организовывать процесс обучения творчески и увлекательно.

### Список литературы

1. Долгачев В.А., Виштак О.В. Использование игровых приложений в дополнительном образовании. // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: сборник трудов III Международной Научно-практической конференции. Балаково, 2021. С. 237–242.
2. Орлова О.В., Титова В.Н. Геймификация как способ организации обучения. // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). 2015. № 9 (162). С.60-63.

3. Виштак Н.М., Петченко В.П. Игровые технологии в учебном процессе компьютерной школы // Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества: сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Балаково, 2017. С. 69–75.
4. Гордеев К. С., Жидков А.А., Слюзнева К.В., Закунова Е.Д., Анисимова А.Е. Образовательный веб-квест как педагогическая технология // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 12. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2018/12/88151> (дата обращения: 05.12.2021).
5. Напалков С.В. О видовом многообразии Web-квестов в образовательном процессе // Культура и образование. 2014. № 12. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-rzi.ru/2014/12/2740> (дата обращения: 30.12.2021).
6. Багузина Е.И. Разработка веб-квестов и преимущества их использования в процессе обучения // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. 2010. Т. 16. С. 9-13.
7. Кох Ю.А., Виштак Н.М. Средства разработки образовательных веб-квестов // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Балаково, 2019. С. 121–134.
8. Виштак О.В., Абушаев И.Р. Требования к конструктору веб-квестов // Современные Web-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация: сборник статей V-ой Международной научно-практической конференции. Арзамас, 2019. С. 74 -77.
9. Виштак Н.М., Штырова И.А. Проектирование тематических web-квестов // Современные образовательные Web-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки: сборник статей участников Международной научно-практической конференции. Арзамас, 2017. С. 175–179.
10. Виштак О.В., Быстров А.В. Программные средства разработки образовательных web-квестов // Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. Балаково, 2018. С. 54–58.
11. Виштак О.В., Штырова И.А. Использование объектно-ориентированного подхода к проектированию образовательного web-квеста // Современные образовательные Web-технологии в реализации личностного потенциала обучающихся: сборник статей Международной научно-практической конференции. Арзамас, 2020. С. 241–245.
12. Виштак Н.М., Троценко Д.Н. Разработка конструктора web-квестов // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Балаково, 2020. С. 185–189.
13. Leaning Apps [Электронный ресурс]. URL: <https://learningapps.org/createApp.php> (дата обращения: 30.11.2021).
14. Glogster Edu [Электронный ресурс] URL: <https://edu.glogster.com/> (дата обращения: 30.11.2021).
15. Zunal [Электронный ресурс] URL: <http://zunal.com/> (дата обращения: 30.11.2021).

УДК 621.396.96:351.814.33

## ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СРЕДСТВАМ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ УМНОГО ГОРОДА

<sup>1</sup>Гришин И.Ю., <sup>2</sup>Тимиргалеева Р.Р., <sup>3</sup>Садаков В.А., <sup>3</sup>Чупаков М.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Москва, e-mail: igrishin@sev.msu.ru;

<sup>2</sup>ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
Симферополь, e-mail: renatimir@gmail.com;

<sup>3</sup>ФГБВОУ ВО «Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова»,  
Севастополь, e-mail: vialsa@yandex.ru

Работа посвящена исследованию актуальных вопросов организации воздушного движения в пространстве умного города, в котором присутствуют как пилотируемые, так и беспилотные летательные аппараты. При наблюдении за беспилотными летательными аппаратами в целях управления воздушным движением возникает проблема, связанная с их малой эффективной поверхностью рассеяния, а также затенением различными объектами городского ландшафта. Для преодоления указанных трудностей предложено использовать все имеющиеся информационные средства в многопозиционном режиме, причём данные средства могут работать в различных диапазонах и на различных физических принципах. Для оценки потенциальной точности измерения параметров движения беспилотных летательных аппаратов предложена методика преобразования корреляционных матриц ошибок измерения параметров движения в единую систему координат пункта обработки информации и формирования объединённой корреляционной матрицы ошибок измерения, которая зависит от структуры и режимов работы информационных средств. Выбор требуемого состава таких средств осуществляется путём решения оптимизационной задачи, включающей все возможные структуры и режимы работы информационных средств в составе многопозиционного комплекса, а также ограничения, связанные с отсутствием видимости объекта наблюдения, разрешением на работу в определенных областях воздушного пространства и энергетическими ресурсами комплекса.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, управление воздушным движением, радиолокатор, многопозиционный комплекс, ошибка измерения

## ESTABLISHMENT OF REQUIREMENTS FOR MEANS OF INFORMATION SUPPORT OF THE INTELLIGENT CITY AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM

<sup>1</sup>Grishin I.Yu., <sup>2</sup>Timirgaleeva R.R., <sup>3</sup>Sadakov V.A., <sup>3</sup>Chupakov M.V.

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: igrishin@sev.msu.ru;

<sup>2</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, e-mail: renatimir@gmail.com;

<sup>3</sup>P.S. Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol, e-mail: vialsa@yandex.ru

The work is devoted to the study of topical issues of air traffic organization in the space of a smart city, in which both manned and unmanned aerial vehicles are present. Surveillance of unmanned aerial vehicles for the purpose of air traffic control raises the problem of their low effective scattering surface as well as the shading of different urban landscapes. In order to overcome these difficulties, it is proposed to use all available information means in a multiphase mode, and these means can operate in different ranges and on different physical principles. In order to assess the potential accuracy of measuring parameters of movement of unmanned aerial vehicles, a method is proposed for converting correlation matrices of errors of measurement of parameters of movement into a single coordinate system of a point of information processing and for forming an integrated correlation matrix of measurement errors, which depends on the structure and modes of operation of the locational means. The selection of the required composition of such means is carried out by solving the optimization problem, which includes all possible structures and modes of operation of information means in a multi-station complex, as well as limitations related to the lack of visibility of the object of observation, permit to work in certain areas of the airspace and the energy resources of the complex.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, air traffic control, radar, multi-positioning system, measurement error

В настоящее время идеология использования и развития воздушного пространства современного «умного» города обусловлена тем, что в нем наряду с пилотируемыми летательными аппаратами (самолёты, вертолёты) все более активно начинают использоваться беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1–3], которые решают

или будут решать задачи перемещения грузов, людей, мониторинга территорий, обеспечения связи и ряд других. Служба управления воздушным движением (УВД) организована для установления и поддержки необходимого порядка в воздушном движении, предупреждения опасных сближений и столкновений воздушных судов (ВС),

а также для обеспечения информацией и консультациями, необходимыми для безопасного выполнения полётов и оповещения соответствующих органов о ВС, требующих помощи или спасения. При этом ситуация существенно усложняется в воздушном пространстве умных городов в связи с использованием в их воздушном пространстве большого количества БПЛА.

Для управления воздушным движением пилотируемых летательных аппаратов создана система управления воздушным движением, имеющая иерархическую структуру, а оперативное управление осуществляется на основе информации, получаемой в результате измерения параметров движущихся объектов радиолокационными станциями, работающими на принципах активной локации либо локации с активным ответом [4, 5]. В указанных работах на основе методов теории оптимального управления предложен подход к оптимизации функционирования средств измерений, обеспечивающих получение траекторной информации о параметрах движения воздушных судов системой управления воздушным движением. Результаты моделирования позволили сделать вывод о существенном повышении эффективности такой системы. В работе [6] предложена методика, развивающая методический аппарат исследования эффективности функционирования радиолокационных систем с активным ответом в условиях преднамеренных помех с использованием показателя, отражающего оперативную эффективность и возможности постановщиков помех на информационно-техническом уровне; чувствительностью к параметрам, зависящим от заданных радиоэлектронной и оперативно-тактической ситуацией, учётом взаимного расположения и технических характеристик радиоэлектронных средств РЭС, участвующих в конфликтном взаимодействии, а также включает модели пространственно-временного воздействия помех и алгоритм обнаружения запросных сигналов радиолокационных систем с активным ответом.

В работе [7] отмечается, что работа БПЛА часто проводится в воздушном пространстве, населённом как гражданскими, так и военными пилотируемыми летательными аппаратами, что требует применения искусственного интеллекта для распознавания ситуаций и позволяет избежать возможных столкновений. Перечень специальных мероприятий включает разработку операционных архитектур, спецификацию характеристик воздушного пространства в определенных зонах полётов, детальный анализ потенциальных опасностей и разработку

обоснования безопасности, также описываются инструменты и методы моделирования, которые поддерживают многие из этих видов деятельности, и показано, как эта инфраструктура моделирования используется в ряде связанных с безопасностью полётов исследований. В [8] отмечается, что рост авиаперевозок во всем мире и появление беспилотных авиационных систем увеличат плотность и сложность воздушного движения. Безопасная координация воздушного судна потребует более приспособленных технологий для связи, навигации и наблюдения. Проект HSCNA обеспечит основу для технологических и эксплуатационных концепций для размещения значительно большего числа сетевых самолётов. В статье описываются две технические проблемы проекта. Первая техническая задача заключается в разработке концепции операций в многополосных сетях для использования на нескольких этапах полёта и на всех типах линий связи. Вторая заключается в проведении моделирования будущих операций организации воздушного движения с использованием многополосных сетей и технологий. Масштабное моделирование позволит оценить влияние новых интегрированных сетей и технологий по сравнению с сегодняшней системой на будущие потребности воздушного движения. В работе австралийского автора [9] представлена новая аналитическая основа, учитывающая необходимость единого подхода к обеспечению разделения воздушных судов и принципу обнаружения и предотвращения столкновения ВПЛА.

Применение рассмотренных выше в работах источников траекторной информации для случая управления воздушным движением БПЛА часто становится неприемлемым вследствие более плотного потока таких объектов, меньшей ЭПР, невозможно разместить аппаратуру активного ответа на борту БПЛА. Поэтому целесообразно использовать всю имеющуюся совокупность информационных датчиков разнородных локационных средств (радиолокационных, радиотехнических, лазерных, систем с активным ответом) в многопозиционном режиме [10, 11].

Поэтому важнейшей задачей при проектировании средств информационного обеспечения системы управления воздушным движением является задача оценки потенциальной точности траекторных измерений совокупностью информационных средств, доступных в текущий момент времени для проведения измерения параметров движения БПЛА с учётом ограничений, которые, прежде всего, связаны с возможным

затенением зданиями и сооружениями города летательного аппарата для информационных средств. При этом будем полагать, что имеющаяся возможность комплексирования таких средств, работающих на разных физических принципах и в различных диапазонах частот, позволит сопровождать БПЛА в воздушном пространстве умного города и с высокой степенью эффективности решать задачу управления воздушным движением умного города.

Целью статьи является разработка методологии оценки потенциальной точности траекторных измерений совокупностью информационных средств, функционирующих на территории умного города в интересах информационного обеспечения системы управления воздушным движением, которая лежит в основе динамического формирования режимов работы и структуры используемых информационных средств.

#### Материалы и методы исследования

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый за последние десятилетия, в технике основных элементов и устройств информационного обеспечения, прежде всего – в радиолокационной технике, возросшие требования к качеству траекторной информации в системе управления воздушным движением в условиях умного города не удаётся удовлетворить в рамках традиционного построения и использования таких систем.

Наиболее перспективным направлением является переход от отдельных средств информационного обеспечения к многопозиционным информационным системам, состоящим из разнесённых в пространстве умного города передающих и приёмных позиций, совместно ведущих наблюдение беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов. При этом следует особо подчеркнуть, что в качестве информационных средств умного города могут применяться как радиолокаторы, так и лазерные и акустические локаторы, оптические средства наблюдения, совокупность пассивных локационных устройств.

Основная идея многопозиционной локации состоит в том, чтобы наиболее эффективно использовать информацию, заключённую в пространственных характеристиках электромагнитного и других типах информационных полей, используемых в процессе наблюдения за БПЛА.

Таким образом, многопозиционную локационную систему отличают следующие признаки: наличие нескольких разнесённых в пространстве позиций, совместная обработка информации о воздушных объектах,

а также возможность работы элементов таких систем на основе различных физических принципов.

Известно, что в однопозиционных локационных системах для построения траекторий наблюдаемых объектов широко используют простейшие рекуррентные фильтры [12], так называемые  $\alpha$ ,  $\beta$ -фильтры. В случае же применения многопозиционного режима работы информационных средств такие фильтры становятся неэффективными, поэтому применяют более сложные рекуррентные фильтры Калмана [10], в которых для каждого момента времени  $t_{k+1}$  формируется сглаженная оценка вектора состояния наблюдаемого объекта  $\hat{\mathbf{a}}_{k+1}$  на основе оценки  $\hat{\mathbf{a}}_k$ , полученной по предыдущим  $k$  наблюдениям объекта в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_k$  и измерения  $\hat{\mathbf{a}}_{\text{ИЗМ}}(k+1)$ , поступившего в текущий момент времени:

$$\hat{\mathbf{a}}_{k+1} = \hat{\mathbf{a}}_{k+1/k} + \mathbf{K}_{k+1}(\hat{\mathbf{a}}_{\text{ИЗМ}}(k+1) - \hat{\mathbf{a}}_{k+1/k}), \quad (1)$$

где  $\hat{\mathbf{a}}_{k+1/k}$  – прогноз вектора состояния  $\mathbf{a}$  на момент  $t_{k+1}$  по оценке  $\hat{\mathbf{a}}_k$  в момент времени  $t_k$  на основании модели движения воздушного объекта,  $\mathbf{K}_{k+1}$  – матрица коэффициентов усиления фильтра. Будем считать модель движения линейной на коротких промежутках времени, тогда

$$\hat{\mathbf{a}}_{k+1/k} = \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{a}}_k \quad (2)$$

Здесь  $\mathbf{A}_k$  – динамическая матрица движения воздушного объекта, имеющая следующий вид:

$$\mathbf{A}_k = \begin{pmatrix} \Phi_{\vartheta} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Phi_{\vartheta} \end{pmatrix} \quad (3)$$

В (3) матрица экстраполяции соответствующей части вектора состояния объекта

$$\Phi_{\vartheta} = \begin{pmatrix} 1 & \tau_{\vartheta} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{ а } \mathbf{0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ – нулевая матрица. При этом вектор состояния}$$

$$\hat{\mathbf{a}}_k = (\hat{x}_{n-1}, \hat{\dot{x}}_{n-1}, \hat{y}_{n-1}, \hat{\dot{y}}_{n-1}, \hat{z}_{n-1}, \hat{\dot{z}}_{n-1})^T$$

включает в себя соответствующие координаты и их производные в прямоугольной топоцентрической системе координат [12].

Основой алгоритмов построения траекторий наблюдаемых объектов в многопозиционных системах, как и в однопозиционных, является модель движения объекта. При этом модель прямолинейного движения может быть принята в качестве базовой, что значительно упростит алгоритмы обработки информации, а манёвр можно рассматривать как случайное возмущение, описываемое гауссовским процессом типа белого шума.

Известно, что оценки первичных координат различными позициями чаще всего не являются коррелированными. Обычно для снижения вычислительной сложности рекуррентного фильтра в каждом цикле фильтрации формируется объединённый вектор измерений путём сжатия данных, поступающих от всех позиций многопозиционного комплекса, в момент  $t_{k+1}$  вместо вектора  $\hat{a}_{\text{изм}(k+1)}$  из соотношения формируется вектор  $\hat{\xi}_{k+1}$ , размерность которого равна максимальной размерности вектора измерений в отдельной позиции. Сжатие данных требует предварительного преобразования координат в единую систему, которая обычно связана с координатами размещения пункта обработки информации. При этом оценка максимального правдоподобия для таких преобразованных взаимно некоррелированных векторов измерений  $\hat{\xi}_{k+1}$ ,  $i = 1, m_{k+1}$  ( $m_{k+1}$  – количество используемых позиций комплекса в момент  $t_{k+1}$ ). Этот вектор  $\hat{\xi}_{k+1}$  может быть рассчитан в соответствии с выражением

$$\hat{\xi}_{k+1} = \left( \sum_{i=1}^{m_{k+1}} \mathbf{B}_{\xi(k+1),i}^{-1} \right)^{-1} \sum_{i=1}^{m_{k+1}} \mathbf{B}_{\xi(k+1),i}^{-1} \hat{\xi}_{k+1,i} \quad (4)$$

где  $\mathbf{B}_{\xi(k+1)}$  – корреляционная матрица ошибки измерения  $i$ -й позицией в момент  $t_{k+1}$  в системе координат пункта обработки информации. При этом корреляционная матрица ошибок указанного в вектора вычисляется с использованием соотношения

$$\mathbf{B}_{\xi(k+1)} = \left( \sum_{i=1}^{m_{k+1}} \mathbf{B}_{\xi(k+1),i}^{-1} \right)^{-1} \quad (5)$$

Таким образом, задача разработки методологии оценки потенциальной точности траекторных измерений совокупностью информационных средств решена. Найдено соотношение, которое позволяет оценить потенциальную точность измерений параметров воздушного объекта в соответствии со складывающейся воздушной обстановкой в текущий момент времени и выбирать оптимальные режимы работы информационных средств в многопозиционном режиме.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим технологию применения полученных результатов в системе управления воздушным движением умного города. Обычно измерение координат объектов

производится в радиолокационной сферической системе координат, а рекуррентное оценивание параметров – в прямоугольной топоцентрической системе координат (связанной с центром обработки информации о воздушных объектах [10]).

Предположим, что имеются две позиции, на каждой производится измерение дальности и угла в сферической системе координат  $\hat{a}_{\text{изм}(k+1)} = (r_i, \beta_i)_{k+1}$ , а оцениваются параметры

$$\hat{a}_{k+1} = (\hat{x}_{k+1}, \hat{y}_{k+1}, \hat{z}_{k+1}, \hat{\alpha}_{k+1}),$$

пересчёт измеренных координат в прямоугольную систему осуществляется по формулам

$$x_{k+1} = r_{k+1} \cos \beta_{k+1}; \quad y_{k+1} = r_{k+1} \sin \beta_{k+1} \quad (6)$$

Для преобразования корреляционной матрицы ошибок измерений  $\Psi$  в прямоугольную топоцентрическую систему координат вводится линеаризованный матричный оператор  $\mathbf{H}$ . Далее полученную корреляционную матрицу ошибок измерений необходимо преобразовать в прямоугольную топоцентрическую систему координат центра обработки информации с помощью матрицы  $\mathbf{K}$ , осуществляющей поворот на соответствующее количество углов Эйлера. Тогда формула в рассматриваемом частном случае примет вид

$$\mathbf{B}_{\xi(k+1)} = \left( \sum_{i=1}^2 \left( \mathbf{K}_i \mathbf{H}_i \Psi_{\xi(k+1),i} \mathbf{H}_i^T \mathbf{K}_i^T \right)^{-1} \right)^{-1} \quad (7)$$

Следуя предложенной методике, могут быть определены все возможные структуры и режимы работы многопозиционного локационного комплекса с учётом складывающейся воздушной обстановки в умном городе и выбрано наиболее эффективное измерение параметров конкретного воздушного объекта в соответствии с критерием

$$\min_j (Sp \mathbf{B}_{\xi(k+1),j}) \quad (8)$$

где  $Sp \mathbf{B}_{\xi(k+1),j}$  представляет собой шаровую ошибку измерения с использованием  $j$ -й структуры в момент  $t_{k+1}$ .

Предложенная методика легко применима для реальных многопозиционных систем, осуществляющих измерение в активном режиме 3–4 координат (дальность, радиальная скорость, азимут, угол места), а в пассивном режиме – двух угловых координат (азимут, угол места).

### Заключение

В результате выполненной работы разработана методика оценки потенциальной точности измерений параметров движения БПЛА в воздушном пространстве умного города, в основе которой лежит преобразование корреляционных матриц ошибок измерения отдельных информационных средств в единую систему координат пункта обработки информации с целью формирования результирующей корреляционной матрицы ошибок измерения многопозиционным комплексом для выбора наилучшего состава и режимов работы информационных средств в текущий момент времени с учётом условий наблюдения БПЛА в конкретной области воздушного пространства.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06081.*

### Список литературы

1. Герасимов П.К., Егоров Д.А. Аспекты безопасности управления автономными беспилотными летательными аппаратами в городской среде // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*, МИРЭА. Т. 14. № 5. 2014. С. 130–132.
2. Лебедев Г.Н., Малыгин В.Б. Интеллектуальная поддержка в задаче приоритетного обслуживания группы пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов при выборе маршрутов полёта и контроля безопасности их движения // *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2015. № 221 (11). С. 125–137.
3. Бурый А.С., Фомичев И.Д. Модели и алгоритмы обеспечения безопасности движения группы беспилотных летательных аппаратов // *Проблемы управления безопасностью сложных систем*. Труды XXI Международной конференции. 2013. С. 241–243.
4. Grishin I.Yu., Timirgaleeva R.R. Air Navigation: Optimisation Control of Means Cueing of the Air-Traffic Control System. Proceedings of the 2017 21ST Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Helsinki, Finland, Nov 06–10, 2017. IEEE. P. 134–140.
5. Grishin I.Yu., Timirgaleeva R.R. Air Navigation: Automation Method for Controlling the Process of Detecting Aircraft by a Radar Complex. Proceedings of the 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia, 8–12 April 2019, IEEE. P. 110–115.
6. Леньшин А.В., Попов С.А., Лебедев В.В. Оценка качества управления воздушным движением и безопасностью полётов в условиях помех с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надёжности, устойчивости и эффективности систем*. 2017. С. 254–259.
7. Lutz Robert R., Frederick Paul S., Walsh Patricia M., Wasson Kimberly S., Fenlason Norm L. Integration of Unmanned Aircraft Systems into Complex Airspace Environments. Johns Hopkins Apl Technical Digest. 2017. V. 33. Is. 4. P. 291–302.
8. Davis Paul, Boisvert Benjamin. Hyper-Spectral Networking Concept of Operations and Future Air Traffic Management // 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC) Simulations, St Petersburg, Sep 17–21, 2017.
9. Kapoor Rohan, Ramasamy Subramanian, Gardi Alessandro, Sabatini Roberto. UAV Navigation Using Signals of Opportunity in Urban Environments: An Overview of Existing Methods // 1st International Conference on Energy and Power (ICEP), DEC 14–16, 2016, RMIT Univ, Melbourne, Australia. Energy Procedia. 2016. V. 110. P. 377–383.
10. Гришин И.Ю. Актуальные проблемы оптимизации управления в технических и экономических системах. Ялта: РИО КГУ, 2010. 252 с.
11. Гришин И.Ю., Тимиргалева Р.Р. Воздушная навигация: концепция мониторинга движения беспилотных транспортных средств умного города на основе информации от разнородных датчиков // *Информационные системы и технологии в моделировании и управлении*. IV Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием). Симферополь, 2019. С. 183–186.
12. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985. 216 с.

УДК 004.738.5:004.056

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

Гурский С.М., Полубенцев В.А.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, e-mail: vka@mil.ru

Информационно-телекоммуникационная сеть (ИТКС) «Интернет» в настоящее время объединяет более 4,88 млрд пользователей примерно в 180 странах мира. Архивы бесплатного доступа в ИТКС «Интернет» содержат информацию практически по всем сферам человеческой деятельности, от последних научных открытий до прогнозов погоды на завтра. Разработанная для удовлетворения потребностей и интересов исследовательских и образовательных групп, стремящихся получить доступ к суперкомпьютерам и мощным серверам, ИТКС «Интернет» набирает популярность. В то время как новые границы киберпространства открывают (или создают) более широкие возможности для всех видов инноваций, предпринимательства и получения прибыли, есть те, для кого ИТКС «Интернет» стала источником знаний, и те, для кого это просто рабочая утилиты. В то же время почти всем пользователям становится все труднее представить один день без приятного онлайн-общения, ежедневных новостных постов или актуальных видеоклипов (загрузок). Однако, несмотря на все свои преимущества, ИТКС «Интернет», как известно, является опасным и даже вредным местом для некоторых потребителей. Многочисленные мошенники (спамеры), шпионы и вирусы представляют угрозу для пользователей ИТКС «Интернет», и число вредоносных интернет-атак растет. В статье представлены определение информационной безопасности ИТКС «Интернет», анализ и выбор с помощью метода анализа иерархий Томаса Саати наилучших зарубежных и российских антивирусных программ с учётом выбранных критериев.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть «Интернет», информационная безопасность, задачи информационной безопасности, анализ показателей антивирусных программ

## INFORMATION SECURITY IN THE INTERNET INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORK

Gurskiy S.M., Polubentsev V.A.

MSA named after A.F. Mozhaiskiy, St. Petersburg, e-mail: vka@mil.ru

The Information and Telecommunications Network (ITC Internet) currently connects more than 4.88 billion users in around 180 countries around the world. The archives of the free internet access contain information on almost all areas of human activity, from the latest scientific discoveries to the weather forecasts of tomorrow. designed to meet the needs and interests of research and education groups seeking access to supercomputers and powerful servers, the internet is gaining popularity. There are those for whom the internet has become a source of knowledge, and ones for whom it is just a working utility (job), while the new frontiers of cyberspace have opened up (or forged) broader opportunities for all kinds of innovation, entrepreneurship, and profit making. At the same time, it is becoming increasingly difficult for almost all users to imagine one day without congenial online communication, daily news lines or relevant video clips (downloads). However, despite all its advantages, «the Internet» is known to be a risk and even a harmful place for certain consumers. Numerous scammers (spammers), spies and viruses are posing a threat to network users and bank cardholders, and the number of malicious internet attacks is on the rise. This article provides an overview of the «Internet» in general and information security in particular. It focuses on the objectives (tasks) of cybersecurity as well as on the methods and techniques of violation prevention (antihacking). The authors present and describe the most reliable antivirus programs («antiviruses») that ensure a safe use and storage of personal data in the network.

**Keywords:** information and telecommunication network «Internet», information security, information security tasks, analysis of indicators of antivirus programs

Информационно-телекоммуникационная сеть (ИТКС) «Интернет» – неотъемлемая часть жизни каждого человека. Она служит средством связи с партнерами и заказчиками, обеспечивает поиск полезной информации. Количество пользователей ИТКС «Интернет» нарастает с каждым годом (рис. 1).

По данным Международного института маркетинговых и социальных исследований GfK-Russia к началу 2019 г. аудитория интернет-пользователей в России среди населения 16+ составила 90 млн чел. (+3 млн чел. к предыдущему году), т.е. превысила 2/3 взрослого населения страны [2]. Но тем не менее ИТКС «Интернет» – это публичная открытая сеть, поэтому существует

угроза негативного влияния вредоносных программ на персональные компьютеры пользователей. Поэтому вопросы совершенствования информационной безопасности в ИТКС «Интернет» продолжают оставаться актуальными [3–5].

Цель исследования: проанализировать основные способы информационной безопасности в ИТКС «Интернет», основанные на использовании антивирусных программ.

### Материалы и методы исследования

В статье проведён обзор работ, посвящённых вопросам информационной безопасности при работе в ИТКС «Интернет» [5–7]. На основе рассмотрения

показателей антивирусных программ [8] с помощью метода анализа иерархий, разработанного американским профессором математики Томасом Л. Саати (МАИ, Analytic Hierarchy Process, АНР), предложены лучшие из них. МАИ представляет собой теорию, которая базируется на экспертных оценках и суждениях индивидуальных участников или групп и позволяет найти лучший из альтернативных вариантов антивирусных программ [9, 10].

ИТКС «Интернет» – это глобальная информационная система, которая логически взаимосвязана пространством глобальных уникальных адресов, основанных на интернет-протоколе (IP) или на последующих расширениях или преемниках IP; способна поддерживать коммуникации с использованием семейства Протокола управления передачей/интернет-протокола (TCP/IP) или его последующих расширений/преемников и/или других IP-совместимых протоколов; обеспечивает, использует или делает доступными, на общественной или частной основе, высокоуровневые сервисы, настроенные над описанной здесь коммуникационной и иной связанной с ней инфраструктурой [11].

Под термином «информационная безопасность» будем понимать состояние защищенности информации от нежелательного для соответствующих субъектов информационных отношений ее разглашения (нарушения конфиденциальности), искажения (нарушения целостности), утраты или снижения степени доступности информации, а также незаконного ее тиражирования [3, 4].

Главной функцией информационной безопасности является защита информации

от случайного или преднамеренного воздействия, исключая ее уничтожение, раскрытие или искажение. Для решения указанных задач используются антивирусные программы [3, 4, 8].

Для достижения цели исследования рассмотрены способы информационной безопасности в ИТКС «Интернет», основанные на использовании следующих антивирусных программ [8].

1. Dr.Web (Россия) – это антивирусная программа, которая обеспечивает комплексную защищенность всех элементов персонального компьютера (ПК) – системной памяти, твердотельных накопителей и сменных носителей – от угроз, шпионского и коммерческого программного обеспечения (ПО), взламывающих приложений и всевозможных опасных объектов из различных источников; преграждает вход в защищенную систему вирусам и вредоносному ПО; уничтожает проникнувшие вирусы; обеспечивает проверку веб-страниц; осуществляет возможность управления антивирусными программами Dr.Web, установленными на ПК для одной локальной сети [8, 12].

2. Антивирус Касперского (Россия) / Kaspersky Total Security – это антивирусная программа, которая обеспечивает комплексную защиту: от различных видов информационных угроз, сетевых и хакерских атак, а также спама; от вирусов, фишинга и вредоносных WEB-сайтов; имеет сильную защищенность без затормаживания системы; организует управление безопасностью из любой точки доступа; обеспечивает защиту ПК и мобильных устройств с одной лицензией; позволяет создавать резервные копии и шифровать ценные файлы на ПК [8, 13].

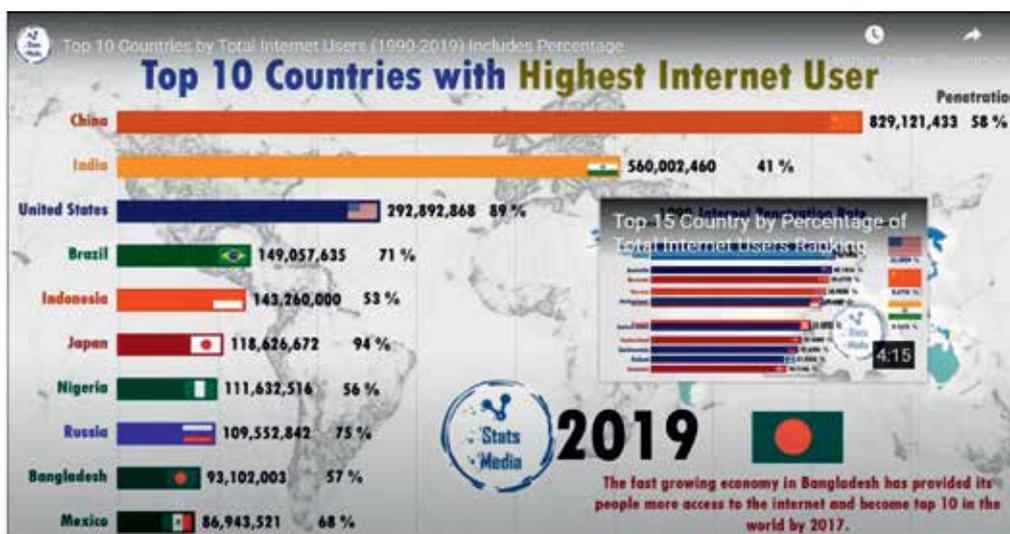


Рис. 1. Рейтинг стран мира по количеству интернет-пользователей [1]

3. McAfee (США) предлагает готовые реализации антивирусных программ, которые могут обеспечивать защиту, различных сетей, а также мобильных устройств во всех странах, помогая клиенту веб-обозревателя безопасно использовать сетевые сервисы. Основываясь на своей системе Global Threat Intelligence, McAfee реализует новаторские продукты, которые повышают возможности пользователей, организаций и представителей, позволяя им обезопасить свои данные, устранять системные сбои, а также обнаруживать недостатки системы [8, 14].

4. ESET NOD32 (Essential Security against Evolving Threats или эффективная защита от эволюционирующих угроз) – международный разработчик антивирусного программного обеспечения) Internet Security (Словакия), создавший антивирусную программу, включающую: антивирус, антишпион, антивирус, антиспам, охрану различных транзакций, родительский контроль, расширенное сканирование памяти [8, 15].

5. AVG Internet Security (Чехия) – антивирусная программа, которая включает в себя: хранилище данных, сканер электронной почты, сканер сайтов, антиспам, WEB-защиту компьютера и защиту электронной почты, защиту от атак злоумышленников, а также включает защиту для мобильных устройств [8, 16].

Для определения наиболее эффективной антивирусной программы предложено использовать следующие этапы МАИ [8–10].

1. Выделение проблемы – выбор наилучшей антивирусной программы с учётом выделенных основных критериев антивирусных программ: количество найденных вредоносных программ; процент определения вредоносных программ; время на поиск вредоносных программ; загрузка центрального процессора (ЦП); цена.

2. Выделение группы альтернатив – две российские Антивирус Касперского (Россия)/Kaspersky Total Security, Dr. Web (Россия)/ Dr. Web Security Space и три зарубежные McAfee (США), AVG Internet Security

(Чехия), ESET NOD32 Internet Security (Словакия) антивирусные программы. В ходе исследования приведенных выше антивирусных программ проведено сравнение их основных показателей (табл. 1).

3. Построение иерархии. Дерево иерархии (рис. 2) дает наглядное представление процедуры принятия решения.

4. Построение матрицы попарных сравнений критериев по цели – определение нормированных элементов  $b_{kj}$  матрицы-столбца  $B_{n \times p}$  весовых критериев по цели для анализируемых антивирусных программ (табл. 2).

5. Построение матриц сравнений отдельных альтернатив по каждому из избранных критериев.

6. Применение методики анализа полученных матриц, предполагающей проведение нормировки элементов матриц и определение весов строк и столбцов для каждого из выбранных критериев.

Вышеперечисленные действия повторяем для всех матриц попарного сравнения альтернатив по выбранным критериям. В результате получаем матрицу весов альтернатив для рассматриваемых антивирусных программ по избранным критериям (табл. 3).

Введена в рассмотрение матрица нормированных показателей эффективности антивирусных программ, определяемая уравнением

$$C_{m \times p} = A_{m \times n} \times B_{n \times p}, \quad (1)$$

вычисленные элементы которой

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} \text{ и дадут значения норми-$$

рованных показателей эффективности для анализируемых в качестве альтернатив антивирусных программ, где  $a_{ik}$ ,  $b_{kj}$  – нормированные элементы матриц весов альтернатив по избранным критериям  $A_{m \times n}$  (табл. 3) и матрицы-столбца  $B_{n \times p}$  весовых критериев по цели для анализируемых антивирусных программ (табл. 2).

Таблица 1

Сравнение основных показателей антивирусных программ [8, 17]

Наименование антивирусной программы	Значения основных показателей антивирусных программ				
	Количество найденных вредоносных программ	% определения вредоносной программы	Время на поиск вредоносной программы	Загрузка цп, %	Цена, руб.
Антивирус Касперского (Россия)	3695	96,3	23 мин	80–95	4479
McAfee (США)	3489	90,1	12 мин	60–80	1432
Dr. Web (Россия)	2968	77,3	1 мин 10 сек	50–60	6123
AVG Internet Security (Чехия)	2840	74	5 мин 32 сек	15–30	1740
ESET NOD32 Internet Security (Словакия)	1949	50,8	1 мин 10 сек	40–50	1600

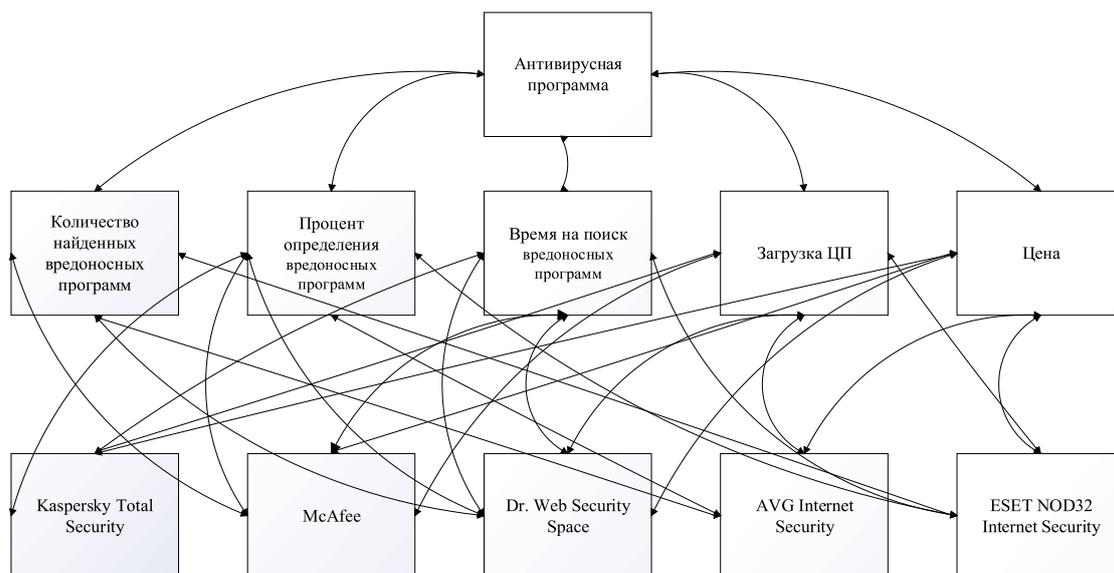


Рис. 2. Построение дерева иерархии (разработано авторами)

Таблица 2

Нормированные элементы  $b_{kj}$  матрицы-столбца  $B_{n \times p}$  весовых критериев по цели для анализируемых антивирусных программ [Разработано авторами]

Наименование показателей	Значения нормированных элементов $b_{kj}$ матрицы-столбца $B_{n \times p}$ весовых критериев по цели
Количество угроз	0,26
Процент определения	0,24
Время на поиск	0,12
Загрузка ЦП	0,06
Цена	0,32

Примечание: разработано авторами.

Таблица 3

Нормированные элементы  $a_{ik}$  матрицы весов альтернатив по избранным критериям  $A_{m \times n}$  для анализируемых антивирусных программ [Разработано авторами]

Наименование антивирусной программы	Значения нормированных элементов $a_{ik}$ матрицы $A_{m \times n}$ весов альтернатив по избранным критериям для анализируемых антивирусных программ				
	Количество найденных вредоносных программ	Процент определения вредоносных программ	Время на поиск вредоносных программ	Загрузка ЦП	Цена
Антивирус Касперского (Россия)/ Kaspersky Total Security	0,24	0,26	0,07	0,13	0,17
McAfee (США)	0,24	0,24	0,13	0,17	0,28
Dr. Web (Россия)/ Dr. Web Security Space	0,20	0,19	0,30	0,19	0,12
AVG Internet Security (Чехия)	0,19	0,18	0,20	0,28	0,22
ESET NOD32 Internet Security (Словакия)	0,13	0,13	0,30	0,23	0,21

Подставляя вычисленные нормированные значения (табл. 2 и 3) матриц  $a_{ik}$ ,  $b_{kj}$  в уравнение (1), получаем матрицу-столбец  $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik}b_{kj}$  нормированных значений показателей эффективности антивирусных программ (2) (рис. 3).

**Решение:**

$$C = A \cdot B = \begin{pmatrix} 0.24 & 0.26 & 0.07 & 0.13 & 0.17 \\ 0.24 & 0.24 & 0.13 & 0.17 & 0.28 \\ 0.2 & 0.19 & 0.3 & 0.19 & 0.12 \\ 0.19 & 0.18 & 0.2 & 0.28 & 0.22 \\ 0.13 & 0.13 & 0.3 & 0.23 & 0.21 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.24 \\ 0.12 \\ 0.06 \\ 0.32 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1954 \\ 0.2354 \\ 0.1834 \\ 0.2038 \\ 0.182 \end{pmatrix}$$

Компоненты матрицы C вычисляются следующим образом:

$$c_{11} = a_{11} \cdot b_{11} + a_{12} \cdot b_{21} + a_{13} \cdot b_{31} + a_{14} \cdot b_{41} + a_{15} \cdot b_{51} = 0.24 \cdot 0.26 + 0.26 \cdot 0.24 + 0.07 \cdot 0.12 + 0.13 \cdot 0.06 + 0.17 \cdot 0.32 = 0.0624 + 0.0624 + 0.0084 + 0.0078 + 0.0544 = 0.1954$$

$$c_{21} = a_{21} \cdot b_{11} + a_{22} \cdot b_{21} + a_{23} \cdot b_{31} + a_{24} \cdot b_{41} + a_{25} \cdot b_{51} = 0.24 \cdot 0.26 + 0.24 \cdot 0.24 + 0.13 \cdot 0.12 + 0.17 \cdot 0.06 + 0.28 \cdot 0.32 = 0.0624 + 0.0576 + 0.0156 + 0.0102 + 0.0896 = 0.2354$$

$$c_{31} = a_{31} \cdot b_{11} + a_{32} \cdot b_{21} + a_{33} \cdot b_{31} + a_{34} \cdot b_{41} + a_{35} \cdot b_{51} = 0.2 \cdot 0.26 + 0.19 \cdot 0.24 + 0.3 \cdot 0.12 + 0.19 \cdot 0.06 + 0.12 \cdot 0.32 = 0.052 + 0.0456 + 0.036 + 0.0114 + 0.0384 = 0.1834$$

$$c_{41} = a_{41} \cdot b_{11} + a_{42} \cdot b_{21} + a_{43} \cdot b_{31} + a_{44} \cdot b_{41} + a_{45} \cdot b_{51} = 0.19 \cdot 0.26 + 0.18 \cdot 0.24 + 0.2 \cdot 0.12 + 0.28 \cdot 0.06 + 0.22 \cdot 0.32 = 0.0494 + 0.0432 + 0.024 + 0.0168 + 0.0704 = 0.2038$$

$$c_{51} = a_{51} \cdot b_{11} + a_{52} \cdot b_{21} + a_{53} \cdot b_{31} + a_{54} \cdot b_{41} + a_{55} \cdot b_{51} = 0.13 \cdot 0.26 + 0.13 \cdot 0.24 + 0.3 \cdot 0.12 + 0.23 \cdot 0.06 + 0.21 \cdot 0.32 = 0.0338 + 0.0312 + 0.036 + 0.0138 + 0.0672 = 0.182$$

Рис. 3. Решение-вычисление  $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik}b_{kj}$

Вычисление значений  $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik}b_{kj}$  получено с помощью онлайн-калькулятора (рис. 3) [18]:

$$C_{m \times p} = A_{m \times n} \times B_{n \times p} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ b_{41} \\ b_{51} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,24 & 0,26 & 0,07 & 0,13 & 0,17 \\ 0,24 & 0,24 & 0,13 & 0,17 & 0,28 \\ 0,20 & 0,19 & 0,30 & 0,19 & 0,12 \\ 0,19 & 0,18 & 0,20 & 0,28 & 0,22 \\ 0,13 & 0,13 & 0,30 & 0,23 & 0,21 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,26 \\ 0,24 \\ 0,12 \\ 0,06 \\ 0,32 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,23 \\ 0,18 \\ 0,20 \\ 0,18 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Окончательные результаты расчётов нормированных показателей эффективности зарубежных и российских антивирусных программ по избранным критериям согласно уравнению (2) округлены до двух значащих цифр и сведены в табл. 4. Как следует из результатов вычисления нормированных показателей эффективности антивирусных программ (табл. 4), наиболее эффективной зарубежной антивирусной программой с учётом выбранных критериев является McAfee (США), так как значение вычисленного показателя эффективности для неё составило наибольшее значение 0,23 (рис. 4) – больше значений соответствующих показателей для других антивирусных программ.

Таблица 4

Значения вычисленных нормированных показателей эффективности  $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj}$  зарубежных и отечественных антивирусных программы по избранным критериям

Наименование антивирусной программы	Значение вычисленного показателя эффективности $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj}$ антивирусной программы
McAfee (США)	0,23
AVG Internet Security (Чехия)	0,20
Антивирус Касперского (Россия)/Kaspersky Total Security	0,19
Dr. Web (Россия)/ Dr. Web Security Space	0,18
ESET NOD32 Internet Security (Словакия)	0,18

Примечание: разработано авторами.

### Значение вычисленного показателя эффективности

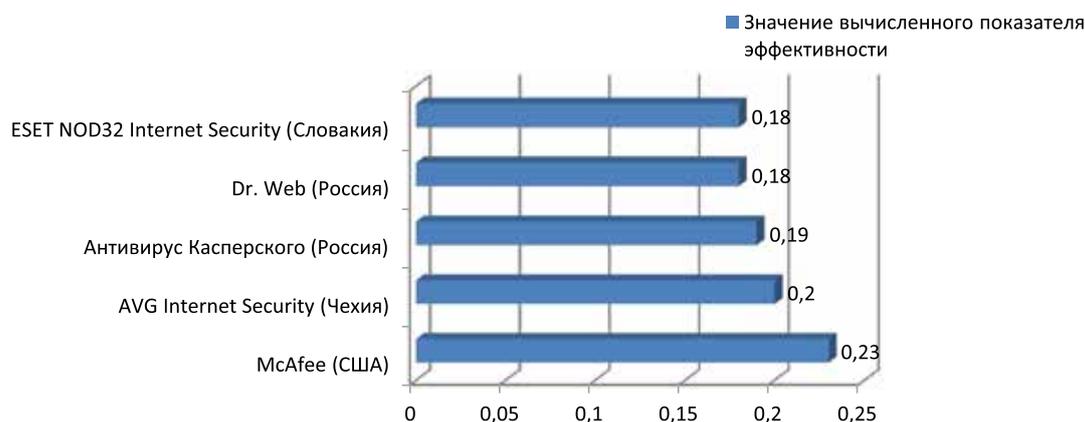


Рис. 4. Сравнение значений вычисленных нормированных показателей эффективности

$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj}$  российских и зарубежных антивирусных программ (разработано авторами)

### Заключение

Для достижения цели исследования были рассмотрены способы информационной безопасности в ИТКС «Интернет», основанные на использовании антивирусных программ, а также выбор наилучшей из них с использованием МАИ.

Для определения наилучшего варианта антивирусной программы на основании использования МАИ введена матрица показателей эффективности антивирусных программ (1). В работе проведен расчет нормированных значений элементов матрицы эффективности антивирусных программ по уравнению (1) с использованием МАИ Томаса Л. Саати. Полученные значения вычисленных показателей эффективности

зарубежных и российских антивирусных программ по избранным критериям с использованием МАИ Томаса Л. Саати сведены в табл. 4. Наибольшее значение показателя эффективности антивирусных программ составило 0,23 (рис. 4), что соответствует характеристикам антивирусной программы McAfee (США). Поэтому для обеспечения информационной безопасности в ИТКС «Интернет» рекомендовано использовать среди зарубежных антивирусных программ – McAfee, а среди российских антивирусных программ наиболее эффективной следует признать антивирусную программу Антивирус Касперского (Россия)/Kaspersky Total Security (значение показателя эффективности, как следует из результатов расчетов в табл. 4 и рис. 4, составило 0,19).

### Список литературы

1. Тюлягин С. Рейтинг стран мира по количеству Интернет-пользователей. [Электронный ресурс]. URL: <https://tyulyagin.ru/ratings/rejting-stran-mira-po-kolichestvu-internet-polzovatelej.html> (дата обращения: 07.12.2021).
2. Пескин А.Е., Смирнов А.В., Тюхтин М.Ф. Телевидение и Интернет / Под ред. канд. техн. наук А.В. Балобанова. М.: Горячая линия – Телеком, 2020. 340 с.
3. Малюк А.А., Горбатов В.С., Королев В.И. и др. Введение в информационную безопасность. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 288 с.
4. Зима В.М., Молдовян А.А., Молдовян Н.А. Безопасность глобальных сетевых технологий. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016. 461 с.
5. Пилькевич С.В., Еремеев М.А. Модели социально значимых интернет-ресурсов // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 2 (39). С. 62–83. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru> (дата обращения: 07.12.2021).
6. Коржик В.И., Просихин В.П., Яковлев В.А. Основы криптографии: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2014. 276 с.
7. Сمارт Н. Криптография. Пер. с англ. С.А. Кулешова под ред. С.К. Ландо. М.: Техносфера, 2005. 528 с.
8. Климентьев К.Е. Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. Издание рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов технических вузов. М.: ДМК Пресс, 2013. 658 с.
9. Саати Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.
10. Саати Томас Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. Р.В. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
11. Интернет: Официальное определение термина [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/bazanov-org/интернет-официальное-определение-термина-e8374398892> (дата обращения: 07.12.2021).
12. Dr.Web Security Space [Электронный ресурс]. URL: [https://products.drweb.ru/win/security\\_space](https://products.drweb.ru/win/security_space) (дата обращения: 07.12.2021).
13. Kaspersky Internet Security [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaspersky.ru/internet-security>. (дата обращения: 07.12.2021).
14. McAfee достоинства и недостатки [Электронный ресурс]. URL: <https://web-shpargalka.ru/mcafee-dostoinstva-i-nedostatki.php>. (дата обращения: 07.12.2021).
15. Что входит в ESET NOD32 Internet Security [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esetnod32.ru/home/products/internet-security/>. (дата обращения: 07.12.2021).
16. AVG Internet Security Лучшая в своем классе защита для всех ваших устройств [Электронный ресурс]. URL: <https://www.avg.com/ru-ru/internet-security> (дата обращения: 07.12.2021).
17. Сравнение антивирусных программ [Электронный ресурс]. URL: <http://smartsourcing.ru/blogs/informatsionnaya-bezopasnost/1595> (дата обращения: 07.12.2021).
18. Онлайн калькулятор. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.onlinschool.com/math/assistance/matrix/multiply> (дата обращения: 07.12.2021).

УДК 004:338

## ЦИФРОВАЯ ТЕНЬ РОССИЙСКИХ МЕЖДУНАРОДНЫХ МЕГАПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС ЗА РУБЕЖОМ: ОЦЕНКА ТОНАЛЬНОСТИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ

Гусева А.И., Кузнецов И.А., Бочкарёв П.В., Смирнов Д.С.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва,  
e-mail: aguseva@mephi.ru

Данная статья продолжает цикл исследований цифровой тени российских международных мегапроектов строительства объектов атомной генерации за рубежом (на примере Венгрии и Финляндии). Исследование тональности публикаций электронных СМИ, накапливающихся в цифровой тени, необходимо для определения уровня общественной приемлемости атомной энергетики. Для данного исследования использовался подход, включающий в себя следующие шаги: сбор новостных сообщений, посвященных атомной энергетике, в электронных СМИ каждой из стран; предобработка данных; построение имитационной модели для конкретной страны для вычисления вероятности тональности новостной публикации в электронных СМИ на произвольную тему; определение тональности собранных сообщений и вычисление эмпирической вероятности; сравнительный анализ математической и эмпирической вероятностей для определения внешнего информационного влияния; сегментация публикаций и авторов на выделенные группы. Вероятностная имитационная модель строилась методом Монте-Карло на примере Венгрии. Определение тональности новостных сообщений осуществлялось сверточными нейронными сетями CNN, которые хорошо зарекомендовали себя для решения подобных задач. Для сегментации использовался метод двойной ансамблевой кластеризации с изменяющейся метрикой расстояния. В результате сравнительного анализа математической и полученной эмпирической вероятностей в центральных венгерских электронных СМИ внешнее информационное влияние выявлено не было.

**Ключевые слова:** мегапроект строительства АЭС, информационно-семантическое поле, цифровая тень, тональность высказываний, имитационная модель, сверточные нейронные сети CNN, метод кластеризации с изменяющейся метрикой расстояний

## DIGITAL SHADOW OF RUSSIAN INTERNATIONAL MEGAPROJECTS OF NPP CONSTRUCTION ABROAD: ASSESSMENT OF THE TONE OF UTTERANCES

Guseva A.I., Kuznetsov I.A., Bochkarev P.V., Smirnov D.S.

National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow,  
e-mail: aguseva@mephi.ru

This article continues the cycle of research on the digital shadow of Russian international megaprojects for the construction of nuclear generation facilities abroad (on the example of Hungary and Finland). The study of the tonality of electronic media publications accumulating in the digital shadow is necessary to determine the level of public acceptability of nuclear energy. For this study, an approach was used that includes the following steps: collecting news reports on nuclear energy in the electronic media of each country; data preprocessing; building a simulation model for a specific country to calculate the probability of the tonality of a news publication in electronic media on an arbitrary topic; determining the tonality of collected messages and calculating empirical probability; comparative analysis of mathematical and empirical probabilities to determine external information influence; segmentation of publications and authors into selected groups. A probabilistic simulation model was built using the Monte Carlo method on the example of Hungary. The determination of the tonality of news reports was carried out by CNN convolutional neural networks, which have proven themselves well for solving such problems. For segmentation, the method of double ensemble clustering with a variable distance metric was used. As a result of a comparative analysis of mathematical and empirical probabilities obtained in the central Hungarian electronic media, no external informational influence was revealed.

**Keywords:** NPP construction megaproject, information and semantic field, digital shadow, utterance tonality, simulation model, CNN, clustering method with variable distance metric

В данной статье мы продолжаем анализ информации, накапливаемой в цифровой тени российских международных мегапроектов строительства объектов атомной генерации за рубежом [1, 2]. Под цифровой тенью обычно понимается информация о ком-то или о чем-то, которая накапливается на интернет-серверах, электронных СМИ, социальных сетях и т.д. [3–5]. В данном случае речь идет о публикациях в электрон-

ных СМИ участников информационно-семантического поля мегапроекта. Сентимент-анализ этой информации необходим для определения уровня общественной приемлемости мегапроекта строительства АЭС за рубежом, который характеризуется признанием населением иностранных государств экономических и экологических преимуществ атомной энергетики независимо от возможного риска. Низкий уровень обще-

ственной приемлемости в ряде случаев может привести к задержке строительства АЭС из-за активных протестов населения, поэтому программы лояльности, сопровождающие мегапроект, призваны увеличить уровень его общественной приемлемости [1, 2].

Первым шагом при определении уровня общественной приемлемости является сегментация пользователей по трем факторам: уровень знания об атомной промышленности, установки потребителя и экономические выгоды [1, 2]. На следующем шаге на основе сегментации выделяются фокус-группы (классы), на третьем шаге к ним применяются различные стратегии воздействия на общественное мнение с целью повышения лояльности аудитории к мегапроекту.

Установки потребителя в фокус-группах можно определить, исследовав три составляющие: активность интернет-пользователей, тональность публикаций в электронных СМИ и тональность высказываний в социальных сетях.

В данном случае рассмотрение ограничивается электронными новостными СМИ стран Венгрии и Финляндии. Проекты строительства АЭС в этих странах находятся на стадии проектирования – в Венгрии подрядчик российской стороны АО «Атомстройэкспорт» завершил подготовительные работы и ожидает завершения лицензирования [6]. В Финляндии пока идет подготовка документации, проводятся подготовительные работы, само строительство начнется в 2023 г. [6].

В настоящее время широко применяется несколько подходов к определению тональности текста (сентимент-анализу) [7–9]. Один подход опирается на методы, использующие правила и словари оценочной лексики [7], другой – на методы машинного обучения [8], третий – на теоретико-графовые модели [9], четвертый – гибридный [10]. Среди традиционных методов машинного обучения можно выделить наивный байесовский классификатор и метод опорных векторов [11]. Также активно применяются методы глубокого обучения, среди которых можно выделить Convolutional Neural Networks (CNN) Recurrent Neural Networks (RNN), Deep Belief Networks (DBN) и другие [12–14]. Наиболее перспективным для определения тональности слабоструктурированных текстов, к которым относятся публикации в электронных СМИ, являются нейронные сети CNN [14].

Целью данного исследования является определение уровня общественной приемлемости атомной энергетики в странах Венгрии и Финляндии на основе оценки тональности публикаций в СМИ участников

информационно-семантического поля российских мегапроектов строительства АЭС за рубежом и последующего формирования мероприятий программы лояльности.

### Материалы и методы исследования

В данной статье мы ограничимся рассмотрением результатов исследования, направленных на определение тональности высказываний в электронных СМИ участников информационно-семантического поля мегапроекта.

Предлагаемый нами подход содержит следующие шаги.

1. Сбор новостных сообщений, посвященных атомной энергетике, в электронных СМИ.

2. Предобработка собранных данных.

3. Построение имитационной модели для вычисления вероятности тональности (негативная, нейтральная, позитивная) новостной публикации в электронных СМИ на произвольную тему.

4. Определение тональности высказываний.

5. Сравнительный анализ вероятностей: определение информационного влияния.

6. Сегментация публикаций и авторов публикаций на выделенные группы.

Рассмотрим каждый этап более подробно.

*Шаг 1.* Для исследования тональности публикаций участников информационно-семантического поля мегапроекта были выбраны ведущие электронные СМИ в Венгрии и Финляндии за 2019–2021 гг.

В Финляндии были выбраны следующие источники новостей:

– «Iltalehti» (Вечерняя газета, <https://www.iltalehti.fi>) – вечерняя финская газета, третья по тиражу газета Финляндии, выходит шесть дней в неделю, с понедельника по субботу. В 2010 г. онлайн-версия «Iltalehti» была самым посещаемым веб-сайтом в Финляндии, его посещали 1 937 156 человек в неделю, в 2015 г. сайт был шестым по популярности веб-сайтом в стране;

– «Iltä-Sanomat» (Вечерние новости, <https://www.is.fi/>) – одна из двух известных в Финляндии вечерних газет, вторая по величине газета в стране. Согласно Национальному медиа-исследованию, проведенному в 2019 г., «Iltä-Sanomat» является крупнейшим цифровым медиа в Финляндии и охватывает около 2,5 млн финнов. Посещаемость газеты – 2 290 000 посетителей в день;

– «Helsingin Sanomat» (Хельсинкские новости, <https://www.hs.fi/>) – крупнейшая газета Финляндии, выходит ежедневно, занимает шестое место по популярности среди финских ресурсов;

– «Aamulehti» (Утренняя газета, <https://www.aamulehti.fi>) – ежедневная газета, выходящая в Тампере. Является третьей по популярности газетой Финляндии, с момента своего создания (1881 г.) отличается антироссийским настроением.

В Венгрии для всестороннего рассмотрения электронных СМИ были выбраны следующие источники:

– «Index» (<https://index.hu/>) – венгерский новостной портал, расположенный в Будапеште, является самым посещаемым новостным веб-сайтом в Венгрии с примерно 1,5 млн посещений в день;

– «24.hu» (<https://24.hu/>) – один из крупнейших и наиболее посещаемых новостных сайтов Венгрии в интернете. Издателем сайта является Центральная медиагруппа Zrt. Портал содержит разнообразный контент, включая свежие новости, аналитические материалы, видео, обзоры, обзоры и интервью;

– «Blikk» (<https://www.blikk.hu/>) – венгерская ежедневная бульварная газета, издаваемая в Будапеште, принадлежащая немецко-швейцарской медиакомпании Ringier-Axel Springer;

– «Portfolio» (<https://www.portfolio.hu/>) – финансовая онлайн-газета в Венгрии с числом пользователей в один миллион в месяц. В 2018 г. Portfolio Group вошла в десятку самых читаемых новостных сайтов и 15 самых посещаемых сайтов в Венгрии.

По каждому источнику были собраны две формы, глубина сбора данных – с 2019 по 2021 г., всего 150 недель (табл. 1).

**Таблица 1**

Формы сбора новостных публикаций

Форма 1 (поля)	Форма 2 (поля)
– Дата новости	– Дата
– Заголовок	– Количество новостей
– Аннотация	
– Основной текст новости	
– Автор	
– Категория	

*Шаг 2.* Обработка собранных текстовых данных включает дополнительный шаг, связанный с предобработкой таких данных.

В рамках проведенного исследования был сделан следующий набор последовательных шагов для предобработки:

– сбор и загрузка корпусов текста – определяется перечень источников, выполняется загрузка в оперативную память;

– токенизация – превращение текстового документа в набор токенов, где под токеном чаще всего понимается отдельное слово или несколько символов или целые фразы;

– использование тезауруса для формирования связей – для конкретных предметных областей формируется словарь терминов, тезаурус, который представляет собой систему связей этих терминов;

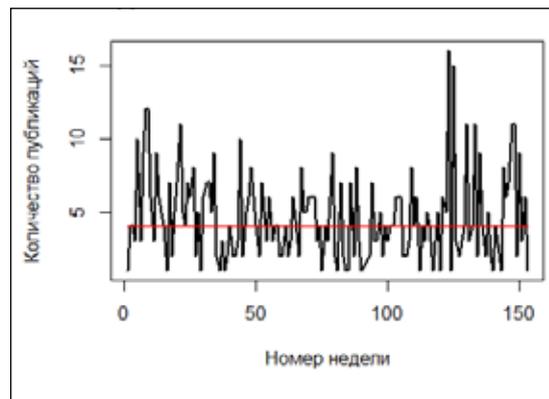
– удаление стоп-слов – удаляются слова с минимальной важностью, к которым относятся предлоги, союзы, местоимения и т.д.;

– удаление символов пунктуации и унификация текста – знаки пунктуации, переноса, пробелов или иных специальных символов могут быть удалены;

– стемминг и/или лемматизация – данная операция направлена на отбрасывание изменяемых частей слова (стемминг) или приведение каждого слова к нормальной форме (лемматизация);

– представление текста в машиночитаемом виде – использование различных подходов для формирования векторного (матричного) представления текстового документа.

*Шаг 3.* Для оценки вероятности тональности новостных публикаций была разработана вероятностная имитационная модель на основе метода Монте-Карло [15, 16]. Предварительный статистический анализ для построения модели проводился по данным, собранным из четырех источников венгерских электронных новостных СМИ (<https://index.hu/>, <https://24.hu/>, <https://www.blikk.hu/>, <https://www.portfolio.hu/>). На рис. 1 представлена динамика совокупного количества информационных публикаций и его медиана за период 2019–2021 гг., 150 недель.



*Рис. 1.* Динамика совокупного количества публикаций в СМИ по теме «Атомэнергетика» за 2019–2021 гг., 150 недель

На рис. 1 видно, что медиана составляет меньше трети от максимального количества публикаций за неделю. На основании этого, а также текстового анализа заголовков, аннотаций и самих статей новостей была выдвинута гипотеза, что новостная интенсивность реализуется в трех режимах: «событийный», «шумовой» и «тихий».

«Событийный» режим предполагает, что существует некое событие, которое вызывает однотипный отклик у всех новостных источников (тональность такого отклика преимущественно одинакова). К «шумовому» режиму относятся такие интервалы, где появление новостной информации носит спорадический характер и не поддерживается всеми источниками. «Тихая» неделя – общая интенсивность новостных сообщений не превышает одного сообщения в неделю.

Для объективности необходимо ввести еще один тип – «нулевая» неделя, когда нет вообще никаких сообщений на заданную тему. Такой режим преобладает в Финляндии. Например, для одного из анализируемых источников, «Aamulehti», за 150 недель было обнаружено только 15 публикаций по атомной энергетике.

Разделение недель на событийные и шумовые осуществлялось на основании фильтров:

– суммарная новостная интенсивность за неделю превосходит медианную (определенную за 150 недель);

– все исследуемые новостные источники имеют публикации в эту неделю.

Рассмотрим, как менялась интегральная тональность новостных сообщений. Под интегральной тональностью будем понимать сумму тональностей всех сообщений за неделю (обозначение тональности: -1 – негативная, 0 – нейтральная, 1 – позитивная).

На рис. 2, а, б, представлены распределения интегральной тональности для недель, отмеченных как «событийные» и «шумовые».

Для недель этих режимов были рассчитаны частоты новостей разной тональности и математические вероятности этих тональностей (табл. 2).

Статистический анализ событийных недель с преимущественно позитивной и негативной повесткой приведен в табл. 3.

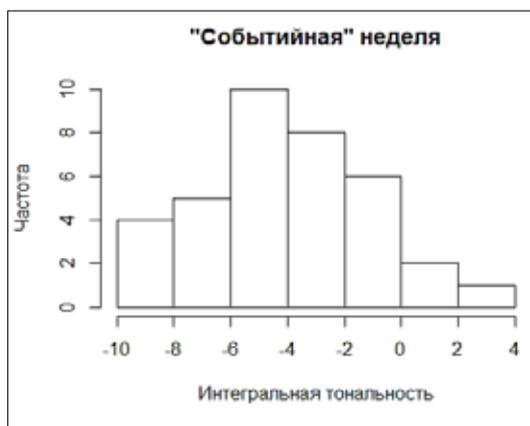


Рис. 2, а. Интегральная тональность «событийной» недели

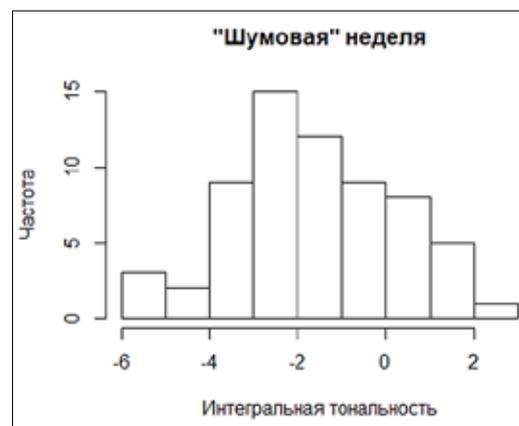


Рис. 2, б. Интегральная тональность «шумовой» недели

Таблица 2

Частоты и вероятности новостей разной тональности

Тональность	«Событийная» неделя		«Шумовая» неделя		«Тихая» неделя	
	Частота	Вероятность	Частота	Вероятность	Частота	Вероятность
Негативная	168	0,7119	119	0,592	20	0,6061
Нейтральная	34	0,1441	35	0,1741	9	0,2727
Позитивная	34	0,1441	47	0,2338	4	0,1212

Таблица 3

Частоты и вероятности новостей «позитивных» и «негативных» недель

Тональность	«Позитивная» неделя		«Негативная» неделя	
	Частота	Вероятность	Частота	Вероятность
Негативная	5	0,2941	163	0,7443
Нейтральная	1	0,05882	33	0,1507
Позитивная	11	0,6471	23	0,105

Эти оценки легли в основу имитационной вероятностной модели, разработанной с помощью метода Монте-Карло. Для каждой недели, в соответствии с ее типом, для каждого моделируемого источника (рассматривалось 10 источников), определялось количество новостных сообщений. Для этого использовались треугольные функции распределения, наиболее часто используемые для решения подобных задач [16].

Таким образом, для каждой недели создавался свой набор сообщений. Их тональность определялась в соответствии с частотами, определенными в ходе статистического анализа. Вероятность негативной тональности сообщения – 0,641, нейтральной – 0,163, позитивной – 0,196. Математическая вероятность необходима для того, чтобы в дальнейшем определить наличие негативного внешнего информационного воздействия в цифровой тени по отношению к мероприятиям программы лояльности.

*Шаг 4.* Для оценки тональности текста был реализован алгоритм на базе нейронной сети CNN, демонстрирующий высокие результаты на схожих задачах в других предметных областях [14]. Для построения модели использовался вручную размеченный набор данных новостных лент, который составил 50% от общей выборки. Для оставшихся 50% выборки разметка тональности выполнялась с помощью нейронной сети. Реализованная нейронная сеть состояла из четырех скрытых слоев, где процесс обучения включал 10 эпох, реализующих классификацию объекта к одному из трех классов: положительный, нейтральный и отрицательный.

*Шаг 5.* Сегментация публикаций проводилась на основе полученной ранее экспертной оценки [2], что существует как минимум пять сегментов: позитивной тональности, нейтральной тональности и три сегмента разной степени негативной тональности.

В качестве метода, применяемого для кластеризации новостных публикаций, был использован метод двойной кластеризации с изменяющейся метрикой расстояний. Двойная кластеризация выполнялась в два

шага. На первом шаге проводилась ансамблевая кластеризация по самой новости для публикаций. Каждой публикации после анализа текста присваивается один из пяти классов.

На втором шаге для каждого автора анализировалось количество написанных новостных публикаций (т.е. сколько он написал статей 1-го, 2-го класса и т.д.) и количество написанных им негативных, позитивных и нейтральных сообщений. После этого по этим данным снова проводилась ансамблевая кластеризация с изменяющейся метрикой расстояния и присваивается новый класс уже самому автору.

### Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 4 приведены полученные результаты оценки тональности публикаций в Финляндии по теме «Ydinvoimala».

Как видно из таблицы, тема атомной энергетики очень мало занимает финское общество. Больше всего новостей, посвященных этой тематике, опубликовано в Helsingin Sanomat. Но даже в ней количество публикаций не превышает 0,1% от общего объема.

Как правило, публикации с негативной тональностью посвящены современным проблемам Фукусимы и Чернобыля, внештатной ситуации на Тайшанской АЭС (Китай), временному закрытию атомной электростанции Словении как меры предосторожности из-за землетрясения в Хорватии и т.д.

Публикации с позитивной тональностью обсуждают достоинства атомной энергетики как безуглеродной, т.е. «зеленой», энергетики. Доминируют утверждения, что ядерная энергия необходима как часть соглашения по климату. Например, единственная положительная публикация в газете «Aamulehti» посвящена обсуждению цен на электроэнергию, которые в 2021 г. очень высокие, но в ближайшее время могут быть снижены за счет введения законопроекта, касающегося строящегося атомного энергоблока.

В табл. 5 приведены результаты оценки тональности новостных публикаций в Венгрии по теме «Atomerőmű».

**Таблица 4**

Тональность новостных публикаций в Финляндии, посвященных атомной энергетике

Электронные СМИ	Всего новостей (2019–2021 гг.)	Посвящено атомной энергетике	Негативная тональность	Нейтральная тональность	Позитивная тональность
Iltalehti	131016	15	6	6	3
Iltta-Sanomat	166802	32	15	9	8
Helsingin Sanomat	126577	145	57	53	35
Aamulehti	67279	12	8	3	1

**Таблица 5**

Тональность публикаций в Венгрии, посвященных атомной энергетике

Электронные СМИ	Всего новостей (2019–2021 гг.)	Посвящено атомной энергетике	Негативная тональность	Нейтральная тональность	Позитивная тональность
Index	168468	185	103	38	44
24.hu	131847	176	122	23	31
Blikk	179846	109	82	17	10
Portfolio	61892	199	58	68	73

**Таблица 6**

Вероятность тональности новостных сообщений (Венгрия)

Тональность новостного сообщения	Вероятность математическая	Эмпирическая вероятность (Венгрия)
Негативная	0,528	0,546
Нейтральная	0,227	0,218
Позитивная	0,243	0,236

Как видно из табл. 5, в Венгрии тема атомной энергетики является более обсуждаемой, чем в Финляндии, количество тематических публикаций составляет 0,3% от общего количества.

К обсуждаемым в Венгрии темам с негативной тональностью добавляются новые, связанные с потеплением воды в Дунае («АЭС Пакш: пошли слухи о потеплении воды Дуная», «Мы вошли в критическую границу: Дунай буквально кипит, объявлена тревога по АЭС Пакш» и т.д.), неисправностями на АЭС Пакш («Авария произошла на одном из блоков АЭС Пакш», «Производительность АЭС Пакш снизилась из-за аварии»), задержками с лицензированием («Пакш 2: выдача очередной лицензии задерживается»), террористические угрозы АЭС («Террористы хотели взорвать атомную электростанцию в Брюсселе», «Это может стать серьезной проблемой безопасности французских атомных электростанций»).

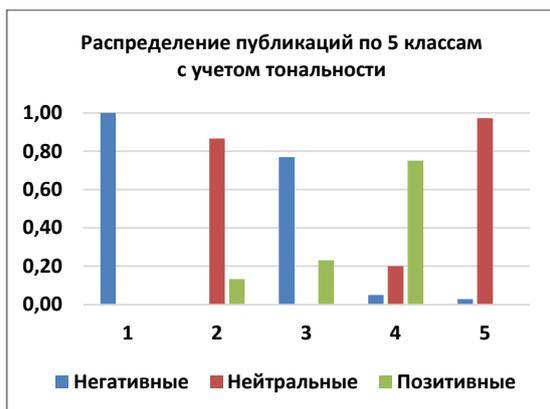
Среди публикаций позитивной тональности, помимо уже упомянутых ранее, появляются публикации, связанные с повышенными мерами безопасности на Пакш-II и экономическими выгодами от реализации мегапроекта («Даже бизнес централизованного теплоснабжения в Пакше принес Lőrinc Mészáros полмиллиарда...», «С осени в университете будет начато обучение строительству АЭС...», «Оказывается, в ближайшие годы в Пакше сможет работать очень много людей...» и т.д.). Результаты исследования показывают, что такой читаемый венгерский источник, как «Portfolio»,

публикует 37% новостей об атомной энергетике позитивной тональности и только 29% – негативной.

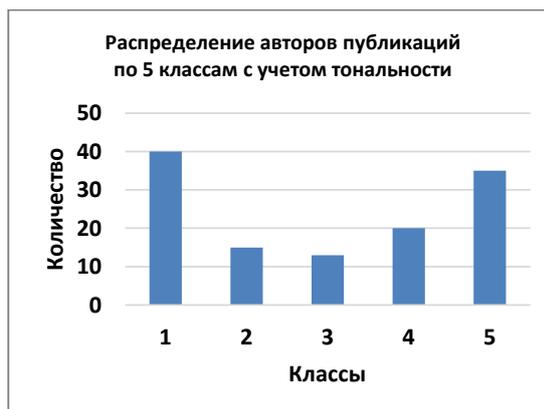
В табл. 6 приведены результаты сравнительного анализа математической вероятности, вычисленной с помощью имитационного моделирования, и эмпирической, полученной в ходе сбора новостных публикаций СМИ в Венгрии. Как видно из таблицы, значения вероятностей очень близки, что говорит об отсутствии какого-либо значительного внешнего информационного воздействия.

На рис. 3 представлены результаты кластеризации самих публикаций новостных электронных СМИ и авторов в Финляндии. «Класс 1» сформирован из публикаций исключительно негативной тональности, «Класс 2» содержит нейтральные публикации с незначительной долей позитивной тональности (15%), «Класс 3» включает негативные публикации с незначительной долей позитивной тональности (20%), «Класс 4» – публикации с основной массой позитивной тональности (75%), незначительной долей нейтральной (20%) и негативной (5%) тональности. «Класс 5» содержит публикации, в подавляющем большинстве нейтральные (95%) с незначительной долей негативных.

Кластеризация авторов по пяти классам показывает, что наиболее объемными являются «Класс 1» и «Класс 5». Количество авторов, входящих в эти классы, в два раза больше, чем в «Классе 4» с позитивной тональностью публикаций.

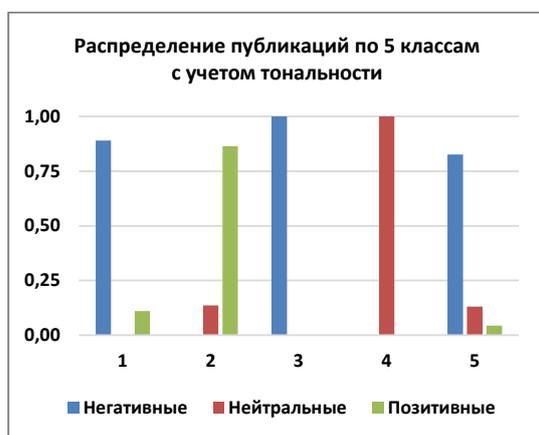


А) Результаты кластеризации публикаций



Б) Результаты кластеризации авторов

Рис. 3. Распределение публикаций и авторов по пяти классам с учетом тональности на примере Финляндии (2019–2021 гг.)



А) Результаты кластеризации публикаций



Б) Результаты кластеризации авторов

Рис. 4. Распределение публикаций и авторов по пяти классам с учетом тональности на примере Венгрии (2019–2021 гг.)

На рис. 4 представлены результаты кластеризации авторов венгерских новостных электронных СМИ. Среди выделенных классов «Класс 1» содержит негативные публикации с незначительной долей позитивной тональности (10%); «Класс 2» – позитивные публикации с незначительной долей нейтральной тональности (10%); «Класс 3» включает в себя публикации исключительно негативной тональности; «Класс 4» – публикации исключительно нейтральной тональности, а «Класс 5» имеет смешанный характер и содержит публикации с основной массой негативной тональности (85%), незначительной долей нейтральной (10%) и позитивной (5%) тональности. Кластеризация

авторов по пяти классам показывает, что наиболее объемным являются «Класс 3». Количество авторов, входящих в этот класс исключительно негативной тональности, в два с половиной раза больше, чем в «Классе 2» с положительной тональностью публикаций.

Как мы видим, выделенные классы в Венгрии и Финляндии несколько различаются, что говорит о естественных различиях в установках потребителей по отношению к атомной энергетике в разных странах. Но на основе выделенного сходства можно обобщить полученные результаты следующим образом для обеих стран:

– «Класс А» – в подавляющем большинстве позитивные публикации (75–90%),

с небольшой долей нейтральных и, возможно, негативных.

– «Класс В» – нейтральные публикации, возможно с небольшой долей позитивных высказываний (15%).

– «Класс С» – исключительно публикации с негативной тональностью.

– «Класс D» – негативные публикации с незначительной долей положительной тональности (10–20%).

– «Класс E» – имеет смешанный характер. Это публикации нейтрально-негативные либо негативно-нейтральные с небольшой долей позитивных.

Кластеризация авторов публикаций по этим пяти классам в дальнейшем дает возможность определить стратегию влияния на аудиторию с целью повышения ее лояльности к мегапроектам строительства российских АЭС за рубежом.

### Заключение

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

Тема атомной энергетики не является популярной в Венгрии и Финляндии, количество новостей, посвященных этой теме за три последних года, составляет не более 0,3–0,1% от общего количества новостных публикаций.

Среди новостных публикаций, посвященных атомной энергетике, большинство имеет отрицательную тональность. Сравнительный анализ математической вероятности, вычисленной с помощью имитационного моделирования, и эмпирической, полученной в ходе сбора новостных публикаций СМИ в Венгрии, показывает, что значения вероятностей очень близки. Это свидетельствует об отсутствии какого-либо значительного внешнего информационно-го воздействия.

Кластеризация публикаций по пяти классам с учетом тональности приводит к выделению класса с публикациями исключительно негативной тональности, двух классов публикаций с преобладающей положительной тональностью и преобладающей нейтральной тональностью, класса с негативной тональностью и незначительной долей положительной тональности (10–20%), класса публикаций смешанного характера (нейтрально-негативные, либо негативно-нейтральные).

Кластеризация авторов публикаций показывает, что объем кластеров с негативными публикациями значительно превышает все остальные кластеры.

*Работа поддержана грантом РФФИ № 20-010-00708\21.*

### Список литературы

1. Ковтун Д.А., Коптелов М.В., Гусева А.И. Управление информационными рисками с помощью информационно-семантического поля в международных проектах атомной энергетики // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11. С. 66–71.
2. Guseva A.I., Matrosova E., Tikhomirova A., Kovtun D. Assessment of the Public Acceptance of the Nuclear Power Plant Construction Plan on the Territory of Foreign Country. Procedia Computer Science. 2021. Vol. 190. P. 301–311.
3. Bergs T., Gierlings S., Auerbach T., Klink A., Schrakneppera D., Augspurgera T. The concept of the Digital Twin and Digital Shadow in Manufacturing. Procedia CIRP 101. 2021. P. 81–84.
4. Ткачева А.В. Цифровой след и цифровая тень потребителя: сущность, формирование и использование // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы III Международной научно-практической конференции. Магеевка, 2020. С. 279–285.
5. Бояркина Л.А., Бояркин В.В. Цифровой след и цифровая тень как производные персональных данных // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2016. № 62. С. 78–81.
6. Матросова Е.В., Тихомирова А.Н., Киреев В.С., Гусева А.И. Оценка уровня знаний об атомной промышленности в Белоруссии, Венгрии, Турции и Финляндии // Фундаментальные исследования. 2021. № 12 (1). С. 180–185.
7. Майорова Е.В. О сентимент-анализе и перспективах его применения // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 6: Языкознание. Реферативный журнал. 2020. № 4. С. 78–86.
8. Гималетдинова Г.К., Довтаева Э.Х. Сентимент-анализ читательского комментария: автоматизированная VS ручная обработка текста // Ученые записки Казанского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2021. Т. 163. № 1. С. 65–80.
9. Куницына Н.Н., Метель Ю.А. Применение метода интеллектуального текстового анализа в оценке уровня удовлетворенности клиентов коммерческих банков // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 2 (71). С. 149–155.
10. Андросов А.Ю., Бородащенко А.Ю., Леонидова К.С. Алгоритм определения тональности публикаций СМИ к должностным лицам государственных органов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 2. С. 47–53.
11. Золина Е.В., Гамова Н.А. Наивный классификатор Байеса для решения задачи сентимент-анализа тестов // Шаг в науку. 2019. № 4. С. 140–142.
12. Романов А.С., Васильева М.И., Куртукова А.В., Мещеряков Р.В. Анализ тональности текста с использованием методов машинного обучения // R. Piotrowski's Readings in Language Engineering and Applied Linguistics. Proceedings. Ser. "CEUR-WS Workshop Proceedings" St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Herzen State Pedagogical University of Russia, 2018. P. 86–95.
13. Черкасов А.Н., Туркин Е.А. Выбор оптимальной архитектуры искусственной нейронной сети для задачи классификации текстов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2021. № 1 (276). С. 62–66.
14. Kuznetsov I.A., Koptelov M.V., Kovtun D.A. and Guseva A.I. A method for reducing the impact of information risks at numerous stages of a megaproject life cycle based on a semantic information field. Procedia Computer Science. 2021. Vol. 190. P. 500–507.
15. Гильванова Г.А. Анализ риска инновационного проекта методом имитационного моделирования (метод Монте-Карло) // Science Time. 2015. № 12 (24). С. 157–161.
16. Кузикова Д.С., Якушев А.А. Метод Монте-Карло в экономических исследованиях // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 34–3. С. 41–45.

УДК 004.942

## АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ТЕСТИРОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА БАЙЕСА

Гусятников В.Н., Соколова Т.Н., Безруков А.И., Каюкова И.В.

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

Целью исследования является разработка адаптивной методики оценивания уровня сформированности нескольких компетенций, исходя из результатов одного сеанса тестирования. В основе предлагаемой методики – модернизированная модель Раша. Оценка сформированности набора компетенций сводится к задаче классификации, решаемой с помощью алгоритма Байеса. После каждого выполненного задания вычисляется вероятность принадлежности обучаемого к некоторым заранее определенным паттернам (наборам значений сформированных компетенций). Для ускорения сходимости метода оценки компетенций применяется адаптивный выбор следующего задания, исходя из максимума информационной функции для паттерна, вероятность принадлежности к которому на предыдущем шаге максимальна. Для повышения устойчивости применяемого алгоритма Байеса использован метод регуляризации, основанный на анализе изменения энтропии распределения вероятностей принадлежности к паттернам. В случае «нетипичного» изменения энтропии после выполнения очередного задания предложено повторно выполнить задание с такими же параметрами сложности. Данное действие аналогично заданию уточняющего вопроса в ходе очного экзамена с экзаменатором, что значительно повышает устойчивость алгоритма Байеса в решаемой задаче. В ходе проведенного имитационного эксперимента показано, что построенная модель позволяет достоверно измерить уровень сформированности трех компетенций по четырехбалльной шкале в ходе одного сеанса тестирования, после выполнения двух-трех десятков заданий.

**Ключевые слова:** компьютерное тестирование, модель Раша, компетентностный подход, адаптивное тестирование

## ADAPTIVE MODEL FOR TESTING SEVERAL COMPETENCIES BASED ON THE BAYES ALGORITHM

Gusyatnikov V.N., Sokolova T.N., Bezrukov A.I., Kayukova I.V.

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, e-mail: victorgsar@rambler.ru

The aim of the research is to develop an adaptive methodology for assessing the level of competence formation of several competencies based on the results of a single testing session. The basis of the proposed methodology is an upgraded Rasch model. Assessment of competence set is reduced to a classification problem solved using Bayes algorithm. After each completed task the probability of the trainee belonging to some predetermined patterns (sets of values of the formed competences) is calculated. Adaptive selection of the next task is used to speed up convergence of competency assessment method based on information function maximum for the pattern which has maximal probability of membership at the previous step. To improve stability of Bayesian algorithm, regularization method based on analysis of pattern membership probability distribution entropy changes is used. In case of “atypical” changes of entropy after completing the next task, it is proposed to repeat the task with the same difficulty parameters. This action is similar to asking a clarifying question in a face-to-face exam with an examiner, which significantly increases the stability of Bayes algorithm in the problem to be solved. The simulation experiment shows that the built model allows to reliably measure the level of formation of three competences on a four-point scale during one testing session, after performing 20-30 of tasks.

**Keywords:** computer testing, Rasch model, competence approach, adaptive testing

Пандемия COVID-19 и массовый переход системы образования на дистанционный формат выявили серьезные проблемы в оценке результатов обучения во многих национальных образовательных системах, в том числе в российской. Как оказалось, при большом разнообразии платформ для онлайн-обучения отсутствует надежный инструментарий для дистанционной, массовой и объективной оценки уровня сформированности компетенций, что привело к переносу и даже отмене итоговых аттестаций.

Проблема оценки уровня сформированности компетенций, возникающая с переходом образования на компетентностную модель, является ключевой и до конца не решенной для современного российско-

го образования. Задача оценки достижений обучающихся в некоторой дисциплине, возникающая на всех этапах обучения, еще более усложняется, так как каждая дисциплина, как правило, формирует от двух до четырех и более компетенций. Поэтому задача ставится таким образом, что в ходе промежуточной аттестации во время одной процедуры оценивания необходимо определить уровень сформированности всех этих компетенций. Схожие задачи возникают перед экспертом во время процедуры аккредитации образовательных программ, когда за один сеанс мультидисциплинарного тестирования на основе ответов на 20–30 контрольных вопросов необходимо оценить уровень сформированности 4–5 компетен-

ций. Решить подобную многомерную задачу оценки компетенций, используя простые линейные алгоритмы анализа результатов тестирования, невозможно.

С другой стороны, использование сложных методов анализа результатов тестирования с элементами искусственного интеллекта [1] порождает другую проблему, обусловленную недостаточным уровнем доверия к подобным системам оценки, как со стороны обучающихся, так и со стороны преподавателей. Уровень доверия к интеллектуальным системам сильно зависит от степени прозрачности такой системы, простоты и понятности используемых в ней алгоритмов. Например, если мы будем использовать для оценки нейронную сеть, то вряд ли удастся убедить пользователей этой системы оценивания в достоверности выдаваемых результатов, как бы хорошо мы ни проектировали и обучали ее, так как для пользователей она будет черным ящиком. Проблема доверия к системам оценки обострилась именно в период пандемии, вместе с повсеместным использованием дистанционных образовательных технологий. Другим недостатком существующих систем тестирования и анализа результатов является часто критикуемый формальный механистический подход, не учитывающий индивидуальные особенности обучаемого [2]. Поэтому часто звучат призывы вернуться к старой «советской» системе оценивания.

Целью является разработка адаптивной методики оценивания уровня сформированности нескольких компетенций, исходя из результатов одного сеанса тестирования, позволяющей в режиме реального времени подстраиваться под индивидуальные особенности обучаемого.

Для решения поставленной задачи существующие методы обработки результатов тестирования не подходят. Традиционная линейная модель, основанная на дихотомической или политомической шкале измерения ответов, позволяет оценить уровень знаний обучаемого. Однако по полученным с ее помощью результатам нельзя достоверно определить уровень компетентности. Пришедшая ей на смену классическая IRT-модель также не позволяет решить поставленную задачу по нескольким причинам.

Во-первых, классическая модель Раша требует, чтобы вопросы теста относились к одной области знаний, только в этом случае с ее помощью можно корректно оценить уровень подготовленности тестируемых [3]. Во-вторых, при проведении промежуточного или итогового контроля по дисциплине не всегда имеется достаточное количество

результатов тестирования для того, чтобы провести калибровку теста [4]. Тем не менее эта модель хорошо зарекомендовала себя и прошла серьезную апробацию при оценке результатов ЕГЭ, а также в международных исследованиях (PISA, TIMMS).

Предлагается адаптировать IRT для решения следующей задачи. Требуется определить уровень сформированности нескольких компетенций в ходе одного сеанса тестирования. При этом желательно использовать имеющиеся банки тестовых заданий, трудность каждого задания в которых оценена с точки зрения каждой компетенции.

### Материалы и методы исследования

В основу имитационной модели, построенной в данной работе, положена следующая идея. Предполагается, что для правильного выполнения задания требуется определенный уровень развития нескольких компетенций. Проблема заключается в оценке влияния каждой компетенции на вероятность правильного ответа. Как известно, в классической модели Раша эта вероятность описывается логистической кривой и зависит от разности между трудностью задания и уровнем подготовленности испытуемого.

В случае нескольких компетенций появляется неопределенность, что понимать под уровнем подготовленности и как он соотносится с уровнем сформированности каждой компетенции. Некоторые авторы предлагают определять уровень подготовленности как линейную комбинацию уровней сформированности компетенций с соответствующими весовыми коэффициентами [5, 6].

Считается, что каждое задание обладает различными чувствительностями  $a_i$  по отношению к различным компетенциям. Испытуемый также обладает различными уровнями освоения компетенций  $\theta_n$  ( $n$  – номер компетенции). Результирующая компетенция  $\hat{\theta}$  для данного задания оценивается как линейная комбинация компетенций:

$$\hat{\theta} = \sum_n a_n \cdot \theta_n. \quad (1)$$

Однопараметрическая модель Раша в этом случае выглядит так

$$P(\hat{\theta}, \delta) = \frac{\exp(\hat{\theta} - \delta)}{1 + \exp(\hat{\theta} - \delta)}, \quad (2)$$

где  $\delta$  – трудность задания.

Однако при таком методе расчёта остается открытым вопрос, как установить значение весовых коэффициентов и вклад каждой компетенции в вероятность правильного ответа на данное задание.

Мы предлагаем другой подход к оценке вероятностей и уровней сформированности каждой компетенции.

Для иллюстрации предлагаемого подхода рассмотрим следующий модельный пример. Пусть испытуемому поставлено задание: переправиться через широкую реку. Для выполнения задания он может переплыть реку, проявив искусство пловца, построить плот, проявив мастерство в его постройке, или договориться с лодочником, проявив искусство переговорщика. То есть для выполнения задания требуются три компетенции, хотя и в разной степени. Однако если испытуемый решил построить плот, то неважно, как хорошо он умеет плавать или договариваться. Этой ситуации, когда для решения поставленной задачи испытуемый использует наиболее развитую, с его точки зрения, компетенцию, соответствует представленная в работе имитационная модель, на которой будут сравниваться различные алгоритмы и методики тестирования.

Для определенности предполагается, что одновременно измеряются значения трех компетенций и задания имеют разные уровни трудности для каждой из них. Обозначим уровни трудности задания по отношению к каждой компетенции  $\delta_1, \delta_2$  и  $\delta_3$ , а уровни их сформированности у студента  $\theta_1, \theta_2$  и  $\theta_3$  соответственно.

В данном случае в соответствии с моделью Раша получаем три разные вероятности правильного ответа:

$$P_n = P(\theta_n, \delta_n) = \frac{\exp(\theta_n - \delta_n)}{1 + \exp(\theta_n - \delta_n)}, \quad (3)$$

где  $n = 1, 2, 3$  – порядковый номер компетенции.

В качестве вероятности выполнения тестового задания в предлагаемой модели выбирается максимальное значение из этих трех вероятностей в соответствии с предположениями, положенными в основу имитационной модели: во-первых, при выполнении задания испытуемый, стараясь показать наилучший результат, применяет именно ту компетенцию, которая позволяет выполнить его с наибольшей вероятностью; во-вторых, каждая компетенция проявляется

независимо от других и может быть оценена с помощью модели Раша.

Следующее предположение состоит в том, что уровень сформированности каждой компетенции оценивается по четырехбалльной шкале, что соответствует сложившейся практике оценивания при проведении промежуточных и итоговых аттестаций.

Установим следующее соответствие между используемой шкалой оценивания и уровнем развития компетенций в логитах: отлично – 3, хорошо – 1, удовлетворительно – минус 1 и неудовлетворительно – минус 3. В случае одновременного оценивания трех компетенций возможны 64 уникальные комбинации уровней их сформированности по такой четырехбалльной шкале, что будет соответствовать 64 типам (паттернам) студентов. Предполагается, что удалось сформировать банк тестовых заданий, уровни трудности которых относительно каждой компетенции меняются с тем же шагом по шкале трудностей. Таким образом, банк вопросов содержит 64 типа заданий с уникальными комбинациями трудностей по всем компетенциям. Задача оценивания компетенций студента в таком случае сводится к задаче определения паттерна, к которому студент относится, т.е. к задаче классификации [7].

Введем обозначения:  $P^{(k)}(H_j)$  – вероятность принадлежности испытуемого к  $j$ -му паттерну, вычисленная на  $k$ -м шаге, т.е. когда получены ответы на  $k$  вопросов;  $PA(j, m)$ ,  $PnotA(j, m)$  – вероятности того, что студент, принадлежащий  $j$ -му паттерну, правильно выполнит задание, относящееся к типу  $m$  ( $m = 1 \dots 64$ ), или не справится с этим заданием соответственно;  $k$  – номер шага (количество полученных ответов) [8].

Перед первым заданием предполагается, что вероятности принадлежности к каждому паттерну распределены равномерно и равны  $P^{(0)}(H_j) = 1/64$ ,  $j = 1 \dots 64$ . После выполнения очередного задания, относящегося к типу  $m$ , вероятности принадлежности к каждому паттерну пересчитываются по формуле Байеса (суммирование в знаменателе дроби проходит по всем паттернам) и выбирается паттерн, вероятность принадлежности к которому максимальна [9]:

$$P^{(k)}(H_j) = \begin{cases} \frac{PA(j, m) \cdot P^{(k-1)}(H_j)}{\sum_{i=1}^{64} PA(i, m) \cdot P^{(k-1)}(H_i)} & \text{текущее задание выполнено} \\ \frac{PnotA(j, m) \cdot P^{(k-1)}(H_j)}{\sum_{i=1}^{64} PnotA(i, m) \cdot P^{(k-1)}(H_i)} & \text{текущее задание не выполнено} \end{cases} \quad (4)$$

### Результаты исследования и их обсуждение

В имитационной модели испытаниям подвергался студент с заданным уровнем развития компетенций. Результат его ответа на каждый вопрос определялся как максимум из вероятностей, рассчитанных по формуле (3).

$$P = \max P(\theta_n, \delta_n), \quad (5)$$

где  $n = 1, 2, 3$  – порядковый номер компетенции

Вероятности принадлежности данного студента к каждому паттерну пересчитывались после получения ответа на очередной вопрос.

На рис. 1 показано, как изменяется вероятность принадлежности испытуемого к паттерну, заданному для него в имитационной модели, в зависимости от количества выполненных заданий для двух разных алгоритмов выбора очередного вопроса – детерминированного и адаптивного. В детерминированном алгоритме тестовые задания различного уровня трудности по каждой компетенции, относящиеся к различным типам, следуют в фиксированном порядке. В адаптивном алгоритме тип каждого следующего задания в тесте выбирается из условия максимума его информационной функции для паттерна, имеющего максимум вероятности на текущем шаге алгоритма. Известно, что информационная функция по отношению к конкретному студенту максимальна для заданий, вероятность выполнения которых данным студентом близка к величине 0,5. В данном случае на  $k$ -м шаге информационная функция задания, имеющего тип  $m$ , рассчитывалась как сумма по всем паттернам произведений вероятностей правильного и неправильного ответов студента, относящегося к соответствующему

паттерну, на весовой коэффициент, равный вероятности его принадлежности к данному паттерну.

$$I_m^{(k)} = \sum_{i=1}^{64} PA(i, m) \cdot PnotA(i, m) \cdot P^{(k-1)}(H_i), \quad (6)$$

$$m = 1 \dots 64.$$

Тип  $k$ -го вопроса ( $m$ ) выбирался исходя из максимума величины  $I_m^{(k)}$ .

Хорошим индикатором процесса уточнения принадлежности испытуемого к паттернам является энтропия распределения их вероятностей, рассчитываемая по формуле Шеннона:

$$E_k = -\sum_i P^{(k)}(H_i) \cdot \ln(P^{(k)}(H_i)), \quad (7)$$

где  $E_k$  – энтропия, вычисленная после выполнения задания  $k$ .

На рис. 1 показано, как изменяется энтропия распределения вероятностей по паттернам для двух рассматриваемых алгоритмов выбора вопроса.

Приведенные на рис. 1 кривые показывают, что в случае адаптивного алгоритма выбора вопроса вероятность принадлежности испытуемого к заданному для него паттерну быстро растет и достигает максимального значения более 0,7 к двадцатому заданию. Для детерминированного алгоритма выбора вопроса эта вероятность растет значительно медленнее и даже после сорокового задания не превышает значения 0,4. Значение энтропии в первом случае уменьшается к двадцатому заданию в три раза (от 5,7 до 1,7), а во втором случае к сороковому вопросу менее чем в два раза (от 5,9 до 3,2).

Одной из проблем применения метода Байеса в данной задаче является низкая устойчивость алгоритма к случайным вариантам ответов испытуемого.

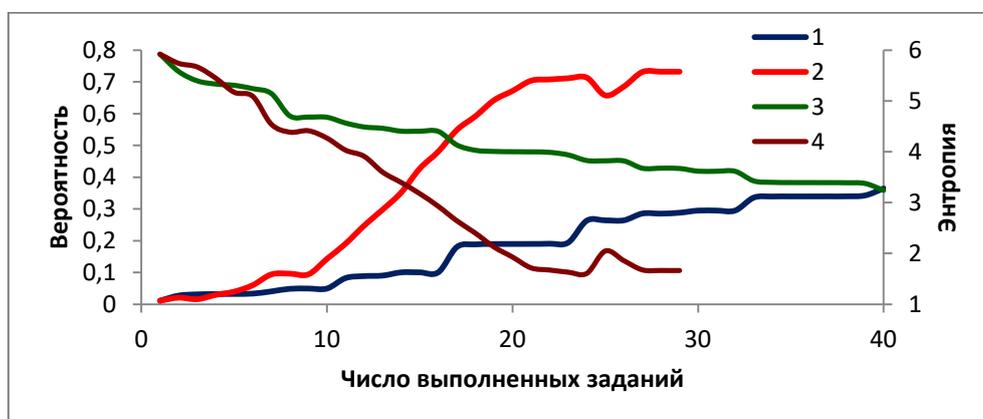


Рис. 1. Вероятность принадлежности к выбранному паттерну и изменение энтропии оценки 1, 2 – вероятность, 3, 4 – энтропия; алгоритмы: 1, 3 – детерминированный, 2, 4 – адаптивный

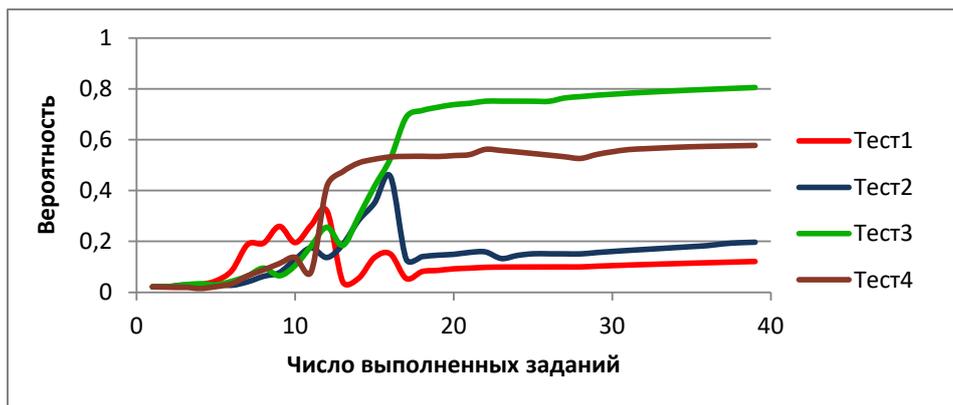


Рис. 2. Зависимость вероятности принадлежности студента заданному для него паттерну от числа выполненных заданий при нескольких имитациях процесса тестирования

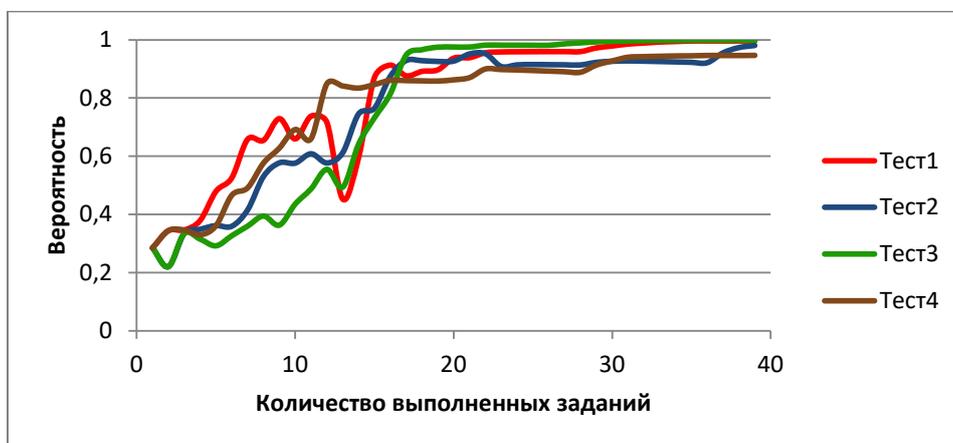


Рис. 3. Зависимость вероятности принадлежности кластеру паттернов, лежащих в окрестности заданного при тех же имитациях процесса тестирования (рис. 2)

Так как каждое задание выбирается исходя из максимума информационной функции для текущего измеренного значения уровня подготовленности студента, то вероятность правильного ответа на каждый вопрос будет близка к значению 0,5. Поэтому при неоднократном повторении имитационного теста для одного и того же студента будут наблюдаться разные варианты ответов на одни и те же типы вопросов, что повлияет на результаты измерения вероятностей принадлежности к паттернам. При этом особенно сильно на результаты измерений оказывают ответы на первые 10–15 вопросов в тесте.

На рис. 2 показано, как изменяется измеренная вероятность принадлежности к паттерну ( $\theta_1 = 1, \theta_2 = 1, \theta_3 = 1$ ) для студента, принадлежащего этому паттерну, в зависимости от количества выполненных заданий на одной и той же последовательности вопросов по результатам четырех тестов.

Хорошо видно, что в зависимости от вариантов ответов на первые 15 вопросов байесовская вероятность изменяется по разным сценариям и последующие вопросы слабо влияют на итоговый результат измерения. Причиной такой неустойчивости является особенность самого алгоритма Байеса, который становится излишне чувствительным к случайным факторам, влияющим на результат выполнения задания. Отметим, что такие же проблемы проявляются и при традиционном приеме экзаменов.

Одним из путей повышения устойчивости алгоритма является разумное снижение требований к точности оценки. На рис. 3 показано, как изменяется вероятность принадлежности этого же студента к кластеру из паттернов, попадающих в окрестность заданного для него паттерна радиусом 2,5 логита, что соответствует ошибке измерения в один балл по одной из трех компетенций.

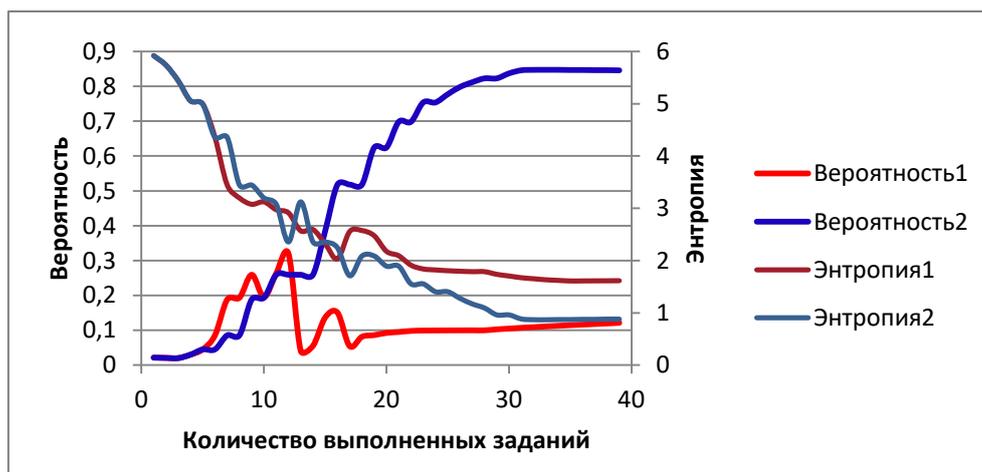


Рис. 4. Зависимость вероятности принадлежности студента заданному для него паттерну и энтропии распределения вероятностей по паттернам с регуляризацией (кривые Вероятность2, Энтропия2) и без нее (кривые Вероятность1, Энтропия1) от числа выполненных заданий

Еще одним способом повышения устойчивости алгоритма к случайным воздействиям является следующая методика. Для регуляризации результатов измерения предлагается анализировать поведение энтропии распределения вероятностей по паттернам в ходе сеанса тестирования. На рис. 4 показаны результаты измерения вероятности принадлежности студента заданному паттерну ( $\theta_1 = 1, \theta_2 = 1, \theta_3 = 1$ ) в ходе теста 1 (кривая Вероятность1 повторяет кривую Тест1 на рис. 2) и изменение энтропии распределения вероятностей по паттернам в ходе этого теста (кривая Энтропия1). Можно заметить, что резкие изменения измеренной вероятности принадлежности студента к заданному паттерну сопровождаются «нетипичными» изменениями энтропии. Например, резкое уменьшение вероятности после тринадцатого и шестнадцатого вопроса сопровождается увеличением энтропии, хотя после каждого выполненного задания энтропия распределения вероятностей должна уменьшаться. Такое же резкое уменьшение вероятности после очередного ответа может сопровождаться резким уменьшением энтропии. То есть резкое уменьшение энтропии распределения вероятностей по паттернам или ее увеличение после очередного выполненного задания может свидетельствовать о том, что с полученным ответом не все в порядке. Для регуляризации получаемых решений предложена следующая процедура: если после выполнения очередного задания энтропия распределения

вероятностей по паттернам резко уменьшается (больше чем на 20 % от текущего значения) или увеличивается, то результат выполнения данного задания не учитывается при расчете байесовской вероятности, а следующее задание, которое предъявляется студенту, имеет такие же параметры сложности, как и только что выполненное. Кривые Вероятность2 и Энтропия2 на рис. 4 показывают результаты применения предложенного алгоритма регуляризации в процессе проведения теста 1.

Видно, что применение регуляризации на основе анализа изменения энтропии распределения вероятностей по паттернам позволяет повысить устойчивость байесовского алгоритма измерения вероятности принадлежности студента к заданному паттерну. Анализ энтропии позволяет увидеть момент, когда студент дает ответ, не соответствующий тому, что от него ожидают. В этом случае мы повторяем вопрос с теми же характеристиками, что и предыдущий (как бы задаем уточняющий вопрос, если проводить аналогию с очным экзаменом). При этом количество вопросов, необходимых для оценки уровня сформированности сразу трех компетенций в ходе одного сеанса тестирования с использованием четырехбалльной шкалы оценивания, не превышает двух десятков.

#### Заключение

Проведенное исследование показывает, что предлагаемая модель позволяет измерять уровень сформированности несколь-

ких компетенций (в данном случае трех) в ходе одного сеанса тестирования. Разработанная модель хорошо приспособлена к применению технологий адаптивного тестирования. Показано, что использование интеллектуальных систем выбора очередного задания совместно с байесовским алгоритмом уточнения вероятностей принадлежности испытуемого к заранее определенным паттернам позволяет значительно сократить количество заданий в тесте при заданных требованиях к результатам тестирования нескольких компетенций. А самое главное, предлагаемая модель позволяет имитировать реальный процесс очной оценки студента преподавателем, так как позволяет выявить «нелогичные» ответы испытуемого и дополнительно задать уточняющие вопросы в той же области, где возникли сомнения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00783.*

#### Список литературы

1. Дворякина С.Н. Интеграция фрактальных и нейросетевых технологий в педагогическом контроле и оценке знаний обучаемых // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. 2017. Т. 14. № 4. С. 451–465. DOI:10.22363/2313-1683-2017-14-4-451-465.
2. Tuomi I. The Impact of Artificial Intelligence on Learning, Teaching, and Education. Policies for the future. Publications Office of the European Union. Luxembourg. 2018. DOI:10.2760/12297.
3. Ivailo Partchev. A visual guide to item response theory – Jena: Friedrich-Schiller-Universität, 2004. 61 p. URL: <https://docplayer.net/20748000-A-visual-guide-to-item-response-theory.html> (date of access: 22.12.2021).
4. Gusyatnikov V.N., Bezrukov A.I., Sokolova T.N., Kayukova I.V. Information technology to assess the level of competence in the educational process. 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT. 2015. P. 473–476. DOI: 10.1109/ICAICT.2015.7338604.
5. Wu M., Davis R.L., Domingue B.W., Piech C., Goodman N.D. Variational Item Response Theory: Fast, Accurate, and Expressive. International Educational Data Mining Society. 2020. P. 257–268.
6. McDonald R.P. A basis for multidimensional item response theory. Applied Psychological Measurement. 2000. № 24 (2). P. 99–114.
7. Куравский Л.С., Юрьев Г.А., Ушаков Д.В., Юрьева Н.Е., Валуева Е.А., Лаптева Е.М. Диагностика по тестовым траекториям: метод паттернов // Экспериментальная психология. 2018. Т. 11. № 2. С. 77–94.
8. Ларин С.Н., Юдинова В.В., Юрятина Н.Н. Теоретические основы, методы и подходы адаптивного тестирования // Вестник НИЦ МИСИ: актуальные вопросы современной науки. 2018. № 12. С. 43–56.
9. Natesan P., Nandakumar R., Minka T., Rubright J.D. Bayesian prior choice in IRT estimation using MCMC and variational Bayes. Frontiers in psychology. 2016.

УДК 519.87:621.311

## АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ

<sup>1</sup>Еделев А.В., <sup>1</sup>Береснева Н.М., <sup>2</sup>Горский С.А.

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН», Иркутск,  
e-mail: flower@isem.irk.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН»,  
Иркутск, e-mail: gorskysergey@mail.ru

Главной целью анализа уязвимости является выявление недостатков в конструкции и механизмах управления энергетической инфраструктурой, которые могут способствовать распространению крупного возмущения по ней самой и также по взаимосвязанным критическим инфраструктурам. В статье представлен разработанный подход к анализу уязвимости энергетической инфраструктуры, который строится на методической основе оценки уязвимости. Оценка уязвимости характеризуется в количественной и качественной форме падением производительности энергетической инфраструктуры после воздействия крупного возмущения. Концептуальная схема анализа уязвимости рассмотрена как цепочка обработки, хранения и анализа природно-климатических данных, временных рядов значений технологических и социально-экономических параметров функционирования инфраструктурных объектов. Реализованный как распределённый пакет прикладных программ, разработанный подход к анализу уязвимости может применяться для оценки эффективности функционирования инфраструктурных объектов в особо экстремальных условиях с целью формирования рекомендаций по мониторингу объекта и окружающей среды, а также предложений по дальнейшему развитию объектов и управлению ими с точки зрения защиты от крупных возмущений, таких как стихийные бедствия, техногенные катастрофы и преднамеренные (умышленные) нарушения. Также приводятся некоторые результаты вычислительных экспериментов по изучению возможностей масштабирования вычислительной схемы, формализующей оценку уязвимости энергетической инфраструктуры в виде набора параметров и операций над ними.

**Ключевые слова:** энергетические системы, анализ уязвимости, живучесть, пакет прикладных программ, высокопроизводительные вычисления, критические инфраструктуры

## VULNERABILITY ANALYSIS OF ENERGY INFRASTRUCTURE AND ITS IMPLEMENTATION

<sup>1</sup>Edelev A.V., <sup>1</sup>Beresneva N.M., <sup>2</sup>Gorskiy S.A.

<sup>1</sup>Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS, Irkutsk, e-mail: flower@isem.irk.ru;

<sup>2</sup>Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS, Irkutsk,  
e-mail: gorskysergey@mail.ru

The main purpose of vulnerability analysis is to identify deficiencies in the design and management mechanisms of the energy infrastructure, which can contribute to the spread of a major disturbance on itself and, also, on interconnected critical infrastructures. The article introduces a developing approach to the analysis of the vulnerability of the energy infrastructure, which vulnerability assessment characterizes in quantitative and qualitative form a drop in the productivity of the energy infrastructure after the impact of a major disturbance. The conceptual scheme of vulnerability analysis is considered as a chain processing, storage and analysis of natural and climatic data, time series values technological and socio-economic parameters functioning infrastructure facilities. Implemented as a distributed package of application programs, the developed approach to vulnerability analysis can be used to assess the effectiveness of the functioning of infrastructure facilities in particularly extreme conditions in order to form recommendations for monitoring the facility and the environment, as well as proposals for further development of facilities and their management from the point of view of protection from cereals. Also, some results of computational experiments to study the possibilities of scaling the computational scheme are given, formalizing the vulnerability assessment of energy infrastructure in the form of a set of parameters and operations on them.

**Keywords:** energy systems, vulnerability analysis, resilience, application software package, high-performance computing, critical infrastructures

Энергетическая инфраструктура (ЭИ) является одной из ключевых критических инфраструктур. Ниже ЭИ может обозначать как отдельную энергетическую систему, так и метасистему, объединяющую несколько взаимодействующих систем.

Живучестью ЭИ называется способность системы прогнозировать возникновение крупных возмущений, подготавливаться и противостоять им, восстанавливаться

после их воздействия [1, 2]. Эти этапы схематично отображены на рис. 1.

Функция  $F(t)$  на рис. 1 отражает общую производительность ЭИ в определённый момент времени  $t$ . В исходный момент времени  $t_0$  её значение равно  $F_0$ . В момент  $t_1$  происходит возмущение, производительность ЭИ падает до значения  $F(t_2)$ , и до момента  $t_3$  система старается приспособиться к воздействию возмущения и его последствиям.

Начиная с момента  $t_3$ , ЭИ различными способами стремится в кратчайшие сроки восстановить свою производительность до некоего приемлемого уровня  $F(t_4)$ . Начиная с момента  $t_4$ , ЭИ повышает свою живучесть и готовится к новым возмущениям.

Концепция уязвимости (рис. 1) имеет в научной литературе две тесно связанные интерпретации [3]. В первом случае уязвимость рассматривается как аспект живучести, который отражает «пассивную» реакцию системы на возмущения [2] в виде размера и масштаба негативных последствий для системы в результате воздействия конкретного возмущения [4]. Во втором случае уязвимость имеет локальный смысл и характеризуется элементом системы, отказ или отключение которого приводит к аварийному режиму работы системы с масштабными негативными последствиями [5].

Анализ уязвимости играет центральную роль в исследовании живучести ЭИ. Главной целью анализа уязвимости ЭИ является выявление недостатков в конструкции и механизмах управления системой, которые могут способствовать распространению крупного возмущения по ней самой и также по взаимосвязанным критическим инфраструктурам [5].

Концептуальная схема анализа уязвимости ЭИ, обобщающая в основном зарубежный опыт в этом направлении, показана на рис. 2.

Первые четыре этапа, показанные на рис. 2, соответствуют первой задаче, решаемой анализом уязвимости ЭИ, – разра-

ботке методической основы оценки уязвимости ЭИ. Если говорить более конкретно, то необходимо охарактеризовать в количественной и качественной форме падение системной производительности в промежутке времени между моментами  $t_1$  и  $t_2$  на рис. 1 [1], обеспечивая следующее [6]:

- изучение функционирования ЭИ в особо экстремальных условиях с нескольких перспектив (например, топологической и функциональной, статической и динамической);
- универсальность принципов моделирования функционирования ЭИ при крупных возмущениях по отношению к разным уровням территориальной и технологической иерархии энергетических систем;
- учёт взаимосвязей разных типов между ЭИ и прочими критическими инфраструктурами.

Для анализа уязвимости ЭИ не существует единственного способа его проведения. Можно лишь отметить, что в зависимости от поставленных целей он колеблется между двумя интерпретациями уязвимости, соответствующих на рис. 2 глобальному анализу уязвимости и поиску критических элементов. Поэтому вторая задача анализа уязвимости ЭИ в методическом и практическом плане заключается в поддержке формализации и реализации алгоритмов обработки и анализа результатов оценки уязвимости ЭИ. Здесь сложность заключается в выборе такого способа представления и выполнения таких алгоритмов, который был бы не привязан к конкретному языку программирования или среде выполнения.

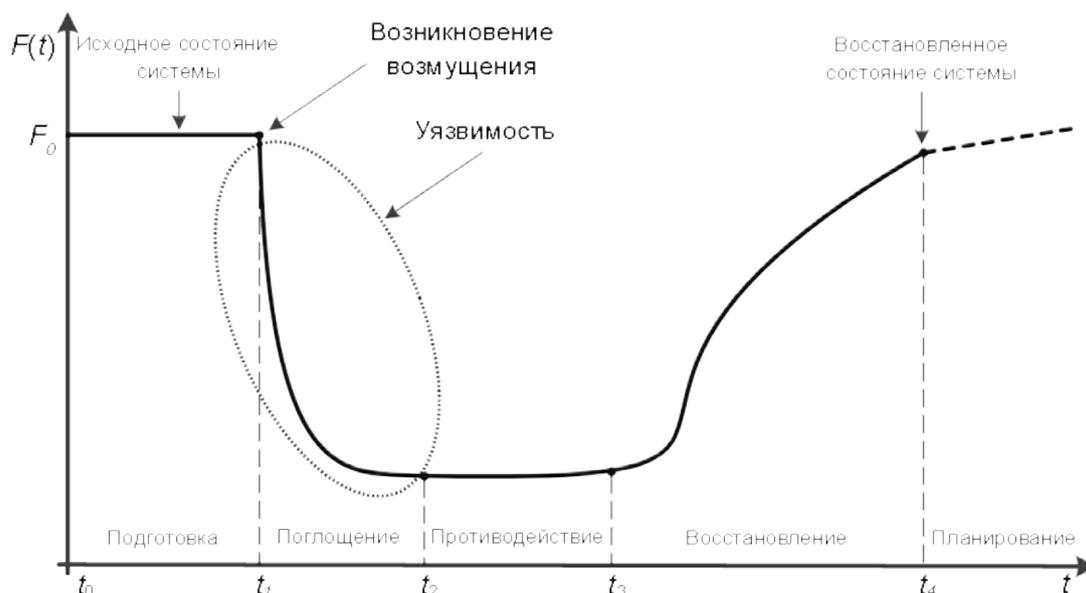


Рис. 1. Функционирование энергетической инфраструктуры в особо экстремальных условиях



Рис. 2. Концептуальная схема анализа уязвимости энергетической инфраструктуры

Первый этап схемы анализа уязвимости ЭИ на рис. 2 рассмотрен в [6], второй и третий этапы подробно описаны в [7]. Целью данной статьи является краткое представление четвёртого и пятого этапов схемы анализа уязвимости ЭИ.

#### Показатели и критерии уязвимости

Помимо описания объектов [8], представляющих в совокупности территориально-производственную структуру ЭИ, к конфигурации инфраструктуры (рис. 2) относятся природно-климатические факторы [9], технологические и социально-экономические параметры функционирования объектов, мониторинг которых представлен в [10]. Можно сказать, что на рис. 2 представлена цепочка обработки, хранения и анализа вышеперечисленных типов данных.

Выбор и расчёт показателей уязвимости (четвёртый этап на рис. 2) в большинстве случаев происходит следующим образом. Сначала выбирается параметр функционирования из конфигурации ЭИ, по которому можно судить о её производительности с требуемой стороны (функция  $F$  на рис. 1). Зачастую параметр функционирования отражает физические особенности определённых типов технологических процессов, протекающих на объектах, формирующих территориально-производственную структуру ЭИ (рис. 3). Параметр функционирования характеризуется максимально возможным и расчётным значением. Первое значение ( $F_0 = F(t_0)$

на рис. 1) извлекается из системы мониторинга [10]. Второе, равное  $F(t)$ , определяет интенсивность использования или уровень загрузки технологических процессов в момент  $t \in [t_1, t_2]$  и определяется после моделирования возмущения по заданному сценарию [7]. Показатель уязвимости вычисляется как падение производительности в абсолютной или относительной форме:  $(F_0 - F(t))$  и  $(F_0 - F(t))/F_0$  соответственно.

Вышеописанные характеристики представляют собой последствия крупного возмущения и описываются триплетом «Расчётные данные», показанным на рис. 3.

Абсолютные или относительные значения показателей уязвимости в рамках каждого сценария возмущения могут определяться как для отдельных территорий, так и их групп. Также на основе простых показателей могут создаваться комплексные показатели уязвимости. Всё это в совокупности на рис. 3 образует триплет «Показатель уязвимости».

Главное отличие триплета «Критерий уязвимости» от триплета «Показатель уязвимости» заключается в том, что первый, в отличие от второго, не привязан к конкретному сценарию возмущения (рис. 3). Выбор критериев уязвимости зависит от вида и целей анализа уязвимости, а их значения обычно рассчитываются посредством какой-либо операции суммирования или усреднения значений показателей уязвимости по всему множеству сценариев возмущений для заданных типов объектов ЭИ или территорий, на которых они расположены.

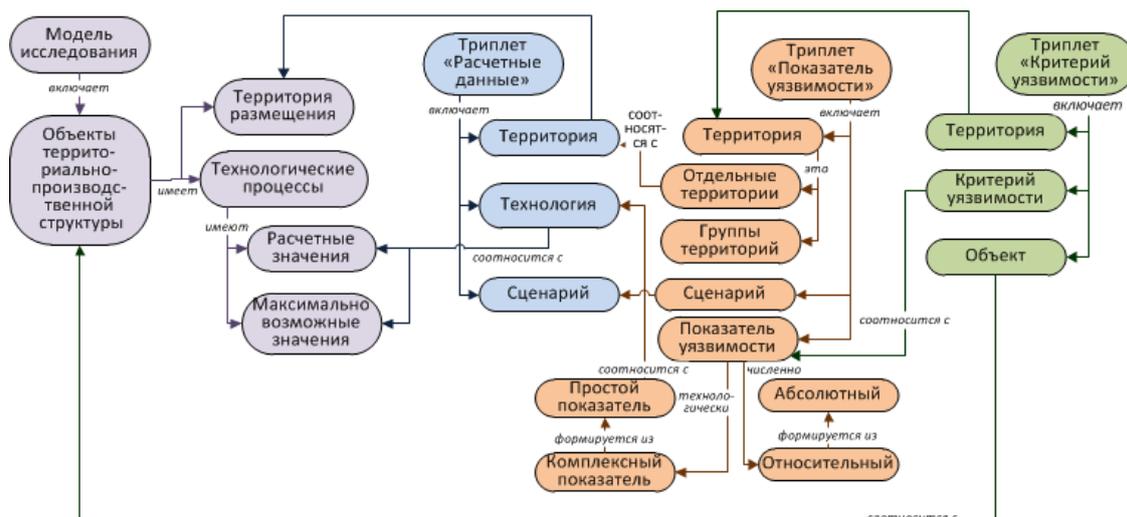


Рис. 3. Триплеты «Расчётные данные», «Показатель уязвимости» и «Критерий уязвимости»

Таким образом, онтология на рис. 3 описывает цепочку преобразования «Расчётные данные – Показатель уязвимости – Критерий уязвимости» и определяет структуры данных, требуемые для хранения информации при проведении анализа уязвимости ЭИ.

#### Вычислительная модель анализа уязвимости энергетической инфраструктуры

Алгоритмы расчёта критериев уязвимости ЭИ и их анализа (пятый этап на рис. 2) могут быть весьма сложными и запутанными, то есть содержать условные ветвления и циклы. Далее данные алгоритмы, в отличие от показателей уязвимости, большей частью имеющих уникальный характер, могут быть обобщены и иметь универсальный характер по отношению к различным уровням территориальной и технологической иерархии ЭИ.

Формализация и реализация алгоритмов обработки и анализа результатов оценки уязвимости ЭИ выполняется в рамках концепции распределённого пакета прикладных программ (РППП) [11].

Вычислительную модель РППП образуют три концептуально отдельных уровня знаний (вычислительный, схематический и продукционный). Параметры и операции пакета отражают схематические знания. Параметры представляют соответствующие характеристики и свойства предметной области. Операции определяют отношения вычислимости между двумя подмножествами параметров предметной области. Такое соотношение позволяет вычислить искомые значения параметров первого подмноже-

ства, когда известны значения для параметров второго подмножества. Вычислительный слой в пакете реализован модулями, являющимися программной реализацией операций. Спецификация каждого модуля включает в себя информацию об исполняемой программе (имя, версия, входные и выходные параметры, инструкции по запуску и др.). Условия выполнения операции в процессе решения вычислительной задачи в зависимости от текущего хода вычислений и состояния ресурсов определяются продуктами, формирующими продукционный слой знаний.

С точки зрения вычислительной модели РППП оценка уязвимости, расчёт критериев уязвимости и их анализ по своей сути являются вычислительными задачами и могут быть формально описаны в терминах параметров и операций. На основе формулировки постановки вычислительной задачи планируется схема её решения, которая отражает информационно-логические связи между операциями пакета. Важным преимуществом такого способа формализации алгоритмов является то, что, во-первых, схема решения задачи может быть включена в вычислительную модель любого РППП как новая операция, во-вторых, спецификация каждого модуля может легко подстраиваться под заданный уровень территориальной и технологической иерархии ЭИ без изменения самой схемы решения задачи. Это предоставляет широкие возможности в методическом и практическом плане по обобщению и универсализации алгоритмов проведения оценки уязвимости и расчёта критериев уязвимости.

### Результаты исследования и их обсуждение

Авторами был реализован РППП для анализа уязвимости ЭИ, одно из практических применений которого, например, показано в [12]. Ниже приводятся результаты проверки масштабируемости расчётной схемы оценки уязвимости для примерно ста тысяч сценариев возмущений.

Расчётная схема оценки уязвимости ЭИ, представленная на рис. 4, разбита на две части. Часть  $s_1$ , включающая модули  $m1, m2, m3$  и  $m4$ , написанные на языке программирования C++ [13], реализует второй и третий этапы концептуальной схемы ана-

лиза уязвимости ЭИ (рис. 2). Часть  $s_2$ , состоящая из модулей  $m5$  и  $m6$ , написанных на диалекте языка запросов SQL для распределённого хранилища данных Apache Ignite [14, 15], реализует четвёртый этап (рис. 2).

На рис. 5 показана зависимость ускорения вычислений  $s_2$  от количества узлов в кластере Apache Ignite для различных объёмов вычислительной задачи (3, 5 и 10% от общего количества сценариев нарушений). Сверхлинейное ускорение вычислений происходит вследствие того, что с ростом числа узлов каждому из них приходится обрабатывать меньший объём данных.

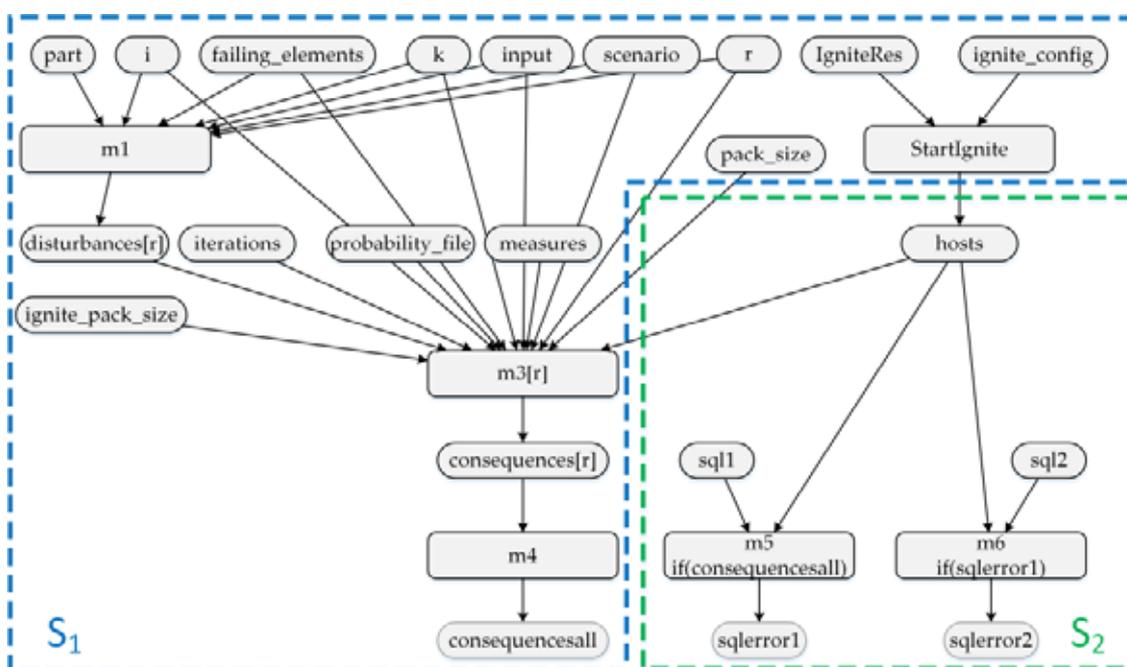


Рис. 4. Расчётная схема оценки уязвимости энергетической инфраструктуры

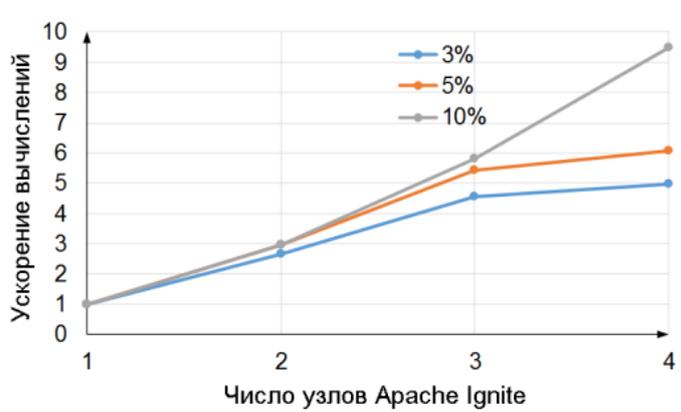


Рис. 5. Возможности масштабирования части  $s_2$  расчётной схемы оценки уязвимости

## Заключение

В статье рассмотрена поддержка анализа уязвимости энергетической инфраструктуры на глобальном и локальном уровнях. В первом случае анализируется способность системы адаптироваться к крупным возмущениям с нарастающей силой воздействия. Во втором случае производится поиск инфраструктурных объектов, отказ или отключение которых приводят к худшим последствиям для системы. Таким образом, анализ уязвимости может применяться для оценки эффективности функционирования инфраструктурных объектов в особо экстремальных условиях с целью формирования рекомендаций по мониторингу объекта и окружающей среды, а также предложений по дальнейшему развитию объектов и управлению ими с точки зрения защиты от крупных возмущений, таких как стихийные бедствия, техногенные катастрофы и преднамеренные (умышленные) нарушения.

На методическом уровне анализ уязвимости энергетической инфраструктуры состоит из двух частей. Первой является разносторонняя оценка последствий крупного возмущения, а вторая – вычислительная модель, в рамках которой в терминах параметров и операций описываются разнообразные алгоритмы анализа результатов оценки уязвимости.

На практическом уровне вычислительная модель анализа уязвимости энергетической инфраструктуры выступает ядром распределённого пакета прикладных программ, целью которого является обработка, хранение и анализ природно-климатических данных и параметров функционирования инфраструктурных объектов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-47-380002-р\_а.*

## Список литературы

1. Cheng Y., Elsayed E.A., Huang Z. Systems resilience assessments: a review, framework and metrics. *International Journal of Production Research*. 2021. P. 1–28.

2. Воропай Н.И. Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем // *Электричество*. 2020. № 7. С. 12–21.

3. Jonsson H., Johansson J., Johansson H. Identifying critical components in technical infrastructure networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part O: Journal of Risk and Reliability*. 2008. Vol. 222. No. 2. P. 235–243.

4. Svegrup L., Johansson J., Hassel H. Integration of Critical Infrastructure and Societal Consequence Models: Impact on Swedish Power System Mitigation Decisions. *Risk Analysis*. 2019. Vol.39. No. 9. P. 1970–1996.

5. Zio E. Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. *Reliability Engineering and System Safety*. 2016. Vol. 152. P.137–150.

6. Еделев А.В., Феоктистов А.Г. Выбор подхода к моделированию взаимосвязанных критических инфраструктур // *Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки: Тр. Международной научно-практической конф.* Казань: Изд-во АЭТЕРНА, 2021. С. 25–30.

7. Еделев А.В., Береснева Н.М. Подход к моделированию функционирования взаимосвязанных систем энергетики в условиях возмущений и его программная поддержка // *Программные продукты и системы*. 2021. № 3. С. 409–419.

8. Еделев А.В., Феоктистов А.Г. База данных для моделирования автономных энергетических комплексов // *Техническая и технологическая модернизация России. Проблемы, приоритеты, перспективы: Тр. Международной научно-практической конф.* Казань: Изд-во АЭТЕРНА, 2021. С. 3–9.

9. Karamov D.N. Formation of initial meteorological arrays with the use of long-term series FM 12 synop and METAR in systems energy studies. *Bull Tomsk Polytech Univ Geo Assets Eng*. 2018. Vol. 329. P. 69–88.

10. Sidorov I., Kostromin R., Feoktistov A. System for monitoring parameters of functioning infrastructure objects and their external environment. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments. CEUR-WS Proceedings*. 2020. Vol. 2638. P. 252–264.

11. Феоктистов А.Г., Сидоров И.А., Горский С.А. Инструментальные средства разработки распределенных пакетов прикладных программ на основе модульного программирования // *Марчуковские научные чтения*. 2017. 2017. С. 950–956.

12. Senderov S.M., Vorobev S.V. Approaches to the Identification of Critical Facilities and Critical Combinations of Facilities in the Gas Industry in Terms of its Operability. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol. 203. P. 107046.

13. Kovács P. Minimum-cost flow algorithms: an experimental evaluation. *Optimization Methods and Software*. 2015. Vol. 30. No. 1. P. 94–127.

14. Bhuiyan S., Zheludkov M., Isachenko T. High Performance in-memory computing with Apache Ignite. *Morrisville: Lulu.com*. 2017. P. 352.

15. Zhang H., Chen G., Ooi B.C., Tan K.L., Zhang M. In-memory big data management and processing: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2015. Vol. 27. No. 7. P. 1920–1948.

УДК 620.18:004.9

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦИФРОВОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ

**Калугина А.В., Мамоненко Н.В., Ковшов Е.Е.**

*Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторский институт  
монтажной технологии – Атомстрой», Москва, e-mail: KaluginaAV@atomrus.ru*

Рассмотрена концепция разработки и имплементации системы поддержки принятия решений (СППР) специалиста по металлографии лаборатории разрушающего контроля в условиях распределенного цифрового машиностроительного производства. Показаны роль и место программно-алгоритмических решений в структуре жизненного цикла производства изделий с указанием ключевых мест их (решений) применения в рамках выполняемого металлографического контроля. Обосновывается целесообразность применения СППР в производственном процессе. Отмечается, что предлагаемая модель СППР охватывает все этапы процесса принятия решений экспертом: от этапа возникновения неопределенности при оценке металлографического изображения до проработки альтернативных решений и выбора наиболее подходящего решения. Выявлена целесообразность применения интеллектуальных программно-алгоритмических и программных технологий при поддержке принятия решений, в том числе при формировании у специалистов профессиональных навыков, необходимых для работы и расширения их инженерного кругозора. На макете программного обеспечения демонстрируется применение программно-реализованного робота для поиска изображений как совокупности программных решений: поисковой машины и модуля сегментации для поиска и идентификации объектов. Проиллюстрирован процессный подход к решению задачи подготовки специалистов современного цифрового производства, учитывающий важность принятия самостоятельных решений с возможностью обращения к СППР как к интеллектуальному цифровому ассистенту.

**Ключевые слова:** цифровые металлографические изображения, жизненный цикл продукции, процессный подход, система поддержки принятия решений, робот для поиска изображений, базы данных, поисковая машина

## DECISION SUPPORT SYSTEM IN DIGITAL METALLOGRAPHY

**Kalugina A.V., Mamonenko N.V., Kovshov E.E.**

*Joint Stock Company «Research and Development Institute of Construction Technology – Atomstroy»,  
Moscow, e-mail: KaluginaAV@atomrus.ru*

It is considered the concept of development and implementation of a decision support system (DSS) for a destructive-testing metallography specialist in the condition of distributed digital machine-building production. The role and place of software-algorithmic solutions in the structure of the production life cycle of products are shown, indicating the key places of their (solutions) application, within the framework of the metallographic control performed. The expediency of using DSS in the production process is substantiated. It is noted that the proposed DSS model is useful for all stages of the expert's decision-making process: from the stage, then uncertainty emerge in the assessment of metallographic images, to the development of alternative solutions and the choice of the most appropriate solution. The expediency of using intelligent software-algorithmic and software technologies to support decision-making, including the formation of professional skills necessary for work and expanding their engineering horizons, has been revealed. The model of the software demonstrates the use of a software-implemented robot for image search as a set of software solutions: a search engine and a segmentation module for searching and identifying objects. A process approach to solving the problem of training specialists in modern digital production is illustrated, taking into account the importance of making independent decisions with the ability to refer to DSS as an intelligent digital assistant.

**Keywords:** digital metallographic images, product lifecycle, process approach, decision support system, image retrieval robot, databases, search engine

На сегодняшний день сложилась ситуация, когда состояние экономики и промышленности зависит от уровня развития машиностроительных отраслей промышленности, поскольку именно эти отрасли обеспечивают поставки технологического и иного оборудования, предназначенного для различных предприятий и производств, являясь при этом основным проводником достижений научно-технического прогресса. Современное индустриальное общество непрерывно производит товарную продукцию различного назначения, поэтому производство в широком его понимании

невозможно представить без применения технологических и иных машин (далее – машин), разработка и изготовление которых являются самостоятельным научно-техническим направлением [1].

Машиностроительное производство представляет собой сочетание различных технологических процессов и операций, таких как литье, обработка металла давлением, обработка металла резанием, термическая обработка, контроль и др. Каждая отдельно создаваемая машина предназначена для выполнения узкого круга производственно-технологических задач в условиях

функционирования техносферы. Совокупность свойств, обуславливающих пригодность упомянутых машин к выполнению многообразных функций, отражает их качественные характеристики [2]. При этом качество машины формируется и обеспечивается на каждом из этапов ее жизненного цикла (ЖЦ), в частности, включая такую важную составляющую, как металлографический контроль.

Целью машиностроительного производства является изготовление продукции заданного качества в установленные сроки, в необходимом количестве, при минимальных трудозатратах. Производство рассматривается как дискретный процесс, основными этапами которого являются: приобретение исходных конструкционных и иных материалов, полуфабрикатов, заготовок; изготовление деталей; сборка изделий и их испытание.

Обеспечением качества продукции на каждой стадии жизненного цикла занимаются специалисты в области проверки соответствия параметров качества установленным нормам и требованиям. Как правило, проверка качества исходного «сырья» осуществляется разрушающими и неразрушающими методами контроля материала.

В связи с этим рассматривается металлографический метод исследования, который является разрушающим и, пожалуй, единственным, с помощью которого возможно обнаружить дефекты материала различной

природы на микроуровне. Контроль качества материала металлографическим методом, как правило, осуществляется после выполнения таких технологических операций, как входной контроль качества основных и сварных материалов, литья, сварки и термообработки, а также для глубинного выявления причин разрушений в процессе операций контроля. На рисунке 1 цветом отмечены этапы ЖЦ, на которых проводится контроль качества материала (продукции) посредством цифровой металлографии.

Следует отметить, что процент потерь качества готовой продукции, а именно процент брака, нелинейно возрастает с переходом на последующий этап ЖЦ изделия. Как правило, определить и исключить бракованную партию (например, основной материал, не соответствующий стандартам качества, из которого в дальнейшем изготавливаются изделия), с точки зрения материальных затрат выгоднее на начальной (ранней) стадии, поскольку, как видно из приведенного графика, на старте изготовления деталей для сборки будущей машины цена ошибки металлографического контроля материала существенно возрастет (рис. 2).

В результате анализа конструкторской документации и маршрутно-операционных карт по уникальным, типовым и групповым технологическим процессам была определена зависимость, представленная в виде графика на рисунке 2.



Рис. 1. Металлографический контроль материала на этапах жизненного цикла продукции

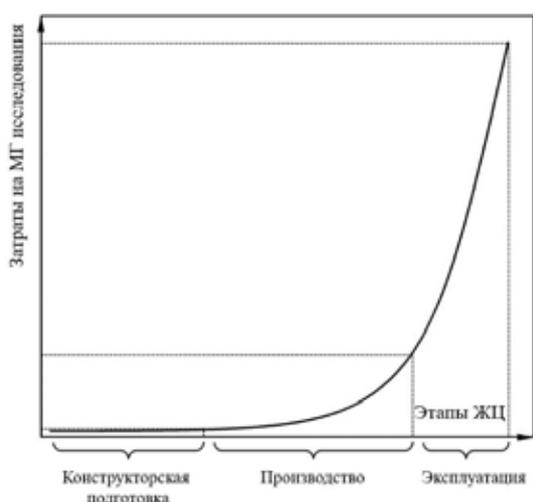


Рис. 2. Зависимость затрат на металлографический анализ от этапа жизненного цикла

Машиностроительное предприятие, выполняющее в рамках реализуемых технологических процессов контроль качества материалов, должно быть обеспечено подготовленными кадрами, аттестованными на право проведения работ и выдачи протоколов по результатам контроля. В свою очередь, сотрудники, обеспечивающие контроль качества, должны обладать знаниями и практическими навыками в исследуемой области контроля качества материала, актуализировать их в условиях современного непрерывного развития знаний о материалах и постоянного пополнения проблемно-ориентированных баз данных и соответствующих им баз знаний данных цифровой металлографии новой актуальной информацией для выполнения повседневной инженерно-технической работы.

Целями исследования являются разработка и апробация в лабораторных условиях программно-алгоритмического макета системы поддержки принятия решений специалистом в области цифровой металлографии в виде цифрового ассистента с использованием методов и технологий интеллектуальной обработки полихроматических растровых изображений и их дескриптивной информации.

### Материалы и методы исследования

Система поддержки принятия решений (СППР) в металлографии позволяет существенно ускорить решение технических вопросов, возникающих в процессе работы, что неминуемо сказывается на производительности труда [3]. Кроме того, с применением подобной СППР возможны обучение специалистов и подго-

товка инженерно-технического персонала для проведения контроля качества произведенной продукции металлографическим методом. Наличие в машиностроительном или ином производстве функционирующей СППР дает ощутимые преимущества по сравнению с конкурентами, поскольку формируются новые подходы к решению повседневных и нестандартных задач [4]. Стоит отметить, что СППР не заменяет собой процесс принятия решения специалистом, она лишь помогает принимать более обоснованные, структурированные решения на основе ретроспективной графической и фактографической информации о выполненных металлографических исследованиях.

Уникальность металлографического анализа заключается в том, что внутреннее строение металлов, сплавов и композитов является одним из основных факторов, определяющих физико-химические и эксплуатационные характеристики материала.

Одновременно с увеличением объема знаний, которые аккумулируются и анализируются специалистами в области металлографии, растет потребность в современных, более эффективных по сравнению с «ручными», методах как контроля качества материала, так и подготовки квалифицированных инженерно-технических работников. СППР, интегрированная в структуру функционирования металлографической лаборатории и обучения персонала, создаст конкурентоспособную инновационную производственно-технологическую среду, в условиях которой специалист сможет знакомиться с актуальными проблемами и решениями в области металлографии, делиться опытом с коллегами, а также обладать возможностями квалифицированного цифрового ассистента, обеспечивающего непрерывный рост объема и качества знаний у обучающихся [5].

В процессе подготовки заключений по результатам металлографических исследований, как правило, необходимо руководствоваться выводами нескольких специалистов или проводить межлабораторные сличительные испытания, чтобы максимально исключить субъективное влияние человеческого фактора на результаты выполненного исследования. Специалист по металлографии независимо от накопленного опыта и знаний может иметь ошибочные суждения на предмет анализа тех или иных параметров металлографического изображения. Поэтому внедрение СППР обеспечивает своего рода цифровой фундамент, на который можно опираться как при подтверждении достоверности

полученных результатов в сомнительных случаях как результата выполненных исследований, так и в процессе формирования дополнительных формализованных знаний, используемых, в том числе, в процессе формирования профессиональных компетенций. Кроме того, специалисты, не имеющие должного опыта, получают возможность самостоятельно, используя СППР, сравнивать полученные результаты со схожими случаями, накопленными в соответствующих базах знаний и данных, тем самым формируя «зрительный» опыт анализа цифровых изображений различных дефектов и их последующей идентификации.

На этапе лабораторных исследований, вычислительных экспериментов и разработки макета прикладного программного обеспечения СППР содержит информацию о легированных сталях марок 08X18H10T и 12X18H10T, находящих широкое и разнообразное применение в машиностроительном производстве [6, 7]. Так, СППР позволяет производить поиск схожих случаев посредством ввода в поля формирования поискового запроса граничных условий, таких как химический состав, геометрия дефекта, его локализация, размер, множественность и др. Определив граничные условия по результатам поискового запроса, программное обеспечение СППР выводит множество результатов, отвечающих поисковому предписанию. В свою очередь, каждый полученный результат представляет собой электронную таблицу, которая содержит основную информацию по конкретному материаловедческому исследованию, а именно – химический состав, марку стали, сортамент заготовки, типоразмер, условия использования, дату изготовления, описание разрушений и дефектов, нормативную документацию как на изготовление детали, так и на проведение испытаний, помимо этого – результаты заключений по иным разрушающим и неразрушающим методам контроля материала.

На рисунке 3 представлен способ выделения области интереса на цифровых изображениях физических образцов, на основании которой осуществляется поиск «похожих случаев» («similar cases»). После выбора специалистом результата, представляющего для него практический интерес, из множества представленных результатов поискового запроса в отдельном окне интерфейса пользователя открывается электронная карточка с детализированной информацией об образце, где представлено его подробное описание в формате гипертекста.

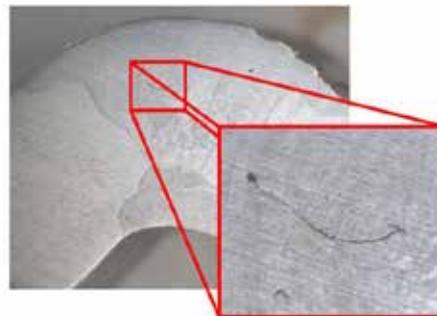


Рис. 3. Выделение области интереса (сварное соединение, сталь 12X18H10T)

### Результаты исследования и их обсуждение

Ядром прикладного программного обеспечения СППР является программно-реализованный робот для поиска изображений (РПИ), который состоит из нескольких алгоритмических частей, включая две основные составляющие, логически объединенные в виде программных решений: поисковая машина и модуль сегментации, в котором выполняется идентификация одного или нескольких объектов на основе технологий искусственного интеллекта, а в данном случае – подхода, основанного на методе агломеративного среднего сдвига, математическая и алгоритмическая модель, а также программная реализация которого рассмотрены в [8, 9]. В формируемой распределенной среде программного обеспечения СППР цифровой металлографии существуют два режима работы РПИ: активный режим (рис. 4) и фоновый режим (рис. 5).

РПИ переключается в активный режим, если специалист по металлографии (далее – специалист) запускает или активирует свое клиентское приложение. Такой режим работы фактически представляет собой взаимодействие между специалистом и пользовательским интерфейсом клиента РПИ, а само взаимодействие при этом включает в себя несколько этапов: 1 – РПИ получает запрошенный специалистом из хранилища данных (ХД) графический файл и отображает его; 2 – если специалисту требуется дополнительная информация для принятия решения, он выбирает область интереса в исходном металлографическом изображении и/или вводит текстовые параметры поиска. После того как специалист сформирует поисковый запрос, РПИ, в свою очередь, готовит запрос на основе полученных фрагментов изображения и текстовых данных, затем начинает поиск в своей собственной базе данных индексов изображений; 3 – для результатов, полученных путем поиска в ин-

дексной базе данных, РПИ загружает всю необходимую информацию из соответствующих записей базы данных (БД) (протоколов исследований образцов) и полноразмерных изображений из ХД; 4 – на этом этапе РПИ подготавливает представление данных результатов поиска, эскизов металлографических изображений и демонстрирует их специалисту; 5 – специалист выбирает несколько наиболее подходящих результатов, сравнивает и анализирует их. РПИ переключается в фоновый режим работы (рис. 5) в том случае, если нет или почти нет запросов от специалистов или имеется достаточно аппаратных ресурсов (например, процессоров, оперативной памяти, пропускной возможности локальной вычислительной сети) для сложного процесса индексирования данных. Робот запрашивает самые свежие данные из хранилища данных протоколов исследований и базы данных металлографических изображений с момента последнего обновления индекса РПИ.

РПИ классифицирует и обрабатывает текстовые данные из БД протоколов исследований. Все это взаимно увязывается с текстовой информацией, металлографическими изображениями из ХД, определяются их основные характеристики и референтные области. После обработки текста и изображений РПИ обновляет свою БД индексов. Если в БД протоколов исследований образцов нет новых записей, РПИ выполняет поиск недавно измененных данных и обрабатывает их аналогично обработке

новых записей. РПИ переключается в активный режим в случае, если специалист запускает или активирует свое клиентское приложение. Возможность интегрировать персональные ЭВМ специалистов-материаловедов в локальную вычислительную сеть предприятия для взаимодействия друг с другом реализуется в сервисно-ориентированной архитектуре (СОА) и не зависит от поставщиков программных решений, используемых в структуре СППР [10].

СОА представляет собой «каркас» для интеграции бизнес-процессов и поддерживающей их информационно-технологической платформенной инфраструктуры. Сервисы выполняют различные прикладные функции и являются слабосвязанными, иными словами, объединяются друг с другом только с целью решения задач, определяемых областью их применения. При этом роль корпоративной сервисной шины заключается в предоставлении среды для осуществления взаимодействия сервисов при выполнении реализуемых бизнес-процессов. Очевидно, что с ростом масштаба данных и вычислений предпочтительной становится реализация информационных систем на основе СОА.

Для реализации прикладного программного обеспечения СППР цифровой металлографии выбрана корпоративная сервисная шина OpenESB, а сами сервисы реализованы в виде web-сервисов, функциональная часть которых реализована на языке Java.



Рис. 4. Схема работы робота для поиска изображений в активном режиме



Рис. 5. Схема работы робота для поиска изображений в фоновом режиме

При осуществлении взаимодействия элементы СППР обмениваются сообщениями, сформированными на основе протокола SOAP [10]. Для хранения получаемых в процессе металлографического контроля данных и результатов вычислений использована объектно-реляционная СУБД с открытым программным кодом PostgreSQL, при этом обмен данными организован в формате структурированных последовательных текстовых csv-файлов. Применение технологий анализа данных позволяет осуществлять анализ и фильтрацию данных, в том числе в основных программах средствах пакета офисных программ Apache OpenOffice.

### Заключение

Рассмотрены механизмы практического применения СППР в цифровой металлографии на основе баз знаний о предметной области и разработанного макета интеллектуального прикладного программного обеспечения в виде цифрового ассистента, что обеспечивает быстроту, достоверность и качество принимаемых решений специалистом-материаловедом, поэтапно снижая риски некорректной оценки результатов цифровой металлографии в ЖЦ выпускаемой продукции. Реализован пилотный проект применения СППР в структуре цифровой технологической производственной среды для легированных сталей марок 08X18H10T и 12X18H10T с возможностью экстраполяции полученных программно-алгоритмических результатов на другие марки сталей и сплавов. Установлено, что применение интеллектуальных компьютерных технологий обеспечивает формирование надежной базы для цифровой трансформации смежных бизнес-процессов, повышает конкурентоспособность организации, создает реальные предпосылки к ее устойчивому инновацион-

ному и перспективному развитию, что немаловажно при наличии динамичного рынка как промышленной продукции, так и широкого спектра образовательных услуг.

### Список литературы

1. Сергеев А.В. Технология машиностроения: Учебное пособие для студентов экономических специальностей вузов. Тольятти: Изд-во Тольяттинского государственного университета, 2015. 124 с.
2. Баранчикова С.Г., Дашкова Т.Е., Ершова И.В., Калинина Н.Е., Клюев А.В., Крылатков П. П., Кузнецова Е.Ю., Матушкина И.Ю., Минеева Т.А., Норкина О.С., Подольяк О.О., Прилуцкая М.А., Типнер Л.М., Черепанова Е.В., Шабалина В.А. Управление машиностроительным предприятием: учебное пособие для студентов. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. 252 с.
3. Потапов И., Овчинников Д., Конради А. Моделирование системы поддержки принятия решений на основе клинических рекомендаций // Менеджмент качества в медицине. 2021. № 1. С. 92-96.
4. Ярушев С.А., Аверкин А.Н., Павлов В.Ю. Когнитивные гибридные системы поддержки принятия решений и прогнозирования // Программные продукты и системы. 2017. № 4. С.632-642.
5. Rudolf J.W., Dighe A.S. Decision support tools within the electronic health record. Clinics in laboratory medicine. 2019. vol. 39. no. 2. P. 197-213.
6. Гольцев В.Ю., Маркочев В.М., Морозов Е.М. Трещиностойкость стали 08X18H10T после 12 лет эксплуатации трубопровода Ду500 ВВЭР440 // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. № 3. С.1-5.
7. Ероклинцев В.Н., Лукьянова В.О. Исследование антибактериального эффекта на образцах медицинской нержавеющей стали марки 12X18H10T // Тенденции развития науки и образования. 2017. № 28/2. С.17-18.
8. Митропольский Н.Н., Ковшов Е.Е., Хуэ Н.Н., Минь Н.Ч. Агломеративная стратегия при сегментации растровых изображений методом среднего сдвига в прикладной компьютерной системе // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 3. С.80-83.
9. Митропольский Н.Н. Агломеративная сегментация и поиск однородных объектов на растровых изображениях: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 137 с.
10. Манвелидзе А.Б., Ковшов Е.Е. Применение компонентных сервисных решений при разработке информационных систем // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/115-11564> (дата обращения: 25.12.2021).

УДК 004.942

## СТЕНД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Костромин Р.О.**

*ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН»,  
Иркутск, e-mail: kostromin@icc.ru*

Процесс имитационного моделирования сложных технических систем обоснованно нуждается в развитых средствах визуализации наблюдаемых параметров. Применение стенда имитационного моделирования позволяет наглядно демонстрировать процесс работы модели, а также в реальном времени отслеживать изменение свойств исследуемых объектов. Особую значимость такие стенды имеют в процессе разработки и эксплуатации цифровых двойников. Однако коммерческие SCADA-системы не позволяют в полной мере решить проблемы, связанные с визуализацией данных, получаемых в процессе функционирования цифровых двойников. В связи с этим в статье представлена структура ключевых компонентов разрабатываемого стенда имитационного моделирования и визуализации работы инфраструктурных объектов. Данный стенд является достаточно универсальным средством для проведения экспериментов при решении широкого спектра научных и практических задач. Стенд позволяет посредством специализированного API и мультиагентной системы подключать различные источники данных для визуализации. В работе описываются основные подсистемы данного стенда и также средства их разработки. Приводится пример использования стенда применительно к исследованию системы теплоснабжения детского оздоровительного лагеря. Выбор оборудования осуществлен путем моделирования различных сочетаний его конструктивных и эксплуатационных параметров.

**Ключевые слова:** инфраструктурный объект, цифровой двойник, имитационное моделирование, веб-сервисы, мониторинг

## STAND FOR SIMULATION MODELING AND VISUALIZATION OF WORK PROCESSES OF INFRASTRUCTURAL OBJECTS

**Kostromin R.O.**

*Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS,  
Irkutsk, e-mail: kostromin@icc.ru*

The simulation modeling of complex technical systems reasonably needs advanced visualizing of the observed parameters. The use of a simulation stand allows you to demonstrate the process of the model visually and track changes in the properties of the objects under study in real-time. Such stands are of particular importance in the process of development and operation of digital twins. However, commercial SCADA systems do not fully solve the problems associated with the visualization of data obtained during the operation of digital twins. The paper presents a structure of components of the developed stand for simulation and visualization of the operation of infrastructure objects. This stand is a universal tool for conducting experiments in solving a wide range of scientific and practical problems. The stand allows using a specialized API and a multi-agent system to connect various data sources for visualization. The paper describes this stand's main subsystems and the means of their development. An example of using the stand for studying the heat supply system for a children's health camp is given. The choice of equipment was carried out by modeling various combinations of its design and operational parameters.

**Keywords:** infrastructure object, digital tween, simulation modeling, web-services, monitoring

Качественные разработка, внедрение и сопровождение сложных технических систем затруднительны без предварительных экспериментов, позволяющих промоделировать ее работу в различных эксплуатационных условиях. Такие эксперименты, как правило, проводятся в процессе имитационного моделирования [1, 2]. Зачастую моделирование выполняется в универсальных системах моделирования общего назначения, таких как GPSS [3] и AnyLogic [4]. Они позволяют с необходимой степенью детализации описать предметную область и выполнить моделирование. Специализированные подсистемы позволяют дополнительно отслеживать изменения переменных, строить таблицы и графики. Однако в GPSS эти подсистемы имеют

ограниченные функциональные возможности, а AnyLogic и подобные ей системы являются коммерческими, и их применение в научно-исследовательской деятельности не всегда оправдано. При этом потребность в различных средствах визуализации в процессе имитационного моделирования остается актуальной.

Особое место в имитационном моделировании занимают цифровые двойники (ЦД) [5]. В статье рассматриваются ЦД инфраструктурных объектов байкальской природной территории и энергетических систем. ЦД в процессе своей работы использует как заранее подготовленные входные данные, так и обращается к физическим объектам предметной области для получения актуальных значений наблюдаемых

параметров. Из модели реализуется обращение к подсистемам мониторинга за требуемыми данными, так как организация взаимодействия подсистем на разных уровнях является нетривиальной задачей. ЦД, как набор взаимосвязанных систем, моделей, различных источников данных, отражающих работу реального объекта, требует специфической конфигурации для визуализации важнейших параметров в процессе имитационного моделирования [6].

Базовыми средствами визуализации, как правило, являются разновидности таблиц, диаграмм, графиков, динамически отражающих значения переменных. Графические средства отображения информации позволяют гибко компоновать расположение диаграмм и таблиц, схематично изображают моделируемый объект. Существующие средства имитационного моделирования не обеспечивают поддержку разработки ЦД, сложных схем визуализации и источников данных.

В статье представлен прототип стенда имитационного моделирования и визуализации (СИМВ) работы инфраструктурных объектов. Представлены основные компоненты стенда, сформулированы ключевые функциональные возможности и технические требования к нему. Стенд позволяет провести ряд вычислительных экспериментов до внедрения разработок в производственный процесс, выявить недостатки и ненадежные компоненты.

Материалы и методы исследования

СИМВ, как средство проведения научного эксперимента, визуализации и сбора данных, должен поддерживать следующие функциональные возможности:

- выбор имитационной модели из имеющихся;
- загрузка новой имитационной модели и ее спецификации;
- редактирование спецификации имитационной модели, указание источников данных и веб-сервисов, реализующих операции в модели;
- получение данных по физическим каналам связи от исследуемого объекта;
- построение композиции сервисов в соответствии с предметной областью;
- сохранение и загрузка определенной версии эксперимента;
- имитация отказов оборудования, каналов связи;
- запуск имитационного моделирования, анализ результатов моделирования;
- экспертная поддержка процесса моделирования;
- поддержка имитационного моделирования в распределенной среде;

– поддержка использования виртуализированного окружения;

– поддержка обмена данными с микрокомпьютерами в рамках граничных вычислений;

– настройка экрана визуализации, выбор средств визуализации;

– визуализация процесса имитационного моделирования с заданной точностью.

В промышленных масштабах для диспетчерского управления и сбора данных применяются соответствующие программные пакеты SCADA [7, 8]. Такие пакеты позволяют разработать SCADA-комплекс для предметной области, а также обеспечивают работу данного комплекса. С его помощью в режиме реального времени осуществляется сбор, обработка, отображение и архивное хранение собираемых данных о наблюдаемом объекте. В целом сбор, хранение и отображение являются частью системы мониторинга. Кроме мониторинга зачастую в SCADA обеспечивается и управление объектами предметной области. В некоторых случаях пакет SCADA позволяет настраивать различные виды контроллеров для сбора информации со специфичного оборудования, которое не поддерживает известные протоколы обмена данными. В том числе пакеты SCADA могут применяться для поддержки ЦД. Однако известные примеры адаптации популярных SCADA систем для создания пакетов, обеспечивающих все перечисленным выше функциональные возможности, в общедоступной литературе не найдены. Таким образом, разработка специализированного СИМВ, поддерживающего необходимые возможности, позволит проводить научные эксперименты с ЦД. Обеспечение открытых форматов данных, универсальных протоколов передачи данных между компонентами и API систем моделирования, позволит разработать СИМВ в достаточной степени универсальным, для решения широкого спектра научно-практических задач.

Процесс интеграции ЦД в СИМВ осуществляется следующим образом. На *первом этапе* специалист-предметник разрабатывает программные модули, отражающие функционирование оборудования. Каждый модуль сопровождается спецификацией, в которой отражены параметры запуска модулей, условия расщепления данных для параллельного моделирования, путь до источников данных [9]. Также в спецификации ЦД определяется взаимосвязь между модулями. На *втором этапе* создается новый проект в веб-интерфейсе СИМВ. Загружаются модули, спецификации, указываются источники ретроспективных данных. При-

меняемые разработанные ранее сервисы, спецификации и подсистемы рассмотрены в работах [10, 11]. Из перечня доступных средств визуализации выбирается подходящий, выбираются параметры, которые необходимо визуализировать. Каждый отдельный график размещается в специальном блоке (англ. *card*), который является контейнером, содержащим график, его описание и вспомогательную информацию. Механизм блоков *card* позволяет задавать расположение на экране этих блоков с помощью мыши и сохранять их в рамках проекта. Совокупность блоков позволяет гибко настраивать приборную панель на усмотрение разработчика. На *третьем этапе* запускается процесс моделирования.

Веб-интерфейс пользователя СИМВ разрабатывается в рамках концепции приборной панели (англ. *dashboard*). Приборная панель является одним из эффективных способов представления данных, полученных из нескольких источников, для анализа и управления системой. Общая структура веб-интерфейса СИМВ представлена на рис. 1. В левой части экрана расположены элементы меню, отвечающие за переключение между основными экранами СИМВ. Кнопки  $m_1, \dots, m_o$  являются системными (авторизация, настройки, создание нового эксперимента), и их назначение определено разработчиком СИМВ. Кнопки  $n_1, \dots, n_p$  являются динамическими элементами управления веб-интерфейсом, генерируемыми на основе спецификации, загружаемой пользователем.

На экране редактирования приборной панели располагаются блоки  $card_1, \dots, card_r$ , которые содержат графики, таблицы, диа-

граммы, изображения. При добавлении нового блока (рис. 1., *card<sub>r</sub>*) открывается редактор блока («Редактор»), который позволяет выбрать тип диаграммы и указать источники данных  $ds_1, \dots, ds_s$  для графика. Источники данных подключаются посредством API, который позволяет использовать данные, получаемые из имитационной модели, от оборудования и датчиков, из базы данных и сторонних сервисов.

Использование дополнительного слоя API обеспечивает возможность гибкого использования различных источников данных, а группа блоков *card* позволяет необходимым образом настраивать визуализацию.

Основные компоненты СИМВ и их средства реализации представлены на рис. 2. Система запуска GPSS в распределенной среде обсуждается в [10]. Отметим, что агенты мультиагентной системы являются важным составляющим звеном сбора, обмена и обработки данных с датчиков и другого оборудования. В том числе агенты являются важной компонентой системы мониторинга.

Прототип СИМВ разрабатывается на базе открытых библиотек Bootstrap 5 [12] и Material Dashboard 2 [13]. Они содержат необходимые компоненты для создания личного кабинета исследователя. Реализация веб-интерфейса СИМВ представлена на рис. 3. В инструментальном средстве поддерживается интеграция сторонних компонентов и источников данных для расширения базовых возможностей систем. Библиотеки Bootstrap и Material Dashboard обеспечивают единый, лаконичный внешний вид интерфейса. Открытая библиотека Plotly.js позволяет строить дополнительные виды графиков.

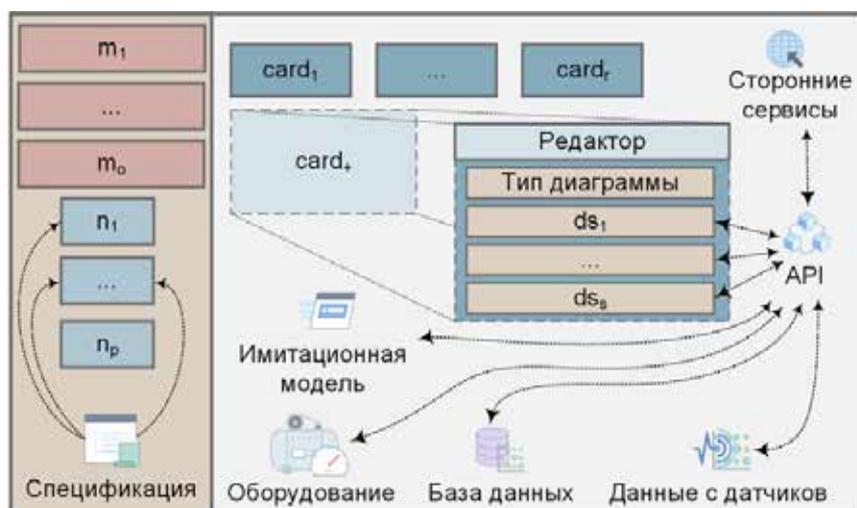


Рис. 1. Структура СИМ



Рис. 2. Основные компоненты СИМВ

В силу того, что имитационное моделирование выполняется в распределенной вычислительной среде, необходимо осуществлять наблюдение за текущим состоянием вычислительного оборудования

(текущая загрузка, температура, очередь заданий и т.д.), в СИМВ реализован доступ к системе мониторинга, в которой для визуализации используется инструментарий NetData (рис. 4). Мониторинг не только позволяет отобразить статус вычислительной среды, но снабжен подсистемой анализа критических состояний. Доступ к мониторингу также возможен посредством API для планирования вычислений мультиагентной системой.

В СИМВ реализована возможность отображения текстовой дополнительной информации поверх внешних изображений, схем. На рис. 5 представлен пример дополнительной надписи «Air temperature», для которой в спецификации указана переменная, позволяющая в процессе моделирования наблюдать за изменением температуры воздуха. Спецификация в формате JSON с примерами рассмотрена в [10]. Таким образом обеспечивается возможность (совместно с графиками и диаграммами) наглядно отображать дополнительные сведения.

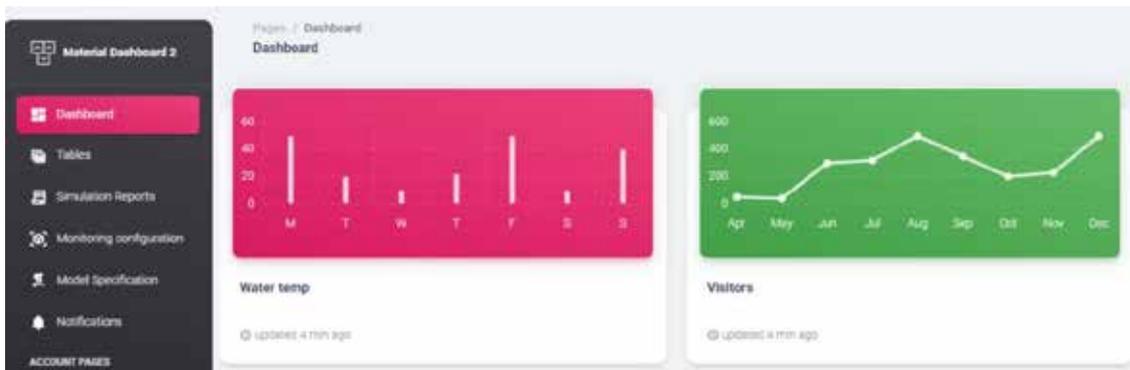


Рис. 3. Веб-интерфейс пользователя



Рис. 4. Веб-интерфейс системы мониторинга



Рис. 5. Дополнительная текстовая информация поверх изображений

### Результаты исследования и их обсуждение

В качестве практической апробации рассмотренного прототипа СИМВ разработан ЦД системы отопления детского оздоровительного лагеря, расположенного на байкальской прибрежной территории. В систему отопления данного лагеря встроен тепловой насос, использующий тепловую энергию оз. Байкал. Такой тепловой насос позволяет снизить потребление электроэнергии и уменьшить количество выбросов в окружающую среду. Для анализа работы этого насоса в различных климатических условиях, оценки эффективности от его внедрения и отслеживания уровня теплоснабжения в здании лагеря наблюдаются ключевые параметры работы теплового насоса. На компонентах системы отопления размещены датчики, осуществляющие сбор климатических показателей. Управление датчиками и их контроллерами (микрокомпьютерами), а также обработка данных выполняется программными агентами. Их обучение строится на основе признакового описания и планирования выполняемых ими операций на конкретных ресурсах.

Применение СИМВ позволило визуализировать изменения наружной температуры в течение года, промоделировать работу насоса в различных условиях и наглядно продемонстрировать изменение комфортной температуры в здании лагеря [14, 15].

### Заключение

В статье представлены компоненты прототипа СИМВ для анализа работы инфраструктурных объектов. Представлены ключевые функциональные возможности, поддержка которых необходима в рамках стенда. Рассмотрены ключевые компоненты СИМВ и средства их реализации. В планах его развития предусматривается внедрение поддержки визуализации геоданных на карте местности с целью поддержки моделирования газотранспортных систем.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 20-47-380002-р\_а «Математическое и информационное моделирование инфраструктурных объектов Байкальской природной территории», а также Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах».*

### Список литературы

1. Ильясов Б.Г., Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Габдулина Э.Р. Методологические основы моделирования и интеллектуального управления промышленным комплексом как сложным динамическим многоагентным объектом // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11–2. С. 288–293. DOI: 10.17513/snt.38376.
2. Петров А.В. Имитация как основа технологии цифровых двойников // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 10 (141). С. 56–66. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-56-66.
3. Schriber T.J. Simulation Using GPSS. John Wiley & Sons: Нью-Йорк, США. 1974. 533 с.
4. AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.com> (дата обращения: 17.01.2022).
5. Медведев А.В. Цифровые двойники территорий для поддержки принятия решений в сфере регионального социально-экономического развития // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 6–1. С. 61–66. DOI: 10.17513/snt.38072.
6. Феоктистов А.Г., Костромин П.О., Сидоров И.А., Горский С.А., Башарина О.Ю. Цифровые двойники процессов работы природосберегающего оборудования инфраструктурного объекта // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 57–62.
7. Pliatsios D., Sarigiannidis P., Lagkas T., Sarigiannidis A.G. A Survey on SCADA Systems: Secure Protocols, Incidents, Threats and Tactics. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2020. Vol. 22. № 3. P. 1942–1976. DOI: 10.1109/COMST.2020.2987688.
8. Upadhyay D., Sampalli S. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems: Vulnerability assessment and security recommendations. Computers & Security. 2020. Vol. 89. P. 101666-1-101666-30. DOI: 10.1016/j.cose.2019.101666.
9. Феоктистов А.Г., Костромин П.О., Сидоров И.А. Сервис-ориентированный подход к имитационному моделированию процессов функционирования инфраструктурных

объектов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 9. С. 76–81.

10. Kostromin R., Basharina O., Feoktistov A., Sidorov I. Microservice-Based Approach to Simulating Environmentally-Friendly Equipment of Infrastructure Objects Taking into Account Meteorological Data. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. № 9–1217. P. 1–24.

11. Kostromin R., Feoktistov A., Voskoboynikov M. Service-Oriented Tools for Automating Digital Twin Development. Proceedings of the 4th Scientific-practical Workshop on Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021). CEUR-WS Proceedings. 2021. Vol. 2984. P. 95–100. DOI: 10.47350/ITAMS.2021.12.

12. Material Design for Bootstrap. URL: <https://mdbootstrap.com> (дата обращения 17.01.2022).

13. Introduction – Material Design. URL: <https://material.io/design/introduction/> (дата обращения 17.01.2022).

14. Tian H., Wang Y., Xue Z., Qu Y., Chai F., Hao J. Atmospheric emissions estimation of Hg, As, and Se from coal-fired power plants in China, 2007. *Science of the Total Environment*. 2011. Vol. 409. № 16. P. 3078–3081. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.039.

15. Еделев А.В., Зоркальцев В.И., Маринченко А.Ю. Моделирование процесса теплоснабжения тепловыми насосами зданий на побережье озера Байкал // *System Analysis & Mathematical Modeling*. 2020. Т. 2. № 2. С. 5–17.

УДК 532.5.013.2

## ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ДЛИННЫХ ВОЛН В ТЯЖЕЛОЙ ГРАВИТИРУЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В МОДЕЛИ ВЛАСОВСКОГО ТИПА

**Краснослободцева Т.П., Скворцова М.И.**

*ФГБОУ «МИРЭА – Российский технологический университет»  
(Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова),  
Москва, e-mail: tatkrasn@yandex.ru*

В работе построена новая система законов сохранения для уравнений, описывающих движение тяжелой однородной жидкости со свободной поверхностью, которая в пределе бесконечно длинных волн совпадает с бесконечной цепочкой законов сохранения модели Бенни. Показано, что полученная система законов сохранения является моментной системой для интегро-дифференциального уравнения с самосогласованным полем. В пределе нулевой завихренности получены новые уравнения мелкой воды и для случая слабой дисперсии показана универсальность полученного приближения с помощью группового анализа обобщенных уравнений мелкой воды. Полученное кинетическое интегро-дифференциальное уравнение позволило исследовать нетривиальные эффекты динамики длинных волн в линейном случае, в частности обнаружены эффекты затухания (затухание Ландау) или усиления гравитационных волн. Доказана универсальность асимптотики линейных волн, а именно: асимптотика решения определяется лишь двумя моментами начальной функции распределения и не зависит от детальной структуры начального распределения скоростей и параметров дисперсии. Выявлен механизм взаимодействия длинных гравитационных волн в однородной жидкости со свободной поверхностью с завихренной структурой слоя жидкости, который описывается математически с помощью нового дисперсионного соотношения, обобщающего дисперсионное соотношение Ландау в теории электронной плазмы.

**Ключевые слова:** кинетическое интегро-дифференциальное уравнение, инвариантные решения системы уравнений, бесконечная система законов сохранения для гидродинамических уравнений, затухание Ландау для гравитационных волн, аналитическое продолжение дисперсионного соотношения

## DESCRIPTION OF LONG WAVE DYNAMICS IN HEAVY WAVE GRAVITATING FLUID IN VLASOV TYPE MODEL

**Krasnoslobodtzeva T.P., Skvortsova M.I.**

*MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies),  
Moscow, e-mail: tatkrasn@yandex.ru*

In this work, a new system of conservation laws is constructed for equations describing the motion of a heavy homogeneous liquid with a free surface, which in the limit of infinitely long waves coincides with the infinite chain of conservation laws of the Benny model. It is shown that the resulting system of conservation laws is a moment system for an integro-differential equation with a self-consistent field. In the limit of zero vorticity, new shallow water equations are obtained, and for the case of weak dispersion, the universality of the obtained approximation is shown using group analysis of generalized shallow water equations. The resulting kinetic integro-differential equation made it possible to investigate the nontrivial effects of the dynamics of long waves in the linear case, in particular, the effects of damping (Landau damping) or amplification of gravitational waves were discovered. The universality of the asymptotics of linear waves is proved, namely, the asymptotics of the solution is determined by only two moments of the initial distribution function and does not depend on the detailed structure of the initial distribution of velocities and dispersion parameters. The mechanism of interaction of long gravitational waves in a homogeneous fluid with a free surface with a vortex structure of the fluid layer is revealed, which is described mathematically using a new dispersion relation, which generalizes the Landau dispersion relation in the theory of electron plasma.

**Keywords:** kinetic integro-differential equation, invariant solutions of the system of equations, an infinite system of conservation laws for hydrodynamic equations, Landau damping for gravitational waves, analytical continuation of the dispersion relation

Несмотря на большие успехи, достигнутые в последние годы в области математического моделирования в гидродинамике, проблема описания генерации и нелинейного распространения волн в жидкости и газе по-прежнему остается актуальной. Для нелинейных процессов, где дисперсией можно пренебречь, основным аппаратом исследования служит теория гиперболических дифференциальных уравнений, описываю-

щая распространение волн в однородной жидкости со свободной поверхностью. Центральным эффектом в гиперболических системах являются возникновение ударных волн (скачков) и потеря регулярности движения. При этом можно получить многие классы точных решений, описывающие важные классы движений жидкости со свободной поверхностью, и исследовать групповые свойства рассмотренных

уравнений [1-3]. Как правило, в геофизических приложениях анализируются модели, не учитывающие вертикальную структуру воды, т.е. задачи, усредненные по некоторому (в нашем случае – по плоскому) слою жидкости [4]. Тонкая структура процесса, связанная с взаимодействием вертикального и горизонтального движений, либо учитывается очень грубо, либо не учитывается вообще (речь идет о сильно нелинейных процессах). На этом фоне несколько особняком стоит весьма общая модель для длинных волн на воде с ровным дном и свободной поверхностью, которая впервые была рассмотрена Бенни [5]. Особенность этой задачи состоит в том, что здесь происходит самосогласованное взаимодействие между основным горизонтальным и вертикальным движением. В работе [6] на основе бесконечной системы законов сохранения для уравнений Бенни было предложено новое кинетическое интегро-дифференциальное уравнение, где свободная поверхность является лишь одним из моментов функции распределения, которая соответствует данной системе моментов. Полученное уравнение описывает взаимодействие нелинейности и завихренного слоя жидкости для бесконечно длинных волн. Предложенное в настоящей работе исследование позволяет вывести новое кинетическое уравнение, описывающее динамику длинных волн конечной длины; полученные результаты являются обобщением и развитием результатов работы [6]. Таким образом, в настоящей работе рассматривается разложение произвольной дисперсии около нулевого волнового числа. Групповой анализ уравнений безвихревого предела и изучение динамики линеаризованных уравнений позволили выяснить корректность и универсальность рассмотренной модели. В частности, это дало возможность понять и описать в гидродинамике волн со свободной поверхностью такой эффект, как затухание Ландау, ранее известный для электростатических волн в электронной плазме.

Цель настоящей работы – получение и анализ новых уравнений, описывающих распространение длинных сильно нелинейных волн, распространяющихся в тяжелой однородной жидкости со свободной поверхностью.

#### Материал и методы исследования

В настоящей работе при рассмотрении длинных волн на воде в гидростатическом

приближении на завихренной жидкости (сильно нелинейные волны) рассматривается модель Бенни [5]:

$$u_t + uu_x - u_y \left( \int_0^y u_x dy \right) + h_x = 0; h \quad udy$$

$$h_t + \left( \int_0^h udy \right)_x = 0. \quad (1)$$

Здесь  $t$  – время,  $x$  – продольная пространственная координата,  $y$  – вертикальная пространственная координата,  $h(t, x)$  – неизвестная высота свободной поверхности однородной тяжелой жидкости, ( $g \neq 0$ ),  $u(t, x, y)$  – горизонтальная компонента скорости жидкости. Индекс внизу означает производную по соответствующей переменной. В рассматриваемой системе координат ускорение свободного падения  $g = 1$ , плотность жидкости также равна 1, зависимые и независимые переменные задачи безразмерны.

Задачи с неизвестной свободной границей трудно решать, поэтому весьма важной представляется проблема сведения системы (1) к уравнениям, которые не содержат в себе неизвестной свободной поверхности, в данном случае – к некоторым интегро-дифференциальным уравнениям, аналогичным тем, что возникают в теории бесстолкновительной плазмы.

*Кинетическое уравнение для описания длинноволновых движений в завихренной жидкости*

Введем бесконечную систему моментов

$$A^n = A^n(t, x) = \int_0^{h(t, x)} (u(t, x, y))^n dy. \quad (2)$$

Бенни было показано, что система уравнений (1) порождает следующую бесконечную систему уравнений для моментов [5]:

$$A_t^n + A_x^{n+1} + nA^{n-1}A_x^0 = 0, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

В работе [6] было предложено кинетическое уравнение власовского типа, эквивалентное бесконечной цепочке связанных уравнений (3). Введем функцию распределения (плотность вероятности)  $f(t, x, v)$ , которую далее пока будем записывать как  $f(v)$ , рассматривая переменные  $t, x$  как параметры. Для  $f(v)$  определим характеристическую функцию следующим образом:

$$\hat{f}(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(v) e^{-ikv} dv = \int_{-\infty}^{\infty} f(v) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-ik)^n}{n!} v^n dv = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-ik)^n}{n!} \int_{-\infty}^{\infty} v^n f dv = \sum_{n=0}^{\infty} A^n \frac{(-ik)^n}{n!}. \quad (4)$$

Здесь

$$A^n = \int_{-\infty}^{\infty} f v^n dv. \quad (5)$$

Тогда корректно следующее выражение функции  $f(v)$  через моменты функции  $f$ :

$$\begin{aligned} f(v) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(k) e^{ikv} dk = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-ik)^n}{n!} A^n e^{ikv} dv = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} A^n \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} (ik)^n e^{ikv} dv = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} A^n \delta^{(n)}(v). \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $\delta^{(n)}(v) = \frac{d^n \delta(v)}{dv^n}$  – это произво-

дная функционала Дирака соответствующего порядка. Таким образом, по данным моментам функция распределения  $f(v)$  восстанавливается однозначно как обобщенная функция, действующая, например, на функции из пространства Шварца по переменной  $v$ . Такие функции обладают моментами

$$A^n = \int_{-\infty}^{\infty} f v^n dv \text{ для любого целого числа } n \geq 0.$$

Справедлива следующая теорема (см. [6]).  
**Теорема.** Если функция распределения определена с помощью формулы

$$f(t, x, v) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} A^n(t, x) \delta^{(n)}(v),$$

где моменты  $A^n(t, x)$  удовлетворяют бесконечной моментной системе уравнений (3), то функция распределения является регулярной обобщенной функцией и удовлетворяет интегро-дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial v} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_{-\infty}^{\infty} f(t, x, v) dv \right) = 0. \quad (7)$$

*Описание классической теории мелкой воды и ее вихревых обобщений*

Пусть горизонтальная компонента скорости жидкости  $u(t, x)$  не зависит от переменной  $y$ . Тогда характеристическая функция и функция распределения принимают следующий вид:

$$\hat{f}(k) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-ik)^n}{n!} (u(t, x))^n h(t, x) = h(t, x) e^{-iku(t, x)}, \quad (8)$$

$$f(t, x, v) = \frac{1}{2\pi} h(t, x) \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-iku(t, x) + ikv) dv = h(t, x) \delta(v - u(t, x)). \quad (9)$$

При этом функции  $h(t, x)$ ,  $u(t, x)$  удовлетворяют классической системе уравнений мелкой воды:

$$\begin{cases} h_t + (uh)_x = 0; \\ u_t + uu_x + h_x = 0. \end{cases}$$

Рассмотрим теперь обобщение кинетического уравнения (7), а именно:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial v} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} K(x - \xi) \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \int_{-\infty}^{\infty} f(t, \xi, v) dv \right) d\xi = 0 \quad (10)$$

Здесь  $K(x)$  – это либо обычная, либо обобщенная функция переменной  $x$ .

Рассмотрим конкретный вид функции распределения, соответствующий холодному газу (мелкой воде), а именно:  $f(t, x, v) = h(t, x) \delta(v - u(t, x))$ . Тогда кинетическое уравнение сведется к следующей обобщенной системе уравнений мелкой воды:

$$\begin{cases} h_t + (uh)_x = 0; \\ u_t + uu_x + \int_{-\infty}^{\infty} K(x - \xi) h_\xi d\xi = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Если произвести линеаризацию системы (11) относительно однородного состояния,  $u = u_0 + \varepsilon u_1$ ,  $h = h_0 + \varepsilon h_1$ , то получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} h_{1,t} + u_0 h_{1,x} + h_0 u_{1,x} = 0; \\ u_{1,t} + u_0 u_{1,x} + \int_{-\infty}^{\infty} K(x - \xi) h_{1,\xi} d\xi = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Переходя в движущуюся систему координат  $x' = x - u_0 t$ ,  $t' = t$  и обозначая новые координаты без штрихов, получаем такую систему уравнений:

$$\begin{cases} h_{1,t'} + h_0 u_{1,x'} = 0; \\ u_{1,t'} + \int_{-\infty}^{\infty} K(x - \xi) h_{1,\xi} d\xi = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Чтобы вычислить дисперсию в рассмотренной системе, рассмотрим частные решения системы (13) следующего вида:

$$u_1 = A \exp(i(kx - \omega t)), h_1 = B \exp(i(kx - \omega t)),$$

такие, что  $A \neq 0$ ,  $B \neq 0$ . После стандартных преобразований получим дисперсионное соотношение:

$$\frac{\omega}{k} = \pm \sqrt{h_0 \hat{K}(k)}. \quad (14)$$

Следовательно, если функция  $K(x)$  произвольна, то это означает, что мы рассматриваем модель с произвольной дисперсией, с произвольной фазовой скоростью  $\omega / k$ . Мы рассматриваем динамику, учитывающую следующее приближение по длине волны для уравнений мелкой воды. Так как для уравнения Бенни  $K(x) = \delta(x)$ , где  $\delta(x)$  – обобщенная функция Дирака, то  $K(x)$  в общем случае имеет следующий вид:

$$K(x) = \delta(x) + \alpha \delta''(x) + \beta \delta^{(4)}(x) + \dots \quad (15)$$

Четные производные от функции Дирака возникают из требования вещественности дисперсионного соотношения. После преобразования Фурье соотношение (15) примет следующий вид:

$$\hat{K}(k) = 1 + \alpha k^2 + \beta k^4 + \dots \quad (16)$$

Именно соотношение (16) и будет рассматриваться в дальнейшем, как правило, при малых  $k \ll 1$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

*Групповые свойства и некоторые точные решения для теории мелкой воды с дисперсией  $\hat{K}(k) = 1 + \alpha k^2$*

Рассмотрим систему уравнений мелкой воды при учете дисперсии в первом приближении:

$$\begin{cases} h_t + (uh)_x = 0; \\ u_t + uu_x + h_x + \alpha h_{xxx} = 0. \end{cases} \quad (17)$$

Проверкой естественности моделирования движений длинных волн служит изучение групповых свойств системы (17) с использованием техники группового анализа [7, 8]. Можно доказать, что множество всех точечных преобразований (преобразований Ли) для системы (17) порождается следующими дифференциальными операторами:

$$\begin{cases} X_1 = \partial_t, X_2 = \partial_x, X_3 = t\partial_x + \partial_u, \\ X_4 = t\partial_t - u\partial_u - 2h\partial_h. \end{cases}$$

Первые три оператора представляют собой генераторы одномерной группы преобразований Галилея, оператор  $X_4$  порождает группу масштабных преобразований. Группа Галилея допускается для всех значений  $\alpha$ , а оператор  $X_4$  – для всех  $\alpha \neq 0$ . Отметим, что при этом вид оператора  $X_4$  не зависит от количественного значения  $\alpha \neq 0$ , что говорит об универсальности выбранного разложения  $\hat{K}(k) = 1 + \alpha k^2$ .

Классические уравнения мелкой воды как над ровным дном, так и неровным хорошо исследованы с групповой точки зрения [1]. Методы решения таких уравнений тесно связаны с тем фактом, что все производные в задаче – первого порядка и, в частности, здесь применим метод годографа. Кроме того, решены некоторые задачи (получены точные решения), имеющие непосредственное прикладное значение [2-4].

Приведем пример точного, инвариантного относительно оператора  $X_4$  решения, которое нетривиально зависит от параметра дисперсии  $\alpha \neq 0$ :

$$\begin{cases} u(t, x) = u_0 = const, h(t, x) = \\ = h_0 + (h_1 \sin(\frac{u_0 t}{\sqrt{\alpha}}) + h_2 \cos(\frac{u_0 t}{\sqrt{\alpha}})) \sin(\frac{x}{\sqrt{\alpha}}) + \\ + (h_1 \cos(\frac{u_0 t}{\sqrt{\alpha}}) - h_2 \sin(\frac{u_0 t}{\sqrt{\alpha}})) \cos(\frac{x}{\sqrt{\alpha}}) \end{cases} \quad (18)$$

Здесь  $u_0, h_0, h_1, h_2$  – произвольные постоянные.

С целью качественного анализа приведенного выше решения  $h(t, x)$  зафиксируем постоянные  $u_0, h_0, h_1, h_2$ ; возьмем, например,  $u_0 = 6$ ;  $\alpha = 0,5$ ;  $h_0 = 1$ ;  $h_1 = 1$ ;  $h_2 = -2$ ; Рассмотрим полученную функцию  $h(t, x)$  при нескольких значениях  $t$ ; например, возьмем  $t = 0, t = 10, t = 20$ .

На рисунке 1 приведены графики зависимости функции  $h(x) = h(t, x)$  (высоты свободной поверхности жидкости) от переменной  $x$  при вышеуказанных значениях времени  $t$  и параметров  $u_0, h_0, h_1, h_2$ . Отметим, что при  $t = 0$  и  $t = 20$  графики оказались совпадающими (кривая зеленого цвета); кривая желтого цвета соответствует случаю  $t = 10$ .

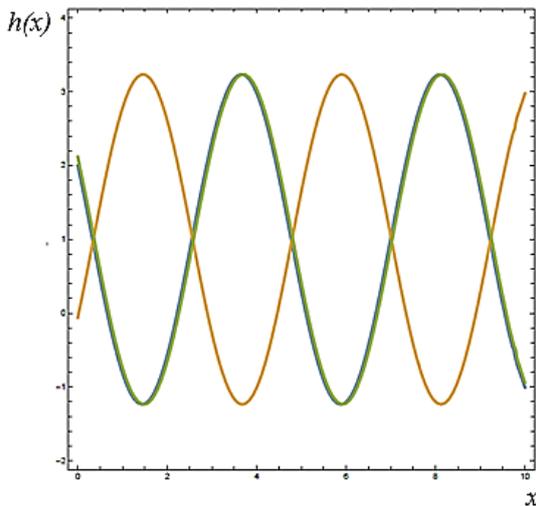


Рис. 1. Графики решения  $h(x) = h(x, t)$ , определяемого формулой (18), при различных значениях времени  $t$  и фиксированных значениях параметров  $u_0, h_0, h_1, h_2$

Анализ этих графиков показывает, что наличие дисперсии ( $\alpha \neq 0$ ) порождает колебательные движения высоты свободной поверхности жидкости. Осциллирующие решения в задаче с третьей пространственной производной характерны, например, для уравнения Кортевега-де-Фриза [9]. Таким образом, в данном случае (в отличие от случая классической теории мелкой воды) не все решения рассматриваемой нелинейной системы становятся многозначными, а соответствующие им волны «опрокидываются».

В дальнейшем дисперсию  $\hat{K}(k)$  можно называть продольной дисперсией, так как она присутствует и в случае холодного газа (плазмы), и в нашем случае при отсутствии вертикального перемешивания жидкости.

*Затухание Ландау для длинных волн на воде в жидкости со свободной поверхностью для произвольной дисперсии*

Запишем теперь основное уравнение (10) в виде системы уравнений, так, чтобы проявилось формальное сходство с одномерными уравнениями Власова в плазме:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial v} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} K(x - \xi) \frac{\partial}{\partial \xi} h(t, \xi) d\xi = 0; \\ h(t, x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t, x, v) dv. \end{cases} \quad (19)$$

Линеаризуем систему (19) относительно функции распределения  $f_0(v)$ . Это означает, что мы рассматриваем сдвиговое течение:

$$u = u_0(v), h(t, x) = H = const.$$

Задавая сдвиговое течение в виде бесконечного числа моментов

$$A_0^n = \int_0^H (u_0(y))^n dy = \int_{-\infty}^{\infty} f_0(v) v^n dv,$$

можно представить в явном виде функцию

$$f_0(v) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} A_0^n \delta^{(n)}(v).$$

Мы считаем  $f_0(v)$  регулярной обобщенной функцией, так что обычная функция  $f_0(v)$  является аналитической функцией переменной  $v$ . Все конкретные примеры будут удовлетворять этому условию.

Представляем решение в таком виде:

$$f = f_0(v) + \varepsilon f_1(t, x, v), \varepsilon \ll 1.$$

Тогда линеаризованное уравнение примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial f_1}{\partial t} + v \frac{\partial f_1}{\partial x} - \frac{\partial f_0}{\partial v} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} K(x - \xi) \frac{\partial}{\partial \xi} h_1(t, \xi) d\xi = 0, \\ h_1(t, x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t, x, v) dv. \end{cases} \quad (20)$$

Преобразования Лапласа  $L$  и Фурье  $F$  возьмем в такой форме:

$$Lu = \int_0^{+\infty} \exp(i\omega t) u(t) dt, \text{Im } \omega > 0, Fu = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(ikx) u(x) dx$$

$$Fu = Lu = \int_0^{+\infty} \exp(-ikx) u(x) dx. \quad (21)$$

Применяя преобразования (21) к системе (20), получим, что:

$$\tilde{h}_1(\omega, k) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t, x, v) dv \cdot \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g(k, v)}{ikv - i\omega} dv}{1 - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f_0'(v) ik \hat{K}(k)}{ikv - i\omega} dv},$$

$$g(k, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t=0, x, v) \exp(-ikx) dx. \quad (22)$$

Уравнение

$$D(\omega, k) = 1 + \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f'_0(v) \hat{K}(k)}{\frac{\omega}{k} - v} dv = 0 \quad (23)$$

называется *дисперсионным соотношением системы* (21). Можно назвать его обобщенным дисперсионным соотношением Ландау. Можно доказать, что уравнение (23) имеет конечное число нулей при любых фиксированных вещественных  $k$ ,  $\text{Im}\omega > 0$ . Смысл  $\text{Im}\omega > 0$  состоит в том, что если вместо строго гармонического ( $\omega$  – вещественно) решения рассмотрим процесс, который включается при  $t = -\infty$ , так что  $f_1 = 0$ ,  $h_1 = 0$  при  $t = -\infty$ , тогда необходимо условие  $\text{Im}\omega > 0$ . Решение при этих условиях описывает незатухающие колебания жидкости и растет при  $t \rightarrow +\infty$ . Функция  $D(\omega, k)$  при каждом фиксированном значении переменной  $k$  аналитична по переменной  $\omega$  в полуплоскости  $\text{Im}\omega > 0$  [9].

Фиксируем вещественное число  $k \neq 0$ . Затухающая гармоническая волна при  $t \rightarrow +\infty$  существует только тогда, когда  $\text{Im}\omega < 0$ . Следовательно,  $D(\omega, k)$  должно аналитически продолжаться в часть полуплоскости  $\text{Im}\omega < 0$ . Чтобы такое аналитическое продолжение существовало (так как (23) представляет собой интеграл типа Коши), необходимо требование аналитичности функции  $f'_0(v)$  по переменной  $v$  [10]. В частности, если  $f'_0(v)$  – целая функция, то  $D(\omega, k)$  продолжается на комплексную переменную как целая функция переменной  $\omega$ .

Пусть

$$\begin{aligned} \hat{h}_1(t, k) &= \int_0^{+\infty} \exp(-ikx) h(t, x) dx = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty+ia}^{-\infty+ia} \exp(i\omega t) \tilde{h}_1(\omega, k) d\omega, a > 0. \end{aligned}$$

Приведем далее некоторые достаточные математические условия, при которых возникает затухание Ландау [10].

1. Пусть область  $G$  – полоса  $|\text{Im}\omega| \leq a$ ,  $a < 0$ . Тогда функция  $f'_0(v)$  аналитична в полосе  $G$  и при этом выполнены следующие условия: при  $|b| \leq a$

$$\int_{\infty-ib}^{\infty-ib} |f'_0(v)| (1 + |v|^n) dv < C,$$

постоянная  $C$  не зависит от  $b$ ,  $n$  – натуральное произвольное число.

2. Для всякого  $n$   $\lim_{|\text{Re}v| \rightarrow \infty} |f'_0(v)| (1 + |v|^n) = 0$ .

3. Пусть  $g(k, v)$  аналитична в полосе  $G$ , за исключением конечного числа полюсов  $\omega_1, \dots, \omega_m$ , не лежащих на границе области  $G$ . Тогда:

$$\hat{h}_1(t, k) = i \sum_{j=1}^m \text{res}(e^{i\omega t} \tilde{h}_1(\omega, k)) + O(e^{-bt}). \quad (24)$$

Таким образом, затухание Ландау возникает, если все полюса лежат в полуплоскости  $\text{Im}\omega < 0$ . При больших временах асимптотика решения определяется наиболее высоко лежащим полюсом.

*Приближенное вычисление коэффициента затухания Ландау вблизи длинноволнового предела ( $k \neq 0$ ).*

Считая на этом этапе число  $\omega = \omega_r$  вещественным, вычислим

$$\begin{aligned} 1 + \hat{K}(k) \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f'_0(v)}{\frac{\omega_r}{k} - v} dv = \\ = 0, 1 - \hat{K}(k) \frac{k^2}{\omega_r^2} \int_{-\infty}^{+\infty} f_0(v) \left( 1 + \frac{2kv}{\omega_r} + \frac{3(kv)^2}{\omega_r^2} + \dots \right) dv = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

где интеграл понимается в смысле главного значения по Коши при очень малых  $k \neq 0$ .

Выберем систему координат так, что:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_0(v) v dv = 0. \quad (26)$$

Тогда получим следующее выражение для групповой скорости в случае произвольной продольной дисперсии и малой вихревой дисперсии до порядка  $k^2$ :

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dk} = \sqrt{\frac{\hat{K}(k)}{2}} \sqrt{A_0^3 + \sqrt{\theta A_0^0)^2 + \frac{12A_0^2}{\hat{K}(k)}}}, \quad (27) \\ \hat{K}(k) = 1 + \alpha k^2. \quad (28) \end{aligned}$$

Это означает, что мы рассматриваем произвольную дисперсию в окрестности бесконечно длинных волн. Заметим, что универсальность представления (28) обсуждалась также и выше.

На рисунке 2 приведены графики зависимости фазовой скорости  $\omega_r/k$  от волнового числа  $k$  при разных значениях параметра  $\alpha$  рассматриваемой модели и при фиксированных значениях  $A_0^0 = 1$  и  $A_0^2 = 1$  (см. (27)); кривые синего, желтого и зеленого цвета соответствуют значениям  $\alpha = 0, 0,1$ ,  $\alpha = 0,1$ ,  $\alpha = 1$ . Фазовая скорость показывает скорость распространения фазы волны (например, возвышений волн).

Зависимость фазовой скорости от параметра  $\alpha$  позволяет связать теоретическую модель с экспериментальными данными.

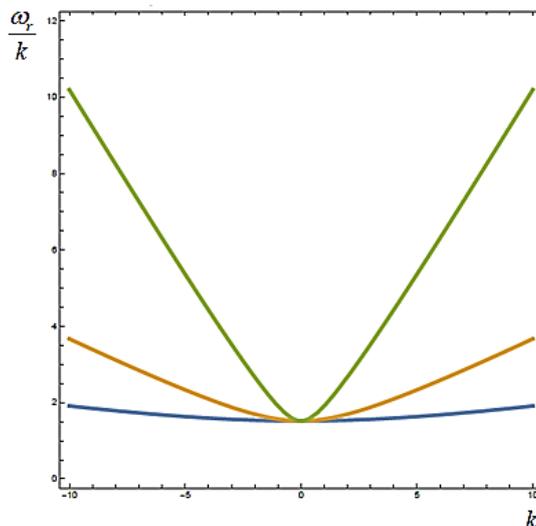


Рис. 2. Графики фазовой скорости  $\omega_r/k$ , определяемой формулой (27), при различных значениях  $\alpha$ ; кривые синего, желтого и зеленого цвета соответствуют  $\alpha = 0,01$ ,  $\alpha = 0,1$  и  $\alpha = 1$

Собирая члены порядка  $k^2$ , получаем следующую формулу:

$$\frac{\omega_r}{k} = \frac{\sqrt{A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}}}{2} (1 + \alpha k^2 \cdot (\frac{1}{2} - \frac{3(A_0^2)}{\sqrt{A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}} \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}})) + \dots \quad (29)$$

Продолжим дисперсионное соотношение (23) в комплексную плоскость; из того, что  $f_0(v)$  – аналитическая функция, следует, что это можно сделать в область  $\text{Im}\omega < 0$ . Пусть теперь  $\text{Im}\omega \rightarrow 0_-$ , т.е. контур обходит полюса снизу. Тогда в пределе мы получим, используя формулы Сохоцкого–Племеля, что:

$$D(\omega_r, k) = 1 + \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f_0'(v) \hat{K}(k)}{\frac{\omega}{k} - v} dv - i\pi [f_0'(v)] \Big|_{v=\frac{\omega_r}{k}} = 0, D(\omega_r, \gamma) = D_r(\omega_r, \gamma) + iD_i(\omega_r, \gamma) \quad (30)$$

Продолжим теперь уже формулу (30) в комплексную область и, отбрасывая малые высшего порядка при  $\omega = \omega_r + i\gamma$ , найдем:

$$\gamma = \pi \frac{[f_0'(v)] \Big|_{v=\frac{\omega_r}{k}}}{\frac{\partial D_r}{\partial \omega_r}}. \quad (31)$$

Отсюда находим, оставляя величины порядка  $k^2$ , что:

$$\gamma = -2^{\frac{3}{2}} \pi [f_0'(v)] \Big|_{v=\frac{\omega_r}{k}} (A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}) k (\frac{1}{2} \sqrt{A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}} - 3 \frac{A_0^2}{\sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}}). \quad (32)$$

Здесь:

$$A_0^0 = H_0 = \int_0^{H_0} 1 \cdot dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f_0(v) dv, A_0^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} f_0(v) v^2 dv = \int_0^{H_0} (u_0(y))^2 dy.$$

Возможно, что самый важный результат этого исследования состоит в том, что коэффициент затухания или усиления гармонической волны не зависит от коэффициента продольной дисперсии  $\alpha$ . Существенно только условие  $\alpha \neq 0$ .

Приведем окончательный результат для случая максвелловской функции распределения

$$f_0(v) = c \exp(-\beta v^2), \quad c > 0, \beta > 0, \quad f_0'(v) = c \exp(-\beta v^2)(-2\beta v) < 0 \quad \Big|_{v=\frac{\sigma_r}{k}}.$$

Выразим константы  $c$  и  $\beta$  через  $A_0^0$  и  $A_0^2$ . Имеем:

$$\gamma = -\frac{1}{8} \pi^{1/2} \frac{(A_0^0)^{5/2}}{(A_0^2)^{3/2}} (A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12A_0^2})^{3/2} \cdot \left( \frac{1}{2} \sqrt{A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}} - 3 \frac{A_0^2}{\sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}} \right) \cdot \exp\left(-\frac{A_0^0}{8A_0^2} (A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12A_0^2}) k\right)$$

Очевидно, что  $\gamma < 0$  при выполнении неравенства

$$p = \frac{1}{2} \sqrt{A_0^0 + \sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}} - 3 \frac{A_0^2}{\sqrt{(A_0^0)^2 + 12(A_0^2)}} > 0, \quad (33)$$

и мы будем иметь затухающую волну с коэффициентом затухания  $\exp(\gamma t)$ ,  $\gamma < 0$ . Здесь  $A_0^0$  – это масса слоя жидкости единичной поперечной ширины,  $A_0^2$  – кинетическая энергия продольного движения слоя жидкости единичной поперечной ширины. Назовем функцию  $p$ , зависящую от  $A_0^0$  и  $A_0^2$ , фактором устойчивости. Таким образом, результат развития возмущения в жидкости не зависит от тонкой структуры завихренности внутри слоя жидкости. Принципиально важна только конечность длины волны,  $k \neq 0$ .

На рисунке 3 на плоскости с координатами  $A_0^0$  и  $A_0^2$  приведен график кривой  $p = 0$ . Эта кривая разделяет плоскость параметров на две области – устойчивости (затухания возмущений) и неустойчивости (нарастания возмущений). Для определения того, какая же из этих областей соответствует устойчивости, можно построить аналогичную кривую при каком-либо значении  $p > 0$ . На рисунке 3 в качестве примера приведены кривые для  $p = 1$ ,  $p = 2$ , позволяющие выделить зону устойчивости (она расположена ниже кривой  $p = 0$ ). В зоне устойчивости длинные волны затухают.

Анализ приведенных графиков позволяет понять общие принципы строительства береговых защитных сооружений на море: эти сооружения должны сокращать длину береговой линии, доступную для воздействия волн.

Для визуализации полученных результатов был использован пакет программ «WOLFRAM МАТЕМАТИКА».

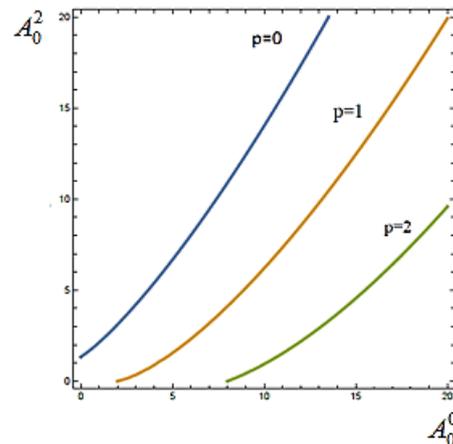


Рис. 3 Линии уровня функции  $p = p(A_0^0, A_0^2)$ , разделяющие зоны устойчивости и неустойчивости ( $p = 0$ ), а также указывающие зону устойчивости ( $p = 1, p = 2$ )

### Заключение

В работе построены новые уравнения, описывающие распространение длинных волн в тяжелой жидкости со свободной поверхностью. Важным результатом является совмещение действия вихревой динамики жидкости и дисперсии безвихревого предела уравнений движения жидкости со свободной поверхностью. В качестве основы анализа осуществлен переход от гидродинамических уравнений бесконечной цепочки законов сохранения, которую удается описать с помощью интегро-дифференциального уравнения с самосогласованным полем. Результаты анализа интегро-дифференци-

ального уравнения (в частности, временная асимптотика линеаризованного уравнения) носят универсальный характер и выражаются только двумя числами, определяемыми по исходной функции сдвиговой скорости, и не зависят от параметра разложения продольной дисперсии  $\alpha$ . Вместе с независимостью алгебры симметрии безвихревой мелкой воды от  $\alpha$  это говорит об универсальности рассмотренной модели.

Длинные волны любой конечной длины затухают при дополнительном условии (33). Выполнение или невыполнение условия (33) определяет действие завихренности на гармонические волны, при этом возможно как их усиление, так и затухание.

Отметим, что описание вихревой динамики вызывает значительные затруднения как в гидродинамике несжимаемой жидкости, так и для сжимаемых сред и, как правило, требует численного анализа [11]. Однако предлагаемый в настоящей работе асимптотический подход позволяет сразу получить необходимые условия затухания волн при неизвестных значениях параметра задачи  $\alpha$ .

Полученные результаты могут быть применены в области геофизической гидродинамики, так как предлагаемую математическую модель можно обобщить и на случай длинных волн в жидкости с переменной глубиной, т.е. волн с характеристиками «почти цунами» (очень длинных волн). В частности, расчет силового воздействия длинных волн на береговые сооружения можно производить, используя не только классическую теорию мелкой воды, но и полученные в настоящей работе уравнения, так как вли-

зи береговой зоны вода сильно завихрена. При этом волнозащитные сооружения (защищающие прибрежную инфраструктуру) можно проектировать, подбирая значение фактора устойчивости так, чтобы попасть в режим затухания очень длинных волн.

### Список литературы

1. Чиркунов Ю.А., Доброхотов С.Ю., Медведев С.Б., Миненков Д.С. Точные решения одномерных уравнений мелкой воды над ровным и наклонным дном // Теоретическая и математическая физика. 2014. Т.178. №3. С. 322–345.
2. Аксенов А.В., Доброхотов С.Ю., Дружков К.П. Точные решения типа «ступеньки» одномерных уравнений мелкой воды над наклонным дном // Математические заметки. 2018. Т. 104. №6. С. 930–936.
3. Доброхотов С.Ю., Медведев С.Б., Миненков Д.С. О заменах, приводящих одномерные системы уравнений мелкой воды к волновому уравнению со скоростью звука  $c^2=x$  // Математические заметки. 2013. Т. 93. №5. С. 716–727.
4. Беликов В.В., Алексюк А.И. Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики. М.: РАН, 2020. 346 с.
5. Benney D.J. Some properties of long waves. *Studies in Applied Mathematics*. 1973. V. 52. P. 45-49.
6. Краснослободцев А.В. Газодинамические и кинетические аналогии в теории вертикально неоднородной мелкой воды // Труды ИОФАН. 1987. Т. 18. С. 33-71.
7. Arriago D.J. *Symmetry Analysis of Differential Equations: An Introduction*. N.Y.: Wiley, 2015. 192 p.
8. Ибрагимов Н.Х. Практический курс дифференциальных уравнений и математического моделирования. Классические и новые методы. Нелинейные математические модели. Симметрия и принципы инвариантности. М.: Физматлит, 2012. 332 с.
9. Guo B., Pang X-F., Wang Y-F., Liu N. *Solitons*. Hand-book. Berlin: Walter de Gruyter GmbH @Co., 2018. 368 p.
10. Маслов В. П., Федорюк М. В. Линейная теория затухания Ландау // Математический сборник. 1985. Т. 127. №4. С. 445-475.
11. Лебо И.Г., Симаков А.И. Моделирование развития вихревых структур в сверхзвуковом газовом потоке // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. №4. С. 45-54.

УДК 004.415

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРОПЕРАбельНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «MAGTU.ANTIPLAGIAT»

Киселев А.В., Гаврилова И.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
Магнитогорск, e-mail: kiselev.andrew.168@gmail.com, i.gavrilova@magtu.ru

Статья посвящена решению проблемы обеспечения интероперабельности информационно-образовательной среды университета. В статье подробно описан процесс проверки выпускной квалификационной работы на объём заимствования. В работе приводится описание информационных систем университета, а также схема их взаимодействия с приложением «Magtu.Antiplagiat», которое эффективно использует данные из различных информационных систем. Веб-приложение «Magtu.Antiplagiat» работает с информацией, полученной из различных внутренних и внешних систем; на основе собранных данных оно формирует необходимые отчёты, которые обеспечивают прозрачность бизнес-процессов университета по обеспечению качества образования. Тем самым обеспечивается интероперабельность ИОС университета на техническом, синтаксическом, семантическом и организационном уровнях. Внедрение разработанного веб-приложения «Magtu.Antiplagiat» повышает скорость информационного обмена между студентами и кафедрой, а также кафедрами и учебно-методическим управлением университета. За счёт использования веб-приложения «Magtu.Antiplagiat» повышается функциональность образовательного портала в части организации итоговой государственной аттестации, происходит его развитие как важного и необходимого инструмента цифровизации университета. Опыт разработки и внедрения «Magtu.Antiplagiat» может быть адаптирован для решения подобных задач в других российских образовательных учреждениях, где требуется проверка ВКР.

**Ключевые слова:** интероперабельность, разработка веб-приложений, проверка на антиплагиат, высшее образование, Moodle, университет, информационные системы

## ENSURING INTEROPERABILITY OF THE UNIVERSITY INFORMATION EDUCATIONAL ENVIRONMENT ON THE EXAMPLE OF THE WEB-APPLICATION «MAGTU.ANTIPLAGIAT»

Kiselev A.V., Gavrilova I.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk,  
e-mail: kiselev.andrew.168@gmail.com, i.gavrilova@magtu.ru

The article is devoted to solving the problem of ensuring the interoperability of the information and educational environment of the university. The article describes in detail the process of checking the final qualifying work for the amount of borrowing. The paper describes the information systems of the university, as well as the scheme of their interaction with the application «Magtu.Anti-plagiarism», which effectively uses data from various information systems. The web application «Magtu.Antiplagiat» works with information received from various internal and external systems; on the basis of the collected data, it generates the necessary reports that ensure the transparency of the university's business processes to ensure the quality of education. This ensures the interoperability of the University ITS at the technical, syntactic, semantic and organizational levels. Implementation of the developed web application «Magtu.Antiplagiat» increases the speed of information exchange between students and the department, as well as departments and educational and methodological management of the university. Due to the use of the web application «Magtu.Antiplagiat», the functionality of the educational portal in terms of organizing the final state certification increases, it is developing as an important and necessary tool for digitalization of the university. The experience of the development and implementation of «Magtu.Antiplagiat» can be adapted to solve similar problems in other educational institutions, where a check of final qualifying work is required.

**Keywords:** interoperability, development of web-applications, testing for antiplagiarism, higher education, moodle, university, information systems

Цифровая трансформация, обуславливающая переход России в новую эру цифровой экономики, невозможна без создания и развития гетерогенной информационно-коммуникационной среды, прозрачность которой обеспечивается за счёт использования принципов открытых систем. Основы теории открытых систем были заложены ещё в 1960-х гг., сейчас этой проблемой занимаются международные организации по стандартизации, профессиональные или административные организации, промышленные консорциумы и научно-иссле-

довательские центры. Одним из важнейших признаков открытых систем является интероперабельность, под которой понимается способность систем и компонентов к взаимодействию (обмену информацией и использованию информации, полученной в результате обмена), основанному на использовании информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), при этом благодаря развитию ИКТ вопросы обеспечения интероперабельности для систем различного назначения не теряют своей актуальности [1, 2].

Цифровая трансформация экономики РФ ставит перед образовательными учреждениями задачу обеспечения открытости информационно-образовательной среды (ИОС) для полноценного взаимодействия с системами других организаций, которое позволит сократить участие человека в информационном обмене, а как следствие, снизить транзакционные издержки. Как правило, решение этой задачи связано именно с обеспечением интероперабельности ИОС. Несмотря на интенсивное развитие ИКТ, в университетах существуют бизнес-процессы, для которых не реализованы механизмы повышения качества информационного обмена. Так, например, к таким процессам относится проверка выпускных квалификационных работ (ВКР) на заимствования, обязательность которой закреплена в приказе Министерства образования и науки РФ от 29 июня 2015 г. № 636 «Об утверждении Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры».

Для выявления научных и учебных работ, написанных с неправомерным использованием чужого текста, в 2005 г. была создана система «Антиплагиат», [3] версией которой «Антиплагиат.ВУЗ» сейчас используют практически все университеты. Несмотря на то, что проверка системой осуществляется автоматически, загрузка документов, выгрузка справок и отчетов выполняется ответственными лицами вручную, более того, высока вероятность ошибки, когда на проверку может отправиться не тот файл. Для того, чтобы сократить объём ручной работы, повысить прозрачность проверки, обеспечить принцип «одного окна», при котором студент однократно сдаёт ВКР для проведения всех необходимых проверок, целесообразно создать приложение, позволяющее связать ОИС университета и систему «Антиплагиат.ВУЗ», обеспечивающее интероперабельность ИОС.

Целью настоящего исследования является обеспечение интероперабельности системы электронного обучения (на примере Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова (МГТУ им. Г.И. Носова) при взаимодействии с системой «Антиплагиат».

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

Вопросы обеспечения интероперабельности различных систем рассматривались в работах зарубежных авторов K. Blind, G. Booch, Corey D. Schou, K. Jakobs, A. Tolk

а также российских ученых В.К. Батоврина, А.В. Бойченко, М.Ю. Брауде-Золотарева, Ю.В. Гуляева, Е.Е. Журавлева, А.С. Королева, В.В. Липаева, А.Я. Олейникова, А.П. Столбова и др.

Большой вклад в развитие стандартов, которые используются в электронном обучении, внесли следующие российские ученые: В.К. Батоврин, А.И. Башмаков, С.Г. Григорьев, А.Д. Иванников, Г.А. Краснова, В.И. Круглов, Д.В. Куракин, Б.М. Позднеев, Ю.Б. Рубин, В.А. Старых, М.В. Сутягин, А.Н. Тихонов и др.

Методологическую основу исследования составляют следующие подходы, методы и технологии: единый системный подход к проблеме стандартизации и обеспечения интероперабельности в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012[4], Рекомендации ГОСТ Р 50.1.041-2002 «Информационные технологии. Руководство по проектированию профилей среды открытой системы организации пользователя», разработанные ИРЭ РАН и МГТУ МИРЭА, методы функциональной стандартизации, технология открытых систем, методы моделирования процессов и систем, а также проблемно-ориентированная модель интероперабельности для системы электронного обучения вуза, предложенная К.А. Рубаном [5–7].

Основные этапы обеспечения интероперабельности ИОС, выделенные в соответствии с обобщенным подходом к обеспечению интероперабельности для систем широкого класса, представлены на рис. 1. Модель использования облачных технологий в образовании представлена на рис. 2 [8]. Создание, хранение и использование образовательных ресурсов (контента), а также управление персональной карточкой обучаемого выносятся в облако [6, 9], что позволит решить проблемы, связанные с дублированием контента и обеспечением его доступности.

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

Исследование проводилось на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Процесс «Проверка ВКР на объём заимствования» осуществляется следующим образом.

- Студент отправляет ВКР на почту ответственному за проверку в системе «Антиплагиат.Вуз».

- Ответственный за проверку в системе «Антиплагиат.Вуз» проверяет документ через систему «Антиплагиат.Вуз» и вносит отметку в журнал.

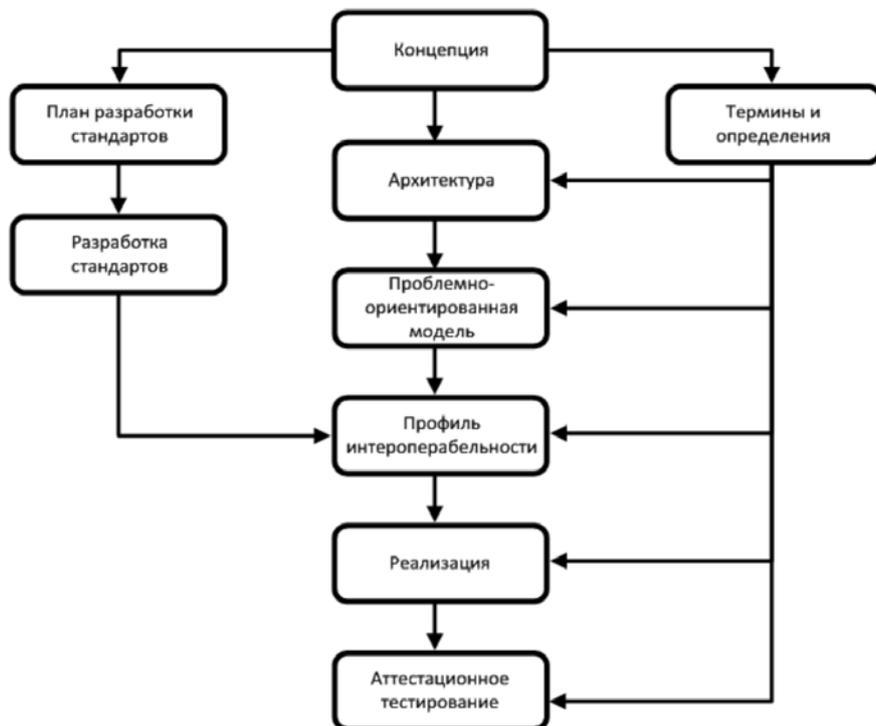


Рис. 1. Основные этапы обеспечения интероперабельности [1]

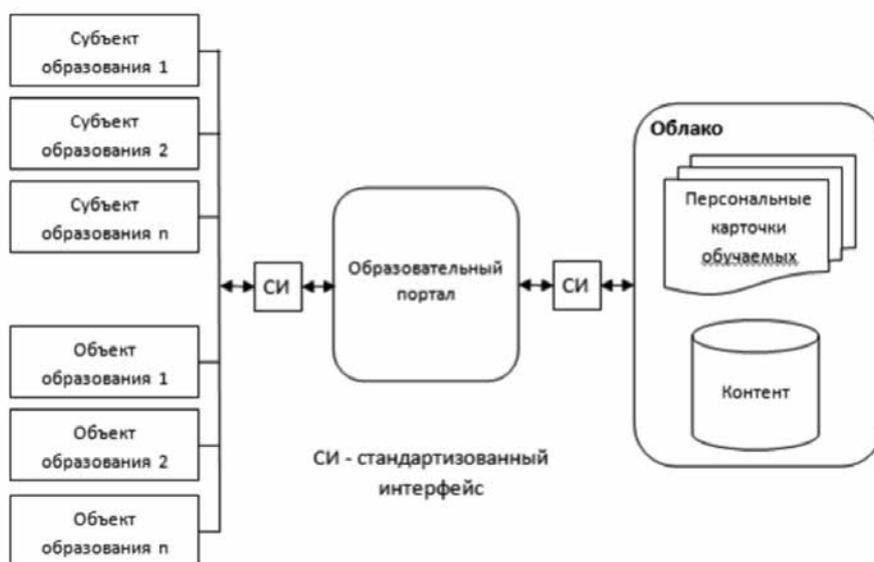


Рис. 2. Применение облачных технологий в образовательной среде [8]

- После успешной проверки ответственный за проверку в системе «Антиплагиат.Вуз» присылает студенту справку, которую студент вкладывает в ВКР. После неуспешной – подробный отчет о заимствовании.

- По результатам проверки ответственный за проверку в системе «Антиплагиат.Вуз» предоставляет зав. кафедрой отчеты, на осно-

ве которых формируется общеуниверситетский отчет о проверке на заимствования.

На рис. 3 представлена модель обеспечения интероперабельности для веб-приложения «Магту.Антиплагиат», в которой отражено взаимодействие между внутренними и внешними информационными системами университета.



Рис. 3. Модель интероперабельности для веб-приложения «Magtu.Антиплагиат»

К внешним системам относятся:

- LMS Moodle – открытая международная система управления обучением, на базе которой образовательные учреждения внедряют систему дистанционного обучения.

- «Антиплагиат.Вуз» – это система, которая позволяет проверить текст на объём заимствования по различным базам данных, включая собственные базы данных ВКР университетов. Для приложения «Magtu.Антиплагиат» потребуется доступная информация о результатах проверки, формировании справки, проценте цитирования.

К внутренним системам университета относятся:

- «Образовательный портал» МГТУ им. Г.И. Носова – это внутренний веб-ресурс университета на базе Moodle, который используется для поддержки образовательного процесса в университете; он позволяет студентам получать доступ к образовательным материалам дистанционно с любого устройства.

- ИС «Студент» – это внутренняя информационная система (ИС) университета. Основная функция – учёт студентов. На основании данных из этой системы подаются отчёты в министерство образования, назначаются стипендия, формируются внутренние документы, в том числе различные виды приказов. Для «приложения Magtu.Антиплагиат» потребуется доступная информация о контингенте из ИС «Студент», на основе которого учебно-методическое управление (УМУ) рассчитывает количество необходимых попыток.

- ИС «РУН» (Расчёт учебной нагрузки) – внутренняя информационная система университета, основной функцией которой является расчёт учебной нагрузки преподавателей МГТУ им. Носова – в ней хранятся сведения о лицах, назначенных ответственными за проверку на заимствования. «РУН» и «Образовательный портал» интероперабельны по отношению друг к другу [10].

В таблице представлено подробное описание взаимодействия систем, их связь с «Magtu.Антиплагиат».

#### Связь «Magtu.Антиплагиат» с другими информационными системами

Название системы	Пользователи	Интеграции с другими системами	Связь с «Magtu.Антиплагиат»
ИС «Студент»: «Студент СПО», «Студент ВО» – управление контингентом студентов	Деканы факультетов, дирекции институтов, УМУ, Отделения МпК, Учебная часть МпК, ОМР	«Абитуриент», «Учёт студентов, проживающих в общежитиях», «Расчёт стипендии», «Заполнение приложений к диплому»	Внутренняя ИС: доступ к актуальному контингенту студентов

<b>Окончание таблицы</b>			
Название системы	Пользователи	Интеграции с другими системами	Связь с «Магту.Антиплагиат»
«Образовательный портал» МГТУ им. Г.И. Носова	Сотрудники УМУ, преподаватели, зав. кафедрой	ИС «РУН», ИС «Студент»	Внутренняя ИС: доступ к элементам «Курс» и «Задание. Доступ к БД в том числе таблицы: «user», «cohort»
ИС «РУН»	Сотрудники УМУ, преподаватели, зав. кафедрой	«Образовательный портал» МГТУ им. Г.И. Носова	Внутренняя ИС: доступ к БД в том числе, запрос – «выпускные группы», «преподаватели по кафедре»
«Антиплагиат.Вуз»	Сотрудники УМУ, технические секретари	–	Внешняя ИС: формирование отчёта о проверке, формирование справки, подсчёт процента цитирования
Moodle	–	–	Внешняя ИС: обновления Moodle могут изменить состояние «Образовательный портал»



Рис. 4. Интерфейс проверяющего веб-приложения «Магту.Антиплагиат»

Для реализации веб-приложения использовались следующие технологии: HTML, CSS Javascript и PHP. Разработанный модуль подключается к «Образовательному portalу» МГТУ им. Носова и позволяет перегрузить стандартный объект LMS Moodle «Задание». Загрузка файла в формате pdf осуществляется стандартным образом, различие проявляется на этапе проверки: если при использовании стандартного «Задания» проверку выполняет преподаватель, то здесь ответственный за проверку только запускает передачу файла, а расширение системы выгружает из «Антиплагиат.Вуз» процент заимствования, цитирования и оригинальности – это отражается в столбце «Ответ в виде файла». Кроме этого, модифицированный объект «Задание» позволяет выгрузить справку о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований и отчёт о проверке системой «Антиплагиат.ВУЗ». Оба эти документа доступны и студенту и ответственному за проверку ВКР. Кроме этого, ответственный за проверку ВКР может выгрузить «Журнал

регистрации проверок текстов ВКР обучающихся на объем заимствований в системе «Антиплагиат.Вуз» и «Отчет о результатах проверок ВКР по кафедре». Университетский отчёт о результатах проверок доступен сотрудникам учебно-методического управления университета. Таким образом, в приложении поддерживаются четыре роли: «Студент», «Нормоконтроллер», «Заведующий кафедрой», «Учебно-методическое управление». Интерфейс разработанного приложения для роли «Нормоконтроллер» представлен на рис. 4.

### Заключение

Итак, веб-приложение «Магту.Антиплагиат» работает с информацией, полученной из различных внутренних и внешних систем; на основе собранных данных оно формирует необходимые отчёты, которые обеспечивают прозрачность бизнес-процессов университета по обеспечению качества образования. Тем самым обеспечивается интероперабельность ИОС университета на техническом, синтаксическом, семанти-

ческом и организационном уровнях. Внедрение разработанного веб-приложения «Магту.Антиплагиат» повышает скорость информационного обмена между студентами и кафедрой, а также кафедрами и учебно-методическим управлением университета. За счёт использования веб-приложения «Магту.Антиплагиат» повышается функциональность образовательного портала в части организации итоговой государственной аттестации, происходит его развитие как важного и необходимого инструмента цифровизации университета.

Опыт разработки и внедрения «Магту.Антиплагиат» может быть адаптирован для решения подобных задач в других российских образовательных учреждениях, где требуется проверка ВКР на объем заимствования.

### Список литературы

1. Башлыкова А.А., Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Широкова Т.Д., Чусов И.И. Проблема интероперабельности в электронных библиотеках // Журнал радиоэлектроники. 2017. № 12. С. 13.
2. Разинкин Е.И. Обеспечение интероперабельности в области электронной коммерции на основе программного модуля // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2013. № 1 (41). С. 96–98.
3. Хованская Т.В., Сандирова М.Н. Использование системы «Антиплагиат» в высшей школе // Проблемы современного образования. 2019. № 3. С. 51–58.
4. ГОСТ Р 55062-2012. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. Введ. 2012-11-13. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с. [Электронный ресурс]: профессиональные справочные системы «Техэксперт» / Консорциум Кодекс. URL: (<http://www.cntd.ru/assets/files/upload/050314/55062-2012.pdf>) (дата обращения: 10.01.2022).
5. Ruban K.A., Gavrilova I.V., Novikova T.B. Development of Interoperability Problem-Oriented Model for University E-Learning System (by the Case of Nosov Magnitogorsk State Technical University). 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (Far-EastCon). 2019. P. 1–5.
6. Макаренко С.И., Олейников А.Я., Черницкая Т.Е. Модели интероперабельности информационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 215–245.
7. Рубан К.А. Методика идентификации стандартов для профиля интероперабельности на основе механизма нечеткого логического вывода // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2016. Т. 1. С. 198–201.
8. Журавлев Е.Е., Иванов С.В., Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Разинкин Е.И., Рубан К.А. Интероперабельность в облачных вычислениях // Журнал радиоэлектроники. 2013. № 9. С. 14.
9. Рубан К.А. Обеспечение интероперабельности системы электронного обучения вуза (на примере магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова) // Информатизация образования и науки. 2013. № 3 (19). С. 177–184.
10. Новикова Т.Б., Филимошин В.Ю., Матвеев В.А. Применение стандартов в процессе «Автоматическая подписка пользователей на курсы в LMS Moodle» // Современная техника и технологии. 2016. № 11. Ч. 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://technology.snauka.ru/2016/11/11404> (дата обращения: 10.01.2022).

УДК 681.5:697.97-5

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

<sup>1</sup>Пачкин С.Г., <sup>2</sup>Котляров Р.В., <sup>2</sup>Шевцова Т.Г., <sup>1</sup>Иванов П.П., <sup>1</sup>Ли С.Р., <sup>1</sup>Преснова А.С.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,

*e-mail: sergon777@inbox.ru, ipp7@yandex.ru, li@kemsu.ru, presnova.0997@mail.ru;*

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
Кемерово, *e-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru, shevcova-t@yandex.ru*

Основной задачей, которую решает система вентиляции, является обеспечение максимально комфортного воздушного пространства в помещении. Широкое применение систем приточно-вытяжной вентиляции в производственных и жилых зданиях обусловлено развитием новых производств, нуждающихся в поддержании определенных и постоянных параметров состояния воздуха; возрастающими требованиями к условиям труда и повышению производительности; увеличением закрытых помещений для длительного пребывания больших количеств людей и пр. Ручное управление системами вентиляции нерационально, зависит от времени года, климатических условий и пр. Разработка автоматизированной системы управления вентиляцией является актуальной задачей, поскольку позволяет повысить работоспособность человека, повышает уровень безопасности объекта и пр. Объектом автоматизации является система приточно-вытяжной вентиляции. Выбраны технические средства системы автоматизации, отвечающие условиям эксплуатации объекта автоматизации. Решены задачи разработки алгоритмического и программного обеспечения системы автоматизации. Разработана блок-схема алгоритма формирования сигналов в системе автоматической защиты водяного калорифера от замерзания и выхода из строя вентилятора приточного воздуховода при загрязнении соответствующего воздушного фильтра посредством останова электродвигателя вентилятора приточного воздуховода. Выполнена программная реализация алгоритма в среде CoDeSys. Рассчитаны основные затраты на создание и эксплуатацию автоматизированной системы управления приточно-вытяжной вентиляцией, экономический эффект и срок окупаемости. Внедрение автоматизированной системы управления экономически оправдано и целесообразно.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, приточно-вытяжная вентиляция, датчик, программируемый логический контроллер, ОВЕН, алгоритм системы автоматической защиты, CoDeSys

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PLENUM EXHAUST VENTILATION

<sup>1</sup>Pachkin S.G., <sup>2</sup>Kotlyarov R.V., <sup>2</sup>Shevtsova T.G., <sup>1</sup>Ivanov P.P., <sup>1</sup>Li S.R., <sup>1</sup>Presnova A.S.

<sup>1</sup>Kemerovo State University, Kemerovo,

*e-mail: sergon777@inbox.ru, ipp7@yandex.ru, li@kemsu.ru, presnova.0997@mail.ru;*

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo,

*e-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru, shevcova-t@yandex.ru*

The main task of the ventilation system is to ensure the most comfortable air space in the room. The widespread use of supply and exhaust ventilation systems in industrial and residential buildings is due to the development of new industries that need to maintain certain and constant parameters of the air condition; increasing requirements for working conditions and increased productivity; an increase in closed spaces for a long stay of large numbers of people, etc. Manual control of ventilation systems is not rational, it depends on the season, climatic conditions, etc. The object of automation is the supply and exhaust ventilation system. The technical means of the automation system are selected that meet the operating conditions of the automation object. The problems of the development of algorithmic and software for the automation system have been solved. A block diagram of the algorithm for generating signals in the system of automatic protection of a water heater from freezing and failure of the supply air duct fan when the corresponding air filter becomes dirty by stopping the electric motor of the supply air duct fan has been developed. The software implementation of the algorithm in the CoDeSys environment has been completed. The main costs for the creation and operation of an automated control system for supply and exhaust ventilation, the economic effect and the payback period have been calculated. The introduction of an automated control system is economically justified and expedient.

**Keywords:** automated control system, plenum exhaust ventilation, sensor, programmable logic controller, OWEN, automatic protection system algorithm, CoDeSys

Автоматизация является одним из важнейших факторов эффективности функционирования любого промышленного или бытового объекта. Основная задача, которую решает система вентиляции, – обеспечение максимально комфортного воздушного пространства в помещении [1]. Широкое при-

менение систем приточно-вытяжной вентиляции в производственных [2–4] и жилых зданиях [5, 6] обусловлено следующими причинами: развитие новых производств электронной, электротехнической, машиностроительной, химической, текстильной и других отраслей промышленности, нуж-

дающихся в поддержании определенных и постоянных параметров состояния воздуха; возрастающие требования к условиям труда и повышению производительности в горячих и мокрых цехах, угольных шахтах, рудниках и пр.; оснащение предприятий промышленности, связи, конструкторских и научно-исследовательских организаций приборами, точная и безотказная работа которых возможна только при определенных температуре и относительной влажности воздуха; увеличение количества закрытых помещений для длительного пребывания больших количеств людей (театры, кинотеатры, концертные залы, стадионы, рестораны, вокзалы и т.д.). Системы вентиляции в большинстве случаев представляют собой сложные системы инженерного оборудования для обеспечения эффективного воздухообмена. Ручное управление в этом случае нерационально, так как постоянно меняются показатели воздуха в зависимости от времени года, климатических условий, изменяется количество удаляемого и поступающего воздуха.

Разработка автоматизированной системы управления вентиляцией не только промышленных объектов [7, 8], но и большинства жилых, общественно-бытовых зданий [9, 10] является актуальной задачей. Внедрение систем автоматического управления позволяет: поддерживать оптимальную температуру воздуха и прочие показатели, влияющие на жизнедеятельность и работоспособность человека; регулировать интенсивность работы вентиляторов,

расположенных в приточном и вытяжном воздуховодах; своевременно предотвращать замерзание водяного калорифера и др. Важным преимуществом внедрения системы автоматизации вентиляции можно назвать то, что автоматизация повышает уровень безопасности объекта. Например, при срабатывании пожарной сигнализации может быть предусмотрено отключение устройств, работающих на приток, что способствует сдерживанию распространения пламени и его максимально скорой локализации. Внедрение системы автоматизации позволяет исключить работу системы вентиляции в критических режимах, при высоких или низких температурах, которые способствуют выходу из строя оборудования системы вентиляции, что приводит к необходимости его замены или дорогостоящего ремонта. Внедрение системы автоматизации вентиляции объекта снижает потребление электроэнергии в среднем на 20% [11].

#### Материалы и методы исследования

Объектом автоматизации является система приточно-вытяжной вентиляции [12]. Приточно-вытяжная вентиляция одновременно позволяет обеспечить приток свежего воздуха в обслуживаемое помещение и удалить отработанный воздух из него. Рассматриваемые системы вентиляции рекомендованы к использованию в бытовых и коммерческих помещениях площадью более 100 м<sup>2</sup>. Схема приточно-вытяжной вентиляции представлена на рис. 1.

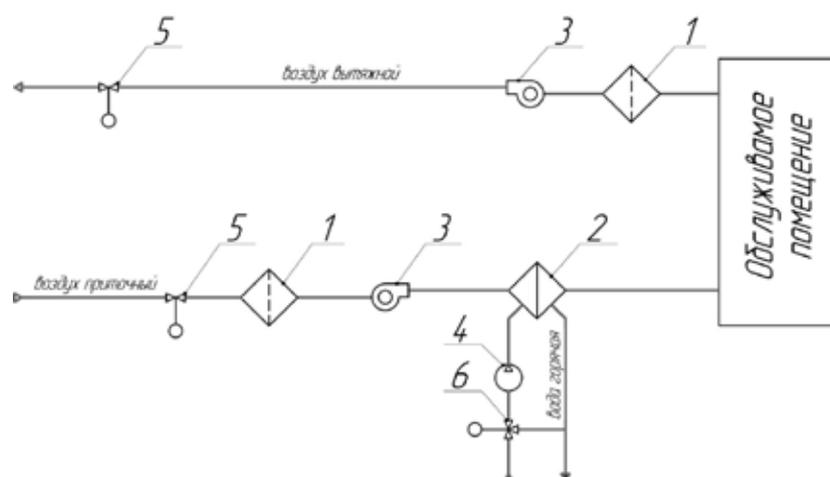


Рис. 1. Схема приточно-вытяжной вентиляции

1 – воздушные фильтры для очистки приточного и вытяжного воздуха; 2 – калорифер (или воздухонагреватель) для прогрева приточного воздуха в зимний период (теплоноситель – горячая вода); 3 – воздушные вентиляторы для подачи приточного воздуха в обслуживаемое помещение и вывода отработанного воздуха из него; 4 – водяной насос для циркуляции горячей воды через калорифер; 5 – заслонки на воздуховодах приточного и вытяжного воздуха; 6 – трехходовой клапан на трубопроводе горячей воды

Рассмотрим принцип работы системы приточно-вытяжной вентиляции. Уличный воздух с температурой от -30 до +30 °С в зависимости от сезона попадает в приточный воздуховод через открытую заслонку за счет работы воздушного вентилятора. Воздух фильтруется и подогревается в водяном калорифере до нужной температуры, которая зависит от заданной температуры в обслуживаемом помещении. Подогрев в водяном калорифере осуществляется, как правило, в зимний период, поскольку необходимо прогреть обслуживаемое помещение в среднем до температуры 25 °С. В летний период калорифер отключен, так как подогрев воздуха не нужен. Горячая вода поступает в калорифер из системы водоснабжения через трехходовой клапан и циркулирует за счет работы водяного насоса. Если калорифер перегревается, то трехходовой клапан переключается на циркуляцию воды в замкнутом контуре, т.е. приток свежей воды прекращается. Нагретый воздух поступает в обслуживаемое помещение и нагревает его до заданной температуры. С помощью воздушного вентилятора в вытяжном воздуховоде отработанный воздух через открытую заслонку удаляется в атмосферу. Таким образом, осуществляется вентиляция помещения. Отработанный воздух также фильтруется, чтобы ограничить выбросы пыли в атмосферу.

В системе должна быть предусмотрена защита калорифера от замерзания в холодный период года. Она осуществляется блокированием работы воздушного вентилятора в приточном воздуховоде и закрытием заслонки, которая ограничивает поступление уличного воздуха в систему. Блокировка производится при падении температуры на водяном калорифере ниже допустимой. В системе должна быть предусмотрена проверка засора воздушных фильтров пылью

и мусором. При засоре фильтра в приточном или вытяжном воздуховоде необходимо блокировать работу соответствующего воздушного вентилятора с целью защиты от перегрева и выхода из строя электродвигателя привода вентилятора. Факт засора воздушного фильтра определяется по перепаду давления до и после фильтра. Обычно перепад давления на воздушном фильтре не должен превышать 300 Па.

В приводе воздушных вентиляторов используются асинхронные электродвигатели Vilmann Z 100L2-4. Общие характеристики электродвигателей Vilmann Z 100L2-4: степень защиты – IP55; категория изоляции – F; максимальная температура воздуха 40 °С.

В составе системы приточно-вытяжной вентиляции используются вентиляторы WRW 70-40/35-4D. Технические характеристики вентиляторов: воздухообмен – 5787 м<sup>3</sup>/ч; габариты – 780×481×740 мм; давление – 776,7 Па; класс защиты – IP 54.

Условия эксплуатации приборов и средств автоматизации: напряжение питающей электросети 220 В, частота сети 50 Гц; отклонения напряжения от +5 до -5%; температура воздуха окружающей среды от +10 до +30 °С; влажность воздуха не более 70%; температура воды в системе не выше 80 °С.

В соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение относится к категории Д – пониженная пожароопасность (негорючие вещества и материалы в холодном состоянии).

Перечень первичных и нормирующих преобразователей с указанием основных технических и эксплуатационных характеристик приведен в табл. 1. Исполнительные устройства и их характеристики указаны в табл. 2.

**Таблица 1**  
Перечень первичных и нормирующих преобразователей, их характеристики

№	Наименование, тип, модель	Диапазон измерения	Допустимые условия эксплуатации	Выходной сигнал
1	Канальный датчик температуры воздуха QAM (Siemens)	-50..+80 °С	-40..+70 °С, 5..95 % относительной влажности	Pt100
2	Канальный датчик температуры воздуха QAM (Siemens)	-50..+50 °С	-40..+70 °С, 5..95 % относительной влажности	4..20 мА
3	Накладной датчик температуры QAD (Siemens)	-30..+130 °С	-40..+70 °С, 5..95 % относительной влажности	Pt1000
4	Преобразователь дифференциального давления DMU/A	0..500 Па	0..+50 °С, 0..98 % относительной влажности	4..20 мА

Таблица 2

Исполнительные устройства и их характеристики

№	Наименование, тип и модель	Допустимые условия эксплуатации	Входной сигнал	Сигнал состояния
1	Преобразователь частоты ATV310	Температура эксплуатации -10..+55 °С	4..20 мА	дискретный
2	Прямоугольная воздушная заслонка АЗД-190 с электроприводом BELIMO EF230A	Температура окружающей среды -30..+50 °С	дискретный	дискретный
3	Трехходовой клапан с электроприводом серии AL	Температура среды 1..110 °С	дискретный	дискретный

Для управления системой приточно-вытяжной вентиляции используется контроллер ОВЕН ПЛК73-ККККРРИИ. Дополнительно использован модуль дискретного вывода МУ110-224.16Р. Для визуализации работы системы приточно-вытяжной вентиляции использована панель оператора СП307-Б.

Таким образом, автоматизированная система управления приточно-вытяжной вентиляцией включает в себя:

- сенсорный уровень: датчики температуры, перепада давления, частотный преобразователь, электродвигатели, пусковая аппаратура, воздушные заслонки с электроприводом, трехходовой клапан с электроприводом;

- контроллерный уровень: ОВЕН ПЛК73, модуль вывода дискретных сигналов МУ110;
- диспетчерский уровень: сенсорная панель оператора СП307.

Для связи оборудования сенсорного и контроллерного уровней используются стандартные подключения средств автоматизации, в том числе интерфейс «токовая петля». Для связи оборудования контроллерного уровня (ПЛК73, МУ110) применяется цифровой интерфейс RS-485. Для связи оборудования контроллерного и диспетчерского уровней (ПЛК73 и СП307) используется цифровой интерфейс RS-232. Для организации сетевой структуры коммуникационное оборудование не требуется.

Алгоритмическое обеспечение системы автоматизации приточно-вытяжной вентиляции включает в себя алгоритмы формирования сигналов: в системе автоматического регулирования температуры воздуха в помещении; в системах автоматической сигнализации о выходе значений технологических параметров за допустимые пределы; в системах автоматической защиты оборудования системы вентиляции.

В качестве примера рассмотрен алгоритм формирования сигналов в системе автоматической защиты водяного калорифера от замерзания и выхода из строя вентилятора приточного воздуховода при загрязнении соответствующего воздушного фильтра посредством останова электродвигателя М1 вентилятора приточного воздуховода. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2, а. Окно программной реализации алгоритма системы автоматической защиты в среде CoDeSys на языке диаграмм логической (LD) представлено на рис. 2, б. В программе используются стандартные функции: блоки сравнения: GT – «Больше», LT – «Меньше»; нормально-открытые контакты; сбрасывающая обмотка. В программе приняты переменные: внешние, поступающие от средств измерения: dP – перепад давления на воздушном фильтре, T – температура воздуха вокруг калорифера; внешние, поступающие от оператора: dPmax – верхнее предельное значение перепада давления на воздушном фильтре, Tmin – нижнее предельное значение температуры вокруг калорифера; внешние, поступающие в схему управления электродвигателем: М1; внутренние для передачи сигналов между цепями программы: С1, С2.

Рассчитаны основные экономические характеристики: затраты на приобретение приборов и средств автоматизации разрабатываемой системы, капитальные вложения, условно-годовая экономия, экономический эффект и срок окупаемости. Проведенные расчеты показали, что внедрение системы автоматизации приточно-вытяжной вентиляции оправдано и принесет годовой экономический эффект в размере 120 тыс. руб. При этом срок окупаемости капитальных вложений на автоматизацию системы вентиляции составит 1,15 года, что отвечает нормативным требованиям.

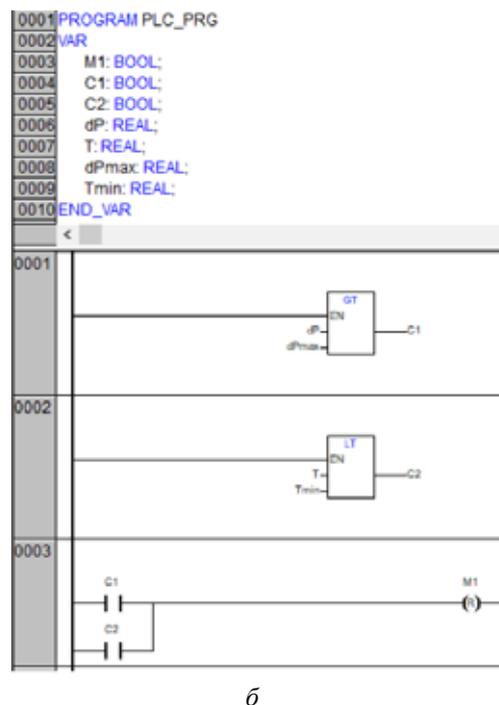


Рис. 2. Блок-схема алгоритма системы автоматической защиты (а) и его программная реализация в среде CoDeSys (б)

### Заключение

Объектом автоматизации является система приточно-вытяжной вентиляции. Выбраны технические средства системы автоматизации, отвечающие условиям эксплуатации объекта автоматизации. Решены задачи разработки алгоритмического и программного обеспечения системы автоматизации. Разработана блок-схема алгоритма формирования сигналов в системе автоматической защиты водяного калорифера от замерзания и выхода из строя вентилятора приточного воздуховода при загрязнении соответствующего воздушного фильтра посредством останова электродвигателя вентилятора приточного воздуховода. Выполнена программная реализация алгоритма в среде CoDeSys. Рассчитаны основные затраты на создание и эксплуатацию автоматизированной системы управления приточно-вытяжной вентиляцией, экономический эффект и срок окупаемости. Внедрение автоматизированной системы управления экономически оправдано и целесообразно.

### Список литературы

1. Тепляков А.А. Автоматизация и диспетчеризация систем вентиляции // Восточно-Европейский научный журнал. 2018. № 5–1 (33). С. 55–59.
2. Власенко О.М., Сорокин А.С., Абдулаев С.Х. Обогрев вентиляцией при автоматизации производственных зданий легкой промышленности // Дизайн и технологии. 2015. № 50 (92). С. 70–77.
3. Косоруков Д. Автоматизация вентиляции для деревообрабатывающего производства // Конструкторское бюро. 2016. № 12. С. 15–17.
4. Алиев М.Г., Пачкин С.Г., Иванов П.П., Котляров Р.В., Шевцова Т.Г. Новый взгляд на организацию автоматического управления микроклиматом при хранении семенного картофеля // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 11–2. С. 237–242.
5. Косоруков Д.В. Автоматизация вентиляции торгового центра: быстро, просто, надёжно и эффективно // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2016. № 2 (170). С. 60–61.
6. Капинос Н.Ю., Федоров Я.В., Широков Л.А. Автоматизация приточно-вытяжной вентиляции торгового центра // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 172–174.
7. Фесенко Э.О. Автоматизация промышленных систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Вестник современных исследований. 2018. № 2.2 (17). С. 58–59.
8. Шевляков Д.В., Воронов А.Э. Автоматизация технологического процесса вентиляции производственных помещений // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. 2017. № 1–2 (3). С. 92–94.
9. Ливчак В. Установление уровней удельного годового расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение многоквартирных домов и обеспечивающих их систем автоматизации теплоснабжения // Городское управление. 2012. № 9 (194). С. 70–79.
10. Летинский А.С. Разработка контуров управления для объекта автоматизации системы управления технологическим процессом вентиляции и отопления насосной // Студенческий вестник. 2019. № 33–2 (83). С. 61–63.
11. Петров Н.Н. Устойчивость и автоматизация управлением вентиляции шахт как способ энергосбережения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 1. № 2. С. 154–161.
12. Пучков Л.А., Каледина Н.О., Кобылкин С.С., Кобылкин А.С., Смирнов О.В. Локальное формирование параметров вентиляции, подлежащих контролю при автоматизации проветривания // Уголь. 2015. № 11 (1076). С. 58–61. DOI: 10.18796/0041-5790-2015-11-58-61.

УДК 621.3:62-83

## К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**Сапсалева А.В., Брованов С.В., Харитонов А.С.**

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск,  
e-mail: av@sapsalev.ru, brovanov@corp.nstu.ru, andrekh@yandex.ru*

В статье отражены вопросы, обуславливающие необходимость разработки энергосберегающих преобразователей энергии и их внедрения в промышленные производства и технологические процессы. Отмечены проблемы, которые обуславливают необходимость перехода к энергосберегающим технологиям. Отмечается, что электродвигатели, как первичные потребители энергии в структуре электропривода, являются в данной системе основными «виновниками» выделения в атмосферу углекислого и других газов, приводящих к парниковому эффекту. Поэтому вопросы энергетического КПД электродвигателей и приводов приобретают все большее значение. Показана важность энергетического КПД электродвигателей и отмечены возможные пути и способы его увеличения. Для электрических приводов, применяемых в устройствах возобновляемой или регенеративной энергии, характерны крайне низкие частоты вращения. Поэтому для снижения удельных массогабаритных показателей и увеличения КПД электрических машин перспективно применение бесконтактных преобразователей механической энергии на основе магнитных редукторов и вариаторов. В этих устройствах, в силу бесконтактной передачи энергии за счет магнитной связи механических валов двигателя и нагрузки, устраняются характерные недостатки для зубчатых аналогов. В системах электропривода при дальнейшем росте цен на нефть, газ и другие энергоносители, высокотехнологичные ферромагнитные и электропроводящие конструкционные материалы двигателя будут играть все большую роль. Внедрение высокотехнологичных электрических машин будет способствовать созданию мехатронных систем с малыми внутренними потерями, что положительно скажется на решении вопросов снижения энергопотребления.

**Ключевые слова:** электрические машины, электропривод, энергосбережение, массогабаритные показатели, мощность, КПД

## TO THE QUESTION OF ENERGY SAVING IN ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

**Sapsalev A.V., Brovanov S.V., Kharitonov A.S.**

*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk,  
e-mail: av@sapsalev.ru, brovanov@corp.nstu.ru, andrekh@yandex.ru*

**Abstract:** The article reflects the issues that necessitate the development of energy-saving energy converters and their implementation in industrial production and technological processes. The problems that necessitate the transition to energy-saving technologies are noted. It is noted that electric motors, as primary consumers of energy in the structure of an electric drive, are the main “culprits” in this system for the release of carbon dioxide and other gases into the atmosphere, leading to the greenhouse effect. Therefore, the issues of energy efficiency of electric motors and drives are becoming increasingly important. The importance of the energy efficiency of electric motors is shown and possible ways and means of its increase are noted. Electric drives used in renewable or regenerative energy devices are characterized by extremely low rotational speeds. Therefore, to reduce the specific weight and dimensions and increase the efficiency of electrical machines, it is promising to use contactless converters of mechanical energy based on magnetic gearboxes and variators. In these devices, due to the contactless transmission of energy due to the magnetic connection of the mechanical shafts of the engine and the load, the characteristic disadvantages of their gear counterparts are eliminated. In electric drive systems, with the further rise in prices for oil, gas and other energy carriers, high-tech ferromagnetic and electrically conductive structural materials of the engine will play an increasing role. The introduction of high-tech electrical machines will contribute to the creation of mechatronic systems with low internal losses, which will have a positive effect on solving issues of reducing energy consumption.

**Keywords:** electrical machines, electric drive, energy saving, weight and dimensions, power, efficiency

Неуклонный рост цен на энергоносители ставит задачу энергосбережения одной из приоритетных перед экономиками практически всех стран. Последний энергетический кризис в странах Европы и Азии показывает, что инвестиции в энергетику должны носить серьезный и долгосрочный характер. Истощение природных запасов энергоресурсов, включая газ, нефть и уголь, приводит к росту цен на топливо. А зависимость генерации и потребления

энергии от климатических условий приводят к нестабильности поставок природных энергоносителей. Нестабильность поставок и предполагаемые ограничения в будущем требуют пересмотра отношений как к потреблению энергии, так и к вопросам энергосбережения в процессе потребления энергии. Во многих европейских странах разработаны и приняты меры стимулирующего характера предприятий за разработку и внедрение энергосберегающих на-

правлений (технических, экономических, нормативных, информационных и др.), как при производстве, так и при потреблении электрической энергии. Периодически происходящие на территории России техногенные экологические катастрофы и аварии на предприятиях, добывающих энергоресурсы, говорят о недостаточном внимании к вопросам экологии и техники безопасности как со стороны бизнеса, так и со стороны правительства России. Поэтому настоятельно требуются совместные усилия бизнеса и государственных структур для создания экономических условий, позволяющих приступить к масштабной политике энергосбережения во всех сферах деятельности, направленных на жизнеобеспечение общества. Вопросы энергосбережения, обусловленные ростом стоимости и нестабильностью производства электроэнергии, непосредственно относятся и к мехатронным системам, как одному из основных типов ее потребителей.

#### *Проблемы*

Можно отметить две основные проблемы, которые обуславливают необходимость перехода к энергосберегающим преобразователям энергии и энергосберегающим технологиям:

1. Ограниченность материальных ресурсов, традиционно используемых в процессе производства электрической энергии, таких как газ, уголь, нефть и водяной (гидроэлектростанции) напор.

2. Второй аспект связан с взаимодействием человека и природы. Деятельность человеческого сообщества весьма негативно влияет на состояние среды его обитания. В первую очередь негативные факторы вносит неконтролируемая техногенная деятельность предприятий, направленная на получение максимальной прибыли любой ценой. Взаимодействие человеческого общества и природы связано [1–3]: с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу; со сбросом загрязненных вод в реки и водоемы; с загрязнением почвы твердыми отходами; с энергетическими загрязнениями биосферы. Большую проблему с точки зрения экологии играют вопросы, связанные с утилизацией бытовых и промышленных отходов.

*Некоторые направления решения указанных проблем*

Энергосберегающие мероприятия, которые приводят к сокращению вредных выбросов, зависят от эффективности мер в трех направлениях: производство, передача и потребление энергии. Известно, что к числу основных потребителей электрической энергии относятся электрические машины.

Электропривод, применяемый в технологических процессах, потребляет до 63 % всей электроэнергии, используемой промышленностью США [4], и не менее 60 % в России [5] и других промышленно развитых странах. В [6] отмечается, что суммарный КПД производства, передачи и распределения электроэнергии в среднем равен 33 %, следовательно, каждый киловатт-час, сэкономленный в структуре мехатронных систем, экономит до трех киловатт-часов первичной энергии. Отсюда нетрудно сделать вывод, что электродвигатели, как первичные потребители энергии в структуре электропривода, являются в данной системе основными «виновниками» **ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ОБРАЗОВАНИЯ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА** [1].

В условиях непрерывного роста стоимости электроэнергии и стремления к сокращению вредных выбросов в атмосферу, диктуемого Киотским протоколом, все большее значение приобретают вопросы энергетического КПД электродвигателей и приводов. Рынок требует эксплуатационной гибкости. Поскольку ветровые и солнечные установки по своей природе не способны на стабильное непрерывное генерирование электрической энергии, в их составе требуется применение высокоэффективных регулируемых электрических двигателей. Поэтому двигатели в сочетании с регулируемым электроприводом являются ключевыми элементами современной энергетики. В связи с этим, в условиях неопределенности цен и доступности электроэнергии, возрастает конкурентная борьба компаний, являющихся поставщиками промышленных электродвигателей.

В области электропривода можно выделить три основных направления энергосберегающих мероприятий: 1 – разработка энергосберегающих электромеханических преобразователей – двигателей; 2 – вопросы, связанные с оптимальным использованием электрических машин в структуре электропривода; 3 – вопросы, связанные с аккумуляцией энергии в подвижных частях привода с целью ее рекуперации или повторного использования в следующих циклах работы.

Третье направление может оказаться наиболее эффективным в электроприводах транспортного назначения при относительно больших массах перемещаемой нагрузки по сравнению с силами статического сопротивления движению. Рекуперация электрической энергии легко решается при использовании машин постоянного тока и дает достаточно большой эффект в мощных приводах с преобладающей инерционной нагрузкой.

*Способы повышения энергетического КПД электромеханических преобразователей*

В связи с указанными ранее проблемами разработка высокоэффективных двигателей с повышенным КПД вырастает в одну из самых актуальных задач. Повысить энергоэффективность электрических двигателей на 5 и более процентов можно за счет следующих факторов [4, 6]:

1. Уменьшение в структуре мехатронных систем электромагнитных нагрузок двигателя.

Вектор решения данного вопроса имеет два направления. Первый связан с оптимизацией потребляемой нагрузки, второй достигается за счет оптимизации активных материалов двигателя путем повышения диаметра обмоточных проводов и сечения магнитопровода. Это позволяет уменьшить потери, как в стали, так и в меди двигателя, а следовательно, температуру нагрева двигателя.

2. Повышение площади сечения магнитопровода не самый оптимальный вариант, поэтому здесь следует рассмотреть варианты использования для материала сердечника более тонкой и высококачественной электротехнической стали.

3. Эффективное, но более дорогое решение повышения энергоэффективности электрических двигателей, достигается применением медных литых обмоток короткозамкнутых роторов, вместо алюминевых.

4. За счет конструктивных решений, позволяющих уменьшить воздушный зазор между ротором и статором.

5. Уменьшение потерь на создание основного магнитного потока, что в синхронных двигателях и двигателях постоянного тока реализуется использованием магнитно-электрического возбуждения.

6. Использование в конструкциях электрических машин термостабильных высокоэнергетических магнитов, способствующих реализации более высоких удельных характеристик.

7. Сокращение вентиляционных потерь.

Естественно, что одновременное выполнение всех этих условий приводит к увеличению стоимости и габаритных размеров электрической машины. Но стремление увеличить КПД двигателя в большинстве случаев оправдывается.

Когда двигатель работает ежедневно практически в непрерывном режиме более 8 часов в день, даже незначительное повышение его КПД может позволить ощутимо сократить потребление электроэнергии.

Если нагрузка двигателя, работающего в длительном режиме, менее 80% его номинальной мощности, то однозначно тре-

буется либо замена двигателя, либо переход к регулируемому электроприводу. При этом следует учитывать, что при дальнейшем росте цен на энергоносители, сталь и электропроводящие материалы двигателя будут играть все большую роль.

Бурный прогресс в области силовой электроники привел к существенному снижению цен на полупроводниковые преобразователи, стоимость которых практически сравнялась со стоимостью электромеханических преобразователей. Очевидны тенденции к дальнейшему сокращению стоимости полупроводниковых преобразователей. Поэтому при проектировании мехатронных систем воспроизведения различных движений, ограничения по габаритам, массе и уровню электрических потерь в качестве приоритетной выдвигают задачу выбора исполнительного двигателя:

1. Применение специальных машин для систем частотного регулирования снижает на ступень стоимость привода. Для работы при пониженных частотах следует стремиться к снижению активного сопротивления ротора. На повышенных частотах требуется минимизация индуктивных сопротивлений как ротора, так и статора [6].

2. На сегодняшний день известно, что в диапазоне частот вращения входного вала редуктора от 2000 до 6000 об/мин, наибольший удельный момент и самые высокие энергетические показатели можно получить, используя синхронные двигатели с постоянными магнитами на роторе [7].

3. Для нагрузки мощностью от 0,4 до 1,5 мегаватт при частотном регулировании достаточно часто используются высоковольтные двигатели. Западные фирмы в большинстве случаев перекрывают данный диапазон мощностей за счет низковольтных двигателей. Замена высоковольтных приводов на привод с пониженным напряжением позволяет в 1,5–2 раза снизить их стоимость [6].

4. Конструкция ротора специальных двигателей должна соответствовать конкретному виду регулирования [6].

Для электрических машин, применяемых в электрических приводах возобновляемой или регенеративной энергии (зеленая энергия), характерны крайне низкие частоты вращения. В то же время, когда нагрузка требует низких частот вращения, соединение вала электрической машины с исполнительным механизмом без использования редуктора становится практически невозможным. Применение в этих случаях прямого привода не только экономически невыгодно, но и приводит к существенному возрастанию массогабаритных харак-

теристик и снижению КПД электрических машин. Для улучшения этих характеристик двигателей требуется увеличение их скорости вращения, что ведёт к необходимости использования редукторов в качестве согласующих устройств между двигателем и нагрузкой.

Классические трансмиссии (механические редукторы) практически исчерпали свои возможности и не в полной мере отвечают все возрастающим требованиям к мехатронным системам преобразования и распределения энергии. Для механических передач с зубчатым зацеплением характерны такие известные недостатки, как вносимые в систему электропривода нелинейности, люфты, вибрации и акустические шумы. При значительных величинах передаваемого момента возникают дополнительные проблемы, связанные со сложностью обслуживания, необходимостью постоянного контроля температуры и наличия масла. Ограниченные возможности по дальнейшему росту плотности передаваемого момента снижают перспективы их применения в современных мехатронных системах генерации, преобразования, передачи и распределения энергии.

Отмеченные недостатки зубчатых передач позволяют в значительной мере устранить магнитные передачи: магнитные муфты, редукторы и вариаторы [8, 9]. В этих устройствах момент передаётся посредством силового взаимодействия магнитных полей. Это делает возможным бесконтактное преобразование скорости и момента, благодаря чему магнитные передачи сокращают характерные для их зубчатых аналогов недостатки [8, 9].

Высокие удельные характеристики магнитных передач на основе высокоэнергетических магнитов с большой коэрцитивной силой позволяют им конкурировать по массогабаритным показателям с механическими редукторами. Далеко не последним аргументом в пользу концепции магнитных передач является практическая исчерпанность свойств механических передач по повышению качественных и количественных характеристик мехатронных систем. В то же время копилка электромагнитных систем непрерывно пополняется передовыми и в том числе прорывными технологиями. Это высокоэнергетические постоянные магниты, «аморфное» железо, силовая высоковольтная электроника, микропроцессорное управление, высокотемпературные силовые полупроводниковые устройства, позволяющие упростить конструкцию электронных преобразователей за счет отказа от интенсивного охлаждения.

#### *Почему важен энергетический КПД электрических машин*

Для ответа на этот вопрос следует сравнить первоначальные затраты на приобретение электрической машины и эксплуатационные затраты, связанные с техническим обслуживанием и стоимостью потребляемой электроэнергии.

Рост стоимости электроэнергии выдвигает в качестве приоритетной проблему энергетического КПД электродвигателей и приводов. Для большинства электрических машин их стоимость составляет менее двух процентов от всех затрат, связанных с эксплуатацией двигателя за весь срок его службы.

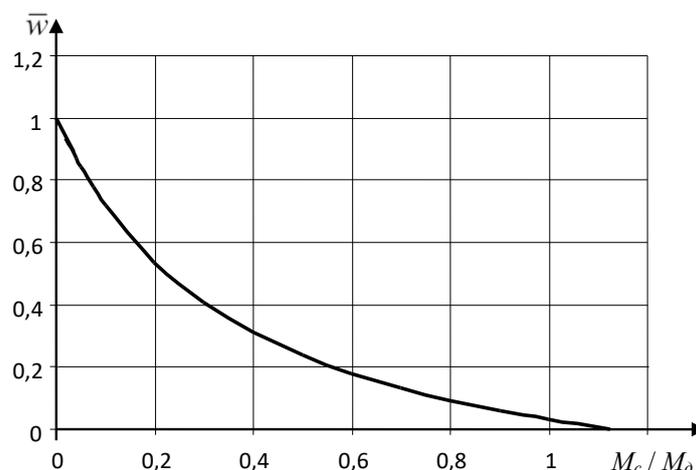
Согласно отчету министерства экономики США системы электропривода потребляют 679 млрд киловатт-часов электроэнергии. В отчете отмечается, что за счет повышения КПД и улучшения использования электрических машин можно снизить потребление электроэнергии промышленными электродвигателями на 18%.

Поэтому не удивительно, что еще в 1992 г. в США Закон о политике в области энергетики (ЕРАСТ) установил стандарты на минимальный уровень КПД промышленных электродвигателей, которые начали выпускаться после октября 1997 г. Аналогичные стандарты приняли Канада и Германия.

Другим не менее важным фактором является то обстоятельство, что автомобили, оснащенные бензиновыми и дизельными двигателями, являются едва ли не главным прямым источником выброса вредных веществ в атмосферу. В связи с этим возрастают инвестиции в разработки электромобилей. Для снижения зависимости от нефтепродуктов и улучшения экологической обстановки, особенно в крупных городах, правительства многих стран заявили, что откажутся от продаж автомобилей, использующих в качестве топлива нефтепродукты. Тенденции, направленные на развитие электротранспорта, в том числе и электромобилей, потребуют дополнительных усилий и инвестиций в производство тяговых электродвигателей с улучшенными энергетическими показателями.

#### *Некоторые вопросы энергосбережения в приводах с преобладающей инерционной нагрузкой*

Городской и железнодорожный электрический транспорт занимают одно из первых мест по объему потребления электрической энергии. Поэтому в этой сфере требуется серьезный подход к энергосберегающим мероприятиям, направленным как на совершенствование тяговых двигателей, так и на разработку оптимальных законов управления, обеспечивающих сокращение потребления электрической энергии.



Относительное значение некомпенсированной энергии

Нагрузка транспортных электроприводов носит, как правило, инерционный характер и основное потребление электрической энергии связано с переходными процессами разгона и торможения. Энергия, накопленная в подвижных массах привода, может быть возвращена в сеть путем рекуперации.

В [5] приведена оценка предельного значения энергии, которая накапливается в подвижных массах привода в цикле движения и может быть рекуперирована в сеть. На рисунке приведен график относительного значения энергии, накапливаемой в подвижных массах:

$$\bar{w} = f(M_c / M_o).$$

Здесь  $M_c$  и  $M_o$  – соответственно статический и динамический моменты сопротивления движению.

При отношениях  $M_c / M_o > 0,55$  рекуперация энергии фактически не дает положительных результатов, так как даже в теоретически идеализированном варианте доля возвращаемой энергии не будет превышать 20%. Потери в преобразователях, усложнение и удорожание конструкции привода практически сведут возможный выигрыш к нулю.

В некоторых случаях эффективное решение вопросов энергосбережения возможно с использованием промежуточных накопителей для аккумуляции энергии. Возможны варианты механических, магнитоэлектрических и электроаккумулирующих накопителей энергии. Свойства и принцип действия электроаккумулирующих накопителей во многом соответствуют характеристикам приводов с рекуперацией электрической энергии. Магнитоэлектрические

накопители энергии требуют достаточно больших материальных затрат и наиболее перспективны в маломощных приводах различных автоматических устройств.

Применение маховиковых накопителей наиболее выгодно в союзе с двигателями транспортных пассажирских и грузовых машин, а также с электростанциями. Не менее перспективным для некоторых видов транспорта может оказаться и применение гравитационных накопителей, реализуемых за счет соответствующего формирования трассы перемещения.

### Выводы

Сложившаяся тревожная экологическая обстановка и неуклонный рост цен на энергоносители настоятельно требуют:

1. Нового подхода к принципам выбора электродвигателей для электроприводов промышленных и технологических установок.
2. Нового подхода к конструктивному исполнению и энергетическим характеристикам исполнительных электромеханических преобразователей.
3. Все более остро встает вопрос замены устаревшего парка электрических машин большинства действующих в России промышленных, технологических и сельскохозяйственных предприятий.
4. Использования рекуперации и накопителей энергии, что позволяет существенно повысить эффективность электроприводов с преобладающей инерционной нагрузкой и уменьшить материальные и энергетические затраты для воспроизведения требуемых движений при сохранении производительности привода.

5. Для источников возобновляемой или регенеративной энергии возникает вопрос разработки альтернативных устройств передачи механической энергии.

#### Список литературы

1. Коняев А.Ю. Электротехнологические методы и установки природоохранных технологий: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. 101 с.

2. Ларионов Н.М., Рябышенков А.С. Промышленная экология: учебник для студентов вузов. М.: Юрайт, 2015. 495 с.

3. Тетельман В.В., Язев В.А. Основы экологического мониторинга: учебное пособие. Долгопрудный: Интеллект, 2013. 256 с.

4. Веб-сайт АBB. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.baldor.com](http://www.baldor.com). (дата обращения: 10.11.2021).

5. Сапсалева А.В., Касаткина Е.Г. Возможности использования механических накопителей энергии в приводах транспортных средств // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы

9 международной научно-практической конференции (Сочи, 1–10 окт. 2014 г.). М.: НИУ ВШЭ, 2014. С. 486–487.

6. Беспалов В.Я. Высокоэффективные асинхронные двигатели // Энергетика. Информационные направления в энергетике. САКС-технологии в энергетике: материалы I Всероссийской научно-технической интернет-конференции. Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2007. С. 17–27.

7. Калужский Д.Л., Стрижков А.М., Галимзянов А.Т. Сравнительный анализ высокомоментных двигателей // Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий АПЭЭТ-2011. Сборник научных трудов. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО УрФУ им. первого президента России Б.Н. Ельцина, 2011. С. 183–188.

8. Sapsalev A.V., Kharitonov S.A., Aipov R.S., Zharkov M.A., Kuratov K.A. and Savin N.P. "Prospects for the Use of a Magnetic Gearbox in the Electrical Equipment of Aircraft," International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), Ufa, Russia, 2019. P. 21–25.

9. Молоканов О.Н. Разработка методов расчета и анализ перспективных конструкций бесконтактных магнитных передач: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2017. 153 с.

УДК 62-192

## СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

<sup>1</sup>Толымбекова Л.Б., <sup>1</sup>Жунусов А.К., <sup>2</sup>Морсков Ю.А., <sup>2</sup>Саутов А.Е.

<sup>1</sup>НАО «Торайгыров университет», Павлодар, e-mail: lyazat-t@mail.ru;

<sup>2</sup>АО «Казахстанский электролизный завод», Павлодар, e-mail: morskov993@mail.ru

В статье приведены результаты проведенных исследований по корректировке технологических параметров на электролизерах с предварительно обожженными анодами, проведенных в условиях серии электролиза АО «Казахстанский электролизный завод» (Казахстан). Исследованы процессы электролиза алюминия при повышении силы тока на электролизерах и поддержании оптимальных технологических параметров работы электролизеров с целью увеличения их производительности. В результате исследования опытным путем получено, что по сравнению с проектной силой тока (320 кА) повышение силы тока приводит к увеличению производительности электролизера. Без изменения конструктивных параметров, за счет подбора технологических параметров (МПП, при необходимости уровень металла), расчетная предельная оптимальная сила тока составит 340–342 кА при МПП 4,5 см. Также перспективным мероприятием для дальнейшего повышения силы тока является применение «щелевых анодов». Перспективным для увеличения силы тока может считаться внедрение подовых блоков с содержанием графита 70–80%, способствующих снижению тепловой нагрузки электролизера. Проведен анализ данных при повышении силы тока, при помощи математической модели произведен расчет оптимальных технологических параметров, а также корректировка в соответствии с эксплуатируемой силой тока, при которых достигается оптимальная производительность электролизеров.

**Ключевые слова:** электролизер, производительность, сила тока, щелевые аноды, магнетогидродинамическая (МГД) нестабильность, технологические параметры, обожженные аноды (ОА), межполюсное расстояние (МПП)

## WAYS TO INCREASE THE PERFORMANCE OF THE ELECTROLYZER BY ADJUSTING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS

<sup>1</sup>Tolymbekova L.B., <sup>1</sup>Zhunusov A.K., <sup>2</sup>Morskov Yu.A., <sup>2</sup>Sautov A.E.

<sup>1</sup>NOS Toraygyrov University, Pavlodar, e-mail: lyazat-t@mail.ru;

<sup>2</sup>SC Kazakhstan Electrolysis Plant, Pavlodar, e-mail: morskov993@mail.ru

The article presents the results of studies on the adjustment of technological parameters on electrolyzers with pre-fired anodes, conducted under the conditions of the electrolysis series of JSC “Kazakhstan Electrolysis Plant” (Kazakhstan). The processes of electrolysis of aluminum with an increase in the current strength on the electrolyzers and maintenance of optimal technological parameters of the electrolyzers in order to increase their productivity are investigated. As a result of the study, it was experimentally obtained that, in comparison with the design current strength (320 kA), an increase in current strength leads to an increase in the performance of the electrolyzer. Without changing the design parameters, due to the selection of technological parameters (ID, if necessary, metal level), the estimated maximum optimal current strength will be 340-342 kA at ID 4.5 cm. Also, a promising measure for further increasing the current strength is the use of “slot anodes”. The introduction of hearth blocks with a graphite content of 70-80%, which contribute to reducing the thermal load of the electrolyzer, can be considered promising for increasing the current strength. The data analysis was carried out with an increase in the current strength, with the help of a mathematical model, optimal technological parameters were calculated, as well as an adjustment in accordance with the operating current strength, at which optimal performance of electrolyzers is achieved.

**Keywords:** electrolyzer, performance, current strength, slit anodes, magnetohydrodynamic (MHD) instability, technological parameters, annealed anodes (AA), inter-polar distance (ID)

Электролизер для получения алюминия – сложный электрометаллургический агрегат. Конструктивное и технологическое состояние электролизера оценивается параметрами – геометрическими (длина, ширина, площадь, объем и т.д.), электрическими (напряжение, сила тока, мощность, электрическое сопротивление), магнитными (напряженность и индукция магнитного поля, электромагнитная сила и т.д.). Тепловые характеристики определяются тепловыми и энергетическими параметрами – температурой, теплопроводностью, теплоемкостью и пр. Значение каждого из этих параметров

позволяет оценить те или иные особенности работы электролизера.

Электролизер – дорогостоящее оборудование, поэтому повышение производительности и продление срока его службы позволяет уменьшить затраты на производство, увеличить выпуск металла и производительность труда.

Производительность электролизера зависит от множества параметров. Современное управление тепловым балансом алюминиевых электролизеров должно включать в себя как алгоритмы управления заданным напряжением (регулирования

МПП), так и алгоритмы стабилизации технологических параметров в заданных границах. К управлению тепловым балансом на электролизере в порядке убывания степени влияния можно отнести напряжение электролизера, добавку фтористых солей, поддержание уровня электролита, величину и качество укрытия пространства бортодод и обожженных анодов, уровень металла. Факторами, влияющими на тепловой баланс, являются поддерживаемая концентрация глинозема в расплаве, падение напряжения в анодном узле, падение напряжения на катоде [1].

### Материалы и методы исследования

Рассмотрим влияние технологических параметров на работу электролизера на примере повышения силы тока на электролизерах по сравнению с проектной, с целью достижения дополнительной производительности. Это объясняется экономической выгодой за счет повышения производительности и срока службы агрегата. Так, например, повышение силы тока на 1 кА соответствует увеличению производительности одного электролизера на 7,5 кг в сутки при выходе по току 93,2% [2].

Сила тока на действующих конструкциях электролизеров устанавливается на основании расчетов, с последующей ее корректировкой с учетом эксплуатации. Для обеспечения устойчивой работы, при определенной силе тока и условиях эксплуатации, выбираются межполюсное расстояние (МПП), уровни металла и электролита, каждый из которых должен удовлетворять определенным требованиям [3, 4].

Интенсификация электролиза на действующих электролизерах предполагает однозначную необходимость изменения технологических параметров, для сохранения

и увеличения технико-экономических показателей (ТЭП) электролиза [5].

На Казахском электролизном заводе установлены и эксплуатируются электролизеры двух типов GAMI-320 и NEUI-330. Основными отличиями между электролизерами являются конструкции ошиновки и катодного кожуха. Вследствие лучшей конфигурации магнитного поля от ошиновки и кожуха с улучшенной аэрацией, электролизеры NEUI-330 имеют большую проектную силу тока и, следовательно, больше предрасположены к интенсификации электролиза на всех ваннах завода. Эксплуатируемые электролизеры имеют одинаковые геометрические размеры, аналогичную анодную плотность тока. Электролизеры снабжены пятиточечной системой автоматической подачи глинозема, для электролизеров GAMI-320 установлена одна точка питания фтористыми солями, для электролизеров NEUI-330 установлены две точки питания фтористыми солями. Оба типа электролизеров снабжены двухсоставным механизмом подъема анодов на 40 анодов.

При увеличении силы тока изменяется технологический режим, параметры и основные технико-экономические показатели электролиза.

Под оптимальной силой тока при ее увеличении можно понимать несколько ее значений:

- экономическую, при которой будет получена минимальная себестоимость электролитического алюминия, которая в основном зависит от цены на продаваемый алюминий, стоимости потребляемой электроэнергии, цен и качества сырья;
- технологическую, при которой достигаются наивысшие основные технико-экономические показатели – выход по току и удельный расход электроэнергии.

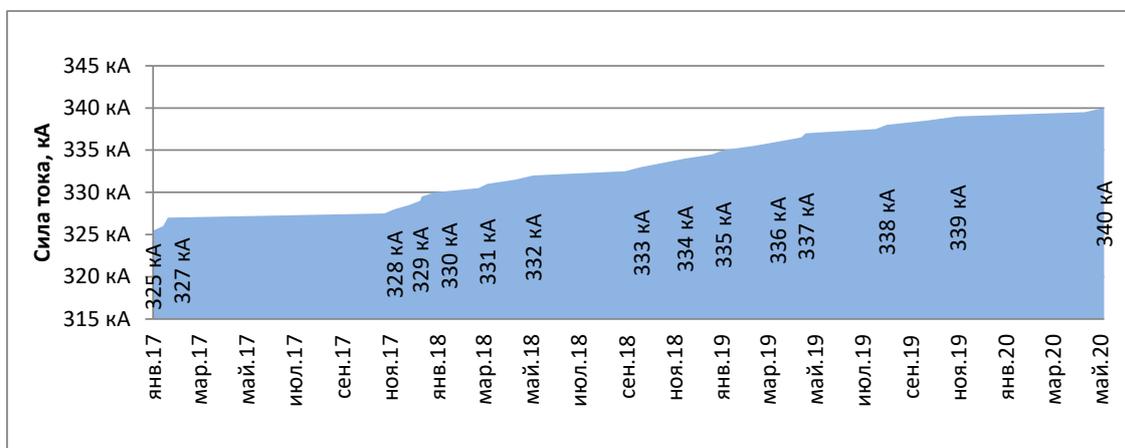


Рис. 1. График повышения силы тока

В период с 2018 по 2020 г. были произведены исследования для электролизеров с обожженными анодами GAMI-320 (проектная сила тока 320 кА) и NEUI-330 (проектная сила тока 330 кА), на базе АО «Казахстанский электролизный завод» эксплуатируемых на повышенной силе тока.

При увеличении силы тока увеличивается энергетическая и тепловая напряженность электролизера. Стабилизация температурного режима обеспечивается эффективной работой бортов шпангоутного кожуха, позволяющей поддерживать на стабильном уровне температуру электролита и толщину бокового гарнисажа.

При силе тока более 327 кА наблюдается рост МГД-явлений, которые, однако, не являются лимитирующими для дальнейшего повышения силы тока при сложившемся уровне технологии.

Оптимальная сила тока достигается при обеспечении нормальной температуры электролита с более высокими или близкими показателями до подъема силы тока при обеспечении требований теплового и МГД-состояния и может различаться при внедрении различных мероприятий [6, 7].

Без изменения конструктивных параметров, за счет подбора технологических параметров расчетная предельная оптимальная сила тока составит 340–342 кА при МПР 4,5 см.

Для унификации тепловых параметров на электролизерах целесообразно внедрить усиленный катодный кожух с улучшенной аэрацией.

При реализации технологических мероприятий по использованию внутренних резервов электролизеров, оптимальная сила тока может быть увеличена на 1–3 кА, за счет:

- применения электролита с содержанием фтористого кальция свыше 6,5 %;
- применения солей лития;
- увеличения концентрации глинозема в электролите до 2,5–2,8 %.

На рис. 2 представлены графики энергетических параметров, рассчитанные математической моделью по результатам повышения силы тока до 330 кА, с целью определения мероприятий для дальнейшего повышения токовой нагрузки.

На приведенных графиках мы видим увеличение удельного расхода электроэнергии с возрастанием рабочего напряжения. Дополнительный приход тепловой энергии согласно графику пропорционален затрачиваемой электроэнергии. Проведенный анализ графика требует организационных мероприятий для увеличения ТЭП эксплуатируемых электролизеров, наиболее

эффективным путем снижения энергетической нагрузки электролизера стало использование щелевого анода, что при внедрении позволило снизить рабочее напряжение электролизера до уровня 3,97–4,02 В. Также возможно применение катодных блоков 50% или 70% графитизации, применение чугунной заливки для фиксации блюмсов, применение менее теплопроводной бортовой футеровки катодного кожуха, использование систем управления энергетическим балансом электролизера.

Увеличение температуры процесса при увеличении силы тока, полученное с помощью математической модели, показано на рис. 3.

Увеличение температуры электролита при повышении тока связано с дополнительным приходом тепловой нагрузки. Ведение процесса при повышенной температуре относительно регламентируемых значений приводит к снижению производительности из-за влияния на параметры растворимости глинозема и влияет на значение выхода по току. Соответственно, поддержание температуры в нижнем диапазоне позволяет улучшить ТЭП электролизеров, однако ведение процесса в нижней температурной границе увеличивает МГД-нестабильность процесса и может привести к увеличению обратной реакции (окислению алюминия) в процессе электролиза. Для стабилизации температурного режима были пересмотрены алгоритмы питания электролизеров фтористым алюминием, снижена высота засыпки анодного массива, увеличены объемы отходящих газов, увеличен уровень катодного алюминия. Внедрение щелевых анодов способствовало более эффективному удалению тепла с отходящими газами, ведение процесса при сниженном уставочном напряжении позволило снизить приход тепла, что удерживает температуру в заданном диапазоне. Изменение алгоритмов питания фтористым алюминием привело к снижению криолитового отношения.

Тенденция снижения толщины гарнисажа электролизеров отображена на рис. 4. Уменьшение толщины гарнисажа связано с повышенной тепловой нагрузкой и может привести к разрушениям бортовой футеровки и снижению срока службы электролизера. Для поддержания регламентируемого значения ФРП (форма рабочего пространства) возможно применение менее теплопроводной бортовой футеровки катодного кожуха. Для эффективного управления ФРП производится работа по поддержанию оптимальной температуры процесса, произведена оптимизация отдачи добавок фторида кальция.

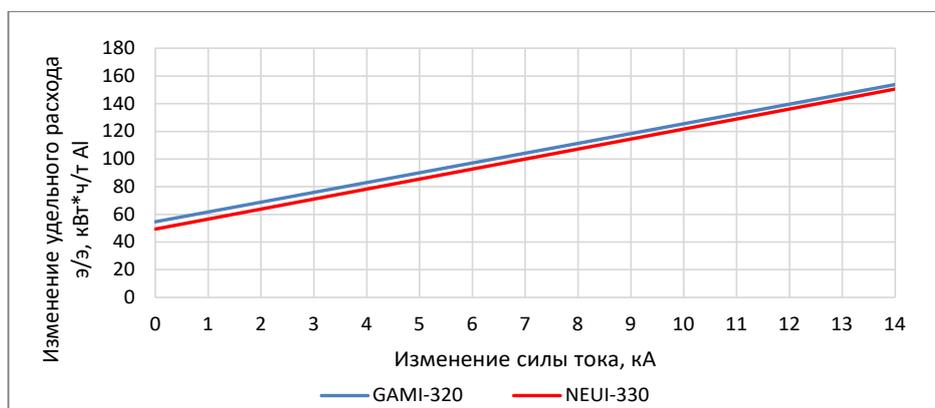
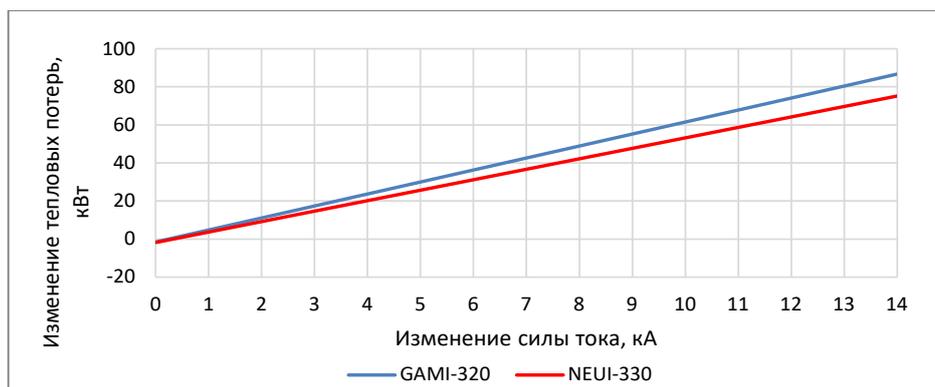
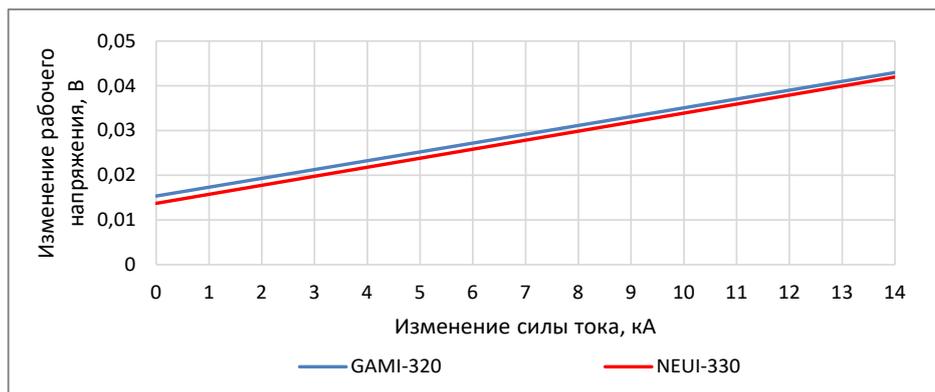


Рис. 2. График изменения рабочего напряжения (а), тепловых потерь (б) и удельного расхода электроэнергии (в) при увеличении силы тока

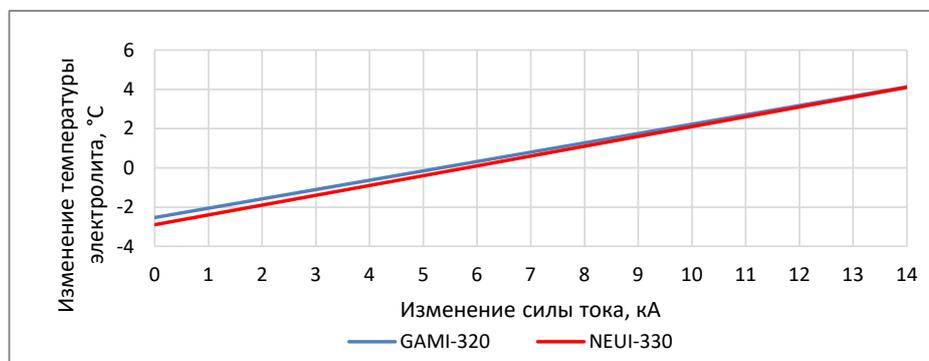


Рис. 3. Изменение температуры электролита при увеличении силы тока

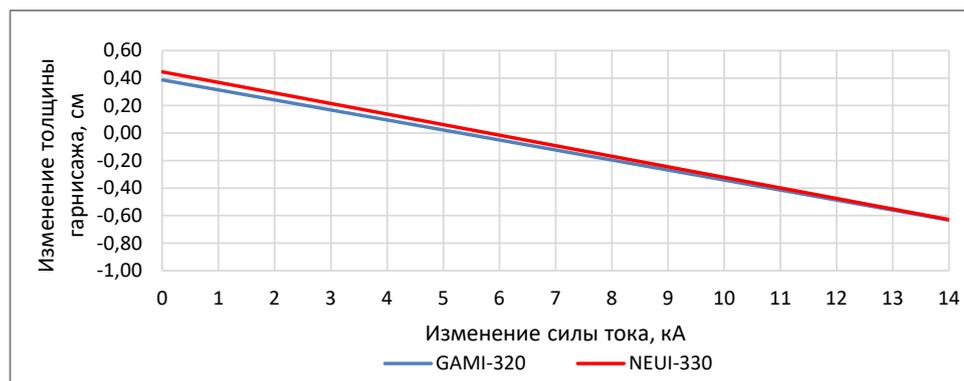


Рис. 4. Анализ изменения толщины гарнисажа при увеличении силы тока

При увеличении силы тока увеличивается энергетическая и тепловая напряженность электролизера. Стабилизация температурного режима обеспечивается эффективной работой бортов шпангоутного кожуха, позволяющей поддерживать на стабильном уровне температуру электролита и толщину бокового гарнисажа.

#### Заключение

Производительность электролизера зависит от многих параметров. Каждый параметр может влиять как на производительность, так и на срок службы агрегата. Поэтому перед всеми крупными алюминиевыми производителями стоит цель достичь максимальных показателей на единицу производственной площади.

При увеличении силы тока удалось добиться оптимальное соотношение энергетических параметров с нормальным технологическим режимом, в основном за счет уменьшения напряжения (МПР, уставка регулирования), снижения криолитового отношения и использования щелевых анодов. Расчетное увеличение силы тока при применении щелевых анодов составляет 5–13 кА. Следует отметить, что положительный эффект от их внедрения достигается только при обеспечении анодов надлежащего качества.

Перспективным для увеличения силы тока может считаться внедрение подовых блоков с содержанием графита 70–80%, способствующих снижению тепловой нагрузки электролизера. Их использование наиболее эффективно при анодной плотности тока более 0,78–0,8 А/см<sup>2</sup>.

Результаты проведенных исследований показали, что перспективными направлениями снижения прихода теплоты являются

снижение напряжения и соответственно МПР, однако при снижении МПР наблюдается увеличение МГД-нестабильности, что может оказывать влияние на снижение выхода по току. Таким образом, использование современных методов обработки и анализа данных технологических параметров электролизера, а также подбор и оптимизация параметров, влияющих на стабилизацию процесса электролиза, в данной статье обосновывает целесообразность повышения силы тока, что позволяет увеличить производительность электролизера.

#### Список литературы

1. Шайдулин Е.Р., Архипов Г.В., Пискажова Т.В. Способ управления технологическим процессом в алюминиевом электролизере // Патент № 2730828 Патентообладатель ООО «РУСАЛ». 2020. Бюл. № 24.
2. Кужель В.С. Влияние повышения силы тока на энерготехнологические показатели алюминиевых электролизеров с верхним токоподводом: дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2005. 168 с.
3. Панин П.А. Повышение силы тока на электролизерах с обожженными анодами // Евразийский научный журнал. 2020. № 5. С. 31–33.
4. Кудаспаев А.Т., Толымбекова Л.Б., Аубакиров А.М. Анализ существующих способов повышения силы тока в условиях электролитического производства алюминия: материалы международной научно-практической конференции «XI Торайгыровские чтения», 5 том. Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2019. С. 71–76.
5. Радионов Е.Ю. Влияние повышения силы тока на магнитогидродинамические характеристики сверхмощных электролизеров // Вестник ИрГТУ. 2017. № 2 (30). С. 26–30.
6. Бажин В.Ю., Макушин Д.В. Влияние МГД-нестабильности мощного алюминиевого электролизера на выход по току // Записки Горного института. 2011. Т. 192. С. 35–38.
7. В.М. Белоліпецкий, Т.В. Пискажова. Математическое моделирование процесса электролитического получения алюминия для решения задач управления технологией // Известия вузов. Цветная металлургия. 2013. № 4. С. 59–63.

УДК 681.121

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫБОРА СРЕДСТВ КАЛИБРОВКИ СЧЕТЧИКА РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ ПУТЕМ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

**Федорович Н.Н., Студеникина О.Д.**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
Краснодар, e-mail: fedorovichn@mail.ru*

В статье рассмотрены проблемы выбора средств калибровки путем оценки метрологических характеристик средств измерений и неопределенности результатов измерений, полученных при калибровке средств измерений расхода жидкости. Было проведено две серии измерений расхода воды калибруемым счетчиком СВК-15 в одинаковых условиях с использованием одинаковых средств калибровки и применением в одной серии опытов поверочной установки УПСЖ-50/В, в другой – поверочной установки ВПУ-Энерго ТС. Калибровка счётчика воды СВК-15 проводилась методом прямого измерения калибруемым измерительным прибором величины, воспроизводимой эталонной материальной мерой – соответствующей установкой поверочной расходомерной. Неопределённость результатов измерений рассчитывали по типам А и В, в соответствии с методами их оценки. Выполненные расчёты неопределённости результатов полученных измерений в обеих сериях опытов показали, что установка ВПУ-Энерго ТС позволяет получать более точные результаты калибровки приборов в заданных точках расхода, чем поверочная установка УПСЖ-50/В. Таким образом, установлено, что по результатам калибровки можно выбирать предпочтительные калибровочные эталонные средства измерений, обеспечивающие с наибольшей точностью определение метрологических характеристик калибруемых средств измерений, что важно при оценке прослеживаемости результатов измерений в лабораториях и на производстве.

**Ключевые слова:** измерения, неопределенность результатов измерений, калибровка средств измерений, эталонные средства калибровки, счетчик расхода жидкостей

## CONTROL OF THE PROCESS OF SELECTING THE MEANS OF CALIBRATION OF THE LIQUID FLOW METER BY ASSESSING THE UNCERTAINTIES OF THE MEASUREMENT RESULTS

**Fedorovich N.N., Studenikina O.D.**

*Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: fedorovichn@mail.ru*

The article discusses the problems of choosing calibration tools by evaluating the metrological characteristics of measuring instruments and the uncertainty of measurement results obtained during calibration of liquid flow measuring instruments. Two series of measurements of water flow with a calibrated meter SVK-15 were carried out under the same conditions using the same calibration tools and using the UPSZH-50/V calibration unit in one series of experiments, and the VPU-Energo TC calibration unit in the other. The calibration of the SVK-15 water meter was carried out by the method of direct measurement with a calibrated measuring device of the value reproduced by the reference material measure – the corresponding calibration flow meter installation. The uncertainty of the measurement results was calculated by types A and B, in accordance with the methods of their assessment. The performed calculations of the uncertainty of the results of the measurements obtained in both series of experiments showed that the installation of the VPU-Energo TS allows to obtain more accurate results of calibration of devices at specified flow points than the UPSZH-50/V calibration installation. Thus, it has been established that, based on the calibration results, it is possible to choose preferred calibration reference measuring instruments that provide the most accurate determination of the metrological characteristics of the calibrated measuring instruments, which is important when assessing the traceability of measurement results in laboratories and in production.

**Keywords:** measurements, uncertainty of measurement results, calibration of measuring instruments, reference calibration tools, liquid flow meter

В связи с возрастающей необходимостью измерения быстроменяющихся расходов жидкостей, увеличением скорости протекания важнейших технологических процессов в различных отраслях промышленности и широким применением расходомеров в системах автоматического управления возникают требования к увеличению их быстродействия и точности [1]. Эти показатели средств измерений являются определяющими и при оценке состояния измерений в лабораториях [2, 3]. От точности показаний расходомеров зависит правиль-

ное определение значения измеряемой величины в процессе измерений, что должно подтверждаться их калибровкой.

Основной целью калибровки средств измерений является передача единицы величины, воспроизводимой и хранимой эталоном, менее точному средству измерений [4]. При калибровке определяют индивидуальные метрологические характеристики средств измерений различными методами измерений [5]. Результатом калибровки является выражение метрологической характеристики средств измерений в форме ка-

либровочной характеристики с указанием соответствующей неопределённости [6]. Рекомендуется осуществлять ежегодную калибровку измерительного оборудования организации в компетентных специализированных организациях. При этом возрастает значение качества применяемых для калибровки измерительного оборудования и методик калибровки.

Целью исследования является выявление возможности использования неопределённости результатов калибровки расходомеров для выбора средств измерений, обеспечивающих более точные результаты калибровки данных приборов, а также требуемую метрологическую прослеживаемость измерений.

### Материалы и методы исследования

Из всех типов наиболее распространены и удобны в обращении вихревые расходомеры, они калибруются на заводе, отличаются простотой монтажа, требуют небольших затрат на техническое обслуживание [7]. Нами выполнены измерения и расчёты неопределённости результатов измерений при калибровке счётчика воды СВК-15 (крыльчатый счетчик тахометрического типа – внесен в Федеральный информационный фонд обеспечения единства измерений под номером 16078-05).

Было проведено две серии измерений расхода воды калибруемым счетчиком СВК-15 в одинаковых условиях с использованием одинаковых вспомогательных средств измерений. В одной серии измерений применяли поверочную установку УПСЖ-50/В, в другой – поверочную установку – ВПУ-Энерго ТС.

Установка поверочная типа УПСЖ-50/В предназначена для поверки/калибровки расходомеров-счетчиков жидкости класса точности 0,5 и ниже в диапазоне расходов от 0,02 до 50 м<sup>3</sup>/ч. Установка ВПУ-Энерго ТС может применяться для поверки, калибровки и определения погрешностей теплосчетчиков, преобразователей расхода-объема (массы), расходомеров и счетчиков жидкости различного типа с диапазоном воспроизводимых расходов от 0,01 до 4000 м<sup>3</sup>/ч и пределами допускаемой относительной погрешности установки при применении расходомеров-счетчиков объемных при измерении объемного расхода и объема, которые не должны превышать  $\pm 0,2\%$ .

Средства измерений, которые применялись в процессе калибровки счётчика воды СВК-15, в том числе вспомогательные средства измерений (термогигрометр; барометр; термометр лабораторный электронный),

влияющие на точность и достоверность результатов, имели метрологические характеристики, подтвержденные свидетельствами о поверке или сертификатами калибровки. Условия калибровки: температура окружающего воздуха – 21,9 °С; барометрическое давление – 101,2 кПа; относительная влажность воздуха – 45%; температура воды в счётчике – 22,0 °С.

Калибровка счётчика воды СВК-15 проводилась методом прямого измерения калибруемым измерительным прибором величины, воспроизводимой эталонной материальной мерой – соответствующей установкой поверочной расходомерной. Измерения объёмного расхода и объёма поверочной среды выполняли на проливной установке по трём точкам в применяемом диапазоне измерений расходомера. Число измерений в каждой точке составило не менее 10.

При оценке неопределённости измерения во время калибровки прибора, должны быть приняты во внимание все компоненты неопределённости, которые имеют существенное отношение к ситуации: эталоны и стандартные образцы; методы измерения; вспомогательное оборудование; окружающая среда; оператор и другие требования. Неопределённость измерений группируют в две категории А и В, в соответствии с методами их оценки. Суть оценки неопределённости по типу А заключается в том, что неопределённость оценивается путём проведения анализа данных, полученных при многократных измерениях величины. При оценке неопределённости по типу В происходит анализ данных, в том числе полученных из свидетельств о поверке или сертификатов о калибровке [5].

Порядок оценивания метрологических характеристик и вычисления неопределённости измерений при калибровке путем составления бюджета неопределённости изложен в [6]:

- составление модельного уравнения измерений, которое выражает зависимость между выходной величиной и входными величинами;
  - оценивание входных величин и их неопределённости;
  - оценивание выходных величин и их неопределённости;
  - составление бюджета неопределённости;
  - представление результатов калибровки.
- Значения входных величин находят путём их измерения с однократными (единичными) или многократными (повторными) наблюдениями или берут из внешних источников.

Таблица 1

## Бюджет неопределенности

Входная величина	Значение (оценка) входной величины	Стандартные неопределенности входных величин	Тип оценки	Коэффициенты чувствительности, $c_j$	Вклады неопределенностей
$V_c$	$\bar{V}_c$	$u_A(V_c)^{1)}$	A	$c_{vc}$	$c_{vc} \cdot u_A(V_c)$
$\Delta_c$		$u_B(\Delta_c)^{3)}$	B	$c_{\Delta c}$	$c_{\Delta c} \cdot u_B(\Delta_c)$
$V_s$	$\bar{V}_s$	$u_A(V_s)^{2)}$	A	$c_{V_s}$	$c_{V_sA} \cdot u_A(V_s)$
		$u_B(V_s)^{4)}$	A	$c_{V_s}$	$c_{V_sB} \cdot u_B(V_s)$
$\theta_{\Sigma 0}^{5)}$		$u_B(\theta_{\Sigma 0})^{6)}$	B	$c\theta_{\Sigma 0}$	$c\theta_{\Sigma 0} \cdot u_B(\theta_{\Sigma 0})$
Выходная величина	Оценка результата измерения	Стандартная суммарная неопределенность		Коэффициент охвата, $k$	Расширенная неопределенность $U, \%$
$\Delta$	$\bar{V}_c - \bar{V}_s$	$u(\Delta)$		2	$k \cdot u(\Delta)$
Исходные данные калибровки					
$V_c, \text{ м}^3$	$V_s, \text{ м}^3$	$D^7), \text{ м}^3$	$\delta_s^8), \%$	$\theta_{\Sigma 0}, \%$	
<p>Условные обозначения:</p> <p><sup>1), 2)</sup> – соответственно стандартная неопределенность, вносимая калибруемым расходомером при измерении объема и эталонной установкой при задании объема;</p> <p><sup>3)</sup> – дискретность отсчета расходомера (закон распределения плотности вероятности считается равномерным), <math>\text{м}^3</math>;</p> <p><sup>4)</sup> – погрешность эталонной установки (из свидетельства о калибровке установки), %;</p> <p><sup>5)</sup> – граница суммарной не исключенной систематической погрешности установки (из свидетельства о поверке установки), %;</p> <p><sup>6)</sup> – суммарная не исключенная систематическая погрешность установки, %;</p> <p><sup>7)</sup> – номинальный диаметр счетчика, <math>\text{м}^3</math>;</p> <p><sup>8)</sup> – относительная погрешность эталонной установки, %;</p>					

Различают следующие выходные величины:

– калибровочный коэффициент измерительного прибора и его расширенная неопределенность с указанием коэффициента охвата;

– калибровочная функция и расширенная неопределенность в каждой точке диапазона измерений или параметры калибровочной функции и соответствующие им неопределенности;

– метрологические характеристики средств измерений; отклонение показаний измерительного прибора от номинальной метрологической характеристики;

– и др. характеристики [8].

Для расчета неопределенности результатов измерений счетчиком воды, составляли модельное уравнение

$$\Delta = (V_c + \Delta_c) - V_s,$$

где  $V_c$  – объем воды, измеренный калибруемым счетчиком,  $\text{м}^3$ ;

$\Delta_c$  – поправка на погрешность дискретности отсчета калибруемого счетчика;

$V_s$  – объем воды, воспроизводимый эталонной установкой,  $\text{м}^3$ .

Бюджет неопределенности по форме, представленной в табл. 1, составляют в соответствии с [6]. Входные величины рассматриваются как некоррелированные.

### Результаты исследования и их обсуждение

При каждом  $i$ -м измерении на  $i$ -м расходе регистрировали:

- время измерения;
- объемный расход, воспроизведенный эталоном;
- объемный расход по показаниям расходомера на начало измерения;
- объемный расход по показаниям расходомера на конец измерения.

Метрологические характеристики в виде относительной погрешности счетчика воды определили на трёх расходах: наи-

меньшем ( $Q_{наим}$ ),  $1,1$  от переходного ( $1,1 \cdot Q_n$ ) и номинальном ( $Q_{ном}$ ). В каждой точке расхода воды измерения калибруемым счетчиком провели в соответствии с данными табл. 2.

Исходные данные для расчета основной относительной погрешности и неопределенности калибруемого счетчика представлены в табл. 3.

Рассчитали относительную погрешность измерений при каждом расходе воды на калибруемом счетчике:

$$\delta_{Q_{наим}} = 2,55\%; \delta_{1,1 \cdot Q_n} = 2,24\%; \delta_{Q_{ном}} = 1,06\%$$

Расчет бюджета неопределенности при калибровке счетчика воды СВК-15 с применением поверочной установки УПСЖ-50/В для точки  $Q_{ном}$  представлен в табл. 4.

Аналогичный расчет бюджетов неопределенности для точки  $1,1 \cdot Q_n$  позволил определить расширенную неопределенность, равную  $0,000088$  м<sup>3</sup>/ч, для точки  $Q_{наим}$  – расширенную неопределенность, равную

$0,000067$  м<sup>3</sup>/ч. Результаты калибровки счетчика воды СВК-15 представлены в табл. 5.

Показания счетчика на начало калибровки составили  $431,26$  м<sup>3</sup>, показания счетчика на конец калибровки –  $431,39$  м<sup>3</sup>.

В соответствии с описанием типа калибруемого прибора предел допускаемой погрешности счетчика в диапазоне расхода ( $Q_{наим}$ ) и в диапазоне расхода ( $1,1 \cdot Q_n$ ) составляет  $\pm 5,0\%$ , в номинальном диапазоне расхода ( $Q_{ном}$ ) –  $\pm 2,0\%$ .

Сравнение расширенной неопределенности счетчика воды с одной четвертой части максимально допустимой погрешности показывает, что  $0,33 < \pm 0,5$ ;  $0,42 < \pm 1,2$ ;  $0,65 < \pm 1,2$ .

Следовательно, расширенная неопределенность при определении действительного объема, проходящего через счетчик воды, не превышает одной четвертой соответствующей максимально допускаемой погрешности счетчика, что удовлетворяет требования пункта 7.1.1 [9].

Таблица 2

Значения минимального времени измерений в каждой точке расхода

Номинальный диаметр счетчика	Значение минимального времени измерения		
	На номинальном расходе, с, не менее	На расходе $1,1$ от переходного, с, не менее	На наименьшем расходе, с, не менее
от DN 10 до DN 50	120	360	720

Таблица 3

Исходные результаты измерения расхода воды

Расход воды, при котором проводят калибровку, $Q$	Объем воды, измеренный счетчиком, м <sup>3</sup>					
	$V_c$	$\bar{V}_c$	$V_s$	$\bar{V}_s$		
$Q_{наим} = 0,03$	0,0103	0,0104	0,0103	0,01005	0,01003	0,01004
	0,0104	0,0103		0,01005	0,01003	
	0,0103	0,0104		0,01003	0,01003	
	0,0103	0,0102		0,01003	0,01004	
	0,0102	0,0102		0,01004	0,01004	
$1,1 \cdot Q_n = 0,12$	0,0206	0,0206	0,0205	0,02005	0,02006	0,02005
	0,0206	0,0203		0,02005	0,02005	
	0,0206	0,0205		0,02005	0,02006	
	0,0206	0,0203		0,02005	0,02006	
	0,0205	0,0205		0,02005	0,02006	
$Q_{ном} = 1,5$	0,1009	0,1012	0,1011	0,10005	0,10003	0,10004
	0,1009	0,1012		0,10005	0,10003	
	0,1009	0,1013		0,10005	0,10004	
	0,1009	0,1013		0,10003	0,10004	
	0,1012	0,1013		0,10003	0,10004	

Таблица 4

Бюджет неопределённости для точки  $Q_{ном}$

Входная величина	Значение (оценка) входной величины	Стандартные неопределенности входных величин	Тип оценки	Коэффициенты чувствительности, $c_j$	Вклады неопределенностей
$V_c$	0,1011	$1,1 \times 10^{-8}$	A	1	$1,1 \times 10^{-8}$
$\Delta_c$	0	$2,89 \times 10^{-5}$	B	1	$2,89 \times 10^{-5}$
$V_s$	0,10004	$2,79 \times 10^{-6}$	A	-1	$-2,79 \times 10^{-6}$
		$1,67 \times 10^{-4}$	B	-1	$-1,67 \times 10^{-4}$
Выходная величина	Оценка результата измерения	Стандартная суммарная неопределенность, $u(\Delta)$		Коэффициент охвата $k$	Расширенная неопределенность $U^*$ , м <sup>3</sup> /ч
$\Delta$	0,00106	0,000169505145		2	0,00033
Исходные данные калибровки для $D = 0,0001$ м <sup>3</sup> , $\delta = 0,5\%$					
$V_c$	$V_s$	$V_c$	$V_s$	$V_c$	$V_s$
0,1009	0,10005	0,1009	0,10003	0,1013	0,10004
0,1009	0,10005	0,1012	0,10003	0,1013	0,10004
0,1009	0,10005	0,1012	0,10003	0,1013	0,10004
0,1009	0,10003				
*Указанная расширенная неопределенность измерения установлена как стандартная неопределенность измерения, умноженная на коэффициент охвата $k = 2$ , который соответствует вероятности $P = 0,95$ .					

Таблица 5

Результаты калибровки счётчика воды СВК-15 с применением поверочной установки УПСЖ-50/В

№	Расход воды, при котором проводилась калибровка, м <sup>3</sup> /ч	Коэффициент охвата $k$ (при $P = 0,95$ )	Результат измерений калибруемого расхода воды, $X_{cp} \pm U$ , м <sup>3</sup> /ч
$Q_{ном}$	1,5	2	0,01011±0,00033
$1,1 \cdot Q_n$	0,12	2	0,0205±0,000088
$Q_{наим}$	0,03	2	0,0103±0,000067

Соответственно, калибровка счётчика воды СВК-15 с применением поверочной установки УПСЖ-50/В показала, что калибруемый прибор будет обеспечивать требуемую точность измерений при последующей его эксплуатации и в условиях прослеживаемости результатов испытаний.

Далее провели измерения и расчёт неопределённости результатов измерений при калибровке счетчика воды СВК-15 с применением поверочной установки ВПУ-Энерго ТС.

Результаты вычисления стандартной неопределённости по типу А приняли условно такими же, как и для установки УПСЖ-50/В. Вычисления стандартной не-

определённости входных величин по типу В (нормальное распределение) и выходных величин выполнили в форме бюджета неопределенности, представленного в табл. 1. Результаты калибровки счётчика воды представлены в табл. 6.

По результатам табл. 6 видно, что счётчик воды СВК-15 также прошел калибровку с применением поверочной установки ВПУ-Энерго ТС с положительным результатом. Использование счётчика воды с установленной неопределенностью результатов измерений в лабораторном и производственном контроле обеспечивает достоверность полученных данных [10].

Таблица 6

Результаты калибровки счётчика воды СВК-15  
с применением поверочной установки ВПУ-Энерго ТС

№	Расход воды, при котором проводилась калибровка, м <sup>3</sup> /ч	Коэффициент охвата $k$ (при $P = 0,95$ )	Результат измерений калибруемого расхода воды, $X_{cp} \pm U$ , м <sup>3</sup> /ч
$Q_{ном}$	1,5	2	0,01011±0,00014
$1,1 \cdot Q_n$	0,12	2	0,0205±0,000064
$Q_{наим}$	0,03	2	0,0103±0,000059

Проанализировав результаты калибровки счётчика воды СВК-15, представленные в табл. 5 и 6, можно сказать, что расширенная неопределённость результатов измерений, полученная при калибровке счётчика СВК-15 на установке ВПУ-Энерго ТС меньше, чем расширенная неопределённость результатов измерений, рассчитанная при калибровке этого же счётчика воды на установке УПСЖ-50/В. Сравнение полученных результатов неопределённости позволило сделать вывод, что с применением установки ВПУ-Энерго ТС получены более точные результаты калибровки приборов в заданных точках расхода, чем с применением поверочной установки УПСЖ-50/В.

#### Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что установка ВПУ-Энерго ТС позволяет получать более точные результаты калибровки приборов в заданных точках расхода, чем поверочная установка УПСЖ-50/В, из чего следует, что по результатам калибровки можно выбирать предпочтительные калибровочные средства измерений, обеспечивающие с наибольшей точностью определение метрологических характеристик калибруемых средств измерений, которые являются важными при оценке прослеживаемости результатов измерений.

#### Список литературы

1. Чухарева Н.В. Определение количественных характеристик нефти и газа в системе магистральных трубопроводов: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 311 с.
2. Федорович Н.Н., Горшкова Н.В., Федорович А.Н. Проведение оценки состояния измерений в лаборатории для оценки её компетентности // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 12 (114). С. 116–119.
3. Федорович Н.Н., Федорович А.Н., Светловская А.Ю., Молчанова Я.М. Оптимизация внутрилабораторного контроля качества результатов испытаний // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–3. С. 511–515.
4. ПР 50.2.016-94 ГСИ. Требования к выполнению калибровочных работ. М.: Стандартинформ, 1994. 8 с.
5. Захаров И.П. Методы, модели и бюджеты оценивания неопределённости измерений при проведении калибровок // Измерительная техника. 2015. № 4. С. 20–26.
6. ГОСТ 34100.3-2017 Неопределённость измерения. Ч. 3. Руководство по выражению неопределённости измерения. М.: Стандартинформ, 2018. 112 с.
7. Вихревые расходомеры: принцип работы, применение // АО «Пергам-Инжиниринг». 2017. URL: <https://www.pergam.ru/articles/vihrevye-rashodomery.htm> (дата обращения: 20.01.2022).
8. РМГ 115-2019 ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости. М.: Стандартинформ, 2019. 36 с.
9. МОЗМ МР 49-1 Счетчики воды, предназначенные для измерения холодной питьевой и горячей воды. Ч. 1: Метрологические и технические требования. Перевод ВНИИМС, 2006. 56 с.
10. Федорович Н.Н. Контроль процесса испытаний для подтверждения компетентности лабораторий // Известия учебных вузов. Пищевая технология. 2010. № 1 (313). С. 66.

УДК 004.942

## ДИСКРЕТНЫЕ МОДЕЛИ ВЫБОРА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Феоктистов А.Г.

ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН»,  
Иркутск, e-mail: agf@icc.ru

Статья посвящена актуальным вопросам разработки и применения моделей дискретного многокритериального выбора оптимальных вариантов результатов имитационного моделирования процессов функционирования экологических установок инфраструктурных объектов (ИО), расположенных на побережье оз. Байкал. В качестве базовых правил применяются лексикографический и мажоритарный выбор, а также выбор по Парето. В статье рассматривается адаптация и специализация данных базовых правил применительно к анализу результатов имитационного моделирования. Рассматривается методика проведения оценки результатов моделирования по нескольким критериям на конечном множестве вариантов. Для каждой модели определяется информационная структура, соответствующая конкретному правилу выбора. Такая структура включает условия оптимальности критериев, ограничения на их значения, определение предпочтительности вариантов значений критериев и другую дополнительную информацию, например упорядочение критериев по важности. В качестве иллюстрации применения разработанных моделей рассматривается практическая задача выбора теплонасосных установок для частичной замены малогабаритных котлов на угле, используемых на ИО, с точки зрения максимизации сокращения выбросов углекислого газа и минимизации капитальных вложений. Разработанные модели допускают свое естественное развитие и использование в других предметных областях.

**Ключевые слова:** экология, теплонасосные установки, моделирование, многокритериальный выбор, дискретные модели

## DISCRETE MODELS OF CHOOSING SIMULATION RESULTS OF OPERATING ENVIRONMENTAL EQUIPMENT

Feoktistov A.G.

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS, Irkutsk, e-mail: agf@icc.ru

The article is devoted to relevant issues of the design and usage of models for discrete multi-criteria choice of best options of simulation modeling results of operating environmental equipment of infrastructure objects on the coast of Lake Baikal. The straightforward rules are lexicographic and majority choice, as well as Pareto choice. Adaptation and specialization of these basic rules to analyze the modeling results are discussed. A technique for evaluating the modeling results according to several criteria on a finite set of options is considered. An information structure corresponding to a specific choice rule is determined for each model. Such a structure includes conditions for the optimality of criteria, restrictions on their values, determination of the preference for the criteria values options, and other additional information, for example, ordering criteria by importance. As an illustration of applying the developed models, the practical problem of choosing heat-pumping equipment to replace small-sized coal-fired boilers used at the objects partially is considered to maximize the reduction of carbon dioxide emissions and minimize capital investments. The developed models allow their effortless evolution and usage in other subject fields.

**Keywords:** ecology, heat-pumping equipment, modeling, multi-criteria choice, discrete models

В настоящее время пристальное внимание уделяется экологическому мониторингу Байкальской природной территории (БПТ) [1]. Одной из насущных экологических проблем является использование малогабаритных котлов на угле на ИО данной территории [2]. Как правило, большая часть котлов характеризуется достаточно изношенным состоянием. В этой связи их оснащение дополнительным специальным оборудованием, в какой-то степени снижающим вредные выбросы, видится целесообразным. Поэтому исследование возможности полной или частичной замены таких котлов на экологически чистые источники тепла является актуальным.

От сжигания ископаемого топлива происходит много видов вредных выбросов

[3–5]. Однако специалисты в области экологии уделяют особое внимание выбросам углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) [6]. Поэтому в статье рассматриваются только такие выбросы и используется методология их оценки, представленная в [7].

Таким образом, одной из практических целей моделирования последствий возможной замены источника тепла является оценка уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$  от сжигания дизельного топлива или угля. Другим важным критерием являются затраты на теплонасосные установки, их установку и эксплуатацию. При этом существенную роль в процессе принятия решений по выбору модели теплового насоса играет оценка и сравнение вариантов значений вышеупомянутых критериев. Выбирается модель,

для которой вариант значений критериев будет наилучшим в том или ином смысле. На практике специалистами в предметных областях востребованы, как правило, наиболее простые методы выбора, не требующие сбора и анализа большого объема дополнительной информации.

Целью исследования является формализация моделей дискретного многокритериального выбора на конечном множестве вариантов критериев (результатов имитационного моделирования процессов функционирования экологических установок ИО).

### Материалы и методы исследования

Пусть имеется  $n$  критериев  $c_1, c_2, \dots, c_n$ , отражающих характеристики функционирования экологической установки и ее эксплуатации. В качестве таких характеристик могут быть использованы расход энергии, обслуживаемая площадь ИО, надежность работы, сокращение объемов вредных выбросов, стоимость установки, затраты на его эксплуатацию, срок окупаемости и другие показатели. Для каждого критерия указана предпочтительность изменения его значений:  $c_j \rightarrow \min$  или  $c_j \rightarrow \max, j = \overline{1, n}$ . В соответствии с указанной предпочтительностью изменения значений критериев задаются ограничения на допустимые величины этих критериев:  $c_{j, \min}$  при  $c_j \rightarrow \max, c_{j, \max}$  при  $c_j \rightarrow \min$ .

Варианты значений критериев  $c_1, c_2, \dots, c_n$  представлены матрицей  $\mathbf{A}$  размерности  $m \times n$ . Элемент матрицы  $a_{ij}$  содержит значение критерия  $c_j$  в  $i$ -м варианте,  $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ . Таким образом,  $i$ -я строка матрицы  $\mathbf{A}(i) = (a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,n})$  соответствует  $i$ -му варианту значений критериев, а  $j$ -й столбец матрицы  $\mathbf{A}(j) = (a_{1,j}, a_{2,j}, \dots, a_{m,j})$  представляет  $m$  вариантов значения  $j$ -го критерия.

Матрица  $\mathbf{B}$  размерности  $m \times n$  содержит оценки  $b_{ij}$  значений критериев  $a_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ . Данные оценки определяются путем упорядочения значений каждого критерия в разных вариантах по убыванию (возрастанию) при  $c_j \rightarrow \min (c_j \rightarrow \max)$  и назначения полученных индексов значений в частично-упорядоченном множестве в качестве оценок. Таким образом, наибольшая оценка соответствует наилучшему значению критерия.

Известен широкий спектр традиционных моделей дискретного многокритериального выбора [8, 9]. Зачастую их применение обуславливает необходимость использования информации о важности критериев, их рангах и весах, способах агрегирования и упорядочения, а также других дополнительных сведений [10].

В рамках данного исследования представлены в [11] правила многокритериального выбора, которые характеризуются минимальным объемом дополнительной информации, адаптированы к анализу результатов имитационного моделирования работы экологических установок. В их числе лексикографический и мажоритарный выбор, а также выбор по Парето.

Ниже приведены информационные структуры, описывающие дискретные модели выбора, базирующиеся на вышеупомянутых правилах многокритериального выбора.

*Модель лексикографического выбора.* Применение данного правила заключается в последовательном сравнении оценок значений критериев рассматриваемого варианта с оценками значений критериев остальных вариантов. Необходимая дополнительная информация состоит в том, что критерии  $c_1, c_2, \dots, c_n$  упорядочиваются по степени их важности по убыванию.

Правило отбора  $i$ -го варианта:

$$\nexists k \in \overline{1, m}: (b_{k,1} = b_{i,1}) \wedge (b_{k,2} = b_{i,2}) \wedge \dots \wedge (b_{k,q} = b_{i,q}) \wedge (b_{k,(q+1)} > b_{i,(q+1)}),$$

$$a_{ij} \geq c_{j, \min} \text{ при } c_j \rightarrow \max, \quad a_{ij} \leq c_{j, \max} \text{ при } c_j \rightarrow \min, \quad i \in \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k \neq i, q \in \overline{1, n}.$$

*Модель мажоритарного выбора.* В рамках данного правила выбор вариантов осуществляется по наибольшему числу критериев с наилучшими оценками их значений, содержащимися в варианте. Дополнительная информация не требуется.

Правило отбора  $i$ -го варианта:

$$\nexists k \in \overline{1, m}: \sum_{j=1}^n \text{sign}(b_{k,j} - b_{i,j}) > 0,$$

$$a_{ij} \geq c_{j, \min} \text{ при } c_j \rightarrow \max, \quad a_{ij} \leq c_{j, \max} \text{ при } c_j \rightarrow \min, \quad i \in \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k \neq i.$$

*Модель выбора по Парето.* В Парето-оптимальное множество отбираются варианты, для каждого из которых выполняется следующее условие: нет другого варианта, в котором оценки значений всех критериев больше или равны оценкам значений критериев рассматриваемого варианта, и при этом оценки значений хотя бы одного критерия в сравниваемых вариантах не равны. Дополнительная информация отсутствует.

Правило отбора  $i$ -го варианта:

$$\nexists k \in \overline{1, m} : (b_{k,1} \geq b_{i,1}) \wedge (b_{k,2} \geq b_{i,2}) \wedge \dots \wedge (b_{k,n} \geq b_{i,n}) \wedge (\exists q : b_{k,q} \neq b_{i,q})$$

$$a_{ij} \geq c_{j,\min} \text{ при } c_j \rightarrow \max, \quad a_{ij} \leq c_{j,\max} \text{ при } c_j \rightarrow \min, \quad i \in \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k \neq i, q \in \overline{1, n}.$$

*Выбор единственного варианта.* Если множество отобранных вариантов содержит  $r > 1$  вариантов и необходимо единственное решение, то выполняется процедура сравнения отобранных вариантов с идеальным вариантом. Идеальный вариант  $e_1, e_2, \dots, e_n$  формируется из наилучших оценок для каждого критерия по всем вариантам:

$$e_j = \max_{i=1, m} b_{i,j}, j = \overline{1, n}.$$

Сравнение реализуется с помощью декартовой метрики:

$$d_l = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_j - b_{i,j})^2}, l = i_1, i_2, \dots, i_r.$$

Единственное решение  $i^*$  находится следующим образом:

$$i^* = \min \left\{ \arg \min_{l=i_1, i_2, \dots, i_r} d_l \right\}.$$

#### Методика

Основными этапами методики применения дискретных моделей многокритериального выбора являются следующие:

1. Определение критериев  $c_1, c_2, \dots, c_n$ .
2. Указание предпочтительности изменения значений критериев:  $c_j \rightarrow \min$  или  $c_j \rightarrow \max, j = \overline{1, n}$ .
3. Задание ограничений на допустимые величины критериев:  $c_{j,\min}$  при  $c_j \rightarrow \max, c_{j,\max}$  при  $c_j \rightarrow \min, j = \overline{1, n}$ .
4. Выбор используемой модели.
5. Если указана модель лексикографического выбора, то упорядочение критериев по важности.
6. Выполнение имитационного моделирования и формирование матрицы **A** значений критериев.
7. Нахождение матрицы **B** оценок значений критериев по матрице **A**.
8. Применение модели многокритериального выбора.
9. Если множество отобранных вариантов содержит более одного варианта и необходимо единственное решение, то выпол-

нение процедуры сравнения отобранных вариантов с идеальным вариантом.

#### Пример

Проблема моделирования работы экологических установок (тепловых насосов) на ИО БПР и подход к процессу ее решения рассмотрены в [12]. Общие результаты расчетов, полученные в процессе изучения работы теплонасосных установок при частичном замещении ими малогабаритных котлов на угле, приведены в [13].

В данном разделе представлены оценки уточненных значений двух критериев  $c_1$  (размер капитальных вложений) и  $c_2$  (сокращение объемов выбросов  $\text{CO}_2$ ) для двенадцати вариантов различных сочетаний моделей тепловых насосов и режимов их эксплуатации, а также результаты применения разработанных моделей дискретного многокритериального выбора по этим оценкам. В частности, в табл. 1 приведены результаты лексикографического выбора при двух способах упорядочения критериев по важности:

1)  $c_1$  и  $c_2$  (столбцы 4–7 табл. 1) представляют соответственно размер капитальных вложений и сокращение объемов выбросов  $\text{CO}_2$ ;

2)  $c_1$  и  $c_2$  (столбцы 8–11 табл. 1), наоборот, отражают сокращение объемов выбросов  $\text{CO}_2$  и размер капитальных вложений.

В первом случае сравнение вариантов начинается с первого критерия, оценка значения которого в двенадцатом варианте, выделенная зеленым цветом заливки ячейки таблицы, однозначно является лучшей. Во втором случае главным критерием при сравнении вариантов является второй критерий. Наилучшие оценки его значений, выделенные желтым цветом, содержатся во втором и восьмом вариантах. Поэтому для этих вариантов производится дополнительное сравнение по первому критерию, которое показывает преимущество оценки значения данного критерия в восьмом варианте. Найденная оценка выделена зеленым цветом.

Таблица 1

Результаты применения модели лексикографического выбора

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$i$	Модель	Режим	$a_{i,1}$ , тыс. руб.	$a_{i,2}$ , Т	$b_{i,1}$	$b_{i,2}$	$a_{i,1}$ , Т	$a_{i,2}$ , тыс. руб.	$b_{i,1}$	$b_{i,2}$
1	1	1	1670,01	130,96	1	5	130,96	1670,01	5	1
2	2	1	1661,30	132,59	2	6	132,59	1661,30	6	2
3	3	1	1600,30	129,90	3	4	129,90	1600,30	4	3
4	5	1	1565,45	103,29	4	2	103,29	1565,45	2	4
4	5	1	1539,31	105,77	5	3	105,77	1539,31	3	5
6	6	1	1504,45	102,68	6	1	102,68	1504,45	1	6
7	1	2	1417,44	130,96	7	5	130,96	1417,44	5	7
8	2	2	1408,73	132,59	8	6	132,59	1408,73	6	8
9	3	2	1347,73	129,90	9	4	129,90	1347,73	4	9
10	4	2	1312,88	103,29	10	2	103,29	1312,88	2	10
11	5	2	1286,74	105,77	11	3	105,77	1286,74	3	11
12	6	2	1251,88	102,68	12	1	102,68	1251,88	1	12

Таблица 2

Результаты применения моделей мажоритарного выбора и выбора по Парето

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$i$	Модель	Режим	$a_{i,1}$ , Т	$a_{i,2}$ , тыс. руб.	$b_{i,1}$	$b_{i,2}$	$l = d_{12}^{i,2}$	$a_{i,1}$ , Т	$a_{i,2}$ , тыс. руб.	$b_{i,1}$	$b_{i,2}$	$l = d_p^{i,2}$
1	1	1	130,96	1670,01	5	1	–	130,96	1670,01	5	1	–
2	2	1	132,59	1661,30	6	2	10,00	132,59	1661,30	6	2	–
3	3	1	129,90	1600,30	4	3	–	129,90	1600,30	4	3	–
4	5	1	103,29	1565,45	2	4	–	103,29	1565,45	2	4	–
4	5	1	105,77	1539,31	3	5	–	105,77	1539,31	3	5	–
6	6	1	102,68	1504,45	1	6	–	102,68	1504,45	1	6	–
7	1	2	130,96	1417,44	5	7	–	130,96	1417,44	5	7	–
8	2	2	132,59	1408,73	6	8	4,00	132,59	1408,73	6	8	4,00
9	3	2	129,90	1347,73	4	9	–	129,90	1347,73	4	9	3,61
10	4	2	103,29	1312,88	2	10	–	103,29	1312,88	2	10	–
11	5	2	105,77	1286,74	3	11	–	105,77	1286,74	3	11	3,16
12	6	2	102,68	1251,88	1	12	5,00	102,68	1251,88	1	12	5,00

В табл. 2 показаны результаты применения моделей мажоритарного выбора (столбцы 4–8) и выбора по Парето (столбцы 9–13). Здесь  $c_1$  и  $c_2$  представляют сокращение объемов выбросов CO<sub>2</sub> и размер капитальных вложений. В случае мажоритарного выбора множество отобранных вариантов включает второй, восьмой и двенадцатый варианты. Наилучшие оценки критериев  $c_1$  и  $c_2$ , содержащиеся в этих вариантах, выделены желтым цветом. Так как во всех трех вариантах содержится ровно по одной наилучшей оценке значений критериев, требуется про-

ведение дополнительной процедуры сравнения с идеальным вариантом ( $e_1 = 12, e_2 = 6$ ). Расстояния трех сравниваемых вариантов до идеального представлены в восьмом столбце табл. 2. Наилучшее расстояние выделено зеленым цветом. Оно соответствует восьмому варианту.

В случае выбора по Парето при первичном сравнении отобраны восьмой, девятый, одиннадцатый и двенадцатый варианты. Содержащиеся в них оценки значений критериев показаны желтым цветом. По результатам дополнительного сравнения выбран-

ных вариантов с идеальным одиннадцатый вариант является наилучшим. Соответствующее расстояние (столбец 13 в табл. 2) выделено зеленым цветом.

Таким образом, приведенный выше простой иллюстративный пример показывает достаточную гибкость в применении разработанных дискретных моделей многокритериального выбора в зависимости от целей исследования, значимости критериев и наличия дополнительной информации.

### Заключение

Предложены новые модели многокритериального выбора по результатам имитационного моделирования. Применение моделей продемонстрировано на примере выбора тепловых насосов для ИО БПТ с учетом сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и финансовых затрат на размещение и эксплуатацию системы отопления с помощью теплового насоса. Возможно развитие и использование разработанных моделей в других предметных областях. Примеры употребления таких адаптированных моделей в процессе решения ряда задач, связанных с исследованием систем энергетики, приведены соответственно в [14, 15].

*Исследование проведено при поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 20-47-380002-р\_а «Математическое и информационное моделирование инфраструктурных объектов Байкальской природной территории», а также Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах».*

### Список литературы

1. Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Федоров Р.К., Маджара Т.И., Шигаров А.О., Попова А.К. Информационно-телекоммуникационная платформа цифрового мониторинга озера Байкал // Системный анализ и информационные технологии: Труды VIII Международной конференции. М.: Изд-во ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 26–32. DOI: 10.14357/SAIT2019002.
2. Saneev B.G., Ivanova I.Y., Maysyuk E.P., Izhbuldin A.K. The main directions of solving energy-related environmental

problems in the central ecological zone of the Baikal natural territory. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 381. № 1. P. 012082. DOI: 10.1088/1755-1315/381/1/012082.

3. Huang Y., Jin B., Zhong Z., Xiao R., Tang Z., Ren H. Trace elements (Mn, Cr, Pb, Se, Zn, Cd and Hg) in emissions from a pulverized coal boiler. Fuel Processing Technology. 2004. Vol. 86. № 1. P. 23–32. DOI: 10.1016/j.fuproc.2003.10.022.

4. Tian H., Wang Y., Xue Z., Qu Y., Chai F., Hao J. Atmospheric emissions estimation of Hg, As, and Se from coal-fired power plants in China, 2007. Science of the Total Environment. 2011. Vol. 409. № 16. P. 3078–3081. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.039.

5. Монгуш Г.Р., Самойло А.С. Исследование реакционной способности углей и их газовых продуктов в процессах термоокислительной деструкции // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12–2. С. 318–325.

6. Mardani A., Streimikiene D., Cavallaro F., Loganathan N., Khoshnoudi M. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017. Science of the total environment. 2019. Vol. 649. P. 31–49. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.229.

7. Методика расчета выбросов парниковых газов (CO<sub>2</sub>-эквивалента). [Электронный ресурс]. URL: <https://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov> (дата обращения: 09.01.2022).

8. Gettinger J., Kiesling E., Stummer C., Vetschera R. A comparison of representations for discrete multi-criteria decision problems. Decision support systems. 2013. Vol. 54. № 2. P. 976–985.

9. Herva M., Roca E. Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. Journal of Cleaner Production. 2013. Vol. 39. P. 355–371.

10. Majumder M. Multi criteria decision making. Impact of urbanization on water shortage in face of climatic aberrations. Springer, Singapore, 2015. P. 35–47.

11. Шоломов Л.А. Логические методы исследования дискретных моделей выбора. М.: Наука, 1989. 288 с.

12. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Горский С.А., Башарина О.Ю. Цифровые двойники процессов работы природосберегающего оборудования инфраструктурного объекта // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 57–62.

13. Kostromin R., Basharina O., Feoktistov A., Sidorov I. Microservice-Based Approach to Simulating Environmentally-Friendly Equipment of Infrastructure Objects Taking into Account Meteorological Data. Atmosphere. 2021. Vol. 12. № 9–1217. P. 1–24.

14. Черных А.Н., Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Костромин Р.О., Еделев А.В., Зоркальцев В.И., Аветисян А.И. Смягчение неопределенности при разработке и применении научных приложений в интегрированной среде // Труды ИСП РАН. 2021. Т. 33. № 1. С. 151–172.

15. Бычков И.В., Горский С.А., Еделев А.В., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Феоктистов А.Г., Фереферов Е.С., Федоров Р.К. Поддержка управления живучестью систем энергетики на основе комбинаторного подхода // Известия РАН. Теория и системы управления. 2021. № 6. С. 122–135.

УДК 004.042

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ, ВИЗУАЛЬНАЯ ИНСПЕКЦИЯ ПО ВИДЕОЗАПИСЯМ И ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

**Фраленко В.П., Шишкин О.Г.**

*ФГБУН «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна» Российской академии наук,  
Веськово, e-mail: alarmod@pereslavl.ru*

В настоящее время роль космических аппаратов в исследовании, освоении и использовании околоземного пространства постоянно возрастает. По прогнозу международных исследовательских организаций до 2022 г. на орбите окажется несколько тысяч космических аппаратов класса нано- и микроспутников, что существенно больше, чем ожидаемое количество больших по массе космических аппаратов. При разработке и эксплуатации космического аппарата встает актуальный вопрос об управлении, приеме и обработке данных малым количеством наземных станций. В работе обсуждаются и предлагаются основные направления применения искусственных технологий в космической технике, направленные на выявление аномалий, контроля и прогнозирования состояния аппаратуры датчиков. Анализируются текущие и перспективные направления развития в этом направлении, приведены конкретные прикладные примеры применения в ней искусственных технологий. Исследованы вопросы прогнозирования технического состояния сложных технических систем. Представлены результаты исследования актуальных методов визуальной инспекции сложных технических систем по видеозаписям и данным лазерного сканирования при проведении технического обслуживания – на основе нейросетевой детекции и интеллектуальной сегментации дефектов, автоматизации оценки состава, параметров и критичности дефектов с учетом конструктивных особенностей. Данные методы эффективны в том числе на этапах сборки/разборки спутниковой аппаратуры на заводах, производящих космические аппараты.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, контроль данных телеметрии, искусственный интеллект, сложная техническая система, визуальная инспекция

## **INTELLIGENT TELEMETRY DATA PROCESSING, VISUAL INSPECTION ON VIDEO AND LASER SCANNING DATA**

**Fralenko V.P., Shishkin O.G.**

*Ailamazyan Program Systems Institute of Russian Academy of Sciences, Veskovo,  
e-mail: alarmod@pereslavl.ru*

Currently, the role of spacecraft in the study, development and use of near-earth space is constantly growing. According to the forecast of international research organizations, by 2022, several thousand spacecraft of the nano- and microsattellites class will be in orbit, which is much more than the expected number of large-mass spacecraft. During the development and operation of a spacecraft, an urgent question arises about the control, reception and processing of data by a small number of ground stations. The paper discusses and proposes main directions of application of artificial technologies in space technology, aimed at detecting anomalies, monitoring and predicting the state of the sensor equipment, are discussed and proposed. The current and prospective directions of development in this direction are analyzed, specific applied examples of the use of artificial technologies in it are given. The issues of forecasting the technical state of complex technical systems have been investigated. The paper presents the results of a study of current methods of visual inspection of complex technical systems based on video recordings and laser scanning data during maintenance – based on neural network detection and intelligent segmentation of defects, automation of the assessment of the composition, parameters and criticality of defects, taking into account design features. These methods are effective, including at the stages of assembly / disassembly of satellite equipment at factories that produce spacecraft.

**Keywords:** artificial neural network, telemetry data control, artificial intelligence, complex technical system, visual inspection

Рост требований к характеристикам космических систем неизбежно вызывает пересмотр используемых технологий управления и приводит к необходимости создания научного задела в виде новых подходов, методов и технологий построения перспективного конкурентоспособного космического оборудования с использованием искусственного интеллекта (ИИ). В настоящей работе проводится обзор интеллектуальных методов обработки данных телеметрии и методов визуальной инспекции сложных технических систем.

Обсуждаются и предлагаются основные направления применения искусственных технологий в космической технике, направленные на выявление аномалий, контроля и прогнозирования состояния аппаратуры датчиков.

Цель исследования – проведение аналитического обзора работ, посвященных интеллектуальным методам обработки данных телеметрии для оценки состояния датчиковой аппаратуры и методов визуальной инспекции сложных технических систем.

## Материалы и методы исследования

### *1. Интеллектуальные методы обработки данных телеметрии*

В исследовании [1] рассмотрены существующие методы анализа телеметрии, применяемые при организации полетов космических аппаратов (КА). Обоснована актуальность интеллектуализации методов решения задач, направленных на контроль состояния КА в управлении его полетами. Предложены методы автоматизации контролируемых процессов на базе специальных математических аппаратов. Исследованы стадии обработки, анализа телеметрии, определены места предлагаемых методов математического анализа в системе контроля. Указаны основные преимущества предложенного метода математического анализа телеметрии. Наибольшее внимание в работе уделено вейвлет-преобразованию сигналов как самому универсальному из рассмотренных методик. Описаны способы применения вейвлет-анализа при решении задач контроля и прогнозирования состояния КА.

В работе [2] осуществлен аналитический обзор актуальных областей применения ИИ в космической технике, в частности отмечается, что необходимо развитие технологий на базе нейронных сетей, позволяющих работать со спутниковыми данными, в том числе с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Применение экспертных систем реального времени и техник мультиагентного автономного контроля позволит увеличить ресурс и автономность КА. Наиболее важными ИИ-технологиями являются экспертные системы с разнородными способами представления знаний (в том числе с помощью нечетких правил, фреймов и пр.); искусственные нейронные сети (ИНС); методы эволюционных вычислений, в том числе генетически формируемые ИИ-модели; роевой интеллект; технологии извлечения знаний из Больших данных.

В публикации [3] описывается разработка и исследование способов, программных средств и алгоритмов оценки показателей жизнеспособности, надежности малых КА на основе интеллектуального исследования показателей телеметрии бортовой техники. Созданные программные методы и средства основываются на теории вероятности, теории надежности и математической статистики, используется булева алгебра, машинное обучение и обработка изображений. В комплекс созданной системы включены интегрированный программный модуль визуализации структурных схем

надежности; программный модуль 2D- и 3D-визуализации результатов исследования; модули анализа данных телеметрии; модули логико-вероятностного анализа и оценки параметров надежности и жизнеспособности КА.

В исследовании [4] предлагается программный модуль интеллектуального анализа телеметрических данных и методы анализа состояния бортового оборудования малых спутников. Созданный диагностический модуль состоит из программных компонентов предварительной обработки данных, кластеризации и прогнозирования. Программные компоненты основаны на генетическом методе выбора признаков, методе динамической потоковой кластеризации, применяется нейронная самоорганизующаяся карта Кохонена. Вычислительные эксперименты и тестирование разработанных методов и программных средств выполнены на обработанных телеметрических данных и показали достаточно высокую эффективность и хорошие результаты.

Чтобы получить прогнозные оценки в работе [5], предлагается применение алгоритма Берга и байесовская сеть для вычисления вероятностей различных видов технических состояний на основе прогнозных данных. Описан программный модуль «BE SS», применяемый для интеллектуального телеметрического анализа и выбора потенциального состояния анализируемых устройств за счет кластеризации и прогнозной оценки среднего числа отклонений. На рис. 1 показана функциональная блок-схема модуля.

Блок предварительной обработки данных включает следующие компоненты: первый компонент предварительной обработки данных телеметрии, подготавливающий информацию, необходимую для компонента нейронной морфологической кластеризации; второй компонент предварительной обработки данных позволяет выбрать информативные признаки для потокового кластерного анализа с помощью разработанного генетического алгоритма.

Первые три компонента блока кластерного анализа выполняют следующие функции: формирование карты Кохонена на основе предварительно обработанных телеметрических данных анализируемого устройства; кластеризация данных визуального пространства путем пороговой сегментации карты межнейронных расстояний; кластеризация предварительно обработанного набора данных телеметрии путем маркировки точек данных.

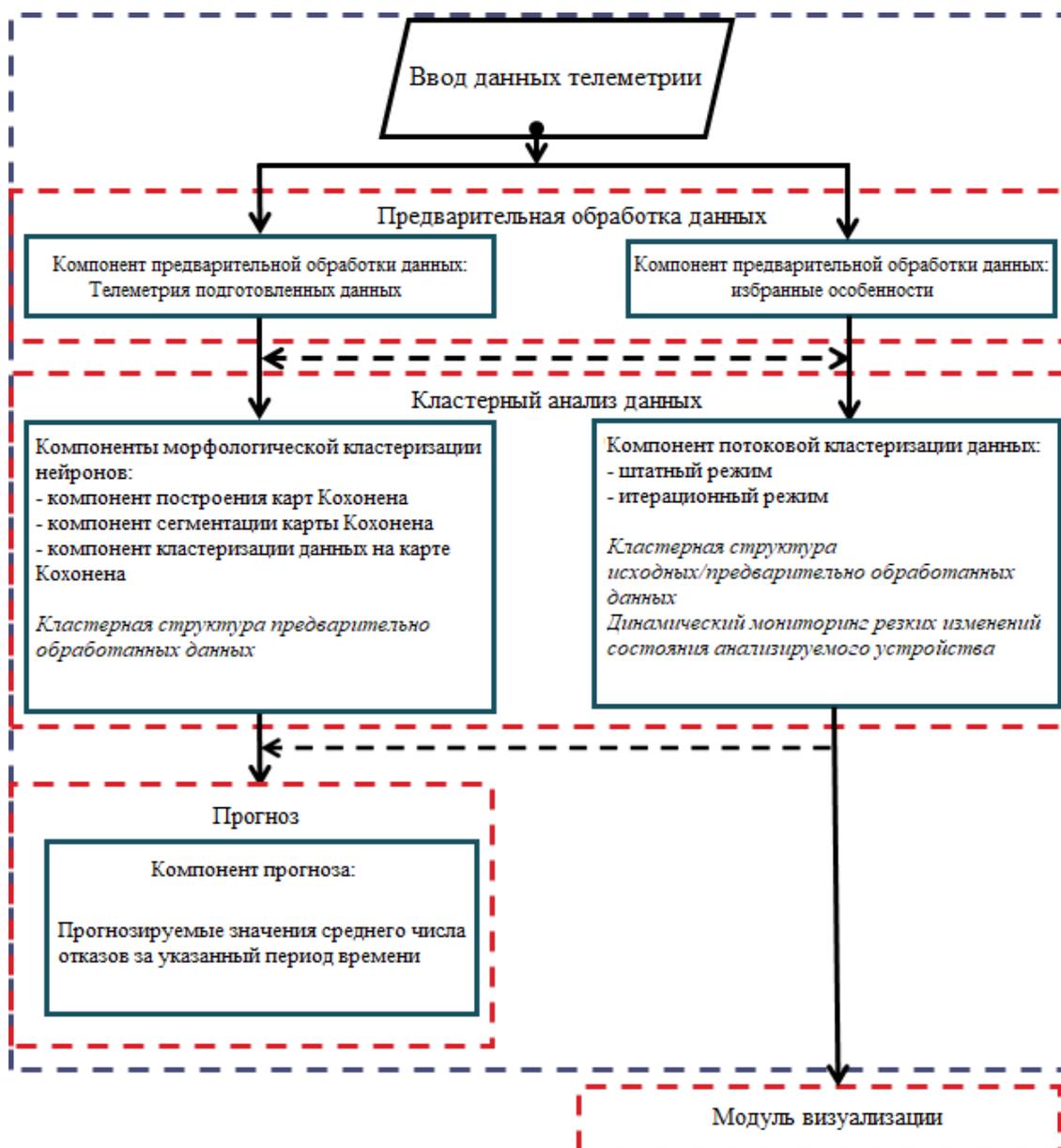


Рис. 1. Блок-схема модуля анализа данных телеметрии

Четвертый компонент блока реализует потоковую динамическую кластеризацию данных на основе двухуровневого иерархического подхода (онлайн/офлайн) микро/макрокластеризации. Блок прогнозирования выполняет оценку среднего числа отказов за фиксированный период времени.

В исследовании [6] предложен подход к учету состояний неопределенности контролируемых параметров в системах мониторинга технического состояния сложных технических объектов. Проведен анализ возникновения состояний неопределенности при функционировании сложных тех-

нических объектов, выделены основные причины снижения эффективности функционирования систем мониторинга технического состояния. Описаны основные понятия теории энтропийных потенциалов (ЭП), раскрыты способы их использования для работы с состояниями неопределенности. Представлена вероятностная модель аварийных сигналов в системе мониторинга. Моделирование систем мониторинга с использованием методов теории ЭП позволяет осуществить получение информационных (энтропийных) портретов состояний неопределенности, в результате

анализа которых возможно осуществление прогнозирования случаев возникновения аварийных ситуаций. С помощью описанных определений и методов можно оценить изменение технического состояния отдельных составляющих сложных технических объектов по их «информационному следу».

В исследовании [7] рассматривается технология, опирающаяся на комплекс нейронных сетей, которые прогнозируют состояния объекта. Особенной чертой данной технологии является способность дообучения при анализе показателей в подвижной среде. Предлагаемый метод позволяет обрабатывать весь комплекс телеметрических показателей технического объекта при зашумленных и неполных входных параметрах. Это дает возможность уменьшить затраты на мониторинг поведения и состояния объекта управления.

Следует обратить внимание на описанный в публикации [8] метод контроля и диагностики радиоэлектроники, опирающийся на анализ и комплексирование данных, поступающих от датчиков магнитного поля, тепловых и климатических датчиков, сведений о напряжении в сети. Метод контроля и диагностики применяет карты Хотеллинга в сочетании с байесовским выводом и сеткой выбросов. В итоге строится трехмерная модель-образ состояния аппаратуры, позволяющая выполнять достоверную идентификацию состояния контролируемых объектов.

В работе [9] исследуется метод оперативного контроля средств связи и радио-

электронного обеспечения полетов. Подготовительный этап совершается на Земле и состоит из подготовки начальных данных для осуществления процесса телеизмерений и комплектования бортового автоматизированного измерительного комплекса под решаемые цели. Далее производится 1-й этап телеизмерений с использованием бортового комплекса, в ходе проверки в полете. Если на этом этапе обнаруживается отказ или предотказное состояние средства связи или радиотехнического обеспечения, подается сигнал аварии в наземный автоматизированный измерительный комплекс. 2-й этап заключается в осуществлении идентификации отказов уже на Земле. Заключительный 3-й этап состоит из актуализации базы состояний автоматизированной системы контроля и формирования разных типов отчетов проведенного экспресс-контроля. Разработан внешний вид конструкции пульта для оператора автоматизированной системы контроля группы управления полетами.

В работе [10] проанализирована проблема обнаружения аномалий методами машинного обучения; описана программа поиска аномалий, опирающаяся на распределение Гаусса. Программа дает хороший результат по поиску аномалий, в том числе визуализирует результаты для удобного использования оператором. Пример результата работы программы представлен на рис. 2 (красными кружками выделены обнаруженные аномальные показания датчика температуры).

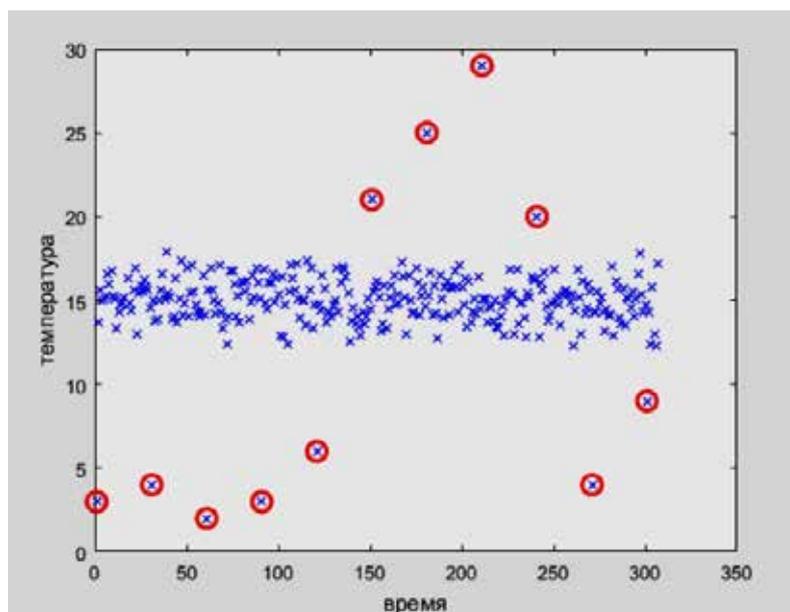


Рис. 2. Выделение аномалий в показаниях датчика температуры

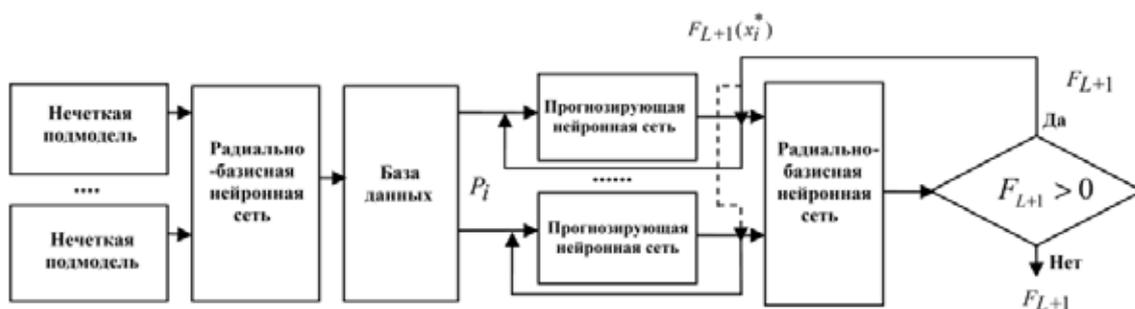


Рис. 3. Структура модели прогнозирующей диагностики привода

В статье [11] предлагаются методы диагностики и прогнозирования технического состояния электродвигателя с использованием нечеткой логики и ИНС. Нечеткая логика определяет степень развития каждой ошибки. ИНС – состояние объекта в целом и количество исправных периодов работы привода двигателя. Сочетание передовых методов сокращает время обучения и повышает точность прогнозов. Предложенные методы позволяют диагностировать неисправности двигателя, функционирующего на разных скоростях. Структура прогнозирующей модели диагностики привода показана на рис. 3.

В работе [12] обсуждается технология проектирования системы мониторинга силовых трансформаторов и устройств электроснабжения, основанная на использовании сенсорных сетей, описывается создание байесовской сети для прогнозирования вероятности отказа. Сформулированы условия достижения максимальной диагностической эффективности с требуемой точностью. Предлагается система диагностики, позволяющая оценить влияние каждого параметра на точность прогноза отказов. Показана возможность расчета вероятностей отказов при недостатке информации методом экспертных оценок. Модель позволяет рассчитать вероятность безотказной работы трансформаторов, принять решение о необходимости повышения доступности обслуживающего персонала, о необходимости снижения нагрузки и т.д.

## 2. Методы визуальной инспекции сложных технических систем

Далее представлены результаты исследования методов визуальной инспекции сложных технических систем по видеозаписям и данным лазерного сканирования – на основе нейросетевой детекции и интеллектуальной сегментации дефектов, автоматизации оценки состава, параметров и критичности дефектов с учетом конструктивных особенностей анализируемых технических систем.

Искусственный интеллект уместно использовать в том числе и при решении задач автоматизации оценки состава, параметров и критичности дефектов с учетом конструктивных особенностей. Для таких задач характерны проблемы использования несбалансированных, малочисленных и слабо размеченных данных совместно с полностью размеченными данными. Например, в работе [13] представлен метод, в котором нейросетевая модель учится выявлять и локализовывать дефекты, где в процессе самообучения вырезаются случайные фрагменты снимков, затем эти фрагменты вставляются в произвольные места больших изображений. Такой способ организации обучения позволяет обойтись без дорогостоящей разметки данных. В процессе обучения нейронная сеть учится их находить, далее, обучившись, она находит реальные дефекты. В работе [14] для обнаружения вмятин на фюзеляже самолета применяется сверточная нейронная сеть класса Mask R-CNN [15]. Mask R-CNN позволяет обнаруживать несколько объектов на изображении, одновременно создавая маску сегментации для каждого экземпляра. В работе [16] содержится описание доработанного подхода. Реализация включает балансировку исходного набора данных путем добавления изображений без вмятин; повышение однородности данных за счет сосредоточения только на изображениях крыльев; исследование техник аугментации данных, а именно переворачиваний, поворотов и размытий; использование предварительного обученного классификатора в сочетании с Mask R-CNN.

В исследовании [17] предложена архитектура с двумя подсетями: подсеть сегментации, которая учится на метках на уровне пикселей, и подсеть классификации, которая учится на слабых метках уровня изображения. Представлена модель глубокого обучения для обнаружения поверхностных аномалий. Объединение обеих подсетей позволило смешивать полностью и слабо

размеченные данные для достижения наилучших результатов с минимальным аннотированием изображений.

Для приложений контроля качества работа при ограниченном количестве образцов может кардинально менять эффективность работы нейронных сетей. В исследовании [18] сравниваются три подхода на основе машинного обучения, делается оценка качества их работы при разных объемах датасетов: метод k ближайших соседей, расстояние Махаланобиса и специализированный фреймворк PaDiM [19] для обнаружения и локализации аномалий в изображениях. PaDiM использует предварительно обученную сверточную нейронную сеть для встраивания патчей и многомерные гауссовские распределения для получения вероятностного представления нормального класса. Он также использует корреляции между различными семантическими уровнями сверточной нейронной сети для лучшей локализации аномалий. Имея всего 10 изображений на класс и менее чем за 2 с обучения, PaDiM достигает лучших результатов, чем большинство современных автоэнкодеров при работе с датасетом «MVTec AD» (MVTec Anomaly Detection) [20]. Такие результаты получены благодаря качественной аугментации данных.

В публикации [21] предложена архитектура PatchCore, эффективно работающая на основе патч-признаков. При работе с датасетом «MVTec AD» PatchCore достигает уровня выявления аномалий порядка 99,1 %, в два раза сокращая уровень ошибки при сравнении с ближайшим конкурентом. Архитектура позволяет эффективно работать при малых датасетах.

В исследовании [22] предложен способ визуальной инспекции процесса плавления лазером металлического порошка (при промышленной 3D-печати): выполняется обработка высокоскоростного видео, для чего используется ИИ-модель FlawNet, позволяющая выполнять измерения смещений между предсказанным и наблюдаемым состояниями. Продемонстрирована возможность обнаружения изменений в сверхплотных материалах с пористостью 0,1 % с ROC AUC 0,944, что свидетельствует о способности обнаруживать аномалии до начала значительного разрушения материала. Решение применено к различным системам лазерной обработки и потенциально может быть адаптировано к ряду различных методов зондирования.

Сканеры обнаружения и определения дальности (LiDAR) могут собирать высококачественные наборы данных трехмерных облаков точек. В работе [23] представле-

на PointNet – сверточная нейронная сеть, адаптированная для обнаружения дефектов поверхности с использованием наборов данных в виде облаков точек, получаемых при сканировании поверхностей. PointNet устойчива к отсутствующим и поврежденным данным. В работе [24] представлен метод неконтролируемого обучения Metaformer, использующий метапараметры модели обучения для достижения способности к обнаружению очагов поражений. Метод сравнивается с современными методами детекции аномалий. Проведенное исследование показало высокую гибкость Metaformer в многоклассовой задаче.

### Заключение

В настоящей работе проводится обзор интеллектуальных методов обработки данных телеметрии и методов визуальной инспекции сложных технических систем. Обсуждаются и предлагаются основные направления применения искусственных технологий в космической технике, направленные на выявление аномалий, контроля и прогнозирования состояния аппаратуры датчиков. Исследованы вопросы прогнозирования технического состояния сложных технических систем, рассмотрено прогнозирование на основе метода Берга и моделей искусственного интеллекта – байесовских сетей и нейросетевых комитетов, осуществляющих прогнозирование состояния объектов интереса в нестационарной среде. Представлены результаты исследования методов визуальной инспекции сложных технических систем по видеозаписям и данным лазерного сканирования – на основе нейросетевой детекции и интеллектуальной сегментации дефектов, автоматизации оценки состава, параметров и критичности дефектов с учетом конструктивных особенностей.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-10056, <https://rscf.ru/project/21-71-10056/>.*

### Список литературы

1. Абанин О.И., Соловьев С.В. Новые математические методы анализа телеметрической информации в задачах контроля при управлении полетом космического аппарата // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. № 7. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-7-1788.
2. Балухто А.Н., Романов А.А. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Т. 6. Вып. 1. С. 65–75.
3. Скобцов В.Ю., Кругликов С.В., Ким Д.С., Новоселова Н.А., Архипов В.И., Кульбак Л.И., Николаева Е.Д., Лапцкая Н.В., Вакульчик Е.Н., Саксонов Р.В. Анализ показателей надежности, живучести и телеметрии бортовой аппаратуры малых космических аппаратов // Вопросы кибербезопасности. 2018. № 4. С. 54–69.

4. Skobtsov V.Yu., Novoselova N.A., Arkhipov V.I., Alyushkevich V.B. Intelligent Telemetry Data Analysis of Small Satellites. *Proceedings of Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. P. 351–361. DOI: 10.1007/978-3-319-57264-2\_36.
5. Дорожко И.В., Осипов Н.А., Иванов О.А. Прогнозирование технического состояния сложных технических систем с помощью метода Берга и байесовских сетей // *Труды МАИ*. 2020. № 113. DOI: 10.34759/trd-2020-113-14.
6. Винограденко А.М. Моделирование систем мониторинга технического состояния сложных технических объектов на основе методов теории энтропийных потенциалов // *Техника средств связи, научно-технический сборник*. 2018. № 7. С. 154-161.
7. Дудкин А.А., Марушко Е.Е. Нейросетевая технология обработки сигналов от средств контроля технических объектов // *Доклады БГУИР*. 2018. № 5. С. 85–91.
8. Будко П.А., Винограденко А.М., Рожнов А.В., Гойденко В.К. Способ комплексного статистического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования // *DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов*. 2018. № 1. С. 217–220.
9. Будко П.А., Винограденко А.М., Меженев А.В., Чикирев А.А. Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов // *Системы управления, связи и безопасности*. 2020. № 1. С. 235–283.
10. Gusev A.S., Repinskiy V.N. Anomaly Detection by Machine Learning Method Based on the Gaussian Distribution. *Proceedings of the International Conference Technology & Entrepreneurship in Digital Society (TEDS)*. 2019. P. 10–13.
11. Kruglova T.N., Glebov N.A., Shoshiashvili M.E. Smart Sensorless Prediction Diagnosis of Electric Drives. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 87. 7 p. DOI: 10.1088/1755-1315/87/3/032019.
12. Smerdin A., Ermachkov G., Nezevak V., Sidorov O., Golubkov A. Use of Sensor Networking Technology to Build a Power Transformer Monitoring System. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 224. 11 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202022402021.
13. Chun-Liang Li, Kihyuk Sohn, Jinsung Yoon, Pfister T. CutPaste: Self-Supervised Learning for Anomaly Detection and Localization. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021. 28 p.
14. Soufiane Bouarfa, Anil Doğru, Ridwan Arizar, Reyhan Aydoğan, Joselito Serafico “Towards Automated Aircraft Maintenance Inspection. A Use Case of Detecting Aircraft Dents Using Mask R-CNN”. *AIAA Scitech 2020 Forum*. 2020. 20 p. DOI: 10.2514/6.2020-0389.
15. He K., Gkioxari G., Dollar P., Girshick R. Mask R-CNN. *Proceedings of ICCV 2017*. 2018. 12 p.
16. Doğru A., Bouarfa S., Arizar R., Aydoğan R. Using Convolutional Neural Networks to Automate Aircraft Maintenance Visual Inspection. *MDPI. Aerospace*. 2020. 22 p.
17. Božič J., Tabernik D., Skočaj D. Mixed Supervision for Surface-Defect Detection: From Weakly to Fully Supervised Learning. *Computers in Industry*. 2021. 14 p.
18. Gutierrez P., Cordier A., Caldeira T., Sautory T. Data Augmentation and Pre-Trained Networks for Extremely Low Data Regimes Unsupervised Visual Inspection. *SPIE proceedings of Optical Metrology conference*. 2021. 16 p.
19. Defard T., Setkov A., Loesch A., Audigier R. Padim: A Patch Distribution Modeling Framework for Anomaly Detection and Localization. *Proceedings of the 1st International Workshop on Industrial Machine Learning (ICPR 2020)*. 2020. 7 p.
20. MVTec AD: MVTec Software, 2021. URL: <https://www.mvtec.com/company/research/datasets/mvtec-ad> (дата обращения: 23.12.2021).
21. Karsten Roth, Latha Pemula, Joaquin Zepeda, Bernhard Schölkopf, Thomas Brox, Peter Gehler “Towards Total Recall in Industrial Anomaly Detection”. 2021. 18 p.
22. Larsen S., Hooper P.A. Deep Semi-Supervised Learning of Dynamics for Anomaly Detection in Laser Powder Bed Fusion. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2021. 15 p.
23. Majid Nasrollahi, Neshat Bolourian, Amin Hammad “Concrete Surface Defect Detection Using Deep Neural Network Based on LiDAR Scanning”. *7th International Construction Conference Jointly With The Construction Research Congress (CSCE 2019)*. 2019. 10 p.
24. Jih-Ciang Wu, Ding-Jie Chen, Chiou-Shann Fuh, Tyng-Luh Liu “Learning Unsupervised Metaformer for Anomaly Detection”. *Proceedings of the ICCV 2021*. 2021. P. 4369-4378.

УДК 65:666.3/7

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УЧАСТКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ОПК

<sup>1,2</sup>Харитонов Д.В., <sup>1,3</sup>Блинов А.Н., <sup>1</sup>Анашкин Д.А.

<sup>1</sup>АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», Обнинск, e-mail: adma1981rus@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»,  
Москва, e-mail: haritonovdv1978@gmail.com;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ», Казань, e-mail: blinov\_aleksey81@mail.ru

Одна из приоритетных задач предприятий оборонно-промышленного комплекса – это своевременный выпуск высокотехнологичной продукции в соответствии с требованиями заказчика. На примере АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» показаны практические мероприятия, позволяющие без остановки производства и существенных инвестиций повысить производительность операции механической обработки керамических изделий в три раза. Описаны существовавшие до начала преобразований проблемы на производстве и первичные неоптимальные действия. Продемонстрированы важность и ценность проведения сбора объективных данных и последующего их грамотного анализа. Рассмотрены пути повышения производительности операции механической обработки при переходе со штучного (опытного) на мелкосерийное наукоемкое производство изделий радиотехнического назначения при резком увеличении государственного оборонного заказа. Описан алгоритм проведения изменений, используемые инструменты и подходы, используемые в ходе реализации проектов по повышению производительности, включающие в себя: формирование ячеек; модернизацию оборудования; перемещение оборудования в соответствии с выполняемыми задачами и типом изделий; перепланировку и перенесение участков с целью улучшения логистики и управления; стандартизацию работы. Предложен подход по ускорению адаптации производственного персонала в рабочем процессе, на основе матрицы компетенции и бригадного подхода. Показаны примеры применения методологии бережливого производства (lean) по выявлению и анализу и устранению потерь, повышению производительности за счет устранения потерь.

**Ключевые слова:** повышение производительности, механическая обработка керамических изделий, ОПК, ГОЗ, бережливое производство, оптимизация использования производственных площадей, технический контроль

## IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF THE CERAMIC PRODUCTS MACHINING SITE IN THE DEFENSE INDUSTRY

<sup>1,2</sup>Kharitonov D.V., <sup>1,3</sup>Blinov A.N., <sup>1</sup>Anashkin D.A.

<sup>1</sup>JSC “ONPP “Technology” named after A.G. Romashin”, Obninsk, e-mail: adma1981rus@gmail.com;

<sup>2</sup>D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow,  
e-mail: haritonovdv1978@gmail.com;

<sup>3</sup>Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,  
Kazan, e-mail: blinov\_aleksey81@mail.ru

One of the priority tasks of the enterprises of the military-industrial complex is the timely release of high-tech products in accordance with customer requirements. On the example of JSC “ONPP “Technology” named after A.G.Romashin, practical measures are shown that allow to increase the productivity of the machining operation of ceramic products three times without stopping production and significant investments. The problems in production that existed before the transformation began, and the primary non-optimal actions are described. The importance and value of collecting objective data and their subsequent competent analysis is demonstrated. The ways of increasing the productivity of the machining operation during the transition from piece (experimental) to small-scale high-tech production of radio-technical products with a sharp increase in the state defense order are considered. The algorithm of making changes, the tools used and the approaches used during the implementation of productivity improvement projects are described. Includes: formation of cells; modernization of equipment; moving equipment in accordance with the tasks performed and the type of products; redevelopment and relocation of sites in order to improve logistics and management; standardization of work. An approach is proposed to accelerate the adaptation of production personnel in the workflow, based on the competence matrix and the brigade approach. Examples of the application of lean production methodology to identify and analyze and eliminate losses, increase productivity by eliminating losses are shown.

**Keywords:** productivity increase, mechanical processing of ceramic products, defense industry complex, state defense order, lean, optimization of the use of production areas, technical control

Данная работа является частью общей деятельности по повышению производительности наукоемкого мелкосерийного производства сложнопровильных изделий

из керамики для государственного оборонного заказа (ГОЗ). В рамках данной работы акцент будет сделан на операцию механической обработки изделий, все работы на пре-

дыдущих операциях: обжиг, формование и приготовление шликера – будут описаны в отдельных статьях.

Производство сложнопрофильных крупногабаритных изделий из керамики является основным видом деятельности в АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина (Общество). Одной из самых ответственных и длительных операций в технологии является механическая обработка заготовок, сопряженная с рядом сложностей, обусловленных спецификой выпускаемой продукции: габариты (около 1 м в длину); сложная геометрия (внутренние и внешние контуры не идентичные); тонкостенность; хрупкость; материал имеет высокую твердость (до 9 по шкале Мооса); требуется высокая точность обработки (до 0,01 мм) [1].

Особенности продукции, материала и форма заготовки требуют специальной оснастки, проведения множественных контрольных операций: поиск дефектов в материале заготовки, замеры толщины и проверка геометрии и т.д. Многочисленные замеры существенно удлиняют процесс механической обработки [2–4].

В 2012 г. резко начал расти ГОЗ по продукции, выпускаемой Обществом. В результате руководством было принято решение повышения производительности за счет экстенсивного развития – закупки нового оборудования и набора новых работников.

Достаточно долго в цеху существовало представление, что именно операция механической обработки является узким местом в производственном процессе. Это было вызвано принятым подходом к расчету пооперационного коэффициента запуска. И именно поэтому основное внимание в начале работы по повышению производительности в цеху сконцентрировалось на операции механической обработки. Было выбрано простое решение – купить и установить новые станки и нанять больше токарей.

Позднее стало понятно, что для размещения необходимого оборудования элементарно нет свободных площадей. Изначально производство создавалось как экспериментальное и, соответственно, количество производственных площадей было ограничено, а их логика подчинена задачам проведения НИОКР.

В целях максимизации использования оборудования за счет устранения простоя в выходные и праздничные дни, было принято решение ввести бригадный подход [5] и разделить всех токарей на три бригады с введением скользящего графика работы 5/2 при двухсменной работе. Бригадный подход позволил максимально быстро включить новых неопытных работников

за счет распределения выполняемых работ в соответствии с опытом и ЗУНами в области обработки керамики и уменьшить их негативное влияние на качество. При таком подходе бригада не заинтересована в работах, которые недостаточно активны и выполняют свою работу некачественно, так был изменен учет проделанной работы и количество дефектов с индивидуального на коллективный.

Даже увеличив количество оборудования и заняв все доступные для его установки площади, введя скользящий график работы и, как следствие, увеличив количество работников на участке механической обработки в 1,6 раза, повышение производительности операции механообработки удалось повысить всего в 1,35 раза, что не позволило достичь требуемого значения.

Проанализировав сложившуюся ситуацию, установили основные аспекты негативной ситуации. Введение скользящего графика работы привело к ухудшению управляемости участка. Покупка новых станков при сохранении старых потребовала увеличение обслуживающих специалистов. Найм новых работников усугубил проблему качества. Специфика механической обработки крупногабаритных сложнопрофильных абразивных изделий, обладающих уникальными набором свойств (высокая твердость и хрупкость), затрудняет процесс поиска готовых квалифицированных специалистов в регионе, из-за чего резко вырос брак и другие сопутствующие потери.

С позиции после знания главной проблемой было отсутствие эффективной системы управления производством, т.е. целенаправленного заранее проанализированного и спланированного комплекса взаимосвязанных мероприятий по созданию конечного продукта. Фактически было возможно быстрее и с меньшими затратами энергии, времени и средств повысить производительность в цеху. Наиболее эффективно себя впоследствии показала работа по снижению количества дефектов, закладываемых на предшествующих операциях (формование и обжиг). Это позволило уменьшить потери, связанные с обработкой изначально дефектных изделий, которые выявляются только на стадии механической обработки.

Первая попытка повышения производительности экстенсивным путем полностью не оправдала себя. Дальнейший процесс трансформации производства было решено реализовывать, используя методологию (философию) бережливого производства (lean), которая показала свою эффективность в условиях ограничений.

Было выбраны следующие направления работ: оптимизация использования производственных площадей с целью установки дополнительного оборудования; модернизация оборудования, мероприятия по совершенствованию логистики; улучшение условий труда и обучение работников.

На первом этапе по оптимизации процессов на операции механической обработки было решено сосредоточиться на одном из участков. И после достижения целевых показателей тиражировать полученный позитивный опыт на другие участки.

В целях увеличения полезных площадей проведена полная инвентаризация: оборудования; запасов; оснастки; функциональное использование помещений. Анализ полученных данных показал, что на производственных участках находятся рабочие места ИТР и мастеров, оснастка и приспособления для станков. И если в 1980-х гг., когда сам цех носил экспериментальный характер и выпускал небольшое количество изделий, такая планировка имела смысл, то в условиях мелкосерийного производства это препятствовало размещению нового оборудования. Поэтому для мастеров

и ИТР было выделено отдельное изолированное помещение, где были созданы комфортные условия для работы. Склад готовой продукции был перенесен. Для оснастки и приспособлений в соответствии с принципами 5С было организовано отдельное место для их удобного хранения и дальнейшего использования. В результате проведенных изменений высвободили 29% полезных для установки нового оборудования площадей. Пример высвобождения полезных площадей показан на рис. 1.

После переноса склада стало возможно физически присоединить пустующие производственные площади, закреплённые за другим структурным подразделением. Данные площади пустовали из-за сорванного много лет назад проекта по выпуску другой продукции.

Разработав проект реструктуризации участка, удалось согласовать обмен помещений между структурными подразделениями. Снос многочисленных стен и перенос станков из другого изолированного помещения позволил улучшить коэффициент использования пространства, логистику и управление.



Рис. 1. Пример оптимизации использования полезных площадей

Работа по модернизации оборудования заключалась в нахождении нового применения старых и изношенных станков. В процессе работы по анализу пригодности станков были выявлены старые крупногабаритные токарные станки, на которых уже было невозможно обрабатывать заготовки с точностью, соответствующей требованию технологии, из-за того, что у них были существенно выработаны направляющие. Станки, занимали большую площадь (77 м<sup>2</sup>) и фактически не использовались в технологическом процессе. Первоначальной идеей было их списание, утилизация и замена на новые. Но в процессе согласования и поиска финансирования для закупки новых станков была предложена идея не списывать станки, а модернизировать и специализировать на выполнение операций, либо не требующих высокой точности, либо для изделий малых размерностей. В процессе модернизации у станков была укорочена на треть станина. После сокращения их габаритов появилась возможность установить их более компактно.

Таким образом, за счет доработки старых станков:

- высвободили полезную площадь (17 м<sup>2</sup>);
- «освободили» современные высокопроизводительные и высокоточные станки от выполнения операций, не требующих точности и производительности;
- сэкономили существенные финансовые ресурсы предприятию;
- уменьшили время простоя, связанное с переналадкой станков, за счет отказа от переналадки;

- на освободившееся место на участке установили новую установку автоматической системы водоочистки.

Первый этап оптимизации позволил увеличить производительность, но желательные показатели были не достигнуты. А наблюдаемая картина в гембе демонстрировала, что новое оборудование простаивало. На основе данных системы мониторинга, видеонаблюдения, опросов и анкетирования операторов станков была проведена оценка загруженности оборудования, частота и причины его поломок и переналадок, а также уровень межоперационных запасов. В целях выявления и устранения потерь из-за излишних перемещений и избыточной транспортировки был проведен объективный хронометраж времени выполнения технологических операций.

Для упрощения восприятия полученных данных о причинах простоя оборудования и предоставления их при обосновании принятых решений у руководства была построена диаграмма Парето (рис. 2).

По диаграмме видно, что в течение смены у оператора станка можно выделить три наиболее длительных причины простоя за исключением поломок и ожидания, которые вносят доминирующее количество потерь времени: замер контура изделия, транспортировка изделий на визуальном оптический контроль (ВОК), получение сменных заданий.

В процессе работы над логистикой на этапе механической обработки, была построена диаграмма спагетти, что позволило выявить маршруты с излишней транспортировкой и перемещением работников (рис. 3).



Рис. 2. Диаграмма Парето простоя оборудования

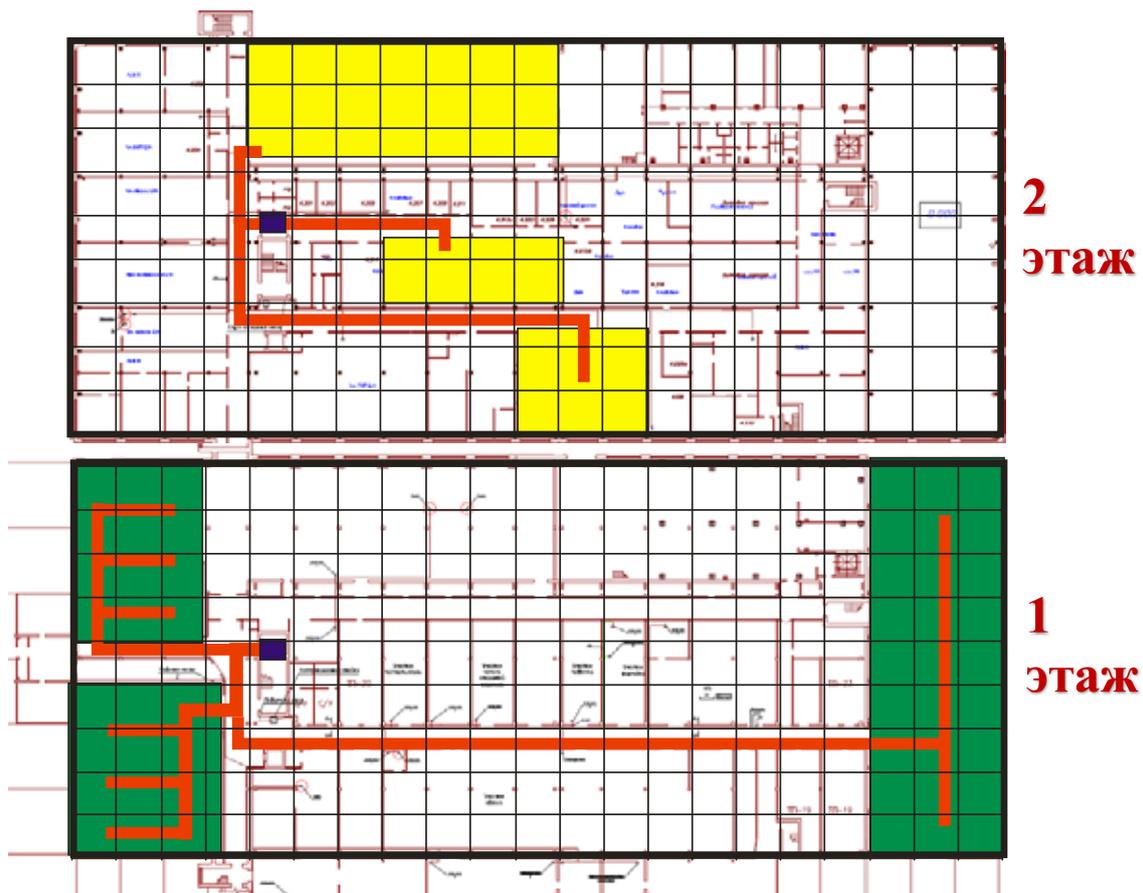


Рис. 3. Диаграмма Спагетти.  
Красный – маршрут движения; желтый – помещения лабораторий;  
зеленый – механическая обработка; фиолетовый – грузовой лифт; масштаб – 6 м/кл

Проанализировав данные перемещений, стало понятно, что за счет организационных методов, без изменения работы других участков, можно сократить потери, перенеся участок ВОК ближе к станкам и организовав наглядную систему донесения до работников их задания (рис. 2).

Исторически сложилось, что операция визуального оптического контроля проводилась на втором этаже (в помещении лаборатории), а помещения, участки механической обработки – на первом этаже этого же корпуса. Таким образом, токарю для отправки изделия на проверку ВОК было необходимо: извлечь изделие из фиксирующей оснастки, запаковать его в транспортную тару, поместить на тележку, отвезти тележку до лифта, на лифте подняться на 2 этаж, доехать до поста ВОК, распаковать изделие, дождаться окончания проведения проверки, снова упаковать изделие и повторить обратный путь. Это приводило к тому, что только на транспортировку в среднем один токарь

тратил более 256 часов в год – почти 13% своего рабочего времени. При этом не всегда контролер ВОК физически находился на посту, и его приходилось искать. В результате все это время станок простаивал.

Операция визуального оптического контроля предъявляет только одно требование – полная затенённость помещения. И первоначальная идея организовать пост ВОК в помещении участка за счет строительства изолированного помещения, как в лаборатории, вступила в конфликт с целью высвобождения площадей. Рядом с участком тоже не оказалось свободных помещений. Но, используя инструменты ТРИЗ и проведя анализ проведения контроля, выяснили, что для самой операции с изделием не требуется большого количества свободного места. А всю бумажную работу можно проводить не на самом посту. Это кратно сократило требования к площади поста (3–4 м<sup>2</sup>). И аналогичное пространство было найдено в техническом помещении, которое находилось между

участком и коридором. Таким образом удалось разместить пост ВОК в неиспользуемом пространстве рядом с самим участком, по возможности равноудаленно от всех станков и существенно устранить потери, связанные с избыточной транспортировкой изделий и перемещением работников.

Дополнительно было решено переместить станки в соответствии с их разделением по обрабатываемым материалам выпускаемой продукции. Это уменьшило потери, связанные с избыточным перемещением работников, избыточной транспортировкой, и упростило управление процессом механической обработки. При этом в случае необходимости часть станочного парка можно было оперативно перенастроить на обработку изделий из другого материала, в случае неравномерности ГОЗ.

Многостаночное обслуживание стало следующим логическим шагом. Покупка нового оборудования и модернизация существующего с последующим перемещением станков позволили на стадии реконструкции отдельных помещений разместить станки по принципу работы в ячейке (рис. 1), когда на одного оператора приходится два высокопроизводительных станка. Хотя данное решение снизило эффективность использования оборудования (ОЕЕ), но зато повысило производительность токарей.

Параллельно шла работа по организации единой системы хранения оснастки для участка механической обработки (рис. 4). До улучшений оснастка располагалась хаотично и в разных помещениях. Это приводило к излишним перемещениям работников, простоям оборудования, создавало риски повреждения оснастки из-за ненадлежащего хранения и затрудняло проведение ее поверки.

В целях оптимизации хранения оснастки было выделено место в избыточно широкой части коридора рядом с самими участками. На выделенной площади организовали трехуровневые закрывающиеся стеллажи. Куплен электрический вилочный погрузчик, разработаны стандарты его обслуживания и зарядки. Рядом выделено место для его парковки и заряда. Все это позволило почти в четыре раза сократить место, которое тратилось на хранение оснастки, кратно сократить время по поиску нужной оснастки. Появление погрузчика позволило организовать хранение материалов на складе в два уровня и высвободить дополнительные полезные площади.

Была проведена реорганизация рабочих мест токарей в соответствии с методологией 5С. Созданы стандартизированные рабочие места по работе с документацией и инструментами. Организованы места хранения оснастки возле станков и средств индивидуальной защиты. Это позволило уменьшить количество потерь, связанных с избыточным перемещением токарей, поиском необходимых инструментов.

С целью повышения производительности на участке механической обработки было принято решение применения инструментов быстрой переналадки (SMED) и всеобщего обслуживания оборудования, которые позволили взять путь на получение «идеальных рабочих», достичь такого уровня профессионализма токарей, при котором они могут обрабатывать весь спектр изделий с надлежащим качеством, а не только отдельные позиции; производить быструю и качественную переналадку; осуществлять плановое техническое обслуживание станков и их мелкий ремонт.



Рис. 4. Система хранения оснастки

Для адекватной оценки профессионализма и результатов работы работников силами мастеров и руководителями цеха были разработаны критерии оценки для матрицы навыков компетенции [6, 7]. Матрица – наглядный инструмент управления и мотивации работников. Позволяет выстроить прозрачную систему оценки компетенций работников. Снижает субъективизм в оценках и упрощает планирование и управление коллективом. Для многих работников становится стимулом для профессионального роста и развития.

Для снижения сопротивления изменения и поиска решений, которые позволяют быстро и дешево достигать значимых результатов, была запущена система сбора кайдзен-предложений (предложений по улучшению), которая позволила не только вовлечь в процесс улучшения рабочих цеха, но и повысило их мотивацию в производственном процессе. Было организовано внутреннее и внешнее обучение работников бережливому производству, для рабочих, мастеров и ИТР.

Дополнительно шла работа над улучшением условий труда в цеху. Произведена работа по ремонту и улучшению дизайна помещений цеха. Организована, а впоследствии реорганизована с увеличением площади, удобства и наполнения оборудования комната приема пищи. Перестроены туалеты и душевые, что позволило до трех раз увеличить их пропускную способность, улучшить эстетический вид и комфорт. По возможности в помещениях с длительным пребыванием работников установлены климатические установки. Таким образом, улучшали гигиенические факторы (заработная плата, комфорт на рабочем месте, отно-

шения с коллегами и руководством, правила и т.д.). В точках (зонах) притяжения внимания (места в помещении, на которые человек без усилия со своей стороны обращает внимание) размещены информационные плакаты и стенды.

По итогам работы удалось в полной мере и своевременно выполнять ГОЗ. Созданы новые высокопроизводительные рабочие места. Удалось отказаться от скользящего графика работы. Модернизировано 14% станков. Производительность работника выросла на 37%. Процент обучения персонала принципам и инструментам бережливого производства составил среди ИТР более 90%, среди рабочих 52%. Общая производительность выросла почти в 3 раза.

### Список литературы

1. Воробьев Е.А. Механическая обработка радиопрозрачных остроконечных обтекателей летательных аппаратов // Инструмент. 1998. № 10. С. 22–23.
2. Суздальцев Е.И., Эпов А.Г., Хамицаев А.С., Харитонов Д.В. Исследование влияния режимов механической обработки металлокерамических изделий в системе: станок – изделие – инструмент – схема // Огнеупоры и техническая керамика. 2003 № 7. С. 23–31.
3. Алексеев С.В. Влияние режимов алмазного шлифования на силы резания в процессе обработки конструкционной керамики // Известия МГТУ. 2014. № 2 (20). С. 5-8.
4. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Копылов В.В. Получение математической модели качества поверхности детали типа оболочки вращения из кварцевой конструкционной керамики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2011. № 3. С. 68–73.
5. Султанаева И.Э., Фазылова Э.А. Прогрессивные формы организации труда // Символ науки. 2018. № 5. С. 79–85.
- Карамушко Г.В., Маськова Н.Г. Управление персоналом на основе формирования компетентностной модели в сфере бережливого производства // Новые технологии. 2021. Т. 17. № 2. С. 131–137.
6. Алаева Е.А. Матрица компетенции // Вестник науки и образования. 2019. № 22–3 (76). С. 9–11.

## СТАТЬИ

УДК 372.881.1

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИГРОВЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ

Буров В.А.

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
Санкт-Петербург, e-mail: wing17@mail.ru*

Рассматриваются современные игровые инструменты обучения иностранному языку с использованием открытых электронных ресурсов. Проведён обзор литературы, посвящённой использованию игровых методов при обучении иностранному языку. Выявлена важность использования игровых методик в обучении иностранному языку, значение юмора для обучения и важность создания непринуждённой атмосферы как ключевого элемента для усвоения иностранного языка студентами. Проведён анализ эффективности и возможности использования данных ресурсов в процессе геймификации обучения иностранному языку студентов технического вуза. Изучена возможность формирования системы геймификации на основе игровых элементов из игр, доступных на открытых электронных ресурсах. Описаны различия между концепциями эдьютейнмента и геймификации. Рассмотрены такие игры, как «Мафия», «Своя игра» и другие викторины. Выявлена эффективность использования смартфонов студентов в обучении иностранному языку при проведении викторин. Описаны три вида игр, которые можно проводить для закрепления пройденного учебного материала или выработки навыков, необходимых в дальнейшем обучении – разговорного навыка, навыков работы в команде, навыков работы в конкурентной среде. Описаны различные способы организации викторин в зависимости от уровня оборудования учебной аудитории.

**Ключевые слова:** геймификация, эдьютейнмент, викторины, «Своя игра», игровые элементы, игровые методики, иностранный язык

## IMPLEMENTATION OF GAME METHODS OF TEACHING A FOREIGN LANGUAGE TO STUDENTS OF A TECHNICAL UNIVERSITY USING OPEN ELECTRONIC RESOURCES

Burov V.A.

*Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, e-mail: wing17@mail.ru*

The article deals with modern game tools for teaching a foreign language using open electronic resources. A review of the literature on the use of game methods in teaching a foreign language is carried out. The article reveals the importance of using game techniques in teaching a foreign language, the importance of humor for learning and the importance of creating a relaxed atmosphere as a key element for the assimilation of a foreign language by students. The analysis of the efficiency and possibility of using these resources in the process of gamification of teaching a foreign language to students of a technical university is carried out. The possibility of forming a gamification system based on game elements from games available on open electronic resources has been studied. The differences between the concepts of editing and gamification are described. Considered games such as “Mafia”, “Own game” and other quizzes. Revealed the effectiveness of using smartphones of students in teaching a foreign language during quizzes. Three types of games are described that can be carried out to consolidate the passed educational material or develop the skills necessary for further training - speaking skills, teamwork skills, skills of working in a competitive environment. Various ways of organizing quizzes are described, depending on the level of equipment of the classroom.

**Keywords:** edutainment, gamification, game, game elements, methodology, foreign language

Концепция игрового обучения иностранному языку достаточно популярна в настоящее время. Существуют различные виды игр, как с использованием компьютера, так и без него. Игровые методики с использованием открытых электронных ресурсов уже довольно давно используются в обучении иностранным языкам. Как правило, таким ресурсом является веб-сайт, предлагающий инструменты для создания собственного опроса, викторины или использования уже готового учебного материала, созданного другими пользователями. Часто такие сайты предлагают бесплатный аккаунт с ограниченным функционалом и платный с более широкими возможностя-

ми. Данные игровые инструменты чаще всего ассоциируются с проведением игрового урока для школьников или с дополнительными учебными курсами, однако их можно использовать и для обучения профессионально-ориентированному иностранному языку в техническом вузе. В частности, данные игровые инструменты могут быть использованы для формирования системы геймификации обучения иностранному языку в техническом вузе.

Цель статьи состоит в теоретическом обосновании и практическом использовании игровых инструментов в формировании системы геймификации обучения иностранному языку в техническом вузе. Цель

исследования – теоретическое описание термина *система геймификации* и описание практического использования игровых методик в обучении иностранному языку в техническом вузе.

В своей работе о важности использования игр в обучении английскому как иностранному языку Э. Гозку утверждает, что создание расслабленной, непринуждённой атмосферы является важнейшим фактором для вовлечения студентов в изучение иностранного языка, а игра стимулирует их соревноваться друг с другом. Игры позволяют избежать ненужной рутины и в то же время мотивируют студентов заниматься иностранным языком [1]. Немаловажным аргументом в пользу игр является то, что они позволяют студентам взаимодействовать друг с другом, помогают научиться работать в команде, помогают формированию навыка работы над совместными проектами.

Кроме навыков работы в команде студенту также необходимы навыки конкурентной борьбы, умение добиваться своих целей, продвигать свои идеи. Для таких целей подходят различные викторины. Использование викторины «Своя игра» («Jeopardy») в обучении, по словам А. Русдияны, позволяет повысить мотивацию студентов, сделать процесс более живым и динамичным, развить критическое мышление. В своей работе А. Русдияна исследует, как студенты относятся к использованию викторины в обучении. Результаты опроса показали, что все студенты из опрошенных восприняли использование викторины «Своя игра» положительно и более 90 % процентов отметили улучшение своих результатов в различных аспектах изучения иностранного языка – говорении, расширении словарного запаса и т.д. [2] Важность соревновательного аспекта викторины «Своя игра» подчёркивает Н. Фитравати, в своей работе автор исследует влияние игры на изучение новых слов и приходит к выводу, что викторина позволяет сделать это легко весело и эффективно [3].

Вопросы в викторине могут быть не только в виде текста – это могут быть аудиозаписи, изображения, видеофрагменты. Использование викторины в качестве инструмента формирования визуальной культуры как части лингвокультурной компетенции исследует в своей работе Л. Коняева [4]. Важность игр подчёркивает А. Шатилова, поскольку игры способствуют актуализации знаний, практике языка непосредственно на занятиях, не дожидаясь удобной ситуации, такой как поездка за границу или общение с носителем языка. Также можно выделить прин-

цип элективности в играх, то есть свободу выбора, когда студент сам решает, каким образом достигать целей игры [5].

Важный аспект использования игр, который отмечается практически всеми исследователями – это хорошее настроение у студентов. В своей работе И. Ломбарди утверждает, что важным моментом в игре является юмор. В своей статье он даже приводит утверждение, что «веселье – это ещё одно определение обучения» [6]. И. Ломбарди говорит о том, что юмор является хорошей мотивацией для обучения, и, действительно, смешные моменты лучше запоминаются. Одной из проблем при обучении иностранному языку является восприятие его студентами как сложной и скучной науки, которую даже начинать изучать нет никакого желания. Если изучение иностранного языка будет ассоциироваться у студентов с чем-то приятным и весёлым, то это уже будет огромным шагом в формировании устойчивой мотивации к обучению.

Современные концепции эдьютейнмента и геймификации используют возможности игр для формирования эффективной методики обучения иностранному языку. Отличие двух данных концепций заключается в том, что эдьютейнмент использует более широкий набор инструментов, чем геймификация, – это могут быть различные увлекательные видеоматериалы или проведение урока в виде экскурсии. Геймификация представляет собой использование игровых элементов в неигровом контексте. То есть геймификация работает с содержанием обучения таким образом, чтобы сделать его увлекательным для восприятия студентами, а эдьютейнмент подбирает содержание обучения таким образом, чтобы сам процесс обучения был увлекателен. То есть, если нам важно дать студентам конкретный учебный материал, например, про устройство компьютера на иностранном языке, то эдьютейнмент не подойдёт, необходимо выбрать геймификацию. Исследованиями в данном направлении занимаются такие учёные, как И. Бахметьева, Ю. Мишенева, Р. Ефимова [7–9]. Важнейшей задачей, которую решают игровые методы, описанные в работах данных учёных, является формирование непринуждённой среды обучения, эмоциональная вовлечённость студента в учебный процесс, удержание его внимания и мотивация к дальнейшему обучению. Как пишет в своей работе И. Бахметьева, способность игры удерживать внимание игрока на долгое время является «психологической базой» как для педагогических игр, так и для геймификации [7, с. 234].

### Материалы и методы исследования

Во время подготовки данной работы были применены такие методы исследования, как анализ литературы по использованию геймификации в обучении, сравнительный анализ различных игровых ресурсов и методик, обобщение опыта применения игр в обучении иностранному языку.

#### *Игры, применяемые в обучении*

Основой для геймификации обучения являются игры и игровые элементы. Важным моментом является неигровой контекст. Несмотря на то, что развлечение и хорошее настроение являются отличительной особенностью большинства игр, и основной причиной, по которой люди любят в них играть, необходимо учитывать, что основной целью учебного процесса является освоение учебного материала.

#### *Игра «Мафия»*

Самый простой вариант использования игры на занятиях по иностранному языку – это взять обычную популярную настольную игру и попробовать сыграть её на английском языке. Один из вариантов – игра «Мафия», в которой группа играющих делится на мирных жителей и мафию. «Днём» мирные жители пытаются путём голосования и обсуждения вычислить и устранить мафию, а «ночью», когда город спит, мафия одного за другим устраняет мирных жителей. В начале игры жителям раздаются специальные карточки с ролями, которые им необходимо играть (мафия, мирный житель и дополнительные

роли вроде доктора или детектива) (рис. 1). Эта игра достаточно широко известна и является традиционной студенческой игрой. Большинство студентов знают правила и, возможно, сами в неё играют. Карточки для игры можно купить или вырезать из бумаги самостоятельно, а необходимый для перехода на английский язык глоссарий можно найти в интернете [10].

К достоинствам игры относится возможность играть всем классом, отработка коммуникативных навыков, способности отстаивать свою точку зрения, освоение словарного запаса. К недостаткам можно отнести ограниченный словарный запас – для изучения специальной терминологии игра не подходит, поскольку в ней используются слова и фразы, связанные напрямую с самой игрой. Однако для тренировки коммуникативных навыков и психологической разгрузки после освоения сложного материала игра может подойти и для урока профессионального английского языка. Преподаватель может быть ведущим в игре, но целесообразней назначить на эту роль студента, поскольку у ведущего больше возможностей попрактиковать язык. Практика показывает, что студенты, у которых есть проблемы с дисциплиной, которые много разговаривают во время урока, могут быть очень хорошими ведущими, охотно берут на себя эту роль. Возможно, роль ведущего позволяет им удовлетворить потребность находиться в центре внимания. Игра начинается со слов ведущего: «Наступает ночь. Город засыпает. Просыпается мафия. Мафия выбирает свою жертву».



Рис. 1. Карты для игры в «Мафию» [11]

Во время игры студенты общаются между собой, дискутируя на тему, кто является мафией и почему выбран конкретный подозреваемый. Подозреваемые оправдываются. Типичные фразы ведущего: «The night is coming», «Everyone is sleeping» («Наступает ночь», «Все спят»). Фразы жителей: «I suspect player 1», «Player 1 is suspicious to me» («Я подозреваю игрока 1», «Мне кажется, игрок 1 выглядит подозрительным»). Подозреваемый игрок пытается оправдаться: «I am one of the townspeople» («Я один из мирных жителей») [10].

Кроме изучения иностранного языка, игра в «Мафию» позволяет студентам познакомиться поближе, научиться работать совместно, что может быть полезно при реализации будущих учебных проектов.

#### *Организация викторин при помощи ресурса «Quizizz»*

Наличие смартфонов у современных студентов большинством преподавателей воспринимается негативно, поскольку студенты отвлекаются, играют в компьютерные игры на уроках, общаются в социальных сетях и списывают правильные ответы на экзаменах. Единственным решением в такой ситуации кажется изъятие смартфонов на уроке. Однако есть и другой, более эффективный вариант. Современный смартфон сам по себе является довольно мощным компьютером, позволяющим решать широкий спектр задач, и было бы непродуктивно не использовать его возможности в учебных целях. Далеко не всегда учебный класс оборудован компьютерами так, чтобы

студент мог выйти в интернет с индивидуального устройства. Однако наличие у студентов смартфонов решает эту проблему. Интернет-сайт «Quizizz» и другие аналогичные сайты позволяют организовать викторину в онлайн-режиме [12].

При регистрации на сайте в качестве преподавателя пользователю предоставляется возможность запустить викторину и пригласить своих студентов поучаствовать в ней (рис. 2). Для этого студенты должны ввести в командной строке браузера смартфона «join my quiz.com». После этого они будут направлены на сайт «Quizizz». Здесь необходимо будет ввести код викторины и придумать никнейм. Во время проведения игры желательно следить, чтобы никнеймы были похожи на реальные имена студентов, чтобы можно было легче отслеживать результаты.

На сайте «Quizizz» размещено множество готовых викторин по разным темам и учебным дисциплинам, в том числе и по иностранным языкам. Однако важнейшим достоинством сайта является возможность самостоятельно создавать викторины, что очень полезно в случае преподавания профессионально ориентированного иностранного языка. Процесс создания викторины является максимально простым и интуитивно понятным, при этом достаточно гибким, позволяющим использовать картинки и видео. Простота создания теста или урока позволяет быстро подготовить интерактивный учебный материал, который может быть использован как при обычном, так и при дистанционном обучении.

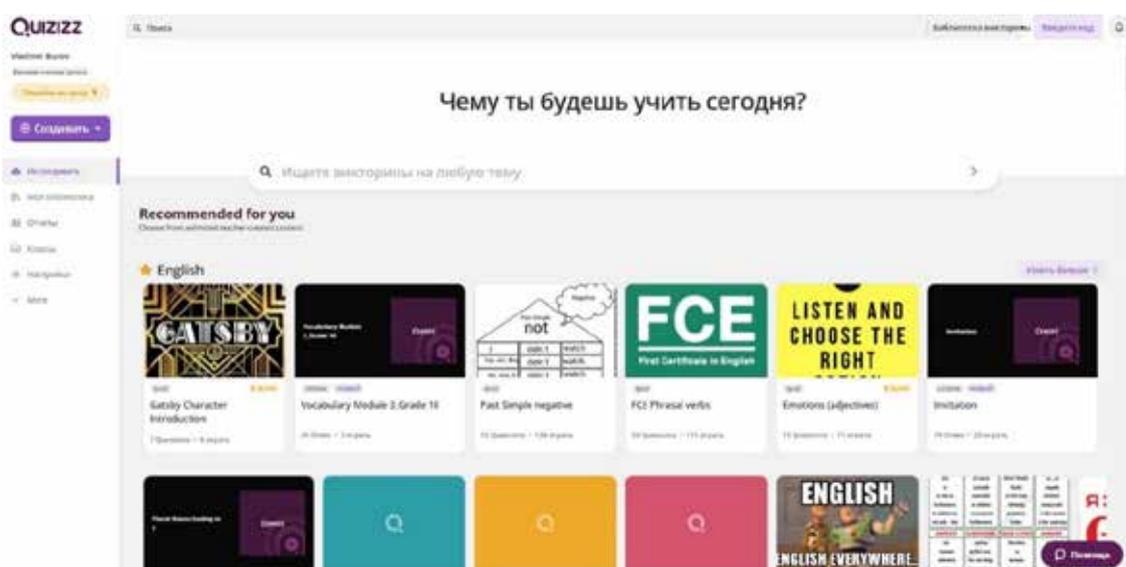


Рис. 2. Сайт «Quizizz»

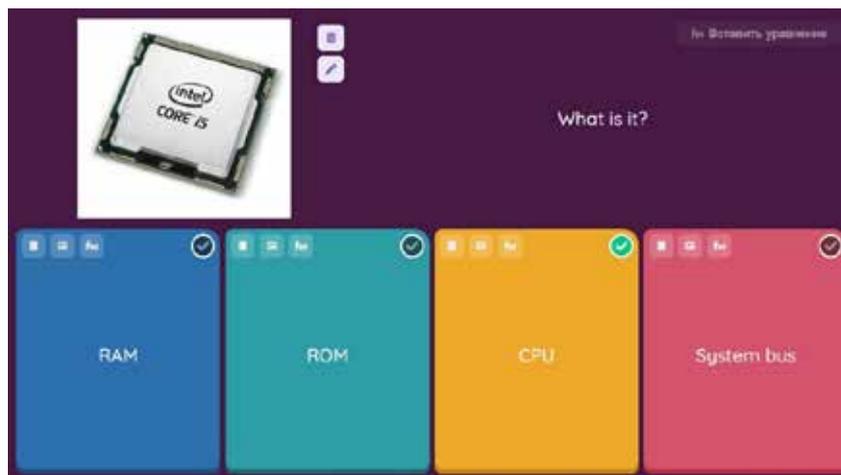


Рис. 3. Создание вопроса в редакторе «Quizizz»

При создании викторины по профессионально-ориентированному иностранному языку необходимо войти в свой профиль на сайте и нажать кнопку «Создать тест».

Далее вводится вопрос, добавляется картинка и варианты ответов, среди которых отмечается правильный. Создание теста в 10–15 вопросов занимает минимальное количество времени. После чего готовая викторина сохраняется и добавляется в библиотеку викторин пользователя (рис. 3).

При запуске игры студенты заходят в браузеры своих смартфонов и присоединяются к викторине. Оценивается не только правильность ответа, но и скорость, поэтому, даже если все студенты ответили правильно, у них всех будут разные места в рейтинге. После окончания ответа на вопрос на экране появляется лидерборд с результатами. Лидерборд – термин из геймификации, обозначающий доску с рейтингом участников игры или соревнования, на которой указаны победители и их результаты. Очень важно, чтобы компьютер преподавателя имел выход на проектор. Тогда лидерборд будет виден на большом экране, и это придаст игре атмосферу телешоу.

#### «Своя игра»

Игра «Jeopardy», известная в нашей стране под названием «Своя игра», – это популярная викторина, где участники могут выбирать тему и сложность вопроса. Исторически эта игра стала популярной в США и с 1974 г. транслируется по телевидению во всей стране. Игра состоит из ведущего и нескольких участников. Игроки должны отвечать на вопросы по пяти различным темам. Вопросы разделены на пять категорий. Каждая категория имеет пять значений.

Значения варьируются от 100 до 500 баллов. В начале игры ведущий даёт подсказку после того, как игрок выберет вопрос. Как только ведущий показывает подсказку, игрок должен нажать кнопку сигнального устройства. Тому, кто первый нажмёт кнопку, предоставляется право отвечать на вопрос. Если игрок ответил правильно, то ему даётся право выбирать любой вопрос в течение пяти секунд [2]. Эту викторину уже давно используют в учебных целях во всём мире.

Организовать игру в классе можно несколькими способами. Самый современный похож на использование сайта «Quizizz» – студенты отвечают при помощи смартфонов, а преподаватель выступает в качестве ведущего и следит за ходом игры. Для игры необходимо зайти на сайт «SI Game», автором которого является математик и программист В. Хилль [13]. На сайте есть возможность запустить игру онлайн, а также разработать свой шаблон игры. (рис. 4).

Отличие от викторины «Quizizz» заключается в том, что студент, знающий правильный ответ, должен первым нажать на кнопку, после чего ему даётся возможность ответить на вопрос. Отвечать студент может как письменно, вводя ответ на смартфоне, так и устно, так чтобы весь класс слышал ответ. В случае устного ответа преподаватель сам должен отметить, правильный был ответ или нет, нажав соответствующую кнопку на своём экране. В остальной игре происходит в автоматическом режиме, очки подсчитываются компьютером, после чего задаются следующие вопросы. К сожалению, сайт не всегда работает корректно – часто игра не запускается, и возникают проблемы с использованием своих пакетов для викторины.

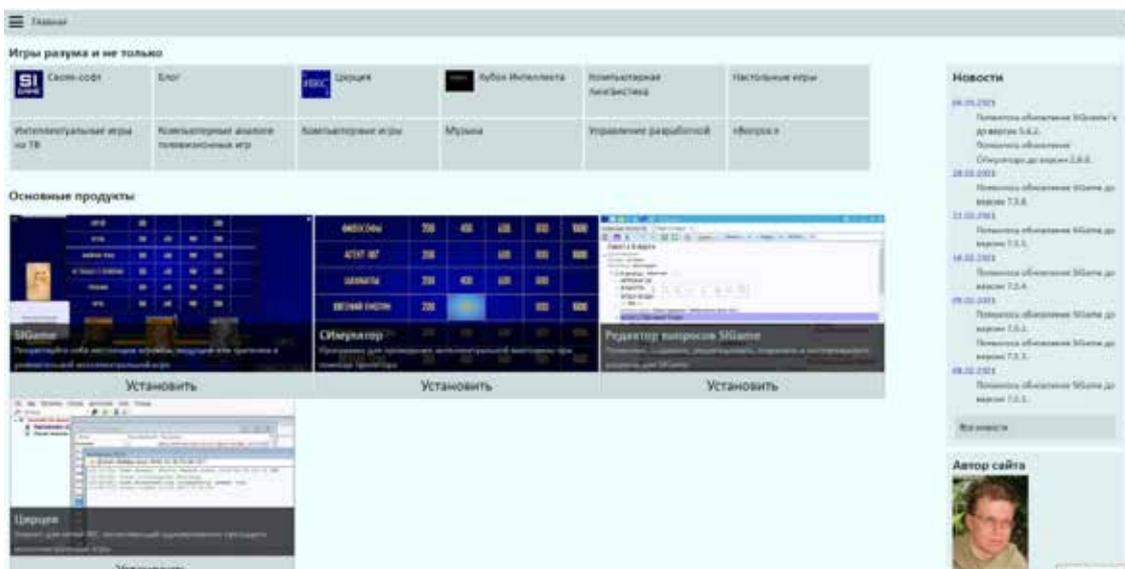


Рис. 4. Сайт «SI Game»

The Keyboard	MicroSoft Word	Owl Purdue	Computer Vocabulary Words	True/False
100	100	100	100	100
200	200	200	200	200
300	300	300	300	300
400	400	400	400	400
500	500	500	500	500
		Team 1	Team 2	Team 3
		0	0	0

Рис. 5. Создание викторины «Своя игра» в Jeopardy Labs

Второй способ – викторина без использования смартфонов, только с компьютера преподавателя. Такой вариант менее динамичный и интересный, но более надёжный. При помощи сайта «Jeopardy Labs» [14] можно создать или использовать готовую игру по нужной теме. Понадобится компьютер преподавателя, интернет и экран с проектором для создания атмосферы телевизионной игры (рис. 5).

Выбирать отвечающего и принимать ответ будет сам преподаватель, но внизу для удобства расположены счётчики очков для команд, так что такой вариант игры можно считать наполовину автоматиче-

ским. Поскольку в данном случае игра проводится в устной форме, можно дополнительно усложнить её, используя только иностранный язык.

Самый простой вариант – использование шаблона «Своя игра», сделанного в программе «Power Point». Этот способ довольно давно используется преподавателями различных дисциплин, в том числе и английского языка. В данном случае не требуется наличие интернета, но игра становится менее динамичной и требует много усилий от преподавателя. Возможно, потребуется ассистент для подсчёта очков. Шаблон «Power Point» для игры в «Свою

игру» можно скачать на различных сайтах, например на сайте «I Spring», где есть также подробные рекомендации по созданию такого шаблона с нуля [15].

Рассмотренные выше игры могут использоваться в учебном процессе как самостоятельный учебный элемент для разрядки обстановки, повышения внимания учеников, так и в качестве основы геймификации процесса. Если вести учёт очков в течение семестра, создав лидерборд группы, то такое использование игр можно считать системой геймификации. Возможно также привлечь часть студентов к созданию игр, позволив им реализовать ролевые модели игроков и организаторов игры. И те, и другие студенты будут иметь дело с учебным материалом в процессе как организации, так и проведения игры. Постоянное повторение терминов и вопросов приведёт к незаметному закреплению материала.

### Заключение

В современной реальности смартфоны и другие гаджеты становятся предметом повседневного пользования человека. Вместо того чтобы бороться с их использованием в классе, на наш взгляд целесообразно реализовать их образовательный потенциал, что эффективно скажется на учебном процессе.

Игры и игровые методы находят отклик у большинства студентов и позволяют вовлечь в учебный процесс даже самых проблемных студентов.

Использование игровых методов в обучении иностранному языку студентов технического вуза позволяет лучше освоить не только общий лексический и грамматический материал, но и эффективно овладеть специальной терминологией.

Открытые электронные образовательные ресурсы («Big Wig» [10], «Hobbe Games» [11], «Quizizz» [12], «SI Game» [13], «Jeopardy Labs» [14], «I Spring» [15]) позволяют широко использовать игровые

методы обучения и могут послужить основой для формирования системы геймификации обучения.

### Список литературы

1. Gozcu E., Caganaga C.K. The importance of using games in EFL classrooms. *Cypriot Journal of Educational Science*. 2016. № 11 (3). P. 126–135.
2. Rusdiyana A., Setiawan S., Munir A. Student's Perception Towards the Use of Jeopardy Game in English Learning. *Linguistic, English Education and Art (LEEA) Journal*. 2021. № 4 (2). P. 257–269.
3. Fitrawati N.M.P. The Use of Jeopardy Game to Teach Vocabulary to Young Learner. *Journal of English Language Teaching*. 2019. № 7 (2). P. 249–258
4. Коняева Л.А. Инновационная интерактивная викторина как приём формирования визуальной культуры студентов при обучении иностранным языкам // *Многоязычие в образовательном пространстве*. 2010. №9. С. 100–107.
5. Шатилова А.А. Игровые технологии в обучении взрослых английскому языку: возможности и ограничения // *Гаудеамус*. 2020. Т. 19. № 2 (44). С. 59–68.
6. Lombardi I. Not-so-serious games for language learning. Now with 99,9% more humour on top Ivan Lombardi. *Procedia Computer Science*. 2012. № 15. P. 148–158.
7. Бахметьева И.А., Ветлугина М.А. Понятие «Gamification»/«Игрофикация» в современном научно-педагогическом дискурсе // *Образование и педагогические науки в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и инновации*. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 233–236.
8. Мишенева Ю.И. Игровые технологии как средства обучения профессиональному иноязычному общению студентов неязыковых вузов // *Концепт*. 2014. № 21. С. 41–45.
9. Ефимова Р.Ю. Организационно-обучающие игры на уроках иностранного языка // *Инновационные проекты и программы в образовании*. 2011. № 6. С. 58–64.
10. BigWig. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigwig-moscow.ru/mafija/frazy-dlya-igry-v-mafiju/> (дата обращения 25.12.2021).
11. HobbyGames. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hobbygames.ru/mafija-vsja-semja-v-sbore-kompaktnaja-versija> (дата обращения 25.12.2021).
12. Quizizz. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://quizizz.com/admin> (дата обращения 25.12.2021).
13. SI Game. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vladimirkhil.com/si/game> (дата обращения 25.12.2021).
14. JeopardyLabs. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jeopardylabs.com/> (дата обращения 25.12.2021)
15. ISpring. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ispring.ru/elearning-insights/kak-sozdat-viktorinu-v-powerpoint> (дата обращения 25.12.2021).

УДК 378.1

## ПОДГОТОВКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО ВЫПУСКНИКА, ОБЛАДАЮЩЕГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ, В ИННОВАЦИОННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ ИНЖЕНЕРНОГО ВУЗА

Горшкова О.О.

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал,  
Сургут, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

В статье определены особенности современной инженерной деятельности, развития производства, мировые тенденции, оказывающие влияние на качество подготовки инженерных кадров. Представлены результаты систематизации и анализа существующих исследований по проблеме исследовательской подготовки обучающихся; систематизированы исследования по вопросу взаимодействия с представителями предприятий и научных организаций в процессе подготовки конкурентоспособных выпускников, обобщен опыт исследований по данному вопросу зарубежных ученых, выделены основные аспекты, которые целесообразно учитывать в практике отечественной инженерной школы; представлены базовые положения для эффективной реализации положений концепции подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде инженерного вуза (образование – наука – производство): изменение системы управления качеством инженерного образования, формирование интегрированной образовательной среды на основе взаимодействия с представителями предприятий и научных организаций, структурирование содержания инженерного образования, внедрение новой дидактики инженерного вуза, ориентированной на формирование исследовательских компетенций выпускников, разработка и внедрение форм и методов деятельности обучающихся в процессе теоретического обучения и практической подготовки, разработка и реализация методического обеспечения образовательного процесса, разработка комплекса критериев и показателей, позволяющих оценить уровень сформированности исследовательского потенциала выпускника инженерного вуза.

**Ключевые слова:** исследовательский потенциал, инженерное образование, исследовательские компетенции, конкурентоспособный выпускник, интегрированная образовательная среда, партнерство с представителями предприятий

## PREPARATION OF A COMPETITIVE GRADUATE WITH RESEARCH POTENTIAL IN AN INNOVATIVE INTEGRATED ENVIRONMENT OF AN ENGINEERING UNIVERSITY

Gorshkova O.O.

*Industrial University of Tyumen, branch, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

The article defines the features of modern engineering activities, the development of production, global trends that affect the quality of training of engineering personnel. The results of systematization and analysis of existing studies on the problem of research training of students are presented; the research on the issue of interaction with representatives of enterprises and scientific organizations in the process of training competitive graduates is systematized, the experience of research on this issue by foreign scientists is summarized, the main aspects that it is advisable to take into account in the practice of the domestic engineering school are highlighted; the basic provisions for the effective implementation of the provisions of the concept of training a competitive graduate with research potential in an innovative integrated environment of an engineering university (education-science-production) are presented: changing the quality management system of engineering education, the formation of an integrated educational environment based on interaction with representatives of enterprises and scientific organizations, structuring the content of engineering education, the introduction of a new didactics of an engineering university, focused on the formation of research competencies of graduates, the development and implementation of forms and methods of students' activities in the process of theoretical training and practical training, the development and implementation of methodological support for the educational process, the development of a set of criteria and indicators to assess the level of formation of the research potential of an engineering graduate.

**Keywords:** research potential, engineering education, research competencies, competitive graduate, integrated educational environment, partnership with representatives of enterprises

Состояние глобальной мировой экономики характеризуется разработкой и внедрением инновационных технологий, ориентированных на развитие технологической базы каждой отдельно взятой страны [1]. Одним из условий формирования конкурентоспособности экономики страны является качество инженерных кадров, способных к постановке и решению

нестандартных задач, ориентированных на формирование и развитие инновационных идей, проявляющих исследовательское поведение в процессе производственной деятельности. Принятая в России «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации», с целью решения задач по реализации приоритетных проектов страны [2], предъявляет определенные

требования к системе высшего инженерного образования.

В настоящее время специфика инженерной деятельности кардинально изменяется, что обусловлено трансформацией науки, технологий, производств, требующих преобразований в организации исследовательской, научной, инновационной деятельности. Это способствует изменению требований к уровню подготовки выпускников инженерных вузов, к комплексу формируемых компетенций. В современном мире существует международная конкуренция за конкурентоспособных специалистов инженерного профиля, обладающих исследовательскими компетенциями, с целью их привлечения в научные исследования, инженерию [3]. Все это кардинально изменяет взгляд на способы подготовки выпускников инженерных вузов. Совместная деятельность инженерных вузов, научных организаций, предприятий должна обеспечить целостность и единство в достижении цели научно-технологического развития России, развитие интеллектуального потенциала страны. Для этого должны быть созданы возможности для выявления талантливой молодежи, построения ею успешной карьеры в области науки, технологий и инноваций для реализации приоритетных проектов в рамках стратегии научно-технологического развития страны. Поэтому вопросы качественного улучшения подготовки конкурентоспособного выпускника инженерного вуза, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде инженерного вуза для реализации приоритетных проектов в рамках стратегии научно-технологического развития страны приобретают особую актуальность и своевременность.

Цель исследования: разработка теоретических и методологических основ подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде (образование – наука – производство) инженерного вуза для реализации приоритетных проектов в рамках стратегии научно-технологического развития страны.

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

Формирование и развитие интеллектуального потенциала страны, способствующего научно-технологическому развитию России, наиболее эффективно, если деятельность инженерных вузов будет организована на основе сотрудничества с научных организациями, предприятиями, бизнесом. Это позволит создать условия для подготовки конкурентоспособного выпускника

инженерного вуза, обеспечит возможности его успешной карьеры на производстве в качестве драйвера нестандартных решений при разработке и внедрении инновационных технологий на основе научных исследований и изысканий в рамках стратегии научно-технологического развития страны.

На сегодняшний день существует проблема формирования конкурентоспособного выпускника, обладающего сформированными исследовательскими компетенциями, что обусловлено недостаточностью условий, реализуемых в образовательном процессе инженерных вузов, ориентированных на развитие исследовательского потенциала обучающихся; формирования универсальных способов взаимодействия с окружающим миром на основе сформированных функциональных навыков [4]. Поэтому очевидна проблема разработки теоретических и методологических основ подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде (образование – наука – производство) инженерного вуза для реализации приоритетных проектов в рамках стратегии научно-технологического развития страны.

Методы исследования: теоретические (изучение, анализ, систематизация, обобщение научной литературы, существующих исследований по изучаемой проблеме; изучение специфики процесса формирования конкурентоспособного выпускника инженерного вуза, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде (образование – наука – производство) инженерного вуза); моделирование учебного процесса; обобщение результатов исследования; эмпирические (изучение и анализ нормативной документации, ФГОС ВО по направлениям подготовки, наблюдение, тестирование, самооценка обучающихся, изучение продуктов деятельности, педагогическое проектирование); экспериментальные (педагогический эксперимент, математическая обработка данных).

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

Задача подготовки конкурентоспособного выпускника инженерного вуза, обладающего исследовательским потенциалом, носит комплексный характер и будет решена в процессе интеграции на уровне взаимодействия и совместной деятельности образовательных, научных организаций и производственных предприятий (потенциальных работодателей). Масштаб рассматриваемого вопроса является общесистемным, его решение будет способство-

вать трансформации системы инженерного образования, ориентации на подготовку конкурентоспособных выпускников, отвечающих требованиям образовательных, профессиональных стандартов, требованиям инновационной экономики и современного развития производства, ориентированных на реализацию приоритетных проектов в рамках стратегии научно-технологического развития страны.

Создание концепции подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде инженерного вуза стало возможным на основе систематизации, выделения и развития существующих подходов к решению проблемы. Наибольший акцент исследователями уделяется содержательному и технологическому аспектам. Большинство исследований посвящены описанию практико-ориентированных методик (без привязки их внедрения в учебный процесс) (С.А. Мамыченко, С.Г. Грищенко, Н.Н. Кисель и др.). Существующие исследования в области инженерного образования по вопросу сотрудничества с предприятиями направлены на организацию лабораторных практикумов на производственных базах, привлечению студентов, магистрантов и аспирантов для проведения научно-исследовательских работ в «инновационных структурах» (Е.М. Акишина, В.В. Пивень, М.В. Тимофеева, С.И. Челомбитко и др.). Исследователи уделяли внимание различным аспектам, а именно:

- формирование исследовательского потенциала через мотивацию обучающихся (О.О. Ненашева, А.Л. Мазалецкая, И.Ю. Данилова и др.);

- вовлечение обучающихся в процесс научного познания на основе формируемых навыков исследовательской деятельности (Е.А. Гребенникова, А.А. Ермакова и др.);

- использование лично-ориентированных методик, предусматривающих развитие креативности обучающихся, формирование исследовательских умений при решении исследовательских заданий (Е.П. Грошева, А.М. Митяева, Н.И. Наумкин и др.);

- методы организации самостоятельной работы обучающихся в процессе исследования в процессе проектного обучения, использование возможностей применения сетевых ресурсов (М.М. Гладышева, Т.М. Цунникова и др.).

Изучение и систематизация существующих исследований позволяют констатировать, что в работах обособленно не выделена концептуальная идея подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего

исследовательским потенциалом, в партнерстве с работодателями и представителями научных организаций; не затронут вопрос организации инновационной среды инженерного вуза на основе интеграции образования, науки производства.

Анализ литературы по вопросу исследования показывает, что ведущие зарубежные университеты (в Нидерландах – University of Twente; Дании – Aalborg University; Канаде – Queen's University; Норвегии – Norwegian University of Science and Technology; Китае – China Education Center; Испании – University of Deusto) привлекают представителей науки и производства к участию в процессе реализации образовательных программ при подготовке инженерных кадров. Изучение вопроса по подготовке обучающихся в зарубежных инженерных вузах (P. Arden, P. Birch, S. Kosasi, Mulders D.-J., P.R. Oliver, W. Baumol и др.) позволило выделить основные аспекты, которые целесообразно учитывать в практике отечественной инженерной школы, а именно:

- формулирование результатов обучения в инженерных вузах на основании требований экономики, профессиональных сообществ, рынка труда;

- сотрудничество с предприятиями, бизнесом, научными учреждениями в процессе реализации образовательных программ в инженерных вузах;

- приоритетное значение практико-ориентированной направленности процесса обучения, применение проектных методов, формирование опыта научно-исследовательской деятельности.

Следует отметить, что зарубежные системы подготовки инженерных кадров ориентированы на сотрудничество с работодателями с целью удовлетворения требований, предъявляемых наукоемкими производствами.

Проведенный анализ существующих исследований позволил прийти к заключению, что обобщение и развитие существующих подходов позволяет сформулировать методологические основы подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде инженерного вуза в современных социально-экономических условиях в виде целостной концепции, являющейся инвариантной, реализация которой возможна в инженерных вузах страны.

Процесс реализации концепции подготовки конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде инженерного вуза, предусматривает реализацию следующих базовых положений.

Изменение системы управления качеством инженерного образования посредством перехода на программно-целевой и процессный подходы, предусматривающие постановку реально достижимых целей, определение возможных рисков в процессе их достижения, разработку программы действий для достижения поставленных целей.

Построение дидактики инженерного вуза, основанной на специфике исследовательского обучения в контексте национальной системы квалификаций и обеспечивающей развитие креативности студентов, их исследовательских способностей, формирование функциональных навыков исследования как универсальных способов контакта с окружающим миром. Дидактика инженерного вуза ориентирована на формирование конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательскими компетенциями в специально организованной образовательной среде инженерного вуза, на основе сформированного комплекса компетенций, навыков, опыта практической и исследовательской деятельности, готового к реализации приоритетных проектов в рамках стратегии научно-технологического развития страны. Формирование среды подобного типа возможно в процессе сотрудничества и сетевого взаимодействия образовательной организации – научных учреждений и центров – базовых предприятий.

Формирование мотивации обучающихся к исследовательской деятельности, развитие их субъектности, как активных участников образовательного процесса на основе принятия общих целей и гармонизации интересов всех субъектов, объединенных пространством образовательной среды; учет индивидуальных особенностей обучающихся; формирование атмосферы продуктивной деятельности.

Реализация интеграционных процессов ориентирована на интеграцию обучения и исследования на всех этапах освоения основных профессиональных образовательных программ [5]. Структурирование содержания инженерного образования, разработка спецкурсов, спецпрактикумов; корректировка существующих и разработка новых методов, форм, средств деятельности обучающихся совместно с представителями научных организаций, предприятий в процессе теоретического обучения и практической подготовки. Разработка и адаптация интерактивных технологий и методов, применяемых в процессе обучения.

В процессе реализации положений концепции разработаны комплексы виртуальных работ, экскурсий, презентаций и др. с использованием сетевых образователь-

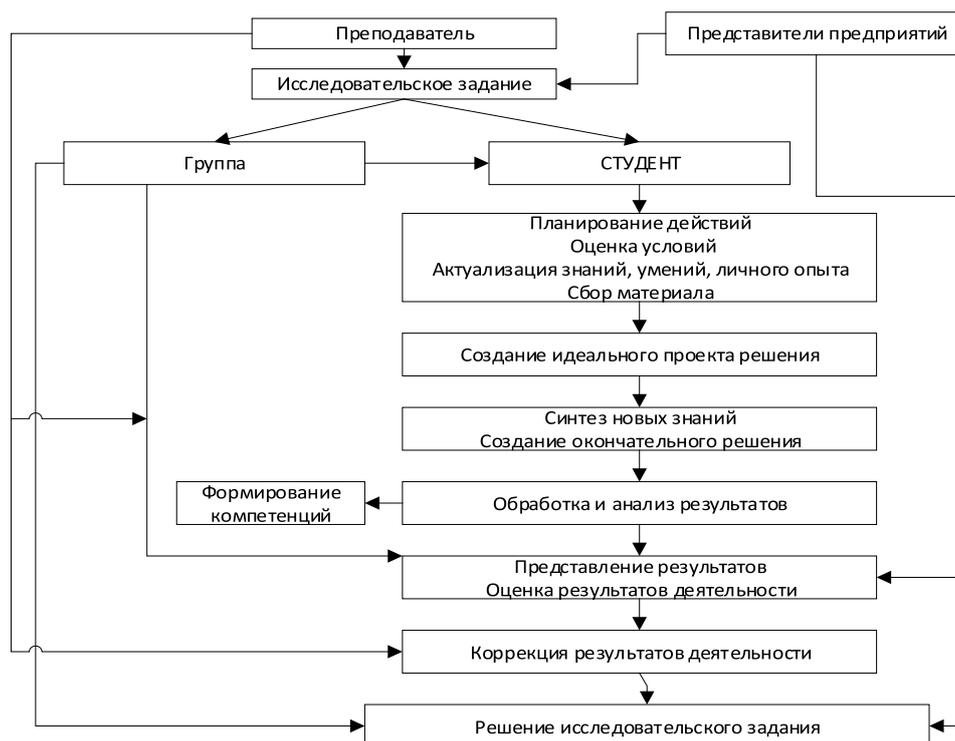
ных ресурсов, информатизационных ресурсов и цифровых технологий. Совместно с представителями научных учреждений, предприятий разработана и реализована система заданий (проектов), ориентированных на решение реальных проблем производства, способствующая формированию практических умений и навыков, значимых для профессиональной инженерной деятельности. Разработана и апробирована дидактика выполнения исследовательских заданий, позволяющая формировать исследовательские компетенции обучающихся в процессе обучения в инженерном вузе. На рисунке [4] представлены этапы деятельности обучающихся в процессе выполнения исследовательского задания.

В процессе реализации концепции определен «базовый уровень» (необходимый для всех обучающихся в соответствии с требованиями ФГОС ВО) и «высший уровень» (для студентов, наиболее ориентированных на исследовательскую деятельность) сформированности компонентов исследовательского потенциала. Это определяет необходимость применения индивидуального подхода в процессе инженерной деятельности.

Реализация практико-модульного обучения на площадках предприятий и научных организаций ХМАО-Югры и Тюменской области. Корректировка учебных планов, проведение части практических и лабораторных работ на производственных базах предприятий, в научных организациях, с целью формирования умений и навыков практической деятельности.

Внедрение форм и средств аудиторной и внеаудиторной деятельности, ориентированной на формирование исследовательских компетенций, реализуемых в процессе теоретического обучения и практической подготовки, совместно с представителями научных организаций, предприятий (выездные лабораторные и практические работы, экскурсии и др.). Реализация в образовательном процессе разработанных и адаптированных интерактивных технологий и методов (дискуссионные, проблемные, игровые, деятельностные и др.).

Организация работы научных групп, кружков совместно с представителями научных организаций, предприятий. Реализация проектов и заданий, разработанных совместно с представителями научных учреждений, предприятий, способствующих формированию исследовательских компетенций обучающихся. Проведение круглых столов, семинаров, конференций, на которых представляются результаты работы обучающихся; открытые защиты отчетов по практикам.



*Этапы выполнения исследовательских заданий*

Выполнение в период теоретического обучения и в период практики индивидуальных и групповых исследовательских заданий, проектов, комплексных сквозных исследовательских проектов, темы которых ориентированы на решение реальных производственных задач и проблем.

Разработка комплекса критериев и показателей, позволяющих оценить уровень сформированности исследовательского потенциала выпускника инженерного вуза. Обеспечение критериальности и диагностируемости результатов.

Эффективность основных положений концепции проверялась в ходе экспериментальной работы и предусматривала:

- систематическую оценку уровня сформированности исследовательского потенциала обучающихся;

- проведение независимой комплексной оценки качества подготовки обучающихся вуза сотрудниками предприятий, научных организаций;

- проведение текущих, промежуточных аттестаций, итоговой аттестации, с целью выявления оценки качества подготовки обучающихся.

Анализ, обработка, систематизация, обобщение результатов, полученных в ходе работы по реализации основных положений концепции, показали ее эффективность

и своевременность в современных условиях развития системы инженерного образования. Подготовка конкурентоспособного выпускника, обладающего исследовательским потенциалом, в инновационной интегрированной среде инженерного вуза способствует решению задачи создания эффективной системы организации исследований и разработок, обеспечивающих высокую результативность и востребованность в социально-экономической сфере, повышающих роль российской науки в современном мире.

#### Список литературы

1. Глазьев С.Ю. Развитие российской экономики в условиях глобальных технологических сдвигов. // Центр междисциплинарных исследований [Электронный ресурс]. URL: <http://spkurdyumov.narod.ru/GlazyevSUr.htm> (дата обращения: 10.01.2022).
2. Приказ президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития РФ» // Президент России [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 10.01.2022).
3. Дятлов С.А. Трансформация экономических систем в условиях глобальной инновационной гиперконкуренции // Партнерство цивилизаций. 2013. № 3. С. 142–160.
4. Горшкова О.О. Подготовка будущих инженеров к исследовательской деятельности Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2013. 272 с.
5. Блесман А.И. Интегативность как способ повышения практической направленности инженерных образовательных программ // Инженерное образование. 2018. № 24. С. 17–23.

УДК 796.015.5

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОЙСТВ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КИКБОКСЕРОВ И БОРЦОВ ГРЕКО-РИМСКОГО СТИЛЯ

<sup>1</sup>Ишмухамедов Т.Р., <sup>2</sup>Пойдунов А.А., <sup>2</sup>Покотилова А.А.,

<sup>2</sup>Бекетов О.В., <sup>3</sup>Собянин Ф.И., <sup>3</sup>Рахметжанов А.С.

<sup>1</sup>Республиканская юношеская школа высшего спортивного мастерства, Ташкент,  
e-mail: [ishmukhamedov@mail.ru](mailto:ishmukhamedov@mail.ru);

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,  
Белгород, e-mail: [sosnovi60@mail.ru](mailto:sosnovi60@mail.ru);

<sup>3</sup>НАО «Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова», Уральск,  
e-mail: [Asema\\_180287@mail.ru](mailto:Asema_180287@mail.ru)

В статье излагается содержание исследования спортивно важных характеристик спортсменов, занимающихся спортивными единоборствами. В частности, представлены результаты сравнительного изучения типов высшей нервной деятельности борцов греко-римского стиля и кикбоксинга. Исследование проводилось в 2021 г. на базе Республиканской юношеской школы высшего спортивного мастерства (РЮШВСМ), а также «Детско-юношеской спортивной школы № 1 Сергелийского района» (Узбекистан, г. Ташкент), Белгородского государственного национального исследовательского университета (Россия, г. Белгород), Западно-Казахстанского университета им. М. Утемисова (Казахстан, г. Уральск). Наличие разных баз исследования в разных странах обеспечивало независимость и оригинальность полученных данных и повышало их достоверность. Методами исследования были: анализ и обобщение данных специальной научной литературы, тестирование спортсменов с помощью методики С.И. Вершинина, а также математико-статистическая обработка полученных эмпирических данных с помощью вычисления моды, медианы, выявления достоверности различий по t-критерию Стьюдента между группой борцов греко-римского стиля и группой кикбоксеров. В итоге проведенного исследования обнаружено, что по показателям моды и медианы имеются определенные тенденции в доминировании кикбоксеров по силе и уравновешенности нервных процессов. Однако дальнейшие вычисления не выявили достоверных различий при пятипроцентном уровне значимости между группами разных видов спортивных единоборств при их сравнении по показателям высшей нервной деятельности. Результаты исследования имеют практическое значение для тренеров и спортсменов, занимающихся бросковыми и ударными видами спортивных единоборств. Полученные данные могут применяться при проведении спортивного отбора и для коррекции учебно-тренировочного процесса в подготовке борцов греко-римского стиля и кикбоксинга.

**Ключевые слова:** спортивные единоборства, кикбоксинг, греко-римская борьба, свойства высшей нервной деятельности, сравнительные характеристики, спорт

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE HIGHER NERVOUS ACTIVITY IN KICKBOXERS AND GRECO-ROMAN WRESTLERS

<sup>1</sup>Ishmukhamedov T.R., <sup>2</sup>Poydunov A.A., <sup>2</sup>Pokotilova A.A.,

<sup>2</sup>Beketov O.V., <sup>3</sup>Sobyenin F.I., <sup>3</sup>Rakhmetzhanov A.S.

<sup>1</sup>Republican Youth School of Higher Sportsmanship, Tashkent, e-mail: [ishmukhamedov@mail.ru](mailto:ishmukhamedov@mail.ru);

<sup>2</sup>Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: [sosnovi60@mail.ru](mailto:sosnovi60@mail.ru);

<sup>3</sup>Makhambet Otemisuly West Kazakhstan State University, Uralsk, e-mail: [Asema\\_180287@mail.ru](mailto:Asema_180287@mail.ru)

The article covers the study of sport-essential characteristics of athletes engaged in martial arts. In particular, it discusses the results of the comparative study on the types of the higher nervous activity in Greco-Roman wrestlers and kickboxers. The study took place in 2021 and was conducted among the students of the Republican Youth School of Higher Sportsmanship, as well as the Children's and Youth Sport School No. 1 of the Sergeli District (Uzbekistan, Tashkent), the Belgorod State National Research University (Russia, Belgorod), and the Makhambet Otemisuly West Kazakhstan State University (Kazakhstan, Oral). The fact that the study had various research bases in different countries ensured the independent and unique nature of the obtained data and increased their credibility. The following research methods were applied – analysis and synthesis of data from specialized academic literature, athlete testing via the S. Vershinin methodology, as well as mathematical and statistical processing of the empirical data obtained by calculating the mode and the median and identifying the credibility of differences via the Student's t-test between a group of Greco-Roman wrestlers and a group of kickboxers. As a result of the conducted study, the mode and the median have demonstrated that there are certain domineering trends in kickboxers' activity in terms of neural process strength and balance. However, further calculations have not revealed credible differences at a 5% level of significance between groups of different martial arts when comparing them by their higher nervous activity indicators. The results of the study are practically significant for coaches and athletes engaged in martial arts that focus on throwing, punching, and kicking. The obtained data can be used both for sport selection and for training process adjustment when dealing with Greco-Roman wrestlers and kickboxers.

**Keywords:** martial arts, kickboxing, Greco-Roman wrestling, higher nervous activity, comparative characteristics, sport

В серии статей группой авторов продолжается публикация регулярных исследований, посвященных выявлению индивидуально-психологических различий между спортсменами разных видов спорта, в данном случае – между представителями спортивных единоборств [1, 2]. В представленной работе даны сравнительные показатели свойств высшей нервной деятельности между кикбоксерами и борцами греко-римского стиля. Подобные работы в целом направлены на решение массы различных возникающих проблем в сфере совершенствования учебно-тренировочной и соревновательной деятельности в спортивных единоборствах и в целом – в теории и методике спортивной подготовки.

Актуальность проведения подобных научных исследований заключается в том, чтобы познать, какие существенные отличия имеются между спортсменами, представляющими разные спортивные единоборства: ударные и бросковые. Полученные в настоящем исследовании результаты могут оказаться ценными и полезными для коррекции содержания спортивного отбора и совершенствования методики спортивной тренировки, соревновательной деятельности борцов разных видов единоборств и разных стилей.

Цель статьи – проанализировать данные исследования, направленного на выявление различий между спортсменами броскового и ударного видов спортивных единоборств по показателям свойств высшей нервной деятельности.

#### Материалы и методы исследования

Материалами исследования были данные изучения специальной научной литературы, а также тестирования свойств высшей нервной деятельности борцов греко-римского стиля и кикбоксеров с помощью теста С.И. Вершинина [3]. В исследовании принимали участие 20 борцов, представляющих бросковые виды единоборств (греко-римскую борьбу) и 10 представителей ударного вида спортивных единоборств (кикбоксинг). Квалификация борцов была от 3-го

разряда до уровня мастера спорта по требованиям и нормам каждой страны (в данном случае – России, Казахстана и Узбекистана). Все обследования проведены в течение 2021 г. на базах национальных спортивных школ и вузов. Полученные данные были в дальнейшем обработаны методами математической статистики. Сначала вычислялись: мода, медиана, среднее арифметическое значение по показателям свойств высшей нервной деятельности. Затем рассчитывались показатели достоверности различий между борцами разных видов единоборств с помощью t-критерия Стьюдента.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что под «модой» в математической статистике понимается такой показатель, который чаще других встречается в процессе наблюдений.

Как представлено в табл. 1, у кикбоксеров и борцов греко-римского стиля фактически выявлено полное совпадение по показателям свойств высшей нервной деятельности, типичной для флегматиков и холериков. Вместе с тем у кикбоксеров мода в два раза выше по сравнению с борцами греко-римского стиля по силе, уравновешенности и подвижности нервных процессов, что отличает сангвинический тип.

Что касается свойств меланхолика, то у кикбоксеров фактически такие свойства у испытуемых не встречаются, а вот у представителей бросковых видов единоборств выявлены свойства, типичные для меланхоликов. При этом тенденция точно имеет выраженный характер, потому что здесь установлена бимодальность 1–2 (7 раз у борцов встречается единица и 7 раз цифра два).

Полученные данные по вычислению моды предварительно дают основание утверждать, что у обследованных представителей двух видов спортивных единоборств в большей степени выражены сила, уравновешенность и подвижность нервных процессов. В меньшей степени – неуравновешенность и слабость.

Таблица 1

Значение моды в разных видах спортивных единоборств по показателям высшей нервной деятельности спортсменов

№ п/п	Группа единоборцев	Значение моды (Мо, баллы)			
		Сангвиник	Флегматик	Холерик	Меланхолик
1	Борцы греко-римского стиля	4	4	1	1–2 (бимодальность)
2	Кикбоксеры	8	4	1	0

Таблица 2

Значение медианы в разных видах спортивных единоборств по показателям высшей нервной деятельности спортсменов

№ п/п	Группа единоборцев	Значение медианы ( <i>Md</i> , баллы)			
		Сангвиник	Флегматик	Холерик	Меланхолик
1	Борцы греко-римского стиля	4,5	3,5	2	1,5
2	Кикбоксеры	5	4	1	1,5

Таблица 3

Вычисление достоверности различий при сравнении кикбоксеров и борцов греко-римского стиля по типам высшей нервной деятельности

№ п/п	Группа единоборцев	Типы высшей нервной деятельности							
		Сангвиник		Флегматик		Холерик		Меланхолик	
		<i>M±m</i>	<i>P</i>	<i>M±m</i>	<i>P</i>	<i>M±m</i>	<i>P</i>	<i>M±m</i>	<i>P</i>
1	Борцы греко-римского стиля	4,75±0,43	> 0,05	3,50±0,43	> 0,05	2,20±0,29	> 0,05	1,55±0,24	> 0,05
2	Кикбоксеры	5,40±0,65		4,1±0,43		1,20±0,32		1,30±0,32	

В то же время обнаружена определенная тенденция, свидетельствующая о возможных различиях между группами двух видов единоборств. Она выявилась следующим образом: у кикбоксеров не только в два раза выше мода по уровню свойств сангвинического типа, чем у борцов греко-римского стиля, но и свойства, типичные для меланхолика, совершенно отсутствуют. Можно предположить, что это обстоятельство обусловлено тем, что у кикбоксеров спортивно-соревновательный контакт с соперником выражен более агрессивно (посредством удара), в то время как в бросковых единоборствах во время контакта главным образом происходят захваты, силовые удержания, скоростно-силовые действия (бросковые) и в меньшей степени встречаются ударные движения.

При вычислении медианы результаты сравнения двух групп оказались несколько иными (табл. 2).

Если тенденции, обнаруженные ранее в результатах сравнения свойств высшей нервной деятельности у обследуемых двух групп спортсменов-единоборцев, характерных для сангвиников и флегматиков, подтвердились (у кикбоксеров немного выше показатели медианы по типу сангвиника, флегматика и ниже по типу холерика), то показатель меланхолика оказался фактически равным.

По данным определения медианы подтвердилось главное различие между двумя обследуемыми группами спортсменов-единоборцев: кикбоксеры по сравнению с бор-

цами греко-римского стиля имеют некоторое устойчивое преимущество в проявлении таких свойств высшей нервной деятельности, как сила, уравновешенность и умеренная регулируемая подвижность нервных процессов.

Вместе с тем данных, полученных при расчете моды и медианы, еще недостаточно, чтобы категорично судить о выявленных результатах сравнения спортсменов, представляющих бросковые и ударные единоборства. Чтобы более основательно судить о полученных в исследовании тенденциях, требуется определение достоверности различий по методике расчета *t*-критерия Стьюдента. Достоверность различий определялась между группами обследуемых представителей спортивных единоборств по каждому типу высшей нервной деятельности (табл. 3).

Между борцами греко-римского стиля по свойствам высшей нервной деятельности, типичной для сангвиников и флегматиков, достоверных различий при сравнении с кикбоксерами не обнаружено при  $P > 0,05$ , хотя средние значения между группами отличаются, они немного выше у кикбоксеров.

Сравнительные расчеты по типу холерика тоже не показали достоверных различий между группами, хотя эмпирический показатель критерия *t* был выше, чем во всех других расчетах ( $t_{эмп.} = 1,9$  при граничном значении  $t_{критич.} = 2,05$ ). Средние арифметические значения двух групп различались, причем у кикбоксеров этот показатель был почти в два раза меньше, чем у борцов греко-римского стиля.

Меньше всего оказались различия между группами единоборцев по проявлению особенностей высшей нервной деятельности, свойственных меланхоликам. Здесь показатель  $t$  эмп. = 0,6. Следует также отметить, что средние значения свойств высшей нервной деятельности в группах были несколько выше по типу сангвиника и флегматика и заметно ниже по типу холерика и меланхолика. То есть общая тенденция, выявленная еще в самом начале исследования при вычислении моды, подтверждается и в данном случае.

На основе полученных данных мы видим, что если по средним тенденциям обнаруживаются некоторые отличительные особенности в высшей нервной деятельности единоборцев броскового и ударного видов, то при проведении расчетов по выявлению достоверных различий по  $t$ -критерию Стьюдента все обнаруженные ранее тенденции исчезают.

Возможны ли другие результаты, если бы проводились подобные исследования на примере более широкой репрезентативной выборки испытуемых? Теоретически возможно, но это только теоретически. На данном этапе исследования гипотеза о наличии достоверных различий между единоборцами броскового и ударного видов борьбы не подтвердилась, что тоже является ценным научно-экспериментальным результатом.

В процессе исследования наши данные сравнивались с научными результатами, полученными другими авторами. В частности, в исследовании, посвященном психотипическим особенностям спортсменов разных видов спорта и разной спортивно-соревновательной успешности, приводятся факты о таких характеристиках, как ощущения, мышление, интуиция, чувство, интроверсия, экстраверсия, спортивная успешность [4]. На примере обследования группы единоборцев ( $n = 61$ ), куда входили занимающиеся дзюдо, кикбоксингом и тхэквондо, было установлено: кикбоксерам больше свойственна логическая функция в поведении, а при сравнении с другими видами спорта, включенными в исследование, у всех единоборств выше показатель экстраверсии. Экстраверсия, в свою очередь, является признаком наличия силы, подвижности нервных процессов, то есть наши данные коррелируют с результатами исследований, проведенных коллегами.

Кроме того, более высокие показатели логичности и эмоциональности в поведении единоборцев обусловлены избранным видом спорта, необходимостью постоянно контролировать себя и свои действия в обороне и защите во время соревнований,

а также включать эмоциональную подпитку, как дополнительный источник энергии.

Интересно, что при выявлении психологических особенностей, как ресурсов для перспективных спортсменов в сложнокоординационных видах спорта, единоборствах, циклических видах спорта и спортивных играх, наиболее важным показателем тоже оказалась экстраверсия. Авторы исследования высказывают необходимость проведения лонгитюдных исследований на большей выборке, что совпадает с нашими заключениями [4].

Помимо этого в настоящее время заметно оживляются исследования в области психологии спорта, что, вероятно, вызвано запросами спортивной практики [5, 6]. Поднимаются гендерные проблемы в спорте, вопросы психофизиологических различий в адаптивной физической культуре, разнообразные аспекты психологии спортивной тренировки и спортивных соревнований, проблемы общения, построения взаимоотношений между тренером и спортсменом, между тренером и командой, вопросы спортивно-психологической типологии, даже построения психологической классификации видов спорта [7, 8].

Анализ литературы и электронных баз данных свидетельствует об актуальности исследуемой проблемы и необходимости более активного изучения современного спорта с помощью психологии. Нет сомнений, что развитие теории и практики спорта на этой основе даст новый толчок для прогресса современного спортивного движения.

### Выводы

1. В результате проведенного исследования было установлено, что отмечается определенная тенденция по показателю моды при сравнении группы кикбоксеров и борцов греко-римского стиля, имеющих разные свойства высшей нервной деятельности. Она выражается в преобладании у кикбоксеров, прежде всего, силы нервных процессов. В то же время мода свойств высшей нервной деятельности спортсменов, типичных для флегматиков и холериков, фактически оказалась одинаковой между группами. Проявление меланхолии преобладает у борцов греко-римского стиля.

2. Вычисление значения медианы при сравнении единоборцев ударного и броскового стиля по типу высшей нервной деятельности несколько отличается от показателей моды. Медиана уровня свойств, типичных для сангвиников и флегматиков, на 0,5 балла выше в группе кикбоксеров по сравнению с борцами греко-римского стиля. Средние значения медианы по уров-

ню свойств, характерных для меланхолика, в группах оказались равными, а свойств, характерных для холерика, в два раза больше в группе борцов греко-римского стиля.

3. Сравнения двух обследованных групп единоборцев с помощью выявления t-критерия Стьюдента сгладили все наметившиеся тенденции в ходе изучения возможных различий между ними по характеристикам высшей нервной деятельности. В результате проведенных расчетов оказалось, что достоверных различий между группами по всем типам высшей нервной деятельности не обнаружено.

4. Данные проведенного исследования показывают, что затронутая проблематика лежит в плоскости психофизиологии спорта и является очень актуальной. В перспективе необходимо не только продолжать начатые исследования в направлении выявления психологических различий между спортсменами, но и рассматривать вопросы психологических различий между спортсменами мужского и женского пола, между спортсменами и неспортсменами, между спортсменами разного возраста и других аспектов, касающихся по сути разработки новой области знания – дифференциальной спортивной психологии.

### Список литературы

1. Зарубина А.А., Пойдунов А.А., Леонов Д.А., Собынин Ф.И., Мацко А.И., Никифорова Е.Ю. Корреляция уровня личностной тревожности у кикбоксеров с их спортивной квалификацией и свойствами нервной системы // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11. С. 135–140.
2. Собынин Ф.И., Пойдунов А.А., Даупаев М.О., Малахов В.А. Болевая чувствительность юных кикбоксеров и успешность спортивных поединков // Теория и практика физической культуры. 2021. № 4. С. 63–66.
3. Профконсультационная работа со старшеклассниками / Под ред. Б.А. Федоришина. Киев: Рад. Школа. 1980. 160 с.
4. Карлышев В.М., Подгорная Ю.Н. Психотипические особенности спортсменов разнообразных видов спорта и с разной степенью успешности спортивного совершенствования // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2019. № 5 (171). С. 425–431.
5. Банаян А.А. Психофизиологические факторы успешности спортивной деятельности паралимпийцев высокой квалификации (на примере хоккея-следж): дис. ... канд. психол. наук. Санкт-Петербург, 2020. 193 с.
6. Mancevska S. Psychophysiology and the sport science / S. Mancevska, J. Pluncevik, Gligoroska, L. Todorovska, B. Dejanova, S. Petrovska. Research in Physical Education, Sport and Health, 2016. Vol. 5. No. 2. P. 101–105.
7. Психологическая систематизация видов спорта. Сайт о настольном теннисе. [Электронный ресурс]. URL: <http://ttclubna.ru/sportivnaya-psixologiya/569-psixologicheskaya-sistemizacziya-vidov-sporta> (Дата обращения 21.12.2021).
8. Jones P.P. et al. Gender does not influence sympathetic neural reactivity to stress in healthy humans. Amer. J. Physiol. 1997. 270. № 1, 2. P. 350–357.

УДК 796.012

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ИХ ФАЗОВОГО СОСТАВА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ БОБСЛЕИСТОВ

**Павельев И.Г., Остриков А.П., Костенко Е.Г., Алдарова Л.М.**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»,  
Краснодар, e-mail: ipavelyev@gmail.com*

Техника старта в бобслее зачастую имеет определяющее значение в получении преимущества в гонке, поскольку именно на начальном этапе задаются значения всех биомеханических параметров, определяющих дальнейшее поведение боба на трассе. И если во время гонки траекторию движения и устойчивость может корректировать пилот, то показатели максимальной скорости и ускорения должны быть заданы уже в первые секунды после старта. В связи с этим является актуальной задача повышения технического мастерства квалифицированных бобслеистов, а также способы их физического совершенствования, что позволит увеличить взрывную силу спортсменов на этапе стартового разгона. Целью исследования было провести биомеханический анализ фазового состава спортивных движений квалифицированных бобслеистов в момент разгона. Для этого были определены основные кинематические показатели и их изменение в течение времени во время совершения рывка и разгона на старте гонки. Методы и организация исследования: в качестве метода исследования выступило педагогическое тестирование группы квалифицированных бобслеистов, выполняющих стартовый разгон со специально сконструированной физической моделью боба весом 100 кг. Полученные данные фиксировались средствами высокоскоростной маркерной видеосъемки. Обработка и подсчет необходимых показателей производились методами математической и статистической обработки. В ходе исследований были установлены основные угловые кинематические характеристики и их изменение во времени для коленного, тазобедренного и голеностопного суставов спортсменов.

**Ключевые слова:** биомеханический анализ, бобслейная гонка, фазовый состав, стартовое усилие, угловые характеристики, взрывная сила

## BIOMECHANICAL ANALYSIS OF SPORTS MOVEMENTS TAKING INTO ACCOUNT THEIR PHASE COMPOSITION TO IMPROVE THE TECHNICAL SKILLS OF QUALIFIED BOBSLEDDERS

**Pavelev I.G., Ostrikov A.P., Kostenko E.G., Aldarova L.M.**

*Kuban State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Krasnodar,  
e-mail: ipavelyev@gmail.com*

The technique of starting in bobsleigh is often crucial in gaining an advantage in the race. Since it is at the initial stage that the values of all biomechanical parameters that determine the further behavior of bob on the track are set. And if during the race the trajectory of movement and stability can be adjusted by the pilot, then the indicators of maximum speed and acceleration should be set already in the first seconds after the start. In this regard, it is an urgent task to improve the technical skills of qualified bobsledders, as well as ways of their physical improvement, which will increase the explosive power of athletes at the stage of starting acceleration. The aim of the study was to conduct a biomechanical analysis of the phase composition of the sports movements of qualified bobsledders at the time of acceleration. For this purpose, the main kinematic indicators and their change over time during the jerk and acceleration at the start of the race were determined. Methods and organization of the study: pedagogical testing of a group of qualified bobsledders performing starting acceleration with a specially designed physical model of a bob weighing 100 kilograms was used as a research method. The obtained data were recorded by means of high-speed marker video recording. The processing and calculation of the necessary indicators were carried out by methods of mathematical and statistical processing. During the research, the main angular kinematic characteristics and their change over time for the knee, hip and ankle joints of athletes were established.

**Keywords:** biomechanical analysis, bobsleigh race, phase composition, starting force, angular characteristics, explosive force

В бобслейной гонке основной задачей разгоняющих является приведение спортивного снаряда массой 100 кг в движение с максимальной скоростью и ускорением. При этом продолжить разгон гораздо проще, чем привести в движение тяжелый снаряд. Поэтому эффективность в данном случае определяется способностью разгоняющего посредством взрывной силы

передать бобу максимально возможный импульс, что определяется развитием у спортсмена физической взрывной силы, а также сил упругой деформации [1, 2]. Технику старта в бобслее можно разделить на несколько фаз [3]:

- 1) исходное положение;
- 2) принятие стартового положения;
- 3) реализация стартового усилия.

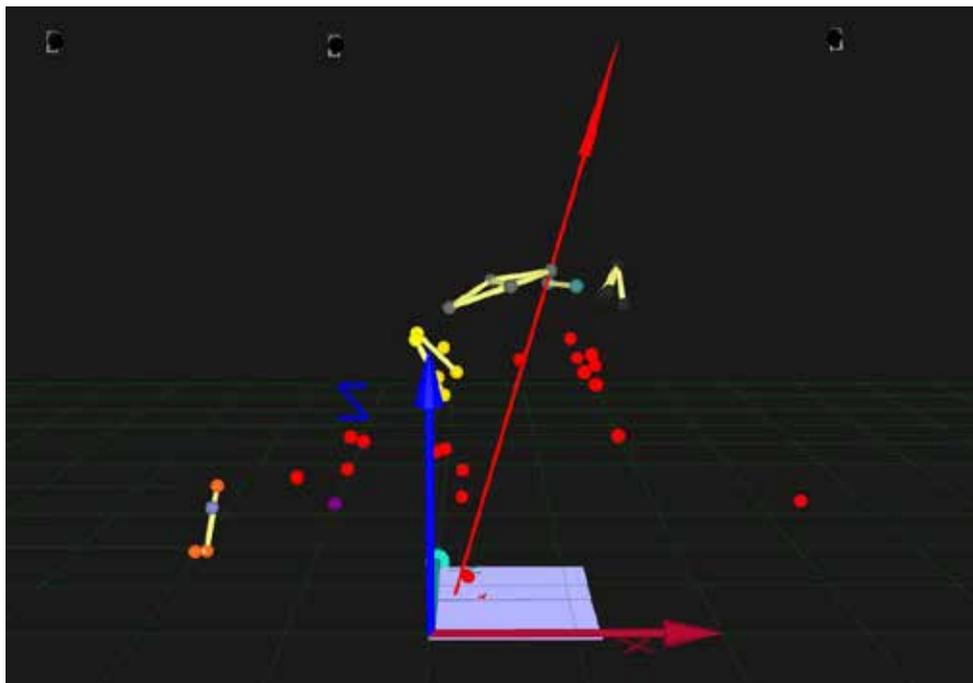


Рис. 1. Модель бобслеиста, выполняющего стартовый разгон в лабораторных условиях

Третью фазу можно разделить на два периода: период одноопорного отталкивания (на толчковую ногу) и период двуопорного отталкивания (на обе ноги). Подробный анализ данного фазового состава с биомеханической точки зрения позволит спортсменам и тренерам усовершенствовать технику стартового разгона, что даст большое преимущество в последующей гонке на трассе [4, 5]. Для решения данной задачи была поставлена цель исследования: проанализировать пространственно-временную последовательность фазового состава во время приведения боба в движение.

#### Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе лаборатории анализа двигательной деятельности Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма совместно с Южным федеральным центром спортивной подготовки Юг-Спорт. В педагогическом тестировании приняла участие команда бобслеистов высокой квалификации в составе 15 спортсменов. Основной массив данных был получен посредством высокоскоростной маркерной видеосъемки. В комплекс видеоанализа входили несколько камер, количество которых можно было изменять в зависимости от задач исследования. Скорость видеосъемки и маркерной съемки можно было выставлять вплоть до 400 кадров в секунду. Получен-

ные с камер данные поступали в программу регистрации и обработки данных на персональном компьютере под управлением операционной системы Microsoft Windows. Там происходила двухмерная и трехмерная обработка полученных сигналов с камер и строилась многозвенная биомеханическая модель (рис. 1).

За счет того, что видеокамеры располагались по углам и периметру помещения, удавалось полностью охватить участок, в котором спортсмен выполнял спортивное движение. Выявленные статистические данные, такие как среднеквадратические отклонения, средние значения и ошибки среднего, рассчитывались методами математической и статистической обработки в пакетах Microsoft Excel и Statistica. В ходе исследований были получены угловые кинематические характеристики движения и их изменение с течением времени во время стартового разгона для коленного, тазобедренного и голеностопного суставов каждого спортсмена. Также фиксировалась величина усилия на опору при отталкивании.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В фазе принятия исходного положения углы в исследуемых суставах составили соответственно  $100 \pm 5,4^\circ$  в тазобедренном,  $111 \pm 4,1^\circ$  в коленном,  $76,1 \pm 5,2^\circ$  в голеностопном (рис. 2).



Рис. 2. Фазовый состав стартового усилия бобслеиста

В следующем за этим стартовым положением происходит сгибание во всех трех разноименных суставах. При этом в тазобедренном происходит изменение до значения  $69,7 \pm 3,8^\circ$ , что соответствует угловому перемещению  $30,3^\circ$ . В коленном суставе при осуществлении возвратного движения происходит разгибание до  $139,9 \pm 9,5^\circ$ , а потом сгибание, что соответствует угловому перемещению  $28,9^\circ$ . В то же время в голеностопном суставе изменение угла составляет  $12,2 \pm 1,6^\circ$ , что соответствует значению  $63,9 \pm 4,6^\circ$ . Особенности изменений углов в суставах делают возможной амортизацию в коленном суставе уже в начале фазы принятия стартового положения, длительность которой составила  $0,71 \pm 0,04$  с.

В фиксированный момент стартового положения углы в суставах составили соответственно  $67,3 \pm 3,1^\circ$  в тазобедренном суставе,  $118,2 \pm 4,7^\circ$  в коленном,  $64,1 \pm 4,3^\circ$  в голеностопном. В то же время, как показали результаты наблюдений, спортсмены в основном не фиксируют позу, переходя к реализации стартового усилия, что говорит об активности данной позы.

Как видно из рис. 2, в момент реализации стартового усилия при двуопорном отталкивании спортсмен воздействует на опору одновременно и толчковой, и маховой ногами. В этот момент происходит практически синхронное изменение угловых параметров в обеих конечностях. Это так же видно из графиков на рис. 3 – в первые секунды движения они практически совпадают (рис. 3). В тазобедренных суставах толчковой и маховой ног угловые перемещения составляют  $41,3^\circ$ , с  $63,3 \pm 2,8$  до  $104,6 \pm 6,4^\circ$ . В коленных суставах угол меняется со  $119,3 \pm 1,4$  до  $124,2 \pm 3,6^\circ$  при угловом

перемещении в  $4,9^\circ$  и в голеностопном  $62,4 \pm 5,4$  до  $90,1 \pm 4,3^\circ$  при угловом перемещении  $27,7^\circ$ . При этом длительность двуопорной фазы отталкивания составила примерно  $0,3 \pm 0,04$  с.

Рассмотрение особенностей одноопорного и двуопорного отталкивания позволило установить несколько закономерностей распределения угловых перемещений в исследуемых суставах. В фазе одноопорного отталкивания основное угловое перемещение происходит за счет тазобедренного и коленного суставов, в которых доли перемещения составляют  $42\%$  и  $37\%$  соответственно. Вклад же голеностопного сустава составляет  $21\%$ , что говорит о том, что во время одноопорного отталкивания происходит нарастание перемещения в коленном суставе и сокращение вклада тазобедренного и голеностопного. В периоде двуопорного же отталкивания наблюдается несколько иная картина. На  $66\%$  оно происходит за счет перемещения в тазобедренном суставе, на  $27\%$  в голеностопном и на  $7\%$  в коленном. То есть основной вклад в перемещение снаряда вносят мышцы, осуществляющие разгибание тазобедренного сустава (рис. 4).

Так же в ходе исследований было рассмотрено изменение угловых скоростей при разгибании ключевых суставов спортсменов (рис. 5). Было установлено, что при разгибании тазобедренного сустава в двуопорном отталкивании угловая скорость достигает  $315,7 \pm 27,6$  град/с. Она ощутимо отличается от угловых скоростей, регистрируемых в коленном и голеностопном суставах. В фазе одноопорного отталкивания скорости примерно на том же уровне ( $330 \pm 26,9$  град/с), что говорит об отсутствии достоверных изменений.

угол, град

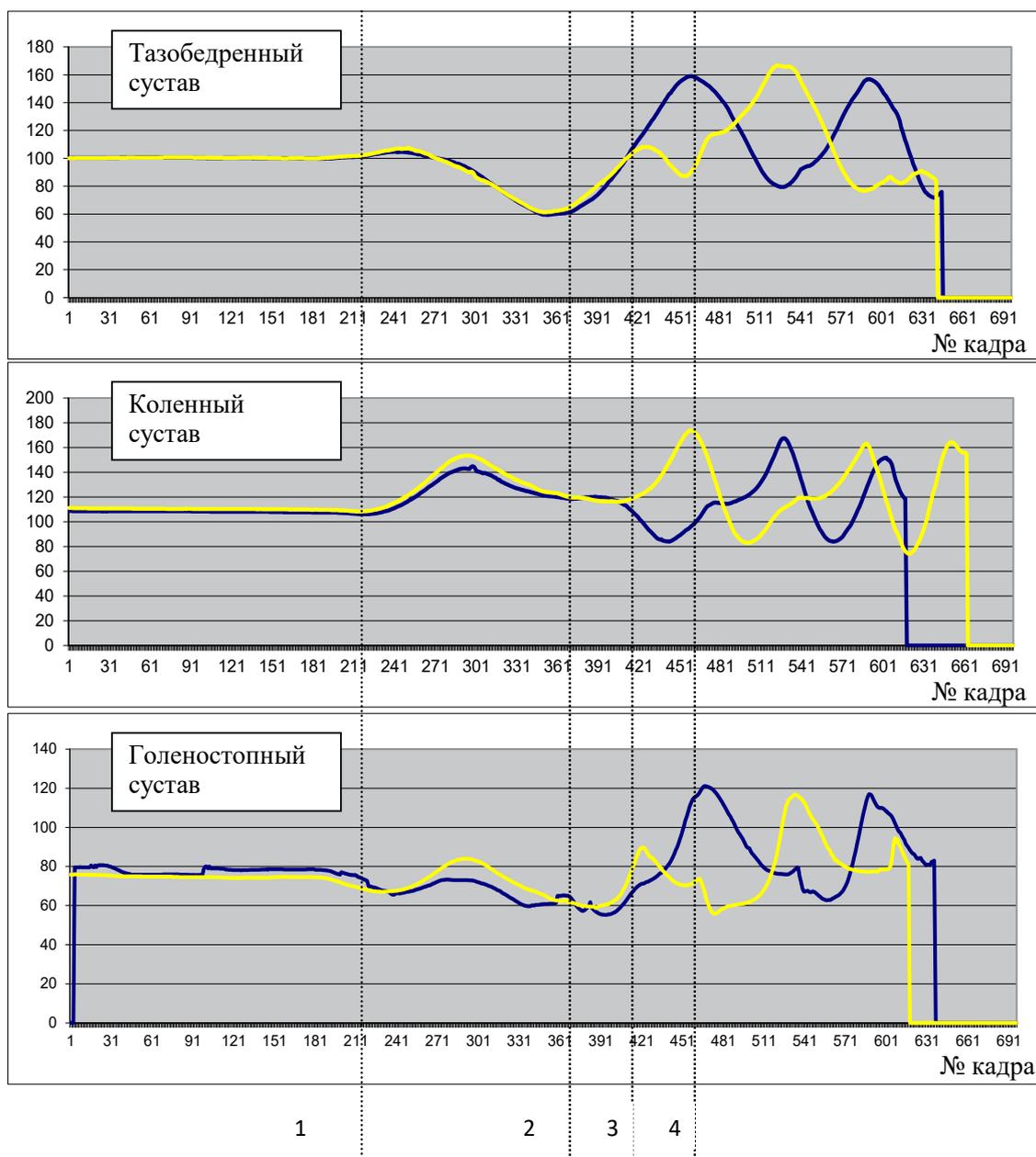


Рис. 3. Изменение угловых характеристик в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах толчковой и маховой ног в момент стартового разгона

1 – фаза принятия исходного положения; 2 – фаза принятия стартового положения;  
3 – двуопорное отталкивание; 4 – одноопорное отталкивание

По данным скоростной маркерной видеосъемки максимальная скорость разгибания зафиксирована в голеностопном суставе, которая составила  $498,9 \pm 27,3$  град/с. В коленном же суставе скорость разгибания составила  $418 \pm 22,5$  град/с, что достоверно ниже. Таким образом, при максимальном

из выявленных угловых перемещений в тазобедренном суставе скорость разгибания в нем остается меньшей из зафиксированных во всех суставах. В то же время самая высокая скорость была зафиксирована в голеностопном суставе при наименьшем угловом перемещении.



Рис. 4. Процентное соотношение углового перемещения в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах при различных видах отталкивания

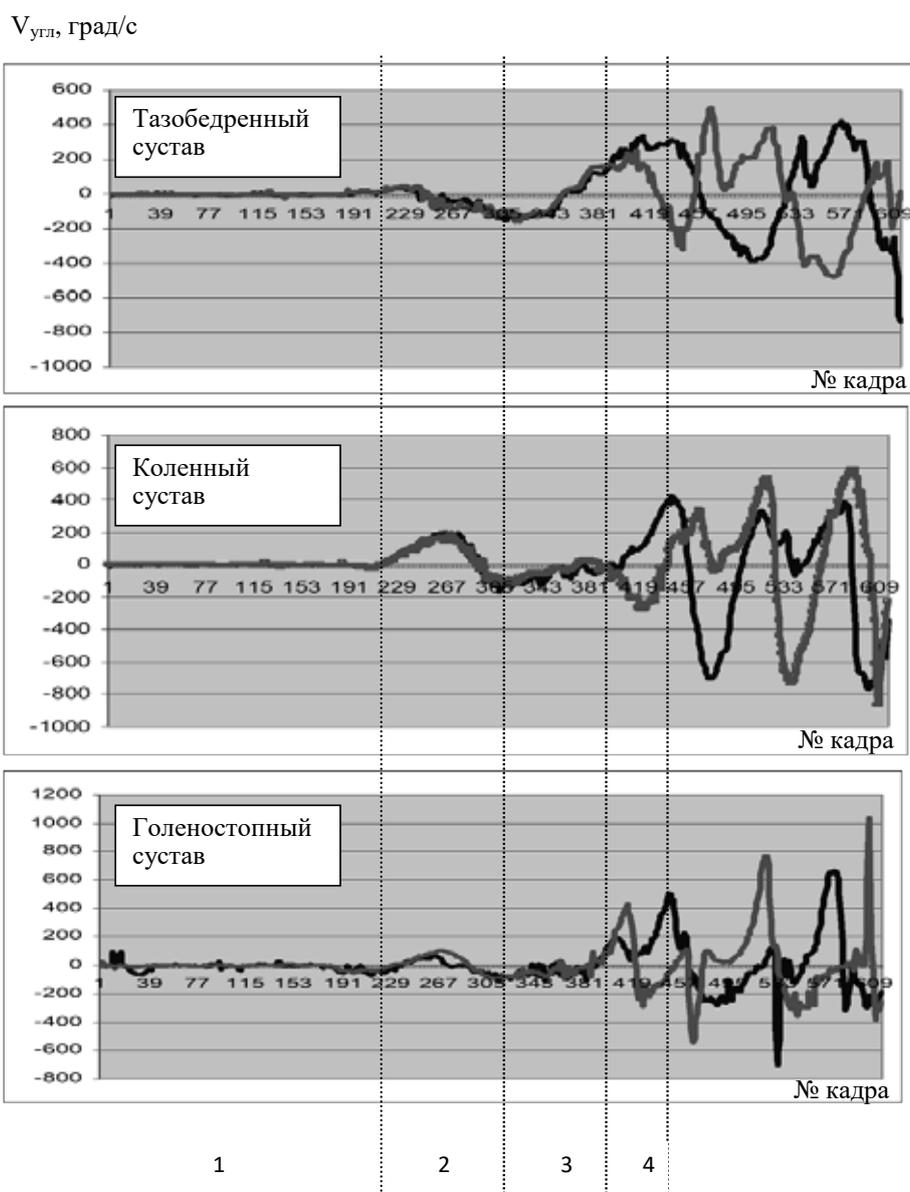


Рис. 5. Изменение скоростных характеристик в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах толчковой и маховой ног в момент стартового разгона  
 1 – фаза принятия исходного положения; 2 – фаза принятия стартового положения;  
 3 – двупорное отталкивание; 4 – однопорное отталкивание

### Заключение

За время исследования были определены основные угловые биомеханические характеристики для тазобедренного, коленного и голеностопного суставов толчковой и маховой ног и их изменение во время выполнения стартового разгона квалифицированными бобслеистами. В момент реализации техники старта были выделены периоды одноопорного и двуопорного отталкивания, которые имеют некоторые отличия по процентному соотношению угловых перемещений, а также величине угловых скоростей при разгибании ключевых суставов спортсменов. В то же время было установлено, что полученную в ходе двуопорного отталкивания скорость можно увеличить посредством разгибания суставов в фазе одноопорного отталкивания.

### Список литературы

1. Овчинников Ю.Д. Биомеханика двигательной деятельности. Краснодар: КГУФКСТ, 2014. 265 с.
2. Овчинников Ю.Д., Выткалов С.О. Прикладная кинезитерапия в биомеханике движений тела человека // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3. С. 11.
3. Павельев И.Г., Заболотный А.Г. Кинематические характеристики техники реализации стартового усилия в бобслее // Физическая культура, спорт – наука и практика. 2013. № 2. С. 7–10.
4. Юрков А.С., Савчук А.Н. Исследование взаимосвязи между временем разгона специализированного технического тренировочного средства и спортивным результатом стартового разгона в бобслее // Вестник ТПУ. 2009. № 10. С. 150–154.
5. Сорокин С.А., Аршинник С.П. Взаимосвязь и значимость биомеханических параметров разбега и отталкивания в достижении результата в прыжках в длину // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. 2019. № 5 (16). С. 130–137.

УДК 372.87

## ХУДОЖЕСТВЕННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБУЧЕНИЯ УЧАЩИХСЯ НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ ИЛЛЮСТРИРОВАНИЮ РУССКИХ НАРОДНЫХ СКАЗОК

**Полынская И.Н., Нагоричная М.Р.**

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный университет», Нижегородск,  
e-mail: julka-nv@mail.ru*

В статье описываются художественно-педагогические основы обучения учащихся начальных классов иллюстрированию русских народных сказок и апробируются результаты исследования поставленных задач. Проблема, поднимаемая в статье, очень своевременна, потому как обучение школьников иллюстрированию русских народных сказок расширяет знания и кругозор, а художественная деятельность развивает творческие способности и личностные качества школьника, а также способствует воспитанию эстетического вкуса. Представленные в статье методические рекомендации и программное обеспечение реализованы в конкретном учебно-воспитательном процессе на уроках изобразительного искусства в начальных классах. Найденные рациональные педагогические приемы, методы, средства и формы обучения учащихся младших классов иллюстрированию русских народных сказок, наиболее полной реализации их творческого потенциала. Разработанные группы критериев оценки рисунков школьников помогают сделать исчерпывающие выводы по всем этапам педагогического исследования. Представленный экспериментальный материал педагогического исследования позволяет сделать выводы, что обучение учащихся начальных классов иллюстрированию русских народных сказок имеет положительные результаты. Эффективность содержания предложенной методической модели, основанной на современных подходах и принципах обучения, может иметь значение для дальнейшего совершенствования учебно-воспитательного процесса по изобразительному искусству.

**Ключевые слова:** иллюстрирование, начальные классы, русские народные сказки, творчество, учебно-воспитательный процесс, программное обеспечение, методические рекомендации, изобразительное искусство, художественно-творческая деятельность

## ARTISTIC AND PEDAGOGICAL BASIS OF TRAINING STUDENTS IN ELEMENTARY CLASSES ILLUSTRATION OF RUSSIAN FOLK FAIRY TALES

**Polynskaya I.N., Nagorichnaya M.R.**

*Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: julka-nv@mail.ru*

The article describes the artistic and pedagogical foundations of teaching primary school students to illustrate Russian folk tales, and approves the results of the study of the tasks. The problem raised in the article is very timely, because teaching schoolchildren to illustrate Russian folk tales expands knowledge and horizons, and artistic activity develops the creative abilities and personal qualities of the student, and also contributes to the education of aesthetic taste. The methodological recommendations and software presented in the article are implemented in a specific educational process in fine arts lessons in primary grades. There are found rational pedagogical techniques, methods, means and forms of teaching elementary school students to illustrate Russian folk tales, the fullest realization of their creative potential. The developed groups of criteria for assessing the drawings of schoolchildren help to draw comprehensive conclusions on all stages of pedagogical research. The presented experimental material of pedagogical research allows us to conclude that teaching primary school students to illustrate Russian folk tales has positive results. The effectiveness of the content of the proposed methodological model, based on modern approaches and principles of teaching, may be important for the further improvement of the educational process in the visual arts.

**Keywords:** illustration, primary classes, Russian folk tales, creativity, educational process, software, guidelines, fine arts, artistic and creative activities

Актуальность статьи обуславливается тем, что в современном образовательном пространстве одним из приоритетных направлений является воспитание и развитие активной творческой личности, обладающей духовно-нравственными устоями, гуманистическими идеалами. Особую актуальность приобретает научное осмысление проблемы активизации творческого самовыражения школьников в процессе изобразительной деятельности, поскольку это имеет положительное влияние на развитие ребенка. На уроках изобразительного искусства в общеобразовательной школе

предусмотрено рисование на темы. Одним из видов тематического рисования является иллюстрирование сказок и литературных произведений. Цель и задача иллюстрирования сказок – это пробуждение, воспитание и формирование в личности младшего школьника любви к прекрасному, оно должно заставить его думать, чувствовать, переживать и действовать. Идея и смысл сказок, особенно русских народных, воспринимаются детьми очень эмоционально и чувственно. Народные сказки представляют собой кладезь сведений о всевозможных событиях, культуре, традициях наших предков. Они за-

частую пронизаны глубочайшим символизмом, несут в себе народную мудрость, добро, мораль и высоконравственные устои. «Иллюстрирование народных сказок на уроках изобразительного искусства играет важную роль в нравственном и эстетическом воспитании детей» [1, с. 270].

Цель данной статьи – описание содержания и результатов апробации методических рекомендаций и программного обеспечения в процессе обучения учащихся начальных классов иллюстрированию русских народных сказок.

Задачи в работе по обучению учащихся иллюстрированию русских народных сказок:

- познакомить и развивать интерес и любовь младших школьников к русскому народному культурному наследию, творчеству художников – иллюстраторов детской книги, образам сказок и морали;
- развивать творческое воображение и эмоциональную отзывчивость, созидательность;
- формировать навыки работы над иллюстрациями, умением выделять основное в композиции, передать настроение в готовой работе, развивать способности к самовыражению;
- учить учащихся чувствовать выразительность и значительность образов, формировать способность художественного восприятия рисунков;
- совершенствовать навыки работы детей с различными графическими и живописными материалами.

При прочтении сказок школьники внимательно вникают в содержание текста, выделяют главные сюжетные линии, находясь под впечатлением различных чувств, эмоционально переживают за главных персонажей и сказочных героев. У детей младшего школьного возраста преобладает чувственное восприятие эстетического содержания сказки а следовательно, и развитие способностей к самовыражению и созиданию в художественно-творческом процессе при иллюстрировании. «Кроме того, на уроках тематического рисования дети учатся отражать в своих композициях сущность взаимоотношений персонажей, а также передавать их образную характеристику» [2, с. 322]. Поскольку в художественно-творческом процессе дети продолжают эмоционально переносить свои чувства в цветное изображение, педагогу требуется мобилизация всех учебно-воспитательных задач, ориентированных на развитие активной личности обучающегося, способного к самостоятельной творческой деятельности. «Изобразительное искусство в общеобразовательной школе тесно пере-

плетено с самой идеей гуманистического воспитания: создание всесторонне развитой, воспитанной личности с высокими моральными ценностями, способной к саморазвитию и самореализации, живущей в гармонии с собой, миром и с окружающим ее обществом» [3, с. 181].

«Illustratio» с латинского в буквальном смысле означает передача смысла литературного текста графическим или живописным изображением. Другими словами, иллюстрация – это зрительное представление, визуальное дополнение к сюжетной линии литературного текста.

Выделяют следующие функции иллюстрации:

- 1) познавательную;
- 2) художественную функцию;
- 3) функцию наглядности;
- 4) идейно-воспитательную функцию.

Проблеме поиска эффективности обучения детей иллюстрированию литературных произведений были посвящены научно-методические труды: о художественной ценности иллюстраций (Е.Н. Колокольцев), о формировании у обучающихся художественно-творческой инициативы в процессе иллюстрирования художественной литературы (Н.М. Сокольников), о формировании художественного восприятия литературных произведений у младших школьников (В.А. Левин), о смыслообразующем содержании литературного произведения у школьников на примере иллюстрирования сказок (О.В. Кулакова), о воспитании нравственных качеств личности ребенка средствами сказки (Л.Р. Абдулина, Г.Ф. Сайфуллина, С.Г. Усманова) и т.д. «Художественное воспитание посредством изобразительного искусства – это необходимый аспект развития целостной, здравомыслящей личности, поэтому так важно с самого раннего возраста заботиться о развитии у ребенка богатого воображения и фантазии, посредством вовлечения его в изобразительную деятельность» [4, с. 101].

В.С. Кузин выделяет следующие методические приемы в процессе обучения иллюстрации младших школьников:

- практический показ педагогом на классной доске с подробным объяснением примерных композиционных схем изображения иллюстрации;
- эскизы и наброски учителя отдельных художественных образов, героев, персонажей сказки, с передачей динамики, пластики, характерных поз, движений, эмоций;
- объяснение приемов и способов ведения работы над иллюстрацией;
- анализ работ школьников.

Порядок работы обучения рисованию:

- 1) выделяется эпизод из сюжета сказки;
- 2) изображается пространство, в котором происходит действие или событийная сцена;
- 3) прорисовываются художественные образы сказочных персонажей;
- 4) дополняются деталями и элементами, необходимыми для точного раскрытия содержания иллюстрации;
- 5) работа цветом [5, с. 196].

Н.М. Сокольникова отмечает следующие этапы выполнения работы младшими школьниками:

- «1. Выбор сюжета, формирование замысла композиции.
2. Выполнение эскиза.
3. Выполнение рисунка композиции.
4. Выполнение цветового решения композиции» [6, с. 319].

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

При проведении занятий на тему иллюстрирования русских народных сказок применялась следующая методическая модель – словесная (беседа, рассказ) и наглядная (показ иллюстраций, работа по образцу).

Каждая из них достойна для развития креативного самовыражения и передачи настроения с помощью определенных художественно-выразительных средств.

В русских народных сказках очень красноречиво и образно описываются главные персонажи: например лиса – рыжая плутовка, волчище – злые зубища, зайчишка – трусишка, коза-дереза, медведь – топтыжка. Поэтому педагогу очень важно объяснить школьникам, какими приемами необходимо пользоваться, чтобы передать характерные особенности и психологическую образность сказочных персонажей. Например, чтобы передать образ волка, педагог объясняет, что при изображении злобного выражения на морде хищника надбровные дуги следует слегка опустить и сильно сдвинуть к вытянутой морде (переносице), как бы образуя межбровные складки. Глаза изобразить суженными (напряженными), по цвету они желтые или зеленые; пасть приоткрыта и виден оскал зубов; внешние уголки брылей опущены вниз; голова у волка массивная с острыми ушами. Сам волк серый. В большинстве случаев в русских народных сказках иллюстраторы изображают волка в холщовой рубахе и даже шляпе, как, например, у художников Ю.А. Васнецова, Е.М. Рачева.

«В работе с детьми над иллюстрированием русских народных произведений следует делать упор: на изучение строения и пластики людей и животных; на изучение образа

жизни, традиций; на обучение учащихся декоративным художественным приемам иллюстраций, выявление их отличительных особенностей; на создание сказочных образов, посредством разнообразных приемов преобразования форм реалистических объектов в декоративные мотивы; на изучение разнообразных художественных техник стилистических особенностей художников иллюстраторов» [7, с. 39].

Основные визуальные методы обучения включают: наблюдение, демонстрацию иллюстративного и наглядного материала. Особенность этого метода заключается в том, что информированием является не слово, а демонстрация приемов изображения явлений, предметов, используя наглядный дидактический материал, технические и визуальные средства. Как правило, эти два метода зачастую педагоги используют в сочетании. Их цель состоит в том, чтобы подкрепить информацию, предоставленную учителем. Эффективный и популярный метод – иллюстрация – это использование в педагогическом процессе наглядных материалов, таких как картины, плакаты, диаграммы, портреты, макеты, фотографии, а также педагогическое рисование на доске или на мультимедийном устройстве. Расширяют возможности наглядного метода обучения внедрение в учебный процесс современных технических средств (телевидение, компьютер, интерактивные доски и т.д.). В частности, использование компьютера позволяет воспитанникам наблюдать динамические процессы, которые ранее были абстрактными и непонятными детскому восприятию.

На одном занятии целесообразно продемонстрировать не более 3–4 иллюстраций, поскольку чрезмерное количество наглядного материала отвлекает детей, рассеивает их внимание, вызывает трудности аналитического мышления.

В изобразительной деятельности для воплощения замысла иллюстрации к сказке младшими школьниками используются выразительные средства: цвет, линия, форма, композиция и т.п. Одними из самых популярных и подходящих техник и приемов для иллюстрации русских народных сказок и рисования в целом являются акварель, гуашь, цветные карандаши и мелки. Акварельные краски являются самыми популярными и распространенными в детском творчестве. Для младших школьников акварельная краска доступна и проста в применении. Гуашь, обладающая пастозностью, яркостью и плотностью, более всего подходит для иллюстрирования ска-

зок, является одним из любимых материалов детей и самих иллюстраторов детских книг. Цветные карандаши и мелки используют в графических работах и для создания эскизов к сказкам. В своих работах ученики начальных классов используют локальность цвета, стараясь сделать рисунок как можно ярче и наряднее. И эта особенность восприятия и цвета в детских работах позволяет передавать контрастность, декоративность, яркость, что присуще иллюстрированию сказок и детской художественной литературы.

### Результаты исследования и их обсуждение

Ведущей целью педагогического исследования явилось выявление эффективности, предложенной модели методики обучения учащихся начальных классов иллюстрированию русских народных сказок. Для проверки гипотезы и исследования типичных ошибок в работах учащихся начальных классов были определены критерии оценки.

Отбор предложенных критериев дает возможность определить умения учащихся наиболее полной реализации творческого потенциала, убедительно выразить замысел сюжета сказки и осуществить мониторинг исследуемой проблемы.

Итак, в таблице 1 наглядно представлены группы критериев и шкалы уровня умений школьников младших классов изображению иллюстраций к русским народным сказкам.

В констатирующем этапе принимали участие ученики начальных классов средней общеобразовательной школы № 31 г. Нижневартовска. На данном этапе эксперимента для каждого класса ставилась задача изобразить понравившийся сюжет русской народной сказки. В первом классе предлагалось школьникам изобразить сюжет сказки «Курочка-Ряба», во втором классе – «Колобок», в третьем классе – «Петушок – Золотой гребешок», в четвертом классе – проиллюстрировать сюжет сказки «Лиса и Заяц».

Таблица 1

Группы критериев и шкалы уровня умений школьников младших классов в изображении иллюстраций к русским народным сказкам

Группы критериев	Шкала низкого уровня	Шкала среднего уровня	Шкала высокого уровня
№ 1. «Компоновка сюжета сказки»	Присутствуют значительные погрешности в компоновке сюжета сказки; масштаб изображения мелкий; все объекты выстроены на одной линии или хаотично разбросаны по формату бумаги	Незначительные неточности в компоновке сюжета сказки и подготовительном рисунке	Выполнена грамотная компоновка в листе; обозначен композиционный центр; все объекты и образы соразмерны формату листа
№ 2. «Наличие сказочных персонажей»	Минимальное наличие сказочных персонажей (от 2 до 3 образов)	В работе наличие художественных образов и персонажей сказочных героев носит выборочный характер (от 3 до 5 художественных образов)	Наличие сказочных персонажей соответствует полному содержанию сказки, переданы все сказочные персонажи (от 5 и более образов)
№ 3. «Индивидуальное, творческое решение сказочных персонажей»	В работе отсутствует оригинальность и художественная образность сказочных персонажей, образы решены стандартно, банально, символично	Присутствуют элементы оригинальности и своеобразной трактовки художественных образов	В иллюстрации сказки все персонажи переданы оригинально, творческое решение и личностное эмоционально-чувственное отношение
№ 4. «Передача смысловой связи сюжета сказки»	Смысловая связь сюжета сказки отсутствует	Персонажи сказки частично задействованы смысловой связью	Смысловая связь между персонажами сюжета выражена убедительно через динамику и передачу эмоций героев сказочных персонажей

Таблица 2

Исследование рисунков учеников 1–4 классов в процессе иллюстрирования сказки  
(констатирующий эксперимент)

Группы критериев	1 класс			2 класс			3 класс			4 класс		
	Шкалы уровней											
	LL	AL	HL	LL	AL	HL	LL	AL	HL	LL	AL	HL
№ 1. «Компоновка сюжета сказки»	67%	24%	9%	63%	26%	11%	58%	27%	12%	57%	29%	14%
№ 2. «Наличие сказочных персонажей»	75%	18%	7%	73%	19%	8%	74%	19%	7%	70%	21%	9%
№ 3. «Индивидуальное, творческое решение сказочных персонажей»	75%	23%	2%	70%	25%	5%	72%	24%	4%	66%	27%	7%
№ 4. «Передача смысловой связи сюжета сказки»	75%	21%	4%	69%	25%	6%	70%	24%	6%	61%	29%	10%

LL – шкала низкого уровня  
AL – шкала среднего уровня  
HL – шкала высокого уровня

При анализе рисунков младших школьников констатирующего этапа были выявлены типичные ошибки в работах, заключающиеся в отсутствии умений убедительно выразить замысел сюжета сказки, самостоятельно осуществлять решение образов сказочных персонажей, динамику и выразительность изображения, выстраивать компоновку изображения, проявлять творческую индивидуальность и т.п. Итоги данного этапа эксперимента представлены в табл. 2.

Анализ констатирующего этапа педагогического эксперимента подтвердил нашу гипотезу, что преобладающие сложности при иллюстрировании сказок возникают из-за отсутствия умений убедительно выразить замысел сюжета сказки, самостоятельно осуществлять решение образов сказочных персонажей, динамику и выразительность изображения, формировать композиционный замысел, в целом.

Представленные в табл. 2 процентные показатели демонстрируют, что группа критерия № 1 «Компоновка сюжета сказки» в 1 классе по шкале низкого уровня умений составила 67%, средняя – 24%, шкала высокого уровня усвоения – 9%. Во 2 классе эта же группа критерия не радует: шкала низкого уровня передачи компоновки сюжета сказки составила 63%, шкала среднего уровня усвоения – 26%, шкала высокого уровня – всего 11% от общего числа испытуемых школьников. В 3 классе шкала

низкого уровня составила 58%, средняя – 27%, высокая – 12%. В 4 классе показатели так же не улучшились: низкая шкала уровня умений компоновки сюжета сказки – 57%, средняя – 29%, высокая – 14%. Низкую шкалу уровня умений иллюстрировать русские народные сказки можно наблюдать и по другим группам критериев: № 2 «Наличие сказочных персонажей»; № 3 «Индивидуальное, творческое решение сказочных персонажей»; № 4 «Передача смысловой связи сюжета сказки».

Формирующий этап эксперимента являл собой закономерность корреляционных этапов, объединяющих основные аспекты содержания обучения иллюстрированию русских народных сказок. И начинался с овладения школьниками основных знаний о правилах и принципах построения композиции изображения в процессе тематического рисования. Педагог проводил беседы и демонстрировал работы художников – иллюстраторов детских книг: Ю.А. Васнецова, Е.М. Рачева, В.Н. Лосина – зачитывал фрагменты сказок, объяснял и показывал на классной доске приемы и способы выполнения основных композиционных схем сюжета сказки.

Следующий, более сложный этап – обучение школьников изображению сказочных персонажей с передачей образности и эмоциональной выразительности динамики и пластичности, оригинальности и характерных деталей сказочных героев. Особый

акцент делался на изучении и изображении психологических характеристик изображаемых сказочных персонажей: лиса в русских народных сказках, как правило, хитрая и лукавая, волк – злой и коварный, медведь – неуклюжий недотепа и т.п.

В табл. 3 представлено тематическое планирование уроков и тем заданий, направленных на обучение школьников младших классов иллюстрированию русских народных сказок, включающее приемы, способы, средства обучения, а также основные виды уроков обучения изобразительному искусству, а именно – рисование по памяти, представлению, тематическое и декоративное рисование, которое апробировалось на формирующем этапе эксперимента.

На формирующем этапе эксперимента использовались обоснованные методы: объ-

яснительно-визуальный, репродуктивный, проблемного обучения, получение которого возможно на основе сочетания междисциплинарных, творческих учебных мероприятий. Особое внимание школьников обращалось на подробное объяснение и практический показ педагогом приемов и способов ведения работы над изображением композиции, решении образов сказочных персонажей, передаче замысла сюжета сказки, способов изображения динамики и выразительности иллюстрации. «Преимуществом наглядного показа по сравнению с другими видами наглядности является то, что учащийся видит не только конечный результат, но и процесс выполнения изображения» [8, с. 80]. Задача педагога – выявить у школьников творческую индивидуальность в процессе изобразительной деятельности.

**Таблица 3**

Тематическое планирование, направленное на обучение школьников младших классов иллюстрированию русских народных сказок формирующего этапа педагогического эксперимента

№	Тема урока	Содержание задания	Художественные материалы к уроку
1 класс			
1	«Друзья познаются в беде»	Изобразить один из сюжетов сказки «Гуси – лебеди»	Бумага, гуашь
2	Вместе – лучше	Передать главную фабулу сказки «Репка»	Бумага, цветные карандаши
3	«Дружно жить-поживать и добра наживать»	Иллюстрация к сказке «Теремок»	Бумага, пастель
2 класс			
4	«Как аукнулось, так и откликнулось»	Изобразить лису и журавля за трапезой из сказки «Лиса и Журавль»	Бумага, цветные мелки
5	«Умей обождать»	Изобразить одну из главных сюжетных линий сказки «Сестрица Аленушка и братец Иванушка»	Бумага, гуашь
6	«Улетела стрела, да не ведомо куда»	Проиллюстрировать сказку «Царевна-Лягушка»	Бумага, акварель
3 класс			
7	«В гостях хорошо, а дома лучше»	Изобразить сцену из сказки «Маша и медведь»	
8	«По щучьему веленью, по моему хотенью»	Изобразить иллюстрацию к сказке «По щучьему веленью»	Бумага, акварель
9	«На чужой каравай рот не разевай»	Проиллюстрировать сказку «Мужик и медведь (Вершки и корешки)»	Бумага, гуашь
4 класс			
10	«Зимняя сказка»	Изобразить понравившуюся сцену из сказки «Морозко»	Бумага, гуашь
11	«Сказка – ложь, да в ней намёк, добрым молодцам урок»	Изобразить главный сюжет сказки «Три медведя»	Бумага, перманентные маркеры
12	«Добившись удач, об этом не судачь»	Проиллюстрировать сказку «Сивка-Бурка»	Бумага, акварель

Таблица 4

Исследование рисунков учеников 1–4 классов в процессе иллюстрирования сказок  
(формирующий эксперимент)

Группы критериев	1 класс			2 класс			3 класс			4 класс		
	Шкалы уровней											
	LL	AL	HL	LL	AL	HL	LL	AL	HL	LL	AL	HL
№ 1. «Компоновка сюжета сказки»	54%	30%	16%	46%	33%	21%	40%	36%	24%	34%	39%	27%
№ 2. «Наличие сказочных персонажей»	57%	29%	14%	54%	30%	16%	52%	31%	17%	45%	35%	20%
№ 3. «Индивидуальное, творческое решение сказочных персонажей»	59%	31%	10%	55%	32%	13%	50%	34%	16%	45%	37%	18%
№ 4. «Передача смысловой связи сюжета сказки»	55%	34%	11%	49%	36%	15%	47%	37%	16%	37%	40%	23%

LL – шкала низкого уровня  
AL – шкала среднего уровня  
HL – шкала высокого уровня

Представленные методические рекомендации и тематическое планирование прошли апробацию с учащимися 1–4 классов. В процессе формирующего этапа эксперимента уровень умений иллюстрировать русские народные сказки с каждым видом заданий постепенно повышался.

Далее представляем мониторинг результатов формирующего этапа педагогического эксперимента.

При анализе итогов формирующего этапа (табл. 4) можно наблюдать динамику по группам критериев по всем шкалам уровней с 1–4 классов. Можно заметить, что на констатирующем этапе эксперимента в 1 классе группы критерия: № 1 «Компоновка сюжета сказки» шкал низкого уровня составила 54%, тогда как на формирующем она была 67%, шкала среднего уровня усвоения составила 30%, высокая шкала уровня выросла на 7% и составила 16%, на констатирующем этапе эта же шкала составила всего 9%.

Во 2 классе по данной позиции также можно проследить положительную динамику. Например, низкий уровень усвоения составил 46%, средний – 33%, высокий уровень составил 21%, что на 10% больше, чем на констатирующем этапе эксперимента.

В 3 классе шкала низкого уровня составила 40%, что на 18% ниже констатирующего этапа, средняя шкала – 36%, высокая – 24%. Такие данные нас, безусловно, удовлетворяют.

В 4 классе также наблюдается положительная динамика: низкая шкала уровня группы критерия: № 1 «Компоновка сюжета сказки» позиции составила 34%, средняя – 39%, высокая – 27% и выросла по сравнению с констатирующим этапом на 13%.

В динамике роста групп критериев можно убедиться по всем классам: с 1-го по 4-й.

#### Заключение

Выделенные преимущественные особенности предложенных методических рекомендаций и содержания программы обеспечивают комплексную подготовку учащихся начальных классов в области художественной деятельности, отвечающую требованиям ФГОС НОО, а результаты проведенного исследования доказывают эффективность данных методических разработок для занятий изобразительным искусством в общеобразовательной школе.

Полученные данные обуславливаются с результатами и выводами об эффективности обучения младших школьников изобразительному искусству, в том числе иллюстрированию русских народных сказок в процессе тематического рисования, и позволяют решать задачи оптимизации учебного материала и корректировку планирования учебно-воспитательного процесса в целом.

Представленный в статье опыт реализации методических рекомендаций и темати-

ческого планирования станет значительным вкладом в отечественную общеобразовательную систему в области изобразительного искусства, решив ответ, каким образом должно осуществляться тематическое рисование при иллюстрировании русских народных сказок.

Данный опыт успешного внедрения методических рекомендаций и программного обеспечения в учебно-воспитательный процесс по изобразительному искусству будет способствовать росту интереса и новым возможностям исследователей и практиков детского художественного развития.

#### Список литературы

1. Нагоричная М.Р., Польшкая И.Н. Обучение школьников 3–4 классов иллюстрированию русских народных сказок в стиле городецкой росписи // Художественное пространство XXI века: проблемы и перспективы: материалы II Международной научно-практической конференции, Нижневартовск, 08 апреля 2021 года / Отв. ред. М.М. Новикова. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2021. С. 269–276. DOI: 10.36906/NVSU-2021/07/45.
2. Сезенина Н.В. Формирование композиционных умений у младших школьников при иллюстрировании сказок на уроках изобразительного искусства. XXII Всероссийская научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета: материалы конференции, Нижневартовск, 06–07 апреля 2020 года / Науч. ред. Д.А. Погосhev. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2020. С. 322–325.
3. Польшкая И.Н. Воспитание эстетической активности школьников на уроках изобразительного искусства // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Нижневартовск, 01 декабря 2020 года. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2021. С. 181–186. DOI: 10.36906/KSP-2020/30.
4. Сергеева Б.В., Кузьмина Г.Н. Упражнения на развитие фантазии и воображения у младших школьников на занятиях изобразительным искусством // Модернизация современной начальной школы в аспекте национального проекта «Образование»: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 30 ноября 2021 года. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2021. С. 100–103.
5. Кузин В.С. Изобразительное искусство и методика его преподавания в школе: учеб. для студентов сред. спец. учеб. заведений и студентов худ.-граф. фак. пед. ин-тов и ун-тов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агар, 1998. 335 с.
6. Сокольникова Н.М. Изобразительное искусство и методика его преподавания в начальной школе: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. 2-е изд., стереотип. М.: Издательский центр «Академия», 2002. 368 с.
7. Винтер Л.И., Белюченко О.П. Иллюстрирование сказок на уроках изобразительного искусства как средство воспитания духовности и нравственности у школьников // Наука и образование сегодня. 2020. С. 39–41.
8. Писаренко С.А. Методические особенности организации наглядного показа на занятиях по рисунку и живописи // Экономические и гуманитарные исследования регионов. 2019. № 5. С. 79–84.

УДК 378.1

## **К ПОСТРОЕНИЮ КОНЦЕПЦИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЦЕССА И КАЧЕСТВА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ КАК СИСТЕМЫ КВАЗИПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ**

Смыковская Т.К.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет»,  
Волгоград, e-mail: smykovtk@gmail.com*

Изменения в структуре и содержании профессиональной подготовки будущего учителя в вузе, усиление практико-ориентированной направленности, внедрение новых средств обучения, цифровизация образования, расширение спектра требований к результатам подготовки и формируемым профессиональным компетенциям – все это актуализирует пересмотр теоретико-методологических подходов к разработке, реализации и экспертизе педагогической практики. Цель исследования – разработать концепцию экспертизы процесса и качества производственной практики в педагогическом вузе. Методологической основой исследования являются системный, событийно-деятельностный подходы, идеи и принципы практико-ориентированной подготовки будущего учителя. Исходя из этих позиций, были выбраны методы исследования: анализ научной литературы, анкетирование, моделирование, наблюдение и опытно-экспериментальная работа. Рассмотрены основные подходы к построению концепции экспертизы процесса и качества педагогической практики будущего учителя, обоснована необходимость разработки данной концепции. Представлены вопросы, которые должны быть охарактеризованы в концепции: цель экспертизы, ее понятийный аппарат, ядро, педагогические условия эффективной педпрактики. Также раскрыты принципы, на которых строится концепция экспертизы. Принципиальная позиция автора состоит в том, что экспертиза процесса и качества педпрактики целесообразна, если она включает систему квазипрофессиональных и профессиональных событий. В качестве значимых условий экспертизы выступают следующие: наличие запроса на экспертизу; готовность и возможность открыто и информативно представить информацию экспертам; принятие результатов экспертизы студентами-практикантами и руководителями практики как основы для прогнозной модели развития профессиональных компетенций будущего учителя; формирование на основании данных экспертизы поля проблем практико-ориентированной подготовки в вузе, которые предстоит решать разработчикам основной профессиональной образовательной программы и разработчикам содержания и структуры практики; фиксация продуктов и результатов практики в цифровом следе будущего учителя. Научная новизна результатов исследования состоит в том, что обоснована необходимость построения педагогической практики как системы квазипрофессиональных и профессиональных событий, а не отдельных мероприятий или набора заданий. Представлена авторская концепция экспертизы процесса и качества педагогической практики будущего учителя.

**Ключевые слова:** профессиональная подготовка, будущий учитель, производственная практика, экспертиза, концепция экспертизы, цифровизация образования, цифровой след

## **TOWARDS THE CONSTRUCTION OF THE CONCEPT OF THE EXAMINATION OF THE PROCESS AND QUALITY OF PEDAGOGICAL PRACTICE AS A SYSTEM OF QUASI-PROFESSIONAL AND PROFESSIONAL EVENTS**

Smykovskaya T.K.

*Volgograd State Social Pedagogical University, Volgograd, e-mail: smykovtk@gmail.com*

Changes in the structure and content of the future teacher's professional training at the university, the strengthening of practice-oriented orientation, the introduction of new teaching tools, the digitalization of education, the expansion of the range of requirements for the results of training and the professional competencies being formed - all this actualizes the revision of theoretical and methodological approaches to the development, implementation and examination of pedagogical practice. The purpose of the study is to develop a concept of the examination of the process and quality of industrial practice in a pedagogical university. The methodological basis of the research is the system, event-activity approaches, ideas and principles of practice-oriented training of the future teacher. Based on these positions, research methods, analysis of scientific literature, questionnaires, modeling, observation and experimental work were chosen. The main approaches to the construction of the concept of examination of the process and quality of pedagogical practice of the future teacher are considered, the necessity of developing this concept is substantiated. The issues that should be characterized in the concept are presented: the purpose of the examination, its conceptual apparatus, core, pedagogical conditions of effective pedagogical practice. The principles on which the concept of expertise is based are also disclosed. The author's principled position is that the examination of the process and quality of pedagogical practice is appropriate if the practice includes a system of quasi-professional and professional events. The following are significant conditions for the examination: the availability of a request for examination; the willingness and ability to openly and informatively present information to experts; acceptance of the results of the examination by student trainees and practice managers as the basis for a predictive model for the development of professional competencies of a future teacher; the formation on the basis of the examination data of the field of problems of practice-oriented training at the university, which will be solved by the developers of the OPOP and developers of the content and structure of the practice; fixation of products and practice results in the digital footprint of the future teacher. The scientific novelty of the research results lies in the fact that the necessity of building pedagogical practice as a system of quasi-professional and professional events, rather than individual events or a set of tasks, is justified. The author's concept of the examination of the process and quality of pedagogical practice of the future teacher is presented.

**Keywords:** professional training, future teacher, industrial practice, expertise, concept of expertise, digitalization of education, digital footprint

Трансформация среднего общего образования и вывод его на качественно новый уровень во многом зависит от включения в процессы его преобразования и реализации в условиях цифровизации общества и экономики учителя, способного к принятию и воплощению оригинальных решений профессиональных задач. Это становится возможным при вхождении в указанные процессы молодых специалистов, ориентированных на самореализацию, самосовершенствование, саморазвитие, готовых фиксировать это в цифровой среде, принимая активное участие в формировании собственного цифрового следа.

Невысокий уровень готовности молодых учителей к генерации и осуществлению новых идей и замыслов обусловлен недостатками в их практико-ориентированной подготовке в вузе.

Современное усиление требований к результативности практико-ориентированной подготовки будущих учителей в вузе и ценность ее научного обоснования, а также необходимость повышения качества производственных практик в условиях цифровизации образования актуализировали проблему качественного и информативного представления не только продуктов профессиональной деятельности студента-практиканта, но и самого процесса прохождения производственной практики.

В последние годы обострилось противоречие между необходимостью осуществлять в вузе целенаправленную практико-ориентированную подготовку будущих учителей и невозможностью решить эту задачу без изменения подходов к организации производственной (педагогической) практики. До тех пор пока это противоречие существует, возрастают риски подготовки будущего учителя, не обладающего необходимыми профессиональными компетенциями и трудовыми функциями.

Обозначенное противоречие нивелирует свое влияние на ситуацию подготовки будущего учителя, если педагогическая практика будет рассматриваться как система квазипрофессиональных и профессиональных событий, при ее проектировании и реализации будет проводиться экспертиза как самого процесса, так и ее качества.

В настоящее время, как показывает анализ программ соответствующих производственных практик, событийность представлена только наличием установочной и итоговой конференций, а прохождение практики отслеживается либо по отчетам о выполненных заданиях (в большинстве случаев оформляются студентами-практикантами по шаблону уже после прохожде-

ния практики), либо по дневнику педагогической практики (прослеживается низкая информативность представленных материалов), либо по несистематизированному портфолио (включение различных документов, которые в дальнейшем не предполагается использовать ни в профессиональной деятельности, ни при взаимодействии с потенциальными работодателями).

Одним из путей разрешения такой ситуации является разработка концепции экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе.

Мы придерживаемся позиции Н.Н. Абакумовой [1], что основу любой экспертизы составляет целостный образ процесса и его оценки. Следовательно, концепция экспертизы процесса прохождения производственной практики и качества продуктов, создаваемых при этом, должна представлять собой комплекс ключевых позиций, полно и всесторонне раскрывающих содержание и особенности экспертизы, границы и риски ее проведения.

Концепция экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе должна определить основные процедуры данной экспертизы для совершенствования практико-ориентированной подготовки и управления данной подготовкой при изменении входных условий и образовательной среды организации.

Данное исследование направлено на выявление цели экспертизы и принципов, положенных в ее основу; формирование понятийного аппарата и системы процедур проведения экспертизы; установление дидактических условий реализации развивающего характера экспертизы производственных практик в педагогическом вузе; практическое подтверждение результативности разработанной концепции.

Цель исследования состоит в разработке концепции экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе.

В соответствии с целью исследования в статье представлено решение следующих задач:

- определить содержание понятий экспертиза, производственная практика, развивающая и прогностическая функции, артефакт (продукт), цифровой след;

- выявить влияние экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе на улучшение качества практико-ориентированной подготовки будущего учителя;

- разработать основные составляющие концепции экспертизы процесса и качества педагогической практики.

### Материалы и методы исследования

Анализ научной литературы по проблеме исследования, нормативно-методических документов; изучение опыта экспертизы продуктов (объектов) и процесса прохождения производственных практик студентами педвузов (использовались данные из открытых источников и баз данных); анкетирование работодателей, учителей; моделирование; наблюдение и опытно-экспериментальная работа.

С целью определения готовности руководителей производственных практик и разработчиков основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) по направлению «Педагогическое образование» (бакалавриат) к отказу от набора заданий и переходу к событийному построению педагогической практики было проведено анкетирование. В опросе приняли участие 67 преподавателей Волгоградского государственного социально-педагогического университета, 124 руководителя образовательных организаций Волгограда и Волгоградской области, являющихся базами практик. Вопросы анкеты были нацелены на установление практико-ориентированности заданий практики, на полноту системы заданий в аспекте овладения профессиональными компетенциями и трудовыми функциями педагога, согласованность заданий с содержанием единых федеральных оценочных материалов для аттестации учителей («вход в профессию» и «соответствие занимаемой должности Учитель»).

Анализ ответов показал, что 61,19% преподавателей университета считает, что задания практики направлены на применение при решении профессиональных задач в образовательной организации теории, полученной в вузе, но при этом только 23,29% руководителей школ согласны с этим мнением.

Обе группы респондентов (более 80% опрошенных) согласны с тем, что задания практики направлены на формирование методических и психолого-педагогических компетенций, однако 86,29% руководителей образовательных организаций отмечают, что нет заданий в области предметной и коммуникативной компетенций, а задания по психологии и педагогике предусматривают диагностику (в основном выявление лидера в классе, взаимоотношения в классе, комфортность обучения, мотивация), изучение и анализ плана работы классного руководителя, проведение 1–2 внеклассных мероприятий и формулирование рекомендаций классному руководителю, т.е. не предусмотрена адаптация к жизни класса и образовательной организации, включе-

ние в деятельность помощником классного руководителя.

79,84% руководителей школ отмечают разрозненность заданий, которые студенты-практиканты не связывают в единое целое, а стремятся выполнить и приступить к следующему. При этом около 60% преподавателей вуза убеждены, что все задания практики важны, что каждая из кафедр, участвующая в организации практики, должна дать задания, что их не стоит интегрировать в единый проект.

Следует отметить то, что 95,97% руководителей образовательных организаций, являющихся базами практик, поддерживают идею организации практики как системы квазипрофессиональных и профессиональных событий; при этом обращают внимание на то, что квазипрофессиональные события должны быть интегрированы в процесс практико-ориентированной подготовки в вузе в период теоретического обучения в виде мастер-классов, тренингов, творческих лабораторий учителей-практиков. Остальные (4%) руководители придерживаются позиции, что студент во время практики «должен научиться стоять у доски», «...вести урок», «...правильно объяснять материал».

Только 38,81% опрошенных преподавателей университета поддерживают идею событийного построения педагогической практики.

Нам близка позиция исследователей [2], что для становления профессионализма у будущих учителей значима практико-ориентированная подготовка. В связи с этим необходимо пересмотр подходов к организации педагогических практик в вузах, осуществляющих подготовку по направлению «Педагогическое образование» (бакалавриат).

Для оценки практической ценности и эффективности предлагаемого нами подхода к построению педагогической практики, как системы квазипрофессиональных и профессиональных событий, нами были разработаны процедуры диагностики (в качестве основной диагностической процедуры определен метод наблюдений) полученных результатов, критерии оценки значимости событий для формирования профессиональных компетенций у студентов-практикантов, показатели по каждому критерию (показатели формулируются на языке наблюдаемых действий).

*Критерий 1.* Вовлеченность в конкретные события практики.

Низкий показатель: называет событие, указывает его цель и место в структуре практики.

Средний показатель: выявляет основные составляющие события, указывает связь

между событием и теоретическими знаниями, между событием и типовыми профессиональными задачами; принимает предложенную роль в данном событии.

Высокий показатель: осознанно включается в событие как участник и как соавтор идей и проектов, выбирает роль в соответствии с имеющимися знаниями и собственным опытом, становится членом команды.

*Критерий 2.* Понимание теоретико-методологических основ профессионального (или квазипрофессионального) события.

Низкий показатель: формулирует цель, задачи собственного развития при участии в данном событии.

Средний показатель: формулирует цель и задачи собственного развития при участии в данном событии, расчленив его на отдельные операции и проекты, осуществляет рефлексии своей деятельности и роль полученного событийного опыта в дальнейшем профессиональном становлении.

Высокий показатель: осознанно осуществляет отбор методов и средств решения учебно-профессиональной или профессиональной задачи, породившей событие практики, определяет профессионально значимые продукты деятельности.

*Критерий 3.* Стремление к расширению спектра событий как элементов педагогической практики.

Низкий показатель: участвует в предложенных событиях, принимая одну из предложенных ролей; проявляет интерес к получению продукта (объекта), необходимого для решения типовой профессиональной задачи.

Средний показатель: проявляет интерес к событиям, связанным с задачами, решаемыми в современной системе образования, активно участвует в подготовке и самом событии практики.

Высокий показатель: предлагает включение в систему событий практики событий, значимых для конкретного образовательного учреждения, являющегося базой практики; проявляет интерес к разработке проектов в рамках всех событий практики.

*Критерий 4.* Применение полученных психолого-педагогических, методических и предметных знаний в практической деятельности и при участии в событиях – элементах производственной практики.

Низкий показатель: обоснованно отбирает содержание, методы и средства для решения профессиональных задач, возникающих в ходе практики.

Средний показатель: активно использует разнообразные методы и средства для решения профессиональных задач, возникающих в ходе практики, самостоятельно

предлагает проекты и организует команды для их выполнения в рамках события производственной практики.

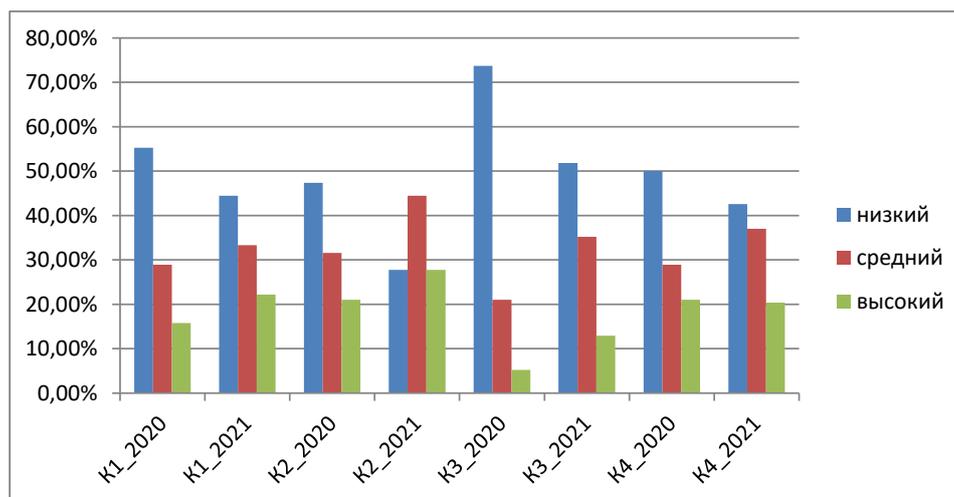
Высокий показатель: обоснованно отбирает методы и средства с учетом специфики профессиональной задачи и/или события практики, создает благоприятный эмоциональный фон работы проектной команды или участников процесса; продумывает получение имеющих прикладное значение продуктов (объектов) решения профессиональных задач и возможность их включения в портфолио будущего учителя.

Мы получили следующие данные по обозначенным выше критериям и показателям (рисунок). Педагогическая практика как система профессиональных событий на факультете математики, информатики и физики Волгоградского государственного социально-педагогического университета впервые была реализована в 2020 г. (на гистограмме K1\_2020, K2\_2020, K3\_2020, K4\_2020). В 2021 г. система профессиональных событий была дополнена квазипрофессиональными событиями на этапе теоретического обучения, предшествовавшего практике в образовательных организациях города и области, что сказалось на повышении результатов по всем критериям. Интересная закономерность прослеживается относительно четвертого критерия: приблизительно одинаковое количество среднего и высокого показателей, так как в 2020 г. более 80% студентов перед и в период практики участвовали в проекте «Учитель на замену», а в 2021 г. была разработана и внедрена система мастер-классов и тренингов как квазипрофессиональных событий, также 14 студентов принимали участие в проекте «Учитель на замену».

Система квазипрофессиональных и профессиональных событий (система впервые апробировалась в университете на факультете математики, информатики и физики в 2021 г.) охватывает работу по формированию предметных, методических, психолого-педагогических и коммуникативных компетенций у будущих учителей.

При разработке модели педагогической практики мы придерживались идей и положений событийного подхода.

Обращение к идее «событийного подхода» в образовательном процессе не является новым. Данная идея зародилась как планирование жизненного пути человека (Е.И. Головаха, А.А. Кроник). Всесторонние исследования данного феномена проводили многие российские ученые: Д.В. Григорьев, В.И. Слободчиков, Г.Е. Соловьев, В.В. Сериков и др.



Результаты внедрения событийной модели практики

Современные ученые по-разному трактуют понятие «событие». Нам импонирует определение В.И. Слободчикова, который считает, что «события есть то, что развивается, результатом развития чего оказывается та или иная форма субъективности. Соответственно, сам ход развития состоит в возникновении, преобразовании и смене одних форм совместности, единства, события другими формами – более сложными и более высокого уровня развития» [3].

Событийный подход нами понимается как технология организации и осуществления значимых событий в ходе педагогической практики будущих учителей и отдельного студента как личности, оказывающих воздействие на сознание, эмоциональную сферу и поведение личности.

Мы исходим из того, что прецеденты личного участия человека в своем образовании имеют событийную природу. По мнению Ю.Л. Троицкого, «событийность в образовании – это способ образовательной экзистенции, противостоящий образовательной повседневности, но не заменяющий ее» [4]. При разработке системы квази-профессиональных и профессиональных событий педагогической практики мы опирались на принципы событийности, описанные В.В. Сериковым [5] и в выполненной под его руководством диссертации Е.М. Сафроновой.

Эмпирическое исследование содержания и процесса реализации педагогической практики как системы квазипрофессиональных и профессиональных событий методами наблюдения, изучения и обобщения педагогического опыта проводилось на факультете математики, информатики

и физики Волгоградского государственного социально-педагогического университета. Это послужило источником для разработки концепции экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты нашего исследования определяются разработкой концепции экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе.

В концепции используются такие понятия, как экспертиза, производственная практика, эксперт, развивающая и прогностическая функции, артефакт (продукт), особенности артефакта, цифровой след, профессиональная деятельность, студент-практикант.

Производственная практика – это обязательная составляющая профессиональной подготовки в вузе, необходимая для становления квалифицированных работников, соответствующих требованиям профессионального стандарта.

Экспертиза процесса и качества производственной практики студента педагогического вуза – это разноуровневое и многоаспектное исследование процесса и продуктов профессиональной (или квазипрофессиональной) деятельности специалистами в данной области, включающее в себя проблемно-оценочный, прогностный, содержательно-целевой анализ, необходимый для формирования целостного экспертного суждения об экспертируемой практике с целью ее трансформации или развития.

Эксперт – квалифицированный специалист, изучающий данный процесс и/

или продукты деятельности, а также устанавливающий уровень разработанности и эффективности.

Развивающая функция экспертизы – одна из ключевых функций экспертизы процесса и качества производственной практики студента педагогического вуза, определяющая на основании данных экспертизы направления и стимулы для ее трансформации или развития.

Прогностическая функция – одна из ключевых функций экспертизы процесса и качества производственной практики студента педагогического вуза, задающая ориентиры на установление связей между профессиональной ситуацией и артефактом педагогической деятельности студента-практиканта.

Артефакт производственной практики – это физический носитель информации или продукт профессиональной деятельности студента-практиканта, подтверждающий решение профессиональной задачи и позволяющий следить за процессом выполнения заданий практики.

Особенность артефакта – его неизвестные свойства, которые необходимо исследовать, описать (как правило, это цифровые объекты, но может быть и реальный объект – продукт профессиональной деятельности), а затем оценить и на основе оценки построить прогнозную модель профессионального становления студента-практиканта и/или трансформации, развития самой практики.

Цифровой след в образовательной сфере впервые подробно описан в документах «Университета национальной технологической инициативы 20.35», где цифровой след – «цифровые данные, накопленные во время / по итогам занятий или работы над проектом: конспекты, коды программ, аудио- или видеозаписи, презентации, данные о проектной деятельности, выступлениях на конференциях и других активностях».

В профессиональном стандарте «Специалист по моделированию, сбору и анализу данных цифрового следа» дается следующее определение: это «данные об образовательной, профессиональной или иной деятельности человека, представленные в электронной форме, оставленные пользователями в информационно-телекоммуникационных сетях. Цифровой след может быть оставлен как намеренно, для достижения запланированной пользователем цели, так и непреднамеренно, при осуществлении различных видов деятельности» [6].

Цифровой след в контексте оценки качества производственной практики студента педагогического вуза включает цифровые

данные, сгенерированные в результате профессиональной и квазипрофессиональной деятельности, прохождения производственных практик, участия в проектах и научно-исследовательской работе кафедр, в профессиональных конкурсах и соревнованиях.

Для использования цифрового следа при экспертизе процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе необходимы: 1) сформированная модель компетенций выпускника педвуза; 2) регламенты, предполагающие фиксацию студентами фактов проявления активностей, связанных с решением профессиональных задач или изменением в профессиональных компетенциях; 3) информационная система, позволяющая хранить соответствующую информацию; 4) выбор метрик оценки компетенций, которые определяют алгоритмы формирования и оценки цифрового профиля студента, а в итоге выпускника педагогического вуза.

Теоретико-методологическая база концепции базируется на идеях системного подхода (В.Г. Афанасьев, И.В. Блауберг, Ю.А. Конаржевский, Н.В. Кузьмина, В.А. Сластенин и др.).

Концепция экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе предполагает реализацию следующих принципов:

1) открытости (широкое привлечение внешних экспертов, открытость результатов экспертизы работодателям, студентам педвуза и преподавателям вуза, осуществляющим теоретическую подготовку);

2) системности (проведение экспертизы не только отдельных объектов, но и их взаимосвязей; последовательность в реализации этапов экспертизы, соблюдение основных процедур экспертизы, сохранение архива результатов каждого этапа экспертизы и их соотношение между собой);

3) принятия оценки не как самоцели экспертизы, а как источника для определения направления трансформации или развития производственной практики как системы, а также для построения прогнозных моделей становления выпускника педвуза как конкурентоспособного специалиста;

4) сочетания внешнего, внутреннего и самооценивания продуктов профессиональной деятельности студента-практиканта и уровня развития компетенций;

5) динамичности (совершенствование внешней и внутренней экспертизы в зависимости от изменений в системе образования, в задачах производственной практики, в процессе практико-ориентированной подготовки в вузе).

Ядро концепции экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе включает такие составляющие, как:

- целевую (создание условий для становления выпускника педвуза как компетентного специалиста, готового к саморазвитию и карьерному росту; трансформация производственных практик как части практико-ориентированной подготовки в вузе в зависимости от изменений в целевой составляющей);
- содержательную (уровневые характеристики объектов экспертизы);
- процессуальную (использование процедур и инструментария экспертизы для получения объективной информации);
- рефлексивную (информация, позволяющая построить прогнозную модель).

Объектами экспертизы являются артефакты производственных практик, которые проходят студенты педагогического вуза. Перечень артефактов для методической практики в первом приближении нами был получен путем анализа программ соответствующих производственных практик педвузов России [7]. Далее ведется работа по оптимизации имеющего перечня и его дополнению артефактами, которые должны отражать ключевые профессиональные ситуации, возникающие в процессе производственной практики.

Мы исходим из того, что особую роль играют эксперты. К экспертам следует предъявлять определенные требования. У эксперта должна быть четко выражена собственная позиция к профессиональной деятельности, к принципам и подходам организации практико-ориентированной подготовки будущего учителя в вузе, к цифровому следу учителя и студента, а также сформировано целостное понимание происходящих и экспертируемых процессов с точки зрения их перспектив и изменений. Эксперт, безусловно, должен быть профессионалом в системе образования, имеющим признанный авторитет; иметь стаж практической работы в области обучения предмету, обладать аналитическим складом ума; уметь ясно, четко, аргументированно и свободно выражать свои мысли письменно и устно, обосновывать выводы, заключения и рекомендации. При этом эксперт должен уметь принимать позицию студента-практиканта, чью деятельность он подвергает экспертизе, а также оценивать ее, подчеркивая достоинства и недостатки.

Таким образом, представлено описание концепции экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе.

Проведенное нами исследование дает основание утверждать, что достигнутые теоретические и прикладные результаты в указанной области научного знания не охватывают весь спектр проблем, связанных с обеспечением практико-ориентированной подготовки будущих учителей в вузе: остается недостаточно изученным аспект разработки системы квазипрофессиональных и профессиональных событий педагогической практики, определения перечня артефактов, получаемых через и посредством событий практики, а также отражения этих артефактов в цифровом следе будущего специалиста, что стало значимой составляющей деятельности современного учителя.

Мы согласны с авторами исследований по педагогической экспертизе [8; 9] о значимости ее проведения для оценки качества процесса и его результатов. Исходя из этого, и разрабатывалась концепция экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе.

Выводы о значимости образовательных событий практики для формирования профессиональных компетенций у будущих учителей сформулированы на основе результатов проведенного на факультете математики, информатики и физики Волгоградского государственного социально-педагогического университета эмпирического исследования. Полученные выводы коррелируют с данными, представленными в работе Н.В. Волковой [10]. В ранее опубликованных материалах [7] мы отмечали, что при построении педагогических практик событийный подход практически не реализуется.

В дальнейшем будет разработана технология оценки на основе цифрового следа качества прохождения педагогической практики (содержательный и методический компоненты, инструментальные основы и процедуры).

Автоматизированная экспертиза качества прохождения педагогической практики будущими учителями: 1) создаст условия для своевременной трансформации ОПОП подготовки будущего учителя и оперативного устранения дефицитов в формируемых компетенциях; 2) позволит осуществлять персонализированный подбор для студентов баз педагогических практик, учителей-наставников, стажировочных площадок и мест для дальнейшего трудоустройства.

Перспективными видятся разработка и внедрение онлайн-ресурса «ПРОФ DiGiTaL след», представляющего собой информационную систему для фиксации цифрового следа будущего педагога и визуализации его компетентностного профиля как основы автоматизации экспертизы.

### Заключение

В процессе исследования конкретизировано научное представление о содержании понятия экспертиза процесса и качества производственной практики в педагогическом вузе, построенной с учетом идей событийности образовательного процесса. Предложена концепция экспертизы процесса и качества производственных практик в педагогическом вузе, включающая целевую, содержательную и рефлексивную составляющие.

Уточнено понятие артефакта деятельности студентов в рамках образовательных событий педагогической практики и решения профессиональных задач; определена возможность их представления в цифровом следе студента-практиканта.

Обоснована необходимость и возможность построения педагогической практики будущего учителя как системы квазипрофессиональных и профессиональных событий.

Предложены критерии оценки значимости событий для формирования профессиональных компетенций у студентов-практикантов и показатели по каждому критерию (показатели формулируются на языке наблюдаемых действий), которые были использованы при эмпирическом исследовании.

*Представленная публикация выполнена в ходе исследований по проекту «Сравнительный анализ результатов и оценки качества прохождения педагогической практики у студентов педагогических вузов на основе традиционных форм контроля и цифрового следа», который реализуется при финансовой поддержке Министерства*

*просвещения РФ в рамках государственного задания (дополнительное соглашение от 21.07.2021 № 073-03-2021-013/3 к соглашению от 18.01.2021 № 073-03-2021-013).*

### Список литературы

1. Абакумова Н.Н. Экспертиза как составляющая педагогического мониторинга инновационных изменений // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13308> (дата обращения: 03.11.2021).
2. Зеер Э.Ф., Третьякова В.С., Мирошниченко В.И. Стратегические ориентиры подготовки педагогических кадров для системы непрерывного профессионального образования // Образование и наука. 2019. № 21 (6). С. 93–121.
3. Слободчиков В.И. О понятии образовательной среды в концепции развивающего образования. М., 2000. 230 с.
4. Троицкий Ю.Л. Событие как образовательная стратегия // Событийность в образовательной и педагогической деятельности. 2010. Вып. 1 (43). С. 87–94.
5. Сериков В.В. Педагогическая реальность и педагогическое знание. Опыт методологической рефлексии: монография. М., 2018.
6. Официальный сайт для размещения информации о подготовке федеральными органами исполнительной власти проектов нормативных правовых актов и результатах их общественного обсуждения [Электронный ресурс]. URL: <https://regulation.gov.ru/projects#npa=105301> (дата обращения: 01.11.2021).
7. Смыковская Т.К., Крючкова К.С. Мероприятия и артефакты производственной педагогической практики бакалавров различных вузов с позиции цифровизации образования // Современный ученый. 2021. № 5. С. 96–100.
8. Евстратикова А.В., Болотова Е.Л. Экспертиза как вид профессиональной деятельности в образовании // Наука и школа. 2016. № 6 № 6. С. 125–129.
9. Киселева Е.В. Теория и практика профессиональной педагогической экспертизы: монография. Новосибирск: НГПУ, 2013. 159 с.
10. Волкова Н.В. Влияние образовательных событий на становление педагогической деятельности в процессе подготовки студентов. Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», 2014. 276 с.

УДК 374:371.27

## **ОЛИМПИАДЫ И КОНКУРСЫ ПО ЧЕРЧЕНИЮ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ, ГОТОВЯЩИХСЯ К ПОСТУПЛЕНИЮ В ВУЗ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «АРХИТЕКТУРА»**

**Супрун Л.И., Супрун Е.Г., Устюгова Л.А., Хлудеева М.Н.**

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

Вопрос о графической подготовке школьников волнует педагогов высшей школы с начала перестройки образования. Поэтому преподаватели графических кафедр вузов проводят со школьниками дополнительные занятия, организуют олимпиады и конкурсы по черчению. Олимпиады помогают вызвать интерес к изучению дисциплины, а конкурсы – подготовиться к поступлению в вуз не только теоретически, но и психологически. Авторы статьи делятся своим опытом психологической подготовки школьников к участию в творческом конкурсе по черчению и методикой его проведения. В институте архитектуры и дизайна города Красноярск проводят два конкурса. Первый конкурс – в конце марта (в период весенних каникул). Называется он «Архитектура и дизайн». Организаторы конкурса ставят перед собой задачи: дать возможность конкурсантам проявить свое творческое мышление, без которого немислимо их архитектурное будущее; ознакомить с методикой подготовки к вступительному конкурсу по черчению; подготовить психологически к основному конкурсу. Второй (вступительный) конкурс проходит в июле. Перед его организаторами стоит уже другая задача: проверка графической грамотности и пространственного мышления будущих студентов. В статье приведены образцы заданий для каждого конкурса и статистические данные по их результатам за 2016–2019 гг.

**Ключевые слова:** черчение, олимпиада, конкурс, геометрическое тело, фигура, деталь, стресс

## **OLYMPIADS AND DRAWING COMPETITIONS FOR STUDENTS PREPARING TO ENTER THE UNIVERSITY IN THE DIRECTION OF «ARCHITECTURE»**

**Suprun L.I., Suprun E.G., Ustyugova L.A., Khludeeva M.N.**

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: suprun-lily@yandex.ru*

Graphic training of schoolchildren has been an urgent issue for educators of high schools since the beginning of the restructuring of education. That is why the lecturers of graphic departments of universities deliver additional classes with students, organize Academic Olympics and competitions in technical drawing. Olympiads help to inspire interest in studying this discipline, and competitions help students to prepare for admission tests to the university. The authors of this paper share their experience in organizing and conducting competitions in technical drawing for students who have decided to choose architecture as their major. The School of Architecture and Design in Krasnoyarsk holds two competitions, one, which is called «Architecture and Design», is late in March (during spring vacation), and the organizers' tasks here are to give the contestants an opportunity to show their creative thinking, without which their architectural future is unthinkable, to introduce the methods of preparing for the admission technical drawing competition and to help the future students to get psychologically ready for the main competition. The second (admission) competition is held in July. Its organizers have another task, which is primarily to check the graphic literacy and spatial thinking of the future students. This paper presents samples of tasks for each competition as well as statistical data on their results for 2016–2019.

**Keywords:** technical drawing, competition, Academic Olympics, geometric solid, shape, detail

На волне экономического роста приоритетным является техническое образование. Стране нужны специалисты, обладающие аналитическим, логическим и творческим мышлением, умеющие графически отображать свои замыслы и «читать» предложенные им проекты. Неоценимую роль в развитии у школьников соответствующих компетенций играет изучение дисциплины «Черчение» [1]. Правда, в настоящее время в большинстве своем ее изучают в системах дополнительного образования [2]. Чтобы вызвать интерес к дисциплине, вузы проводят для школьников многочисленные олимпиады и конкурсы по черчению [3, 4].

Определим различие между олимпиадой и конкурсом. По сути, и то и другое – соревнование. Отличие между ними заключается

в подведении итогов. На любой олимпиаде, как спортивной, так и предметной, по наибольшему количеству набранных баллов определяются 1-е, 2-е и 3-е места. На конкурсе устанавливается планка по количеству набранных баллов для получения дипломов разных степеней. Таким образом, по итогам олимпиады могут быть только трое награжденных, на конкурсе дипломы одной и той же степени могут получить несколько участников, набравших необходимое количество баллов. Инициаторами проведения олимпиад и конкурсов по черчению, как правило, выступают преподаватели графических кафедр вузов [1, 5, 6], поскольку они заинтересованы в графически грамотных абитуриентах. Цель проведения олимпиады зависит от предшествующей

подготовки к ней. Если были предварительные занятия, то олимпиада проверяет качество усвоения материала и сформированные компетенции. Проведенный организаторами олимпиады анализ полученных результатов позволяет дать методические рекомендации учителям школ. Если занятия не проводились, то олимпиада призвана пробудить интерес к дисциплине. Тем, кто определяется с выбором будущей специальности, олимпиада помогает оценить свои возможности. Но, как отмечает В.И. Вышнепольский, «Главная ценность олимпиад – не в выявлении победителей и награждении отличившихся в этом соревновании, а в том общем подъеме предметной культуры и интеллектуального уровня обучающихся, которому эти олимпиады, несомненно, способствуют» [7]. Как показали исследования [8], подготовка школьников к олимпиадам по черчению способствует «формированию творческой активности учащихся». Но любое испытание создает стрессовую ситуацию, что не может не отразиться на полученных результатах [9]. Мы хотим поделиться своим опытом психологической подготовки школьников к участию в творческом конкурсе по черчению.

#### Материалы и методы исследования

Материалы исследования: содержание и методика проведения конкурсов по черчению для школьников и выпускников средних учебных заведений, готовящихся поступать в вузы.

Метод исследования: сравнительный анализ результатов конкурсов за период 2016–2019 гг., обмен опытом.

Кафедра «Геометрическое моделирование и компьютерная графика» института архитектуры и дизайна Сибирского Федерального университета ежегодно проводит два конкурса по черчению: один – профориентационный (приурочен ко дню открытых дверей) – в марте – апреле, другой – вступительный – в июле. Первый конкурс называется «Архитектура и дизайн». Согласно разработанному в ИАиД Положению о конкурсе «Архитектура и дизайн» [10], к участию в нем приглашаются учащиеся 11-х классов государственных, негосударственных и муниципальных образовательных организаций общего образования (школ, лицеев и т.д.), выпускники образовательных организаций начального профессионального и среднего профессионального образования (техникумов, училищ). Целями его проведения являются:

- выявление у учащихся творческих способностей и интереса к архитектурно-дизайнерской деятельности;

- создание необходимых условий для поддержки одаренных детей и их дальнейшего творческого развития, содействия им в профессиональной ориентации и продолжении образования;

- привлечение выпускников образовательных учреждений в число абитуриентов Института архитектуры и дизайна СФУ.

Этот конкурс ни в коем случае не должен являться репетиционным для вступительного конкурса. На него приходят учащиеся, определившиеся со своей будущей специальностью. Следовательно, с черчением они уже знакомы. Поэтому организаторы конкурса ставят перед собой задачи:

- дать возможность конкурсантам проявить свое творческое мышление, без которого немислимо их архитектурное будущее;

- ознакомить с методикой подготовки к вступительному конкурсу по черчению;

- подготовить психологически к основному конкурсу.

На вступительном конкурсе в разделе «Проекционное черчение» абитуриентам предстоит работать с деталью. А любая деталь представляет собой совокупность геометрических тел. Поэтому, прежде всего, необходимо научиться работать с простейшими геометрическими телами: призмой, пирамидой, цилиндром, конусом, имеющими вертикальные и горизонтальные отверстия, вырезы и сечения проецирующими плоскостями. Именно они и представлены на конкурсе. На рисунке 1 приведены образцы вариантов задания № 1 конкурса «Архитектура и дизайн».

На рисунке 1а заданы фронтальная и горизонтальная проекции вертикально расположенного прямого кругового цилиндра с вертикальным отверстием в форме прямой четырехгранной призмы, с цилиндрическим вырезом и сечениями, выполненными фронтально проецирующими плоскостями. Требуется построить его профильную проекцию и прямоугольную аксонометрию.

На рисунке 1б заданы фронтальная и горизонтальная проекции горизонтально расположенной прямой пятигранной призмы с цилиндрическим горизонтальным отверстием, полуцилиндрическим вырезом и сечениями, выполненными двумя горизонтально проецирующими плоскостями. Требуется построить профильную проекцию призмы и ее прямоугольную аксонометрию. Вид стандартной прямоугольной аксонометрии (прямоугольная изометрия или прямоугольная диметрия) конкурсант выбирает на свое усмотрение.

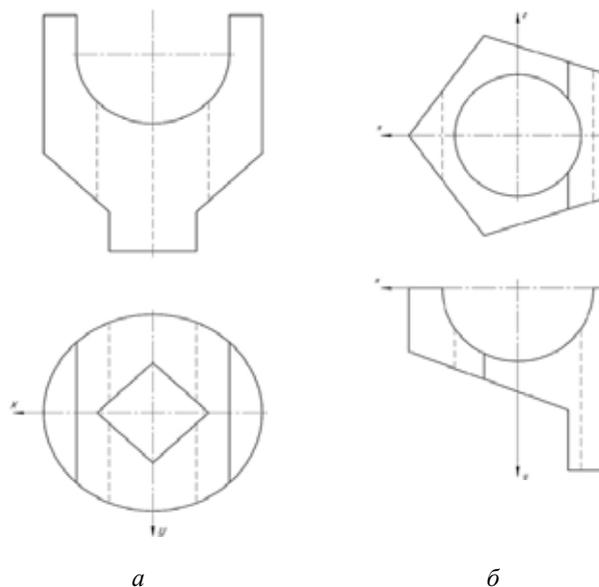


Рис. 1а, 1б. Образцы вариантов задания № 1 конкурса «Архитектура и дизайн»

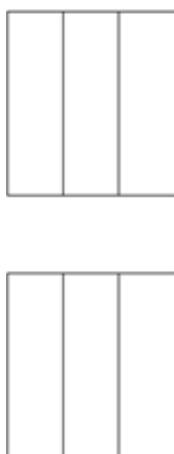


Рис. 2. Образец варианта задания № 2 конкурса «Архитектура и дизайн»

На рисунке 2 приведен образец варианта задания № 2 конкурса «Архитектура и дизайн». Здесь тоже по фронтальной и горизонтальной проекциям необходимо построить профильную проекцию представленной фигуры и выполнить ее наглядное изображение в виде рисунка. В отличие от предыдущего задания, эта задача многовариантная. Количество решений зависит от фантазии конкурсанта.

Конкурс проводится в один этап, только в очной форме, продолжается 3 ч. Все конкурсаны выполняют одни и те же задания. Каждый участник получает их вариант в распечатанном виде. Результаты конкурса оцениваются по 100-балльной системе. Без-

упречно выполненное задание № 1 – 60 баллов, задание № 2 – 40 баллов. Во втором задании максимальное количество баллов получает участник, представивший наибольшее число решений. Остальные оцениваются пропорционально количеству придуманных вариантов. Участники, набравшие 91–100 баллов, получают диплом 1-й степени, 81–90 баллов – диплом 2-й степени, 71–80 баллов – диплом 3-й степени.

Задачей проведения вступительного конкурса является проверка графической грамотности и пространственного мышления будущего студента. Конкурс состоит из двух заданий – одно по геометрическому черчению, другое – по проекционному черчению. Каждый абитуриент получает индивидуальный билет. На рисунке 3 представлен образец задания № 1 индивидуального варианта вступительного конкурса. На листе формата А3 необходимо вычертить контур фигуры, сохранив все построения касательных и сопряжений, выполнить обводку и проставить размеры, соблюдая ГОСТы по оформлению чертежей. На рисунке 4 показан один из возможных вариантов индивидуального задания № 2. На листе формата А3 по двум данным ортогональным проекциям детали нужно построить ее третью проекцию, выполнить фронтальный и профильный разрезы, построить аксонометрию детали с вырезом, проставить размеры с учетом их группировки.

Критерии оценки:

– вид сверху в проекционной связи с координатными осями – 4 балла;

– вид слева: изображение с профильным разрезом и штриховкой – 14 баллов;  
 – аксонометрия с учетом выреза, штриховки и аксонометрических осей – 20 баллов;  
 – оформление чертежа: графическое оформление в соответствии с требованиями ЕСКД – 6 баллов, простановка размеров – 4 балла, группировка размеров – 4 балла, обозначение разрезов – 4 балла, шрифт – 3 балла, компоновка – 5 баллов (в сумме 26 баллов).

Задание № 2 может быть представлено и так, как показано на рисунках 5а, 5б.

Дано наглядное изображение детали в прямоугольной (рис. 5а) либо косоугольной (рис. 5б) аксонометрии. Требуется построить три проекции детали, выполнить фронтальный и профильный разрезы, построить прямоугольную аксонометрию с вырезом. На ортогональном чертеже нужно проставить размеры с учетом их группировки. На выполнение конкурсной работы отводится 6 академических часов. Вся работа оценивается в 100 баллов: задание № 1 – 30 баллов, задание № 2 – 70 баллов.

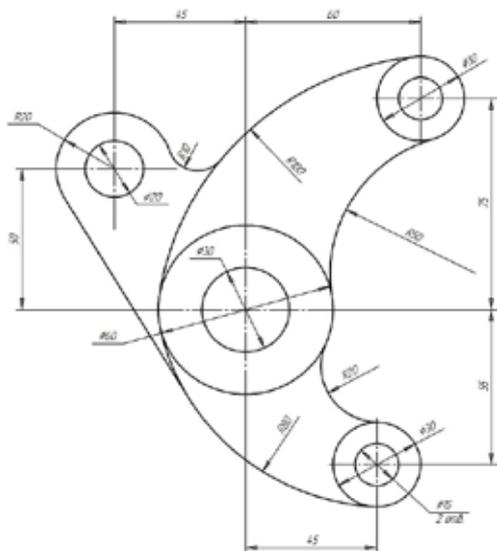


Рис. 3. Образец задания № 1 индивидуального варианта вступительного конкурса

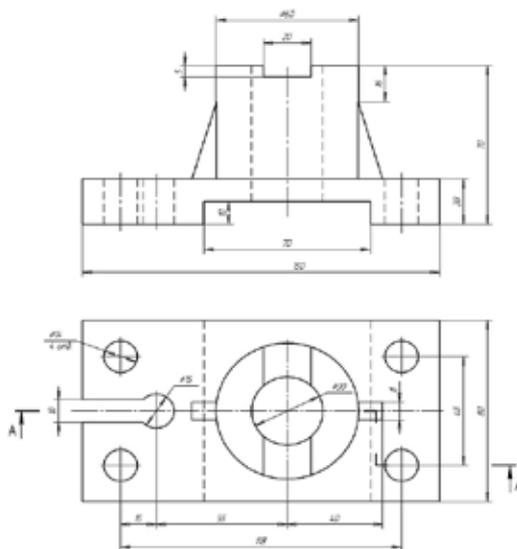
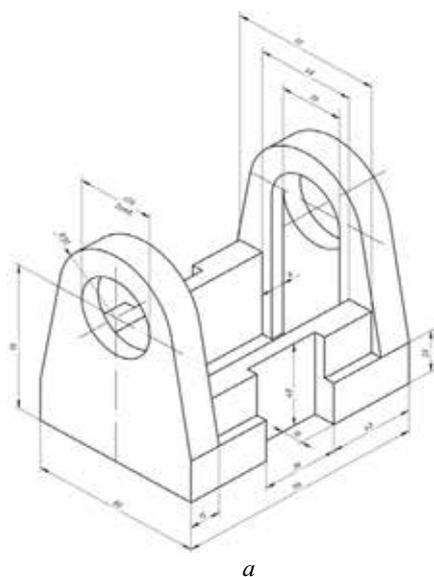
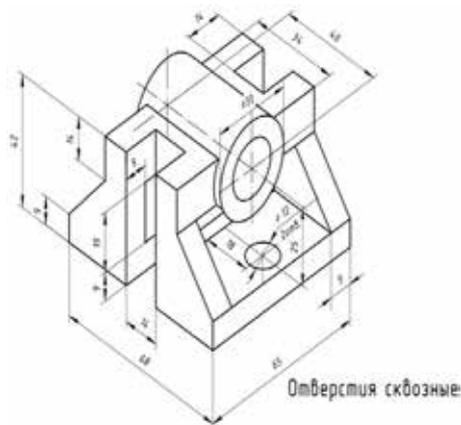


Рис. 4. Образец задания № 2 индивидуального варианта вступительного конкурса (ортогональные проекции)



а



б

Рис. 5а, 5б. Образцы задания № 2 индивидуальных вариантов вступительного конкурса (аксонометрия)

При оценивании задания № 1 учитываются:

– правильность построения контура фигуры, в том числе наличие центров сопрягающих дуг, точек касания и сопряжения (18 баллов);

– графическое оформление в соответствии с требованиями ЕСКД (6 баллов);

– грамотная простановка размеров (3 балла);

– шрифт и компоновка чертежа (3 балла).

На проекционном чертеже (задание № 2) распределение 70 баллов по его компонентам зависит от исходного условия. Если деталь задана ортогональными проекциями, как показано на рисунке 4, то баллы распределяются следующим образом:

– главный вид с фронтальным разрезом и штриховкой – 6 баллов.

Если деталь задана аксонометрией, как показано на рисунке 5, то на оформление чертежа остаются те же 26 баллов, а между изображениями баллы распределяются следующим образом:

– главный вид: правильность выбора, изображение, фронтальный разрез, штриховка – 10 баллов;

– вид сверху: изображение, проекционная связь, координационные оси – 6 баллов;

– вид слева: изображение с профильным разрезом и штриховкой – 12 баллов;

– аксонометрия с учетом выреза, штриховки и аксонометрических осей – 16 баллов.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проанализируем результаты конкурсов, проведенных кафедрой в период 2016–2019 гг., представленные в таблице.

Результаты эксперимента показали, что проводимый в марте конкурс вызвал интерес у будущих абитуриентов. Однако с заданием справились только 46% участников. Из них свыше 91 балла набрали 2 человека, свыше 81 балла – 4 человека, свыше 71 балла – 8 человек, свыше 61 балла – 12 человек и минимальное количество баллов – 24 человека. Тем не менее, 85% участников первого конкурса пришли на вступительное испытание и 99% из них прошли его успешно. Кардинально изменилось качество. Теперь свыше 91 балла набрали 37 человек, свыше 81 балла – 26 человек, свыше 71 балла – 18 человек, свыше 61 балла – 9 человек, минимальное количество баллов – 1 человек.

Конкурс «Архитектура и дизайн» проводился в весенние каникулы в конце марта. Поэтому в нем смогли принять участие не только красноярцы, но и представители еще 20 населенных пунктов края и региона, в том числе городов Кемерово и Улан-Удэ.

### Результаты конкурсных испытаний по черчению

Статистические показатели конкурса	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Итого
<b>Конкурс «Архитектура и дизайн» (23–30 марта)</b>					
Количество участников	19	41	18	30	108
Количество положительных результатов:	12	21	4	13	50
из них баллов					
91–100	–	–	1	1	2
81–90	–	2	–	2	4
71–80	2	3	1	2	8
61–70	4	4	2	2	12
41–60	6	12	–	6	24
Количество дипломов, в том числе:	2	5	2	5	14
1-й степени	–	–	1	1	2
2-й степени	0	2	–	2	4
3-й степени	2	3	1	2	8
<b>Вступительный конкурс (июль)</b>					
Пришло количество участников конкурса «Архитектура и дизайн»	16	37	12	27	92
Количество положительных результатов:	16	37	12	26	91
из них баллов					
91–100	6	19	2	10	37
81–90	6	8	4	8	26
71–80	3	7	3	5	18
61–70	1	3	2	3	9
41–60	–	–	1	–	1
Из них количество поступивших	16	30	9	23	78

Как видно из таблицы, за 4 года в конкурсе участвовали 108 будущих абитуриентов. Но 58 из них не набрали баллов на положительный результат (положительный результат установлен в 41 балл и выше). С каждым участником было проведено индивидуальное собеседование: проанализированы их ошибки, указано, на что следует обратить внимание при подготовке к вступительному конкурсу. Для тех, кто не смог лично присутствовать на собеседовании, анализ работ был отправлен по электронной почте. Во вступительном конкурсе из 108 человек первого конкурса участвовали 92 человека. Отрицательный результат получил только 1 абитуриент. Из таблицы видно, что положительные результаты второго конкурса намного превосходят аналогичные результаты первого конкурса. 42 «неудачника» первого конкурса, видимо, все-таки убедились в правильности своего профессионального выбора, серьезно подготовились и успешно прошли второй конкурс. Остальные 16 человек решили, что архитектура не для них, и изменили направление подготовки. Проведение первого конкурса и общение с педагогами вуза, по-видимому, помогли снять эмоциональный стресс, вызванный страхом перед предстоящим испытанием. 6 человек, получивших в первом конкурсе 0–4 балла, во втором набрали 77 баллов и выше. Они неплохо разбираются в черчении, но в первом конкурсе страх «сковал» их мыслительную деятельность. По результатам конкурса 78 человек поступили в институт. 13 абитуриентов недобрали баллы по школьному ЕГЭ. Абитуриентам, получившим в конкурсе «Архитектура и дизайн» дипломы, были добавлены баллы: за диплом 1-й степени – 5 баллов, 2-й степени – 3 балла, 3-й степени – 2 балла.

### Заключение

Проведенный анализ показывает, что для повышения творческой активности учащихся необходимо дать им уверенность в собственных силах и создать условия для преодоления психологического барьера. В этом плане первый конкурс сыграл

роль того «пробника», который в школах проводят при подготовке к ЕГЭ. Участие в подобных мероприятиях воспитывает у их участников устойчивость к стрессовым ситуациям и демонстрирует готовность к творческому мышлению.

### Список литературы

1. Рукавишников Е.Л. О проблемах преподавания «Инженерной графики» студентам, не имеющим базовых знаний по черчению // Педагогика: традиции и инновации : материалы I Междунар. науч. конф. (Челябинск, октябрь 2011 г.). Т. 2. Челябинск: Два комсомольца, 2011. С. 86.
2. Зонина О.Ф. Развитие графических способностей школьников с признаками одарённости в процессе обучения черчению: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2010. 22 с.
3. Муравьёва И.Г. Олимпиада по учебной дисциплине УД.03 «Черчение» по профессии 2929.01.05 Закройщик // Пояснительная записка. Абакан: ГБПОУ РХ ХКПТЭС, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://infourok.ru/polozhenie-o-provedenii-olimpiadi-po-discipline-cherchenie-3067320.html> (дата обращения: 11.01.2022).
4. Регламент олимпиады школьников «УЧИТЬСЯ СТРОИТЬ БУДУЩЕЕ» по архитектурной графике, проводимой в 2018-2019 учебном году Москва 2018. [Электронный ресурс] URL: [https://mgsu.ru/applicant/olimpiady-shkolnikov/olimpiada-shkolnikov-uchis-stroit-budushchee/normativnyedokumenty/Reglament\\_provedenia\\_olimpiadu\\_UCB-2018-2019.pdf](https://mgsu.ru/applicant/olimpiady-shkolnikov/olimpiada-shkolnikov-uchis-stroit-budushchee/normativnyedokumenty/Reglament_provedenia_olimpiadu_UCB-2018-2019.pdf) (дата обращения: 11.01.2022).
5. Франковский Б.Л., Кононова О.К. Олимпиады школьников по проекционному черчению в ТПУ // Преподавание графических дисциплин в современных условиях: материалы 43 Международной научно-методической конференции (Томск, 24 июня 2013 г.). Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. С. 133–142.
6. Чередниченко О.П., Лавренова Т.В. Олимпиады для школьников в системе профориентационной работы вуза // Проблемы графической подготовки студентов технических вузов: материалы Международной научно-методической конференции (п. Дивноморское, 26-28 мая 2015.). Ростов н/Д.: Донской государственный технический университет, 2015. С. 102-106.
7. Вышнепольский В.И. Функции олимпиад // Геометрия и графика. 2016. Т. 4. № 1. С. 73–89. DOI: 10.12737/18060.
8. Дарамаева А.А. Формирование творческой активности учащихся в процессе подготовки к олимпиадам по черчению: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Якутск, 2010. 24 с.
9. Паршуков В.А. Особенности организации психолого-педагогической деятельности // Студенческий: электрон. научн. журн. 2020. № 2(88). URL: <https://sibac.info/journal/student/88/167396> (дата обращения: 11.01.2022).
10. Положение о Конкурсе «Архитектура и дизайн» Института архитектуры и дизайна Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет». Красноярск: СФУ, 2018. 4 с.

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 378:514.18

**НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ – НЕОТЪЕМЛЕМАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ  
СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ИЛИ ПЕРЕЖИТКИ ПРОШЛОГО?****Назарова Ж.А.***ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», Екатеринбург,  
e-mail: ZhNazarova2020@gmail.com*

В данной статье приводится литературный обзор публикаций последних двух-трех лет, посвященных начертательной геометрии. Это одна из немногих дисциплин, напрямую нацеленная на развитие пространственного мышления будущих инженеров, и многими специалистами отмечается как неотъемлемая составляющая качественного технического образования. Часто в исследованиях выделяются факторы, осложняющие ее изучение: абстрактность изучаемых объектов, необходимость предварительной графической подготовки и развитого пространственного мышления, совпадение с периодом адаптации на первом курсе. Автор статьи анализирует общепринятое отношение к этим факторам. В противовес им выделяются факторы, способствующие успешному изучению дисциплины: ритмичность изучения, постоянная практика, мотивация студента, опыт преподавателя. В последнее время много внимания уделяется вопросам внедрения в процесс изучения и преподавания начертательной геометрии современных компьютерных технологий и САПР, ведутся споры о необходимости изучения всего объема материала для современных специалистов, рассматриваются различные варианты перерождения классической начертательной геометрии в нечто новое на основе синтеза начертательной геометрии, вычислительной и компьютерной графики. Приводится авторская оценка о необходимости подобных реорганизаций в образовательном процессе высшей технической школы.

**Ключевые слова:** начертательная геометрия, пространственное мышление, техническое образование, САПР, вычислительная графика

**IS DESCRIPTIVE GEOMETRY AN INTEGRAL PART  
OF MODERN TECHNICAL EDUCATION OR REMNANTS OF THE PAST?****Nazarova Zh.A.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ural State University  
of Railway Transport, Yekaterinburg, e-mail: ZhNazarova2020@gmail.com*

This article provides a literary review of publications of the last 2–3 years devoted to descriptive geometry. This is one of the few disciplines directly aimed at the development of spatial thinking of future engineers and is noted by many specialists as an integral component of high-quality technical education. Often, research highlights factors that complicate its study: the abstractness of the studied objects, the need for preliminary graphic preparation and developed spatial thinking, coincidence with the period of adaptation in the first year. The author of the article analyzes the generally accepted attitude to these factors. In contrast to them, the factors contributing to the successful study of the discipline are highlighted: the rhythm of study, constant practice, student motivation, teacher experience. Recently, much attention has been paid to the introduction of modern computer technologies and CAD into the process of studying and teaching descriptive geometry, there are debates about the need to study the entire volume of material for modern specialists, various options for the rebirth of classical descriptive geometry into something new based on the synthesis of descriptive geometry, computational and computer graphics are being considered. The author's assessment of the need for such reorganizations in the educational process of the higher technical school is given.

**Keywords:** descriptive geometry, spatial thinking, technical education, CAD, 3D modeling, computational graphics

Начертательная геометрия – дисциплина, направленная на развитие пространственного представления и воображения, конструктивно-геометрического мышления, способности к анализу и синтезу пространственных форм и отношений на основе графических моделей пространства, практически реализуемых в виде чертежей конкретных пространственных объектов и зависимостей [1].

В данной статье приводится литературный обзор публикаций последних двух-трех лет, посвященных начертательной геометрии. Это дисциплина с целым рядом факторов, усложняющих ее изучение первокурсниками разных вузов и специально-

стей. В то же время это одна из немногих дисциплин, напрямую нацеленная на развитие пространственного мышления будущих инженеров, и многими специалистами отмечается как неотъемлемая составляющая качественного технического образования.

В последнее время много внимания уделяется вопросам внедрения в процесс изучения и преподавания начертательной геометрии современных компьютерных технологий и САПР, ведутся споры о необходимости изучения всего объема материала для современных специалистов, рассматриваются различные варианты перерождения классической начертательной геометрии в нечто новое на основе синтеза начерта-

тельной геометрии, вычислительной и компьютерной графики.

Цель исследования – заново рассмотреть факторы, влияющие на успешное изучение начертательной геометрии, а также провести анализ публикаций авторов, придерживающихся различных мнений по вопросам внедрения САПР в процессы изучения и преподавания начертательной геометрии, необходимости ее реорганизации путем сокращения объема изучаемого материала, включения некоторых разделов в рамки других дисциплин.

Уже неоднократно отмечались факторы, осложняющие изучение начертательной геометрии [2]:

- отсутствие школьного изучения черчения;
- изучение новой дисциплины совпадает с периодом адаптации вчерашних школьников к системе высшего образования;
- большое количество новых терминов, не встречавшихся ранее в повседневной жизни, взаимосвязь изучаемых разделов, эффект «снежного кома»;
- необходимость высокого уровня развития пространственного мышления;
- изучение абстрактных объектов.

Если говорить о предварительной графической подготовке, то черчение в школе давало не только базовую графическую подготовку, но и начальное представление о необходимости и пользе от изучения этой дисциплины специалистами технического профиля. Выпускники техникумов на базе ранее изученного материала чаще представляют неординарные решения и способны к научно-исследовательской работе. Но если рассматривать другие дисциплины, то можно отметить, что высшая математика, например, также является одной из самых сложных дисциплин, несмотря на многолетнюю математическую подготовку выпускников, зачастую получивших углубленную подготовку перед поступлением в технический вуз. Подобные сложности возникают и по многим другим дисциплинам, поэтому можно сделать вывод, что не настолько критично отсутствие предварительной графической подготовки для успешного изучения начертательной геометрии, как об этом принято говорить.

Система высшего образования подразумевает самостоятельность и сознательность студентов. Лекции проходят без записи домашнего задания. По умолчанию преподаватель понимает, что студенты дома самостоятельно будут изучать теоретический материал перед практическими и лабораторными занятиями, студенты же понимают, что, побывав на лекции, они все знают.

Уже не существует школьного дневника, чтобы напротив каждого занятия записывать домашние задания. Родительский контроль резко ослабевает или исчезает вовсе в случае, если студент живет в другом городе. Для решения этой проблемы во многих вузах сейчас действует рейтинговая оценка деятельности студентов, которая во время семестра несколько раз показывает и студентам, и их родителям, насколько успешно проходит обучение по всем дисциплинам и по каждой в отдельности [3].

На фоне таких значительных изменений в жизни студента начертательная геометрия по своей структуре преподавания остается максимально приближенной к школьному принципу изучения нового материала: прочитана лекция с максимальным изложением материала, далее на практическом занятии показано решение типовых задач по изучаемой теме, в конце практического занятия задано домашнее задание. И все равно возникают сложности, потому что учить теорию без родительского контроля сложно себя заставить, на практическом занятии без теоретической базы половина осталась непонятной, чертежи решений недочерченными, домашние задачи, хоть и похожи на те, что решались с преподавателем, но остаются такими же недоступными для понимания и решения.

Многие дисциплины отличаются возможностью изучения по отдельности различных тем и разделов. В результате во время аттестации студенты показывают знания по нескольким темам, но остается неясным, знают ли они дисциплину полностью в рамках преподаваемого объема. По начертательной геометрии для успешного решения задач недостаточно знать только теорию, также необходимы практические навыки: умение писать шрифтом, проводить линии разных типов, пользоваться инструментами и т.д. Кроме того, если по многим дисциплинам весь материал можно выучить разом или перед экзаменом доучить главы, которые были пропущены во время семестра, то по начертательной геометрии одна невыученная тема влечет за собой невозможность изучения и полного понимания последующего материала. Таким образом получается эффект «снежного кома», когда пропущенное занятие в начале семестра отражается на непонимании последующего материала, который студент пытается усвоить вовремя.

Существует достаточно много исследований о влиянии начертательной геометрии на развитие пространственного мышления [4, 5]. И тут же отмечается, что чем выше уровень в начале изучения дисциплины, тем

легче происходит ее изучение и понимание. Для успешной профессиональной деятельности будущих инженеров, конструкторов, проектировщиков, строителей развитое пространственное мышление, умение заранее представить результат своих будущих действий является неотъемлемой составляющей развития личности и профессионального успеха. В связи с этим исключать начертательную геометрию или сокращать время ее изучения видится автору данной статьи нецелесообразным и поспешным.

Н.П. Абарихин отмечает [6], что начертательная геометрия видится сложной дисциплиной в том числе из-за изучения абстрактных элементов (точка, прямая, плоскость), что в большинстве своем не подкреплено примерами дальнейшего практического применения, что в итоге снижает интерес к изучению. А.И. Лысков и И.А. Лысков подчеркивают, что теоретическая основа начертательной геометрии – результат многовекового накопления знаний человечеством, развития мысли, а студентам выдается лишь результат без пояснения, как человечество до этого дошло и где эти знания могут пригодиться в будущей деятельности [7]. Это упущение большинства лекторов, но и уделять много внимания этому аспекту нет возможности из-за ограниченности учебного времени. И тем не менее существует немало разработок в области практического применения начертательной геометрии, о которых можно либо рассказать, либо решить несколько задач на практических занятиях [8–10]. Это вопрос об умении заинтересовать своих студентов новыми для них знаниями, и это может относиться не только к лектору именно начертательной геометрии.

Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева и А.Р. Фардеев в своей статье отмечают, что современные студенты с трудом перестраиваются с трехмерного видения мира на двухмерные проекции [1]. Одним из решений авторы считают методику внедрения компьютерных технологий при изучении начертательной геометрии. Многие практики сводятся к тому, что задание сначала выполняется традиционно на бумаге, а затем повторяется в графическом редакторе (пересечение плоскостей или поверхностей) [1, 11, 12]. Но из-за недостаточного учебного времени внедрять вопрос освоения графического редактора на фоне изучения начертательной геометрии видится автору данной статьи нецелесообразным, хотя работать в графическом редакторе студентам интересно, изучаемые объекты становятся наглядными и понятными. Кроме того, чертеж решения задачи по начертательной геометрии насы-

щен надписями: каждый объект в двух-трех плоскостях проекций только в исходном условии, а если речь идет о преобразовании чертежа, то почти все время вычерчивания такого решения сводится к использованию одной операции ввода текста. Автору видится более логичным изучение графического редактора как инструмента создания более громоздких чертежей на фоне изучения инженерной графики, когда речь идет о создании и детализации сборочных чертежей, изучении проекционного черчения, аксонометрии, числовых отметок или архитектурно-строительного черчения. В данном случае ручное выполнение чертежей действительно в современном мире уже видится неоправданным, так как вся рабочая документация, которая так или иначе родом из инженерной графики, разрабатывается с помощью САПР.

Совсем иначе автору видится применение компьютерных технологий с точки зрения преподавания дисциплины. Здесь действительно открывается безграничное поле возможностей, чтобы донести изучаемый материал до студентов максимально полно, развернуто, масштабно.

Во-первых, больше нет необходимости во время лекции преподавателю что-либо вычерчивать на доске, все чертежи можно показывать через презентации Microsoft PowerPoint. Это могут быть последовательно и анимированно появляющиеся элементы одного чертежа, как если бы преподаватель их по мере изложения материала вычерчивал на доске. Такой чертеж более четкий, ровный, с соблюдением шрифта, типов линий, пропорций, применением цвета. Если говорить о таких темах, как пересечение плоскостей или поверхностей, сечениях поверхностей, то демонстрация моделей в руках преподавателя также может быть заменена на демонстрацию трехмерного пространства САПР с этими моделями, которые также можно рассматривать с разных сторон.

Во-вторых, на практических занятиях появляется возможность использовать практикумы в качестве раздаточного материала. Применение практикумов уже неоднократно описывалось [13, 14], выделим основные преимущества:

- есть возможность сократить время на решение одной задачи за счет того, что не нужно вычерчивать исходное условие;
- все студенты решают один и тот же вариант задачи и получают один результат, хотя при незначительных вариациях исходного условия могут получиться совершенно разные ответы-чертежи, что в обучающем процессе отвлекает многих студентов.

В-третьих, современные технологии позволяют применять электронные образовательные среды, что дает возможность вести диалог, обмен информацией между студентами и преподавателем не только во время занятия [15].

В современных научных публикациях отмечается, что произошел своего рода раскол: одни ученые говорят, что начертательную геометрию изучать уже нет смысла из-за внедрения компьютерных технологий и широкого распространения САПР [16], другие, напротив, доказывают, что САПР не может работать вместо инженера, это лишь инструмент, которым нужно уметь пользоваться и который не всегда может оказаться под рукой [17].

Начертательная геометрия остается базовой дисциплиной технического образования, но В.И. Гиль и В.С. Исаченков отмечают, что мало изысканий по этой науке, что специалисты по начертательной геометрии уходят либо в педагогику, либо в машиностроение [18]. С этим утверждением сложно спорить. Действительно, со времен основателя Гаспара Монжа к исходным сведениям добавились некоторые разделы в XIX в. (теория теней, сечение кривых поверхностей, вопросы аксонометрии), но в учебной программе идет процесс сокращения времени на изучение, поэтому дисциплина становится все более фрагментарной, оттого ее изучение не становится проще [8].

В.И. Гиль и В.С. Исаченков говорят, что изучение начертательной геометрии уже не столь необходимо, так как существуют САПР, которые сами могут преобразовывать положение объектов в пространстве, показывать их взаимодействие, поэтому не нужно так много времени уделять изучению взаимного положения в пространстве точки, прямой и плоскости, преобразованию чертежей [18]. С другой стороны, А.И. Лысков и И.А. Лысков отмечают, что начертательная геометрия гораздо шире и богаче, чем тот ограниченный объем материала, который принято изучать в первом семестре первого курса, преподавая дисциплину только как «грамматику чертежа» [7].

Существует достаточно много работ, посвященных применению начертательной геометрии в области вычислительной графики [19, 20]. Е. Г. Евсеева предлагает вместо начертательной геометрии ввести новую дисциплину «Инженерная геометрия» на основе синтеза начертательной геометрии, компьютерной и вычислительной графики [20]. Но дальнейшее развитие вычислительной графики невозможно представить без базовых элементарных сведений по начертательной геометрии, которые сейчас преподают-

ся на первом курсе студентам технических специальностей. Отрадно, что специалисты в области начертательной геометрии нашли применение накопленным знаниям, но это не должно привести к отмене изучения классической теории по начертательной геометрии, как предлагают В.И. Гиль и В.С. Исаченков [18] или Е.Г. Евсеева [20].

Итак, действительно существует достаточно большой перечень факторов, влияющих на успешность изучения дисциплины, но мы постарались показать, что даже при низком начальном уровне развития пространственного мышления и отсутствии предварительной графической подготовки ритмичность изучения материала и постоянная практика могут стать решающими факторами успешности. К.А. Вольхин, проведя довольно обширное исследование и выделив большое количество факторов успеха, в результате делает вывод, что «наличие положительной мотивации у студента к изучению дисциплины и профессионализм преподавателя являются ключевыми факторами, определяющими успешность изучения начертательной геометрии» [21].

На первый взгляд, САПР значительно облегчает работу инженера. Может показаться, что не обязательно изучать ручные методы преобразования чертежей и уделять столь много внимания метрическим задачам. Но без понимания, как это сделать вручную, специалист не сможет от компьютера получить максимум информации, да и не всегда компьютер есть в наличии. Еще остаются профессии, связанные с работой «в поле»: строители, геодезисты, геологи и т.д. Им не только приходится читать чертежи, созданные с помощью САПР, но и самим делать ручные чертежи в блокноте для дальнейшей работы в офисе. Ручной труд не скоро исчезнет из нашей жизни, чтобы можно было спокойно вычеркнуть начертательную геометрию из курса подготовки инженеров различных областей.

Анализируя слова Е.Г. Евсеевой о применении начертательной геометрии в вычислительной графике, ее интеграции с компьютерной графикой [20], давайте опять обратимся к примеру коллег. Да, в области математики, химии и физики регулярно происходят открытия, инновации, синтез междисциплинарных знаний. Но сколько из этого преподается нашими коллегами преподавателями-предметниками для первокурсников технических специальностей? Давно нас окружают компьютеры, а там до сих пор изучается ручное решение уравнений, интегралов, дифференциалов. Так может быть и нам, геометрам, не стоит столь

самокритично говорить о бесполезности науки и дисциплины, которую мы преподаем?

### Список литературы

1. Феоктистова Л.А., Рзаева Т.В., Фардеев А.Р. Возможности средств компьютерной графики при преподавании начертательной геометрии // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 3. С. 31–33.
2. Зиганшина Ф.Т., Мунирова Л.Н. Инновации в преподавании дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2020. № 4 (34). С. 112–118. DOI: 10.17122/2541-8904-2020-4-34-112-118.
3. Хряшев В.Г. Опыт организации модульно-рейтинговой системы обучения на факультетах РЛ и БМТ МГТУ им. Н.Э. Баумана // Инженерный вестник. 2014. № 1. С. 8.
4. Пьянкова Ж.А. Формирование готовности студентов оперировать пространственными объектами в процессе изучения геометро-графических дисциплин: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. Екатеринбург, 2015. 174 с.
5. Глянцев И.М. Актуальность развития пространственного мышления на занятиях «инженерной графики». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rusnauka.com/14\\_NPRT\\_2010/Pedagogica/67147.doc.htm](http://www.rusnauka.com/14_NPRT_2010/Pedagogica/67147.doc.htm) (дата обращения: 06.01.2021).
6. Абарихин Н.П. Использование систем трехмерного моделирования при изучении курса «Начертательная геометрия» // Инновационная кластеризация науки и практики в условиях цифровизации: сб. науч. статей по итогам Международ. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 14–15 февраля 2020 года. СПб.: Санкт-Петербургский гос. экономический университет, 2020. С. 76–78.
7. Лысков А.И., Лысков И.А. Начертательная геометрия – новое или «давно забытое старое» // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2021. Т. 1. С. 82–84.
8. Назарова О.Н., Шагарова А.А., Мельникова И.А., Зимица Н.Г. К вопросу решения прикладных задач начертательной геометрии авиационного профиля средствами САД-систем // Наукосфера. 2021. № 3–2. С. 64–70.
9. Туркина Л.В. Применение интерактивных творческих заданий в курсе начертательной геометрии // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 4. С. 75. DOI: 10.17513/spno.30075.
10. Дубанов А.А. Применение методов многомерной начертательной геометрии при анализе скоростей в задаче группового преследования множества целей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Т. 21. № 4. С. 64–72. DOI: 10.14529/build210408.
11. Вяткина С.Г., Туркина Л.В. Решение задач по начертательной геометрии с применением трехмерного моделирования в системе КОМПАС-3D v17 // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4–2. С. 277–282. DOI: 10.17513/snt.38010.
12. Хамракулов А.К., Жамалов Б.И. Организация эффективного использования традиционных и компьютерных технологий в обучении начертательной геометрии // Universum: психология и образование. 2020. № 12 (78). С. 4–8.
13. Легкова И.А. Начертательная геометрия и современные возможности в процессе ее изучения // NovalInfo.Ru. 2017. № 58–4. С. 400–404.
14. Хубиев А.И. Совершенствование преподавания основ черчения и начертательной геометрии в условиях реализации компетентного подхода в обучении // Мир науки, культуры, образования. 2016. № 3. С. 90–92.
15. Пьянкова Ж.А., Полуянов В.Б. Организация геометро-графической подготовки студентов с применением электронной обучающей среды MOODLE // Инновационные проекты и программы в образовании. 2016. № 3. С. 21–29.
16. Сазонов С.Е., Стреляная Ю.О., Тараховский А.Ю. Трансформация дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» в интегрированную дисциплину «Компьютерная графика». Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021. № 24. С. 72–75. DOI: 10.26160/2474-5901-2021-24-72-75.
17. Кулдыбаев А.К., Шахтыбаева Ж.А., Карасаева Г.Р. Совершенствование преподавания начертательной геометрии в условиях цифровизации образования // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 1–8 (69). С. 81–84.
18. Гиль В.И., Исаченков В.С. Перспективы изучения дисциплины «Начертательная геометрия и инженерная графика» в современном образовательном процессе // Высшее техническое образование. 2019. Т. 3. № 1. С. 40–42.
19. Савельев Ю.А., Черкасова Е.Ю. Вычислительная графика в решении нетрадиционных инженерных задач / Ю.А. Савельев // Геометрия и графика. 2020. Т. 8. № 1. С. 33–44. DOI: 10.12737/2308-4898-2020-33-44.
20. Евсеева Е.Г. Новые подходы к геометро-графической подготовке студентов технического университета // Геометрия и геометрическое образование: сб. трудов IV Междунар. науч. конф. (к 80-летию Е.В. Потоскуева), Тольятти, 29–30 ноября 2019 года / Под общ. ред. Р.А. Утеевой. Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2020. С. 189–194.
21. Вольхин К.А. Начертательная геометрия глазами студентов // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. 2019. Т. 1. С. 30–38.

## СТАТЬЯ

УДК 796.01:159.9

**ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ТРЕНИНГ КАК РЕСУРС  
ПОВЫШЕНИЯ КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ  
СТУДЕНТОВ – БУДУЩИХ ТРЕНЕРОВ ПО ФИТНЕСУ****Москаленко К.Ю.***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»,  
Краснодар, e-mail: konstantin\_moskalenko@list.ru*

Исследование посвящено роли развития коммуникативной компетентности, как одного из наиболее значимых навыков профессиональной состоятельности в процессе обучения тренеров по фитнесу. Цель исследования – разработка и оценка эффективности в процессе формирующего эксперимента тренинга повышения коммуникативной компетентности названной группы студентов. Общая выборка составила 20 студентов факультета физкультурно-оздоровительных технологий Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма, которые намерены выбрать и совершенствоваться в профессии фитнес-тренера. Общая продолжительность формирующего эксперимента составила 2 месяца, в общей сложности 36 ч: из них 6 ч лекционного материала, посвященного особенностям деятельности фитнес-тренера, 24 ч практических занятий по формированию коммуникативной компетентности и 6 ч практической работы в виде домашнего задания. До и после тренинга проводилась оценка таких индикаторов коммуникативной компетентности студентов, как уровень эмпатии и наличие или отсутствие эмоциональных барьеров в общении по методикам, разработанным В.В. Бойко. После тренинга установлено снижение большинства параметров эмоциональных барьеров в общении и повышение большинства показателей эмпатии. Результаты исследования доказывают эффективность разработанного тренинга повышения коммуникативной компетентности студентов – будущих тренеров по фитнесу.

**Ключевые слова:** фитнес-клуб, тренер по фитнесу, навыки коммуникации, взаимоотношения, успешность

**PSYCHOLOGICAL TRAINING AS A RESOURCE FOR INCREASING  
THE COMMUNICATIVE COMPETENCE OF FUTURE FITNESS STUDENTS****Moskalenko K. Yu.***Kuban State University of Physical Education, Sports and Tourism, Krasnodar,  
e-mail: konstantin\_moskalenko@list.ru*

The study is devoted to the role of the development of communicative competence as one of the most significant skills of professional competence in the process of training fitness trainers. The purpose of the study is to develop and evaluate the effectiveness of training to improve the communicative competence of the named group of students in the process of a formative experiment. The total sample consisted of 20 students of the Faculty of Physical Culture and Health Technologies of the Kuban State University of Physical Education Sport and Tourism, who intend to choose and improve in the profession of a fitness trainer. The total duration of the formative experiment was 2 months, a total of 36 hours: 6 hours of lecture material on the specifics of the activity of a fitness trainer, 24 hours of practical training on the formation of communicative competence and 6 hours of practical work in the form of homework. Before and after the training, an assessment was made of such indicators of students' communicative competence as the level of empathy and the presence or absence of emotional barriers in communication according to the methods developed by V.V. Boyko. After the training, a decrease in most parameters of emotional barriers in communication and an increase in most indicators of empathy were found. The results of the study prove the effectiveness of the developed training for improving the communicative competence of students – future fitness trainers.

**Keywords:** fitness club, fitness instructor, communication skills, relationships, success

Фитнес зародился в России в 1990-х гг. и стал развиваться как индустрия в начале 2000-х гг., вместе с ростом покупательной способности населения. В это же время начал формироваться рынок труда данной отрасли. Развитие бизнеса происходило путем естественной эволюции через анализ проб и ошибок. Кадровый вопрос решался по усмотрению управляющих и владельцев фитнес-клубов. Как таковых критериев отбора при закрытии вакансии тренера по фитнесу не было. Эффективность работы таких специалистов определялась исключительно по финансовым показателям, таким

как выполнение планов продаж клубных карт и персональных тренировок. Функция продаж возлагалась на тренеров по фитнесу и, в меньшей степени, на административный персонал. Развитие компетенций сотрудников происходило преимущественно в направлении выполнения планов продаж.

По мере того как развивалась фитнес-индустрия, совершенствовались критерии отбора тренеров по фитнесу. В 2019 г. был принят Федеральный закон № 303-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О физической культуре и спорте в Российской Федерации» в части совершен-

ствования деятельности фитнес-центров». Данный закон регулирует деятельность фитнес-центров, в том числе определяет требования к квалификации специалистов. Статья 30 п. 6.2 Федерального закона гласит: «Фитнес-центры и объединения обязаны: привлекать квалифицированных работников, обладающих теоретическими знаниями и практическими навыками в сфере оказания соответствующих услуг, обеспечивать условия для повышения их квалификации» [1].

Конкретных критериев, определяющих полноту навыков и уровень квалификации, законодатель не определил и оставил на усмотрение участников рынка. На сегодняшний день вопрос измерения этих навыков и квалификаций остается открытым. Многие компании не предоставляют своим специалистам возможностей для профессионального роста и повышения своей квалификации, не связанной с продажами.

На сегодняшний день программы обучения тренеров по фитнесу дают теоретические и практические основы, которые включают в себя законы функционирования человеческого тела, такие как анатомия, биохимия, биомеханика и др.

И для бизнеса, и для самих тренеров по фитнесу важной проблемой являются эмоциональные барьеры в установлении контакта с клиентом и трудности в дальнейшей коммуникации. Подобные барьеры сильно затрудняют реализацию профессиональных задач тренера, что отталкивает клиентов. Это обуславливает необходимость развития коммуникативной компетентности при подготовке специалистов в области физической культуры и спорта.

Термин «коммуникативная компетентность» определяется Л.А. Петровской как готовность устанавливать и поддерживать необходимые контакты с другими людьми. В состав компетентности включают некоторую совокупность коммуникативных знаний и умений, обеспечивающих эффективное протекание коммуникативного процесса [2].

Коммуникативная составляющая деятельности тренера вызывает интерес многих ученых. Г.В. Ложкин выделял этот вид профессиональной компетентности в числе ведущих в данной деятельности [3]. О важности здоровых взаимоотношений между участниками процесса в фитнесе писали Г.М. Бирюкова, А.Н. Кутейников, Д.Ю. Поляков [4, 5]. На качественное взаимодействие с потребителем фитнес-услуг справедливо указывал в своих исследованиях С.И. Смирнов [6]. Определенным критериям подготовки тренеров по фитнесу уделял внимание в своих работах П.В. Бородин [7].

Благодаря развитию современных мобильных и интернет-технологий, вышли на новый уровень взаимодействия тренеры и потребители фитнес-услуг. Это стало особенно актуально в условиях ограничений, вызванных появлением и распространением новой коронавирусной инфекции COVID-19 [8]. Сложившиеся ограничения, включая полный запрет на посещение фитнес-центров, особенно остро обозначили необходимость развитой коммуникативной компетентности в новых условиях работы с клиентом. В условиях ограничений получили широкое распространение тренировки на открытом воздухе, проведение занятий онлайн в различных социальных сетях.

В.С. Чернявская представляет в своих исследованиях коммуникативную культуру как интегральное личностное качество, в основе которого лежит гуманное отношение. А в его фундаменте лежит нравственная воспитанность – так, автор считает основополагающей всей коммуникации аксиологическую составляющую коммуникации [9].

В своих исследованиях, посвященных оценке критериев успешной деятельности тренеров по фитнесу, мы выводим коммуникативную компетентность в число важных критериев профессиональной состоятельности тренеров по фитнесу [10].

Быть коммуникабельным – это негласная обязанность тренера по фитнесу, так как специфический вид этой деятельности заключается не только в обучении техникам физических упражнений, но и в психологическом сопровождении клиентов, помощи в преодолении различных психологических явлений, вызванных занятиями спортом. Стоит отметить, что профессия тренера по фитнесу существенно отличается от профессии тренера в спортивной команде и учителя физической культуры в образовательных учреждениях. Потому что работа учителя физической культуры в образовательных учреждениях строго регламентирована государством, а фитнес-индустрия строгими требованиями не регламентирована.

Поэтому в процессе обучения студентов факультета физкультурно-оздоровительных технологий важно учитывать не только специфические требования к психике самого тренера, но и новые условия работы.

Целью проведенного исследования было обоснование и апробация в формирующем эксперименте методики повышения уровня коммуникативной компетентности у студентов факультета физкультурно-оздоровительных технологий.

### Материалы и методы исследования

1. Общетеоретические (библиографический анализ научной и специальной литературы, сравнение, обобщение, синтез).

2. Эмпирические. Для проведения формирующего эксперимента была выбрана группа студентов факультета физкультурно-оздоровительных технологий Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма в количестве 20 чел. Перед началом работы с группой было проведено тестирование по двум методикам: диагностика уровня эмпатических способностей В.В. Бойко; диагностика эмоциональных барьеров в межличностном общении В.В. Бойко. Формирующий эксперимент длился два месяца. Работа со студентами длилась 36 ч: из них 6 ч лекционного материала, посвященного особенностям деятельности фитнес-тренера, 24 ч практических занятий по формированию коммуникативной компетентности и 6 ч практической работы в виде домашнего задания. После завершения формирующего эксперимента все участники прошли контрольное тестирование по двум вышеописанным методикам.

Для обработки полученных данных использовались методы математической статистики, а именно критерий Т Вилкоксона.

### Результаты исследования и их обсуждение

Е.П. Ильин определяет успешность деятельности тренера в первую очередь его знаниями и умениями. Умения в трудах данного автора делятся на гностические, конструктивные, организаторские, творческо-исследовательские и коммуникативные [11].

В соответствии с процессом интеграции российской системы образования в европейское образовательное пространство становятся актуальными вопросы увеличения роли навыков социальной адаптации и коммуникативной компетентности. В соответствии с этим подходом ранее потерянный интерес к концепции помогающих отношений К. Роджерса приобретает новое внимание педагогов, психологов и руководителей образовательных учреждений различного уровня.

Тренинги по развитию коммуникативной компетентности получили широкое распространение в различных отраслях. Среди авторов данных программ есть такие ученые, как Клаус Фопель, Е.И. Середя, К.М. Романов, Г.Д. Бабушкин и др. [12–15].

В соответствии с общепринятой практикой формирующий эксперимент был разделен на несколько частей.

В первой, теоретической, части проводилась оценка знаний студентами о психологических особенностях профессии тренера по фитнесу. Далее, на основании уже пройденной дисциплины «Психология физической культуры и спорта», были проведены беседы по оценке остаточных знаний основ психологии спорта. Со студентами было закреплено понимание основных аспектов дисциплины, теоретической и практической значимости психологии спорта и ее тесной взаимосвязи с психологией фитнеса. Также в первую часть входило закрепление основ помогающих профессий и их психологических особенностей. На основании полученных знаний было дано домашнее задание по предупреждению и профилактике возможных негативных последствий, с которыми сталкиваются представители помогающих профессий, таких как стресс, эмоциональное выгорание, неврозы и т.д.

Вторым этапом проводилась практическая часть формирующего эксперимента, перед которой ставились следующие задачи:

- развитие коммуникативной компетентности при установлении контакта в разных ситуациях;
- проработка способности понимания себя и окружающих и сути взаимоотношений между участниками коммуникаций;
- овладение навыками эффективно-го слушания;
- активизация процесса самопознания и самоактуализации;
- расширение диапазона творческих способностей;

Программа тренинга состояла из трех блоков:

- первый блок был направлен на самооценку уровня коммуникативной компетентности участников тренинга;
- второй блок представляет собой упражнения и методики по формированию коммуникативной компетентности участников;
- третий блок направлен на совершенствование и закрепление коммуникативной культуры.

На финальной встрече были подведены итоги теоретической и практической работы, дана обратная связь каждому участнику тренинга с практическими рекомендациями.

Оценка эффективности проведенного тренинга проводилась путем сравнения показателей эмоциональных барьеров в общении, эмпатии до и после проведения тренинга. Данные о соотношении показателей эмоциональных барьеров в общении до и после проведения тренинга представлены в табл. 1.

Таблица 1

Медианы показателей эмоциональных барьеров  
в межличностном общении до и после тренинга

Критерии	До тренинга (суммарный балл)	После тренинга (суммарный балл)	Достоверность различий
Неумение управлять эмоциями	1,500	1,000	$p < 0,05$
Неадекватное проявление эмоций	3,000	1,000	$p < 0,01$
Негибкость, неразвитость, невыра- зительность эмоций	2,000	1,000	$p < 0,01$
Доминирование негативных эмоций	,500	,500	–
Нежелание сближаться с людьми на эмоциональной основе	2,000	1,000	$p < 0,01$
Сумма	9,500	5,500	$p < 0,01$

Таблица 2

Медианы показателей уровня эмпатических способностей  
до и после тренинга

Критерии	До тренинга (суммарный балл)	После тренинга (суммарный балл)	Достоверность различий
Рациональный канал эмпатии	3,000	3,000	–
Эмоциональный канал эмпатии	2,000	3,000	$p < 0,01$
Интуитивный канал эмпатии	3,000	4,000	$p < 0,01$
Установки, способствующие эмпатии	4,500	5,000	$p < 0,01$
Проникающая способность в эмпатии	4,000	4,500	$p < 0,01$
Идентификация в эмпатии	3,000	4,000	$p < 0,01$
Суммарный показатель	20,500	23,500	$p < 0,01$

Как видно из таблицы, улучшение произошло почти по всем показателям, что позволяет сделать вывод об успешности проведенного эксперимента, его обоснованности и результативности. Особенность тренинга заключается в направленности на снижение уровня эмоциональных барьеров в общении, что приводит к росту уровня коммуникативной компетентности. Особенно существенно снизились показатели неадекватного проявления эмоций и нежелания сближаться с людьми. Это указывает на возросшую готовность будущих тренеров по фитнесу к решению коммуникативных профессиональных задач. Об этом также свидетельствует снижение суммарного показателя эмоциональных барьеров в общении. Не отмечено изменений показателя доминирования негативных эмоций, который исходно имел низкое значение и, следовательно, не являлся актуальным барьером в общении.

Сравнение показателей эмпатии до и после тренинга дает основание для заключения о том, что и параметры эмпатии

под влиянием тренинга изменились в позитивном направлении (табл. 2).

Как показано в табл. 2, после тренинга отмечается достоверный рост большинства показателей эмпатии. Но более определенно о позитивном влиянии тренинга говорит суммарный показатель эмпатии. Если его значение до тренинга указывает на заниженный показатель эмпатии, то значение суммарного показателя после тренинга говорит о среднем уровне эмпатии, который является благоприятным для деятельности тренера по фитнесу. Он обеспечивает установление взаимопонимания тренера и клиента, но в то же время делает чрезмерную эмоциональную вовлеченность тренера в жизнь клиента маловероятной, в противном случае это увеличило бы риск эмоционального выгорания тренера.

Результаты формирующего эксперимента свидетельствуют об улучшении уровня коммуникативной компетентности. Стоит также учитывать, что, несмотря на имеющиеся улучшения, параметр доминирова-

ния негативных эмоций подвергается меньшему изменению. Следовательно, данному аспекту нужно уделять особое внимание и проводить систематическую работу в направлении снижения уровня доминирования негативных эмоций, путем проведения тренингов. Это плодотворно скажется не только на формировании должного уровня коммуникативной компетентности будущих тренеров по фитнесу, но и на мироощущении личности тренера в целом.

### Заключение

Таким образом, анализ теоретической литературы показал, что деятельность тренера по фитнесу в значительной степени связана с установлением коммуникативных контактов [9]. Анализ практической части и результаты формирующего эксперимента свидетельствуют о том, что проведение тренингов значительно повышает уровень эмпатии. Это является важным фактором развития коммуникативной компетентности. Следовательно, тренинги, семинары по развитию коммуникативной компетентности должны включаться в образовательный процесс и стать важной частью образовательной программы. Результатом будет наиболее эффективное выполнение тренером по фитнесу своих профессиональных задач, умение работать с разными типами клиентов, понимание их потребностей и, как следствие, повышение качества оказываемых услуг.

Необходимо отдельно отметить, что фактор доминирования негативных эмоций требует более длительной работы в большие сроки, чем прочие барьеры в общении. Следовательно, этой области, препятствующей развитию коммуникативной компетентности, надо уделить особое внимание, заниматься дальнейшей разработкой и внедрением тренинговых программ, семинаров в образовательные стандарты высших учебных заведений, которые занимаются подготовкой специалистов в области физической культуры.

### Список литературы

1. Федеральный закон от 2 августа 2019 г. № 303-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О физиче-

ской культуре и спорте в Российской Федерации» в части совершенствования деятельности фитнес-центров».

2. Петровская Л.А. Компетентность в общении: социально-психологический тренинг М.: Издательство МГУ, 1998. 348 с.

3. Ложкин Г.В. Профессиональное самочувствие тренера // Спортивный психолог. 2013. № 128. С. 61–66.

4. Бирюкова Г.М., Кутейников А.Н., Поляков Д.Ю. Факторы профессиональной успешности фитнес-инструктора // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2018. № 7 (161). С. 300–304.

5. Кутейников А.Н., Поляков Д.Ю. Применение технологии психолого-педагогического взаимодействия с целью повышения результативности достижений юных спортсменов // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики (Серия Познание). 2017. № 5–6. С. 49–51.

6. Смирнов С.И. Исследование некоторых критериев сферы фитнес-услуг // Ученые записки НГУ им. П.Ф. Лесгафта. 2011. № 10 (80). С. 170–173.

7. Бородин П.В., Тютюков В.Г., Захаров А.В. Информатизация в решении задач повышения уровня психофизического состояния и профессионально-прикладной подготовленности будущих специалистов медицинского профиля // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2018. № 9 (163). С. 54–59.

8. Федеральная служба в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 22.05.2020. Методические рекомендации МР 3.1/2.1.0183-20 «Рекомендации по профилактике новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в учреждениях физической культуры и спорта (открытых и закрытых спортивных сооружениях, физкультурно-оздоровительных комплексах, плавательных бассейнах и фитнес-клубах)». [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rosпотребнадзор.ru/region/korono\\_virus/rekomendatsii-po\\_org\\_fitness.php](https://www.rosпотребнадзор.ru/region/korono_virus/rekomendatsii-po_org_fitness.php).

9. Чернявская В.С. Формирование коммуникативной культуры: методология, диагностика, развитие: монография. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2004.

10. Москаленко К.Ю. Коммуникативные предпосылки успешной деятельности фитнес инструктора // Ученые записки НГУ им. П.Ф. Лесгафта. 2020. № 12 (190). С. 350–355.

11. Ильин Е.П. Психология спорта. СПб.: Питер, 2018. 352 с.

12. Фопель К. Создание команды. Психологические игры и упражнения «Интермедиатор», 2002. 317 с.

13. Серeda Е.И. Практикум по межличностным отношениям: помощь и личностный рост. СПб.: Речь, 2006. 224 с.

14. Романов К.М. Психологическая культура личности: учебное пособие для студентов, аспирантов, преподавателей. М.: Когито-Центр, 2015. 314 с. (Университетское психологическое образование). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430582>.

15. Бабушкин Г.Д., Яковлев Б.П. Психолого-педагогические методики в структуре подготовки спортсменов: учебное пособие / Министерство спорта Российской Федерации, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта. Омск: Издательство СибГУФК, 2015. 228 с.