

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,916
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,284

Журнал издается с 2003 г.
12 выпусков в год

Электронная версия журнала top-technologies.ru/ru
Правила для авторов: 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, Алоев В.З. (Нальчик); д.т.н., доцент, Аршинский Л.В. (Иркутск); д.т.н., профессор, Ахтулов А.Л. (Омск); д.т.н., профессор, Баёв А.С. (Санкт-Петербург); д.т.н., профессор, Баубеков С.Д. (Тараз); д.т.н., профессор, Беззубцева М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.-м.н., профессор, Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., профессор, Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.-м.н., профессор, Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., профессор, Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., профессор, Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Горбатюк С.М. (Москва); д.т.н., профессор, Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., профессор, Далингер В.А. (Омск); д.псх.н., профессор, Долгова В.И. (Челябинск); д.э.н., профессор, Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., профессор, Дресвянников А.Ф. (Казань); д.псх.н., профессор, Дубовицкая Т.Д. (Сочи); д.т.н., доцент, Дубровин А.С. (Воронеж); д.п.н., доцент, Евтушенко И.В. (Москва); д.п.н., профессор, Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.п.н., профессор, Жеребило Т.В. (Грозный); д.т.н., профессор, Завражнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загrevский О.И. (Томск); д.т.н., профессор, Ибраев И.К. (Караганда); д.т.н., профессор, Иванова Г.С. (Москва); д.х.н., профессор, Ивашкевич А.Н. (Москва); д.ф.-м.н., профессор, Ижуткин В.С. (Москва); д.т.н., профессор, Калмыков И.А. (Ставрополь); д.п.н., профессор, Качалова Л.П. (Шадринск); д.псх.н., доцент, Кибальченко И.А. (Таганрог); д.п.н., профессор, Клемантович И.П. (Москва); д.п.н., профессор, Козлов О.А. (Москва); д.т.н., профессор, Козлов А.М. (Липецк); д.т.н., доцент, Козловский В.Н. (Самара); д.т.н., профессор, Красновский А.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Крупенин В.Л. (Москва); д.т.н., профессор, Кузлякина В.В. (Владивосток); д.т.н., доцент, Кузяков О.Н. (Тюмень); д.т.н., профессор, Куликовская И.Э. (Ростов-на-Дону); д.т.н., профессор, Лавров Е.А. (Суми); д.т.н., доцент, Ландэ Д.В. (Киев); д.т.н., профессор, Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.ф.-м.н., доцент, Ломазов В.А. (Белгород); д.т.н., профессор, Ломакина Л.С. (Нижний Новгород); д.т.н., профессор, Лубенцов В.Ф. (Краснодар); д.т.н., профессор, Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., профессор, Макаров В.Ф. (Пермь); д.п.н., профессор, Марков К.К. (Иркутск); д.п.н., профессор, Матис В.И. (Барнаул); д.г.-м.н., профессор, Мельников А.И. (Иркутск); д.п.н., профессор, Микерова Г.Ж. (Краснодар); д.п.н., профессор, Моисеева Л.В. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Мурашкина Т.И. (Пенза); д.т.н., профессор, Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., профессор, Надеждин Е.Н. (Тула); д.ф.-м.н., профессор, Никонов Э.Г. (Дубна); д.т.н., профессор, Носенко В.А. (Волгоград); д.т.н., профессор, Осипов Г.С. (Южно-Сахалинск); д.т.н., профессор, Пен Р.З. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петрова И.Ю. (Астрахань); д.т.н., профессор, Пивень В.В. (Тюмень); д.э.н., профессор, Потышняк Е.Н. (Харьков); д.т.н., профессор, Пузряков А.Ф. (Москва); д.п.н., профессор, Рахимбаева И.Э. (Саратов); д.п.н., профессор, Резанович И.В. (Челябинск); д.т.н., профессор, Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.т.н., профессор, Рогов В.А. (Москва); д.т.н., профессор, Санинский В.А. (Волжский); д.т.н., профессор, Сердобинцев Ю.П. (Волгоградский); д.э.н., профессор, Сихимбаев М.Р. (Караганда); д.т.н., профессор, Скрыпник О.Н. (Иркутск); д.п.н., профессор, Собянин Ф.И. (Белгород); д.т.н., профессор, Страбыкин Д.А. (Киров); д.т.н., профессор, Сугак Е.В. (Красноярск); д.ф.-м.н., профессор, Тактаров Н.Г. (Саранск); д.п.н., доцент, Тутолмин А.В. (Глазов); д.т.н., профессор, Умбетов У.У. (Кызылорда); д.м.н., профессор, Фесенко Ю.А. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, 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 = 0,916.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,284.

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: 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

Подписано в печать – 14.04.2020
Дата выхода номера – 14.05.2020

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

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

Способ печати – оперативный
Распространение по свободной цене
Усл. печ. л. 21,13
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2020/4
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

РАЗРАБОТКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ	
<i>Большунов А.В., Волков П.В., Мостакалов К.А.</i>	7
ВЫБОР МАТЕРИАЛА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОТИВОПОЖАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ГРАФИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ СПРИНКЛЕРА	
<i>Дорош И.В., Чуракова А.А., Ямалетдинова К.Ш., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И., Рахманова С.Т., Попова Е.Е., Куракина А.А., Семашко М.А., Нафикова Э.В., Исмагилов А.А.</i>	13
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ОПОЗНАВАНИЯ «СВОЙ-ЧУЖОЙ»	
<i>Калмыков И.А., Степанова Е.П., Калмыкова Н.И., Павлюк Д.Н.</i>	19
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЕПРОДУКТОВ	
<i>Кувыкин В.И., Кувыкина Е.В.</i>	26
ПРИМЕНЕНИЕ WOW-СЛОВАРЕЙ НА БАЗЕ KAZE-ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИЧНОСТНЫХ ФАКТОРОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ	
<i>Латышев А.В., Фраленко В.П.</i>	31
ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА НАГРУЗКИ КРИТИЧЕСКОГО РЕЖИМА	
<i>Певнева А.Г., Марьевский В.А., Ананченко И.В., Войтюк Т.Е.</i>	37
КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ	
<i>Ромм Я.Е.</i>	42
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЖЕСТКОГО РОТОРА НА ПОДАТЛИВЫХ ПОДШИПНИКАХ	
<i>Сафина Г.Ф.</i>	64
ИНВАРИАНТНЫЕ МОМЕНТЫ И МЕТРИКИ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ	
<i>Хачумов М.В.</i>	69
СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО ПОКРЫТИЯ TiNiZrCuCr	
<i>Юров В.М., Гученко С.А., Маханов К.М.</i>	78
ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ ДОСТАВКИ ОДНОРОДНОГО ПРОДУКТА РАЗЛИЧНЫМ КЛИЕНТАМ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ	
<i>Юсупова Н.И., Валеев Р.С.</i>	84

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

СТАТЬИ

ХАРАКТЕРИСТИКА КОММУНИКАТИВНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ РЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ	
<i>Адильжанова М.А., Тишина Л.А.</i>	89

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ	
<i>Борисов А.В., Игнашин Е.А., Бугаев А.В.</i>	95
РОЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ПРЕДМЕТУ «МУЗЫКАЛЬНАЯ ТЕРАПИЯ В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ»	
<i>Волкова П.С., Скрипник Е.О.</i>	100
УЧЕБНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТ – СИНЕРГИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ШКОЛЫ	
<i>Воскресенко О.А., Кривенкова Н.Г.</i>	105
МЕТОД ГРУППОВОГО ПРОЕКТНОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	
<i>Глухарева С.В., Немирович-Данченко М.М., Давыдова Е.М., Буинцев Д.Н.</i>	110
РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ НА ОСНОВЕ УЧЕБНЫХ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ, ПОВЫШАЮЩИХ МОТИВАЦИЮ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА	
<i>Исамулаева Ю.А.</i>	115
ОБОГАЩЕНИЕ ПРАКТИК БУДУЩИХ БАКАЛАВРОВ-ПЕДАГОГОВ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ НОКСОЛОГИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ	
<i>Куликовская М.А., Безрукова Н.П., Махрова М.Л.</i>	120
РОДНОЙ ЯЗЫК КАК ФАКТОР КОНСОЛИДАЦИИ ОБЩЕСТВЕННОСТИ МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА (НА ПРИМЕРЕ ТАТТИНСКОГО КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА)	
<i>Местникова А.Е., Сивцева И.А., Андросова О.П.</i>	125
ГЕНДЕРНЫЙ ПОДХОД В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ АРХИТЕКТОРОВ	
<i>Столярчук Л.И., Самойлова Н.В., Бочарникова Н.В.</i>	130
СОЦИАЛЬНЫЕ, ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ТРУДНОСТЕЙ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ СТУДЕНТАМИ	
<i>Фокин Р.Р.</i>	138
МЕТОД МУЗЫКАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В ОБУЧЕНИИ БАКАЛАВРОВ-ХОРЕОГРАФОВ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ВУЗОВ	
<i>Фэн Юйди, Санжеева Л.В.</i>	143
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЕКТНОСТИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ	
<i>Чарикова И.Н.</i>	149
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МУЗЕЙНОЙ ПЕДАГОГИКИ КАК ЭФФЕКТИВНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ	
<i>Чевела О.В., Федотова С.И.</i>	154
IT-ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ	
<i>Юльметова Р.Ф., Малышева М.О., Сисюков А.Н.</i>	159
ОБЗОРЫ	
МОТИВАЦИЯ КАК ЦЕННОСТНЫЙ ФЕНОМЕН ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
<i>Ефремова Н.Ф., Хусейнова А.А.</i>	164

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

DEVELOPMENT AND AUTOMATION OF THE METHODOLOGY FOR DIAGNOSING FAULTS IN ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP INSTALLATIONS USING NEURAL NETWORK ALGORITHMS <i>Bolshynov A.V., Volkov P.V., Mostokalov K.A.</i>	7
SELECTION OF MATERIAL OF THE THERMOSENSITIVE ELEMENT OF FIRE EQUIPMENT BY THE METHOD OF GRAPHIC EXPRESS ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF A SPRINKLER <i>Dorosh I.V., Churakova A.A., Yamaletdinova K.Sh., Martynova O.G., Akhmetshin R.I., Rakhmanova S.T., Popova E.E., Kuranina A.A., Semashko M.A., Nafikova E.V., Ismagilov A.A.</i>	13
DEVELOPMENT OF AN ERROR CORRECTION ALGORITHM TO IMPROVE THE FAULT TOLERANCE OF THE IDENTIFICATION-FRIEND-OR-FOE <i>Kalmykov I.A., Stepanova E.P., Kalmykova N.I., Pavlyuk D.N.</i>	19
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPLICATION TO PREDICT QUALITY CHARACTERISTICS OF PETROLEUM PRODUCTS <i>Kuvykin V.I., Kuvykina E.V.</i>	26
APPLICATION OF BOW-DICTIONARIES ON THE BASIS OF KAZE-DESCRIPTORS FOR FORECASTING PERSONAL FACTORS OF SOCIAL NETWORKS USERS <i>Latyshev A.V., Fralenko V.P.</i>	31
MAIN DESIGNING ASPECTS OF THE CALCULATE LOADS SYSTEM IN CRITICAL MODE <i>Pevneva A.G., Marevskiy V.A., Ananchenko I.V., Voytyuk T.E.</i>	37
COMPUTER-ORIENTED STABILITY ANALYSIS OF SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL SYSTEMS <i>Romm Ya.E.</i>	42
MODELING OF FREE OSCILLATIONS OF RIGID ROTOR ON FLEXIBLE BEARINGS IN TASK <i>Safina G.F.</i>	64
INVARIANT MOMENTS AND METRICS IN PATTERN RECOGNITION <i>Khachumov M.V.</i>	69
STRUCTURAL PROPERTIES OF HIGH ENTROPY COATING TiNiZrCuCr <i>Yurov V.M., Guchenko S.A., Makhanov K.M.</i>	78
A ROUTING PROBLEM FOR THE DELIVERY OF A HOMOGENEOUS PRODUCT TO VARIOUS CLIENTS BY MOTOR VEHICLES <i>Yusupova N.I., Valeev R.S.</i>	84

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

ARTICLES

CHARACTERISTIC OF COMMUNICATIVE PROFILES OF CHILDREN WITH AUTISTIC SPECTRUM DISORDERS USING ASSESSMENT CRITERIA OF SPEECH DEVELOPMENT <i>Adilzhanova M.A., Tishina L.A.</i>	89
DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATION OF PHYSICAL TRAINING IN THE HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTION <i>Borisov A.V., Ignashin E.A., Bugaev A.V.</i>	95

THE ROLE OF TEACHING PRACTICE IN THE EDUCATION OF STUDENTS SUBJECT «MUSIC THERAPY IN PEDAGOGICAL PROCESS»	
<i>Volkova P.S., Skripnik E.O.</i>	100
EDUCATIONAL RESEARCH AND PROJECT – SYNERGY OF PEDAGOGICAL INTERACTION IN THE SCHOOL EDUCATIONAL PROCESS	
<i>Voskresenko O.A., Krivenkova N.G.</i>	105
GROUP DESIGN TRAINING IN THE SYSTEM OF HUMAN RESOURCES PREPARATION	
<i>Glukhareva S.V., Nemirovich-Danchenko M.M., Davydova E.M., Buintsev D.N.</i>	110
WORKING OUT OF SUBJECT TASKS BASED ON TRAINING STREAMING INCREASING MOTIVATION OF FOREIGN LANGUAGE STUDY	
<i>Isamulaeva Ya.A.</i>	115
ENRICHMENT OF PRACTICES OF THE FUTURE BACHELORS-TEACHERS OF NATURAL SCIENCE PROFILES BY NOXOLOGICAL CONTENT	
<i>Kulikovskaya M.A., Bezrukova N.P., Makhrova M.L.</i>	120
NATIVE LANGUAGE AS A FACTOR OF PUBLIC CONSOLIDATION OF THE MUNICIPALITY (ON THE EXAMPLE OF THE TATTA CULTURAL AND EDUCATIONAL CLUSTER)	
<i>Mestnikova A.E., Sivtseva I.A., Androsova O.P.</i>	125
GENDER APPROACH IN TRAINING FUTURE ARCHITECT	
<i>Stolyarchuk L.I., Samoilova N.V., Bocharnikova N.V.</i>	130
SOCIAL, PSYCHOLOGICAL AND METHODOLOGICAL REASONS FOR THE DIFFICULTIES OF STUDYING MATHEMATICS AND PROGRAMMING BY MODERN STUDENTS	
<i>Fokin R.R.</i>	138
MUSIC ASSOCIATION METHOD IN TEACHING BACHELORS-CHOREOGRAPHERS OF PEDAGOGICAL UNIVERSITIES	
<i>Feng Yudi, Sanzheeva L.V.</i>	143
RESEARCH ACTIVITIES AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL DESIGN OF FUTURE ENGINEERS	
<i>Charikova I.N.</i>	149
USING OF ELEMENTS OF MUSEUM PEDAGOGY AS AN EFFECTIVE FORM OF TEACHING THE RUSSIAN LANGUAGE AS A FOREIGN	
<i>Chevela O.V., Fedotova S.I.</i>	154
IT-TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL EDUCATION	
<i>Yulmetova R.F., Malysheva M.O., Sisukov A.N.</i>	159
REVIEWS	
MOTIVATION AS A VALUE PHENOMENON OF EDUCATIONAL ACTIVITY	
<i>Efremova N.F., Khuseynova A.A.</i>	164

СТАТЬИ

УДК 621.6:004.032.26

**РАЗРАБОТКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ
НЕИСПРАВНОСТЕЙ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ
НАСОСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ**

¹Большунов А.В., ²Волков П.В., ³Мостакалов К.А.

¹ФГАОУ «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: avb5@tpu.ru;

²АО «ТомскНИПИнефть», Томск, e-mail: VolkovPV@nipineft.tomsk.ru;

³ФГАОУ «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: mostokalov93@mail.ru

В работе описан подход методом машинного обучения для автоматического обнаружения и диагностики неисправностей погружного электрического насоса. Данный вид диагностики позволит автоматизировать процесс обнаружения неисправностей и предотвратить преждевременный выход оборудования из работы. Также алгоритм позволит удешевить процесс работы, так как программа самообучаема и нет необходимости в высококвалифицированных рабочих. Несколько тысяч показаний значения вибрации были получены от распределенных по вертикали акселерометров вдоль ряда двигателей, насосов и протекторов. Промежуточные характеристики извлекаются из необработанных сигналов вибрации, исходящих от группы акселерометров. Каждый образец был проработан экспертом, чтобы обеспечить максимальный класс обработки результатов и учет ошибок приборов (неисправность датчика, истирание, дисбаланс или смещение). Программная структура используется для сравнения нескольких классификаторов архитектуры. Чтобы повысить эффективность классификации, вариации различных версий архитектуры классификатора строятся с использованием функции объединения шаблонов решений. Надежность системы по отношению к появлению новых неисправностей подтверждается методологией систематического анализа. Проанализированы различные подходы и методы решения, проведены эксперименты в ошибочных и экстремальных ситуациях. Изучены особенности поведения алгоритма в различных условиях.

Ключевые слова: диагностика неисправностей, электрический погружной насос, классификация, критерии эффективности, шаблоны решений

**DEVELOPMENT AND AUTOMATION OF THE METHODOLOGY
FOR DIAGNOSING FAULTS IN ELECTRIC CENTRIFUGAL
PUMP INSTALLATIONS USING NEURAL NETWORK ALGORITHMS**

¹Bolshynov A.V., ²Volkov P.V., ³Mostokalov K.A.

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: avb5@tpu.ru;

²TomskNIPIneft, Tomsk, e-mail: VolkovPV@nipineft.tomsk.ru;

³National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: mostokalov93@mail.ru

A machine learning approach to perform automatic detection and diagnosis of faults of electrical submersible pump systems is presented. This type of diagnostics will allow to automate the process of detecting malfunctions and prevent premature equipment out of work. Also, the algorithm allows to reduce the cost of the work process, since the program is self-learning and there is no need for highly skilled workers. Several thousand vibration patterns were acquired from vertically distributed accelerometers along the string of motors, pumps and protectors. Intermediate features are extracted from the raw vibration signals originating from the set of accelerometers. Each pattern was labelled by a human expert to provide ground truth with respect to the different operation classes (normal, sensor fault, rubbing, unbalance or misalignment). A software framework is used to compare several classifier architectures in a bias aware performance evaluation. In order to boost the classification performance, an ensemble of different versions of a classifier architecture is constructed using the Decision Templates fusion function. The robustness of the system with respect to the emergence of new faults (i.e., untreated faults so far) is corroborated by a systematic analysis methodology. Various approaches and solution methods are analyzed, experiments in erroneous and extreme situations are carried out. The features of the behavior of the algorithm in various conditions are studied.

Keywords: Fault diagnosis, electrical submersible pump, classification, performance criteria, decision templates

В современных условиях добыча нефти является дорогостоящим видом деятельности, предполагающей использование сложного и дорогого оборудования. Основная подсистема, которая помогает поднять сырую нефть и газ на поверхность, известна как электрический погружной насос. Такие подсистемы работают на большой глубине,

поэтому имеют трудный доступ, и в связи с этим невозможно наблюдать работу процесса в реальном времени. Кроме того, производственные перерывы и простои выходят очень дорого, что усиливает необходимость надежной работы оборудования после запуска в эксплуатацию. Для того чтобы избежать затрат, связанных с подня-

тием и заменой неисправного оборудования, которое находится в эксплуатации, оно тщательно проверяется в специальной тестовой среде [1; 2] до начала работы. Такие тесты направлены на выявление потенциальных неисправностей оборудования.

Большая часть потенциальных неисправностей связана с механическими проблемами и обнаруживается в виде появления вибраций по сравнению с исправным состоянием. Шаблоны вибрации могут быть измерены акселерометрами, а затем преобразованы в более описательный набор функций, помогающих распознавать различные режимы работы. Подсистемы насоса испытываются в искусственной среде при различных условиях работы, при этом шаблоны вибрации регистрируются датчиками акселерометра. Два датчика акселерометра расположены ортогонально (ось X и ось Y) в нескольких равномерно распределенных точках вдоль шести основных компонентов оборудования. Такое распределение выборки дает в общей сложности $6 \times 3 \times 2 = 36$ одновременно полученных сигналов вибрации во временной области. После сбора сигналы поступают в частотную область с помощью обычного преобразования Фурье, где может выполняться оценка сигналов; пример сигналов представлен на рис. 1. После анализа данных оборудования может быть диагностировано как исправное или неисправное. Эта работа фокусируется на трех типах неисправностей насоса: перекося вала, дисбаланс лопасти насоса и механическое трение. Кроме того, она рассматривает неисправные датчики акселерометра, генерирующие аномальное поведение вибрации как дефект. Учитывая предыдущие неисправности и исправное

рабочее состояние, для описания работы насоса используются пять взаимоисключающих категорий: смещение, дисбаланс, трение, датчик, нормальное состояние.

Цель исследования: визуально проверить спектры вибрации и решить, следует ли отбраковывать оборудование – задача не из легких. Кроме того, эти знания не передаются и не усваиваются другими инженерами без многолетнего обучения и практики. Экспертная система, представленная в этой работе, автоматически и систематически выполняет такие задачи и позволяет выполнять работу неспециалистам [3; 4].

График показывает соответствующее преобразование в частотную область с помощью преобразования Фурье. Что еще более важно, человек может сохранить некоторый тип корпоративных знаний. Поскольку имеющиеся знания о диагностике неисправностей электрических погружных насосов по-прежнему неполны, ожидается, что в будущем будут обнаружены новые типы дефектов, которые будут включены в набор обучающих данных при накоплении значительного числа примеров. Действительно, факт, наблюдаемый в ходе всего этого исследовательского проекта, заключается в том, что эксперт в конечном итоге указал на схему, в которой подозревается неисправность, но без достаточной уверенности, чтобы отклонить оборудование как неисправное или охарактеризовать новую неисправность. В результате технология должна быть способна адаптироваться к обнаружению новых дефектов. Потенциально технология, разработанная в этой работе, должна иметь такое поведение, но было важно официально показать эту функцию [5].

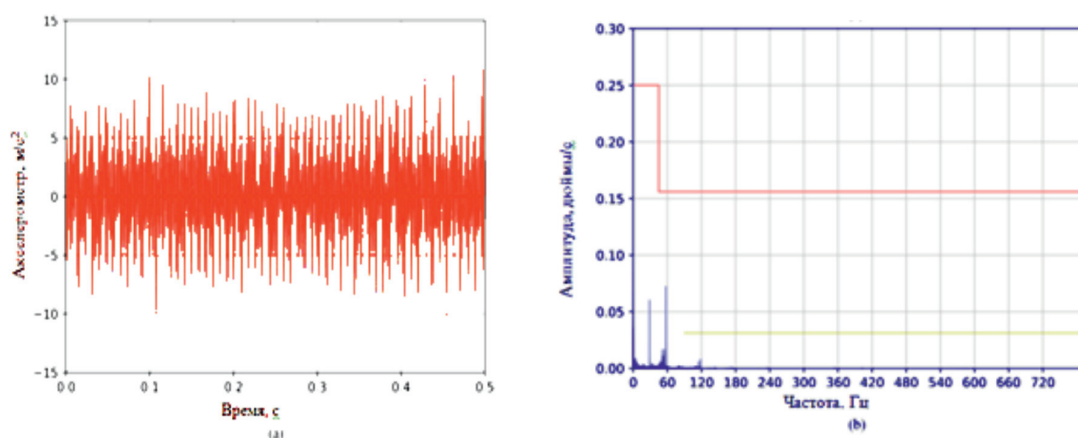


Рис. 1. Пример данных, полученных акселерометром. Верхний график показывает необработанный сигнал вибрации во временной области, нижний показывает соответствующее преобразование в частотную область с помощью преобразования Фурье

Дорогие электрические погружные насосные системы должны быть проверены перед началом эксплуатации. Это необходимо, чтобы избежать ненужных затрат, так как подводная коррекция на море невозможна. Эта работа предлагает подход машинного обучения для решения важной проблемы машиностроения.

Шаблоны решений

Шаблоны принятия решений [6; 7] – это метод определения окончательной классификации для ансамбля классификатора с одной меткой. Для заданного числа L классификаторов D_i , $i = 1..L$ для шаблона x , принадлежащего ровно одному из классов w_j , общего количества классов $\{w_j | j = 1, \dots, c\}$, непрерывный выходной сигнал d_{ij} каждого из этих классификаторов для каждого из c возможных классов организован в профиле принятия решений (DP).

$$DP(x) = \begin{pmatrix} d_{1,1}(x) & d_{1,j}(x) & d_{1,c}(x) \\ d_{i,1}(x) & d_{i,j}(x) & d_{i,c}(x) \\ d_{L,1}(x) & d_{L,j}(x) & d_{L,c}(x) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В идеале эти оценки являются вероятностями, основанными на условных распределениях истинного класса. Предполагаемые вероятности, нечеткие заданные степени членства или расстояния также возможны в качестве оценки. Следовательно, запись $d_{ij}(x)$ в DP – это оценка i -го классификатора из общего количества L различных классификаторов для j -го класса в общей сложности C классов. Рассмотрим тот же обучающий набор, состоящий из n выборок, который используется для обучения классификаторов D_i , используемых для определения уравнения DP (1) для выборки x , теперь разделенной для каждого класса с n_j выборками, $\sum_{j=1}^c n_j = n$ как $\{x_{i,k} | k = 1, \dots, n_j\}, j = 1, \dots, C$.

Тогда DT класса w вычисляется как

$$DT_i = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} DP(x_{j,k}). \quad (2)$$

Возможные комбинации для классификаторов должны были быть ограничены, чтобы обеспечить разумное время выполнения, в основном в зависимости от сложности каждой архитектуры классификатора. Сложность системы оценки с R подходов, K и $\tilde{K}$ складки этапа тестирования и настройки, а L версий классификатора в ансамбле – $O(R \times K \times \tilde{K} \times L)$. Тем не менее эта сложность должна быть умножена на внутреннюю сложность конкретного класси-

фикатора, который совершенно различен. Структура оценки производительности изображена в алгоритме (рис. 2). Используются следующие символы: C – классификатор, V – общий набор данных из n шаблонов, T – Тренировочный набор, v – тестовый набор, P – набор гиперпараметров P – кандидатов, P^* – лучший набор гиперпараметров, R – количество подходов, K – число сгибов внешней петли CV для оценки общей эффективности, PM – $R \times K$ матрица производительности, $\tilde{K}$ – количество сгибов внутренней петли CV для настройки.

```

Function  $PM \leftarrow ModelPerformance(D, R, K)$ 
  Input:  $n$  labelled patterns  $\mathcal{D}$  from  $c$  classes,  $R$ 
           number of rounds, number of folds  $K$  (outer
           loop),  $\tilde{K}$  (inner loop)
  Output: For each round  $r \leftarrow 1, \dots, R$  make  $K$ 
           stratified folds. One fold is fixed as test,
           remaining folds are train and tune.
           Calculate performance criterion for each
           combination of round and fold and put
           into  $R \times K$  performance matrix  $PM$ 
  for  $r = 1$  to  $R$  do // all rounds
    // generate  $K$  stratified folds
     $f_{r,k}, k = 1, \dots, K$ ;
    for  $k = 1$  to  $K$  do // all folds
      // training set of  $k$ -th fold of  $r$ -th round
       $\mathcal{T} \leftarrow \{f_{r,1} \cup \dots \cup f_{r,K}\} \setminus f_{r,k}$ ;
      // test set of  $k$ -th fold of  $r$ -th round
       $\mathcal{V} \leftarrow f_{r,k}$ ;
       $P^* \leftarrow Tuning(\mathcal{T}, \tilde{K})$ ;
       $C \leftarrow trainclassifier(\mathcal{T}, P^*)$ ;
       $crit \leftarrow testclassifier(C, \mathcal{V})$ ;
       $PM(r,k) \leftarrow crit$ 
    end
  end

```

Рис. 2. Алгоритм оценки производительности

Экспериментальные результаты и обсуждение

Эксперименты разделены на две части. Первая часть – это сравнительное исследование всех архитектур классификаторов, оценка каждого типа классификатора с использованием и без использования функций объединения информации ансамбля. Цель состоит в том, чтобы получить подсказку о том, что использование ансамблей полезно в отношении показателей производительности. Классификатор, который достиг наивысшего балла, сохраняется для второй части экспериментов. В этой части анализируется влияние удаления определенной ошибки из классов или рассмотрения ошибки как нормального класса. Цель этого эксперимента – оценить эффективность системы классификации для более реалистичных ситуаций. Во время опе-

рации классификации неисправностей вполне вероятно, что возникают новые ситуации. Например, сломанные подшипники качения проявляют себя в измененной схеме вибрации. От системы диагностики ожидается, что она все еще способна распознавать обнаруженные неисправности с определенной степенью надежности. Это означает, что производительность классификатора не должна значительно ухудшаться, когда он обучается с учетом новых классов неисправностей.

Сравнение автономных классификаторов и ансамблей

Цель этого экспериментального этапа – определить, какой классификатор работает лучше всего для данной базы данных о состоянии машины. Эксперименты проводились с общим количеством $n = 4570$ примеров для $R = 10$ подходов на каждом этапе с использованием оценки эффективности перекрестной проверки $K = 10$ раз. Количество различных версий, использованных в процессе расфасовки, было установлено на $L = 10$ классификаторов. Блокпост выбранного критерия эффективности для каждого из классификаторов является очень выразительным непараметрическим инструментом графического представления, принятым в данном исследовании.

На рис. 3 показаны результаты F-замеров для каждого метода с ансамблями пакетирования и без них для каждой из трех функций объединения информации ансамбля. Анализируя результаты, можно увидеть, что радиочастотный классификатор, использующий DT в качестве функции объединения информации ансамбля, достиг наилучшей производительности среди всех классификаторов, поскольку он имеет наивысшую среднюю производительность и высокие значения других статистических данных. Кроме того, DTs превзошли другие функции объединения информации ансамбля для всех классификато-

ров, кроме SVM, где результаты большинства были немного лучше. Следовательно, классификаторы с ансамблями и без них попарно сравниваются, рассматривая DT как функцию объединения информации ансамбля.

Надежность системы

В этом подразделе описывается поведение классификатора RF^{DT} с учетом появления новых неисправностей. Графики для трех сценариев, сгруппированных для каждого класса неисправностей, показаны на рис. 4. Соответствующие числовые значения представлены в табл. 1. Для неисправности акселерометра средняя производительность снижается при удалении и замене по сравнению с первоначальной диагностикой неисправности [8]. Результаты процедуры понижения Холма показаны в табл. 2. Входными параметрами процедуры понижения Холма являются $m = 3$ случая (оригинал, удаление и замена), следовательно, $q = \frac{m \cdot (m-1)}{2} = 3$. Соответственно для

уровня значимости $\alpha = 0,05$ и $q = 3$ динамический порог уравнения рассчитывается как $\left\{ \frac{\alpha}{q+1-1}, \frac{\alpha}{q+1-2}, \alpha \right\} = \left\{ \frac{1}{60}, \frac{1}{40}, \frac{1}{20} \right\}$.

Значения p в табл. 2 значительно превышают этот динамический порог после упорядочения в порядке возрастания. Следовательно, это указывает на то, что система способна обрабатывать новые неисправности в случае, если она должна быть переобучена, чтобы справиться с дополнительными схемами неисправностей. Этот факт важен с практической точки зрения, потому что новый тип ошибки может быть воспринят экспертом со временем. В этом случае система должна иметь возможность обрабатывать новый сбой, не снижая производительность со старыми шаблонами [9].

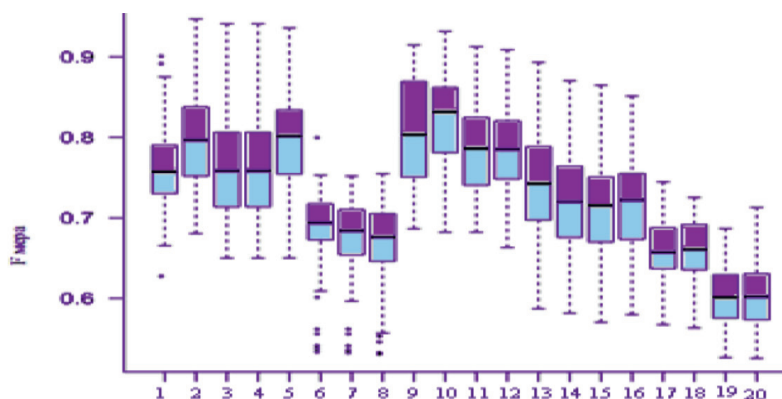


Рис. 3. Блок-схема результирующих макро-F-мер для каждой модели классификатора. Верхний индекс обозначает объединение информации ансамбля

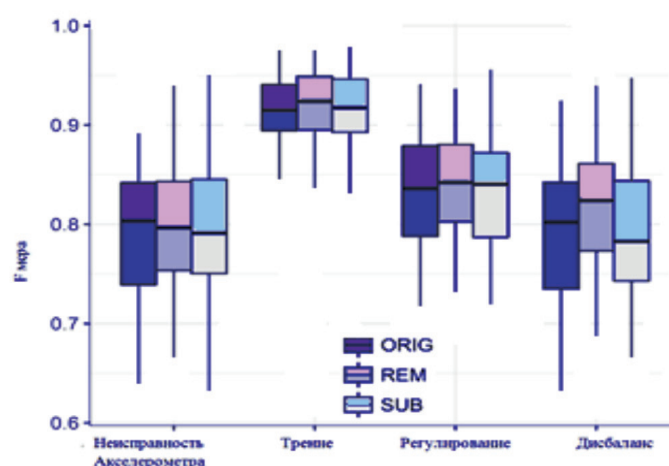


Рис. 4. Сценарии появления новых неисправностей

Таблица 1

Числовые значения для классов неисправностей

Статистика	ORIG1	REM1	SUB1	ORIG2	REM2	SUB2	ORIG3	REM3	SUB3	ORIG4	REM4	SUB4
Минимум	0,6568	0,6277	0,8214	0,8280	0,8322	0,7166	0,7236	0,7183	0,6228	0,6748	0,6621	0,6568
1 подход	0,7625	0,7596	0,9051	0,9059	0,9036	0,7974	0,8122	0,7964	0,7439	0,7826	0,7520	0,7625
Медиана	0,8059	0,8005	0,9260	0,9350	0,9284	0,8461	0,8523	0,8505	0,8118	0,8340	0,7924	0,8059
3 подход	0,8533	0,8554	0,9521	0,9606	0,9576	0,8895	0,8910	0,8825	0,8525	0,8714	0,8540	0,8533
Максимум	0,9597	0,9707	0,9951	0,9922	0,9989	0,9522	0,9482	0,9674	0,9358	0,9509	0,9589	0,9597

Таблица 2

Результаты процедуры понижения Холма

Часть	ORIG vs REM	ORIG vs SUB	REM vs SUB
Неисправность акселерометра	0,716884	0,828107	0,989886
Трение	0,422648	0,726995	0,701717
Регулирование	0,555105	0,913041	0,649139
Дисбаланс	0,136501	0,99292	0,086956

Выводы

В этой статье исследовалось использование ансамблей для совмещения в пакеты с шаблонами решений вместе с различными архитектурами классификатора, чтобы определить наиболее подходящую модель для предлагаемой системы диагностики погружных насосов. Выбранная архитектура классификатора RF^{DT} была исследована для особых ситуаций возникновения неисправностей, чтобы выполнить стресс-тест надежности системы диагностики. Сначала определенная ошибка была удалена из базы данных. Затем образцы ошибки были включены в нормальный класс. В обоих сценариях диагностические показатели системы не претерпели существенных изменений, о чем свидетельствуют результаты процедуры Холма по проверке гипотезы о том,

что классификаторы имеют сходные показатели производительности. Сейчас эксперты, способные качественно и безошибочно контролировать всю процедуру тестирования насоса, которая выполняется на заводе-изготовителе, встречаются очень редко. Результаты показали, что система может работать систематически исправно. Надлежащее обнаружение неисправностей позволяет избежать высоких затрат на ремонт (в пределах от 50 миллионов рублей), чтобы поднять на поверхность систему ЭЦН из подводных спутниковых скважин.

В будущей работе следует более тщательно изучить причины изменения производительности классификаторов и рассмотреть дополнительные классы неисправностей. Кроме того, данные от одного и того же моторного насоса собирались несколько раз, однако любые зависимости между датчика-

ми в этой работе игнорировались. Анализ, учитывающий корреляции между различными вибрационными сигналами, можно представить в качестве будущей работы, когда станут доступны данные от большего числа насосов. Методы глубокого обучения показали невероятную эффективность в различных областях исследований. Таким образом, некоторые одномерные методы свертки, такие как [10; 11], должны быть исследованы, чтобы попытаться заменить элементы ручной работы, разработанные для этой проблемы.

Список литературы

1. Toliyat H.A., Nandi S., Choi S., Meshgin-Kelk H. *Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault Diagnosis*. CRCPress, 2016. 170 p.
2. Sharma R., Pandey N. A neural network model for electric submersible pump surveillance. 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). IEEE. 2016. С. 2083–2088.
3. Семенкин Е.С. Метод обобщенного адаптивного поиска для синтеза систем управления сложными объектами. М.: МАКС Пресс, 2012. 320 с.
4. Большунов А.В., Мостакалов К.А. Методика диагностики фактического состояния и неисправностей установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) в реальном времени с использованием промысловых, электротехнических и геологических параметров // Успехи современного естествознания. 2016. № 10. С. 15–17.
5. Еникеев Р.М., Гарифулин А.Р. Интеллектуализация работы мехфонда // Производственно-технический нефтегазовый журнал. 2020. № 2. С. 39–44.
6. Труппова В.А. Система дифференциальных уравнений в пространстве одномерных касательных элементов второго порядка // Вестник ИрГТУ. 2010. № 6. С. 295–298.
7. Большунов А.В., Волков П.В., Зятиков П.Н. Экспериментальное исследование аэромеханического метода для предотвращения гидратообразования при подготовке и транспортировке природного газа и конденсата // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 52–56.
8. Dmitriev V.V., Gandzha T.V., Dolganov I.M., Aksenova N.V. An algorithm to improve the speed and accuracy of analysis of chemical process systems operation. *Petroleum and Coal*. 2017. vol. 59. I. 3. P. 429–441.
9. Maystrenko A.V., Svetlakov A.A., Gandzha T.V., Dmitriev V.V., Aksenova N.V. Application of numerical signal differentiation methods to determine stationarity of a process. *Petroleum and Coal*. 2017. vol. 59. I. 3. P. 311–318.
10. Marius S., Pana I., Minescu M., Ichim A. Centrifugal Pump Monitoring and Determination of Pump Characteristic Curves Using Experimental and Analytical Solutions. *Processes*. 2018. T. 6. № 2. P. 18.
11. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении (учеб. для вузов). М.: Высш. шк., 2011. 415 с.

УДК 531.8:669-1

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОТИВОПОЖАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ГРАФИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ СПРИНКЛЕРА

¹Дорош И.В., ^{1,4}Чуракова А.А., ²Ямалетдинова К.Ш., ¹Мартынова О.Г.,

¹Ахметшин Р.И., ¹Рахманова С.Т., ¹Попова Е.Е., ³Куракина А.А.,

¹Семашко М.А., ¹Нафикова Э.В., ¹Исмагилов А.А.

¹ФГБОУ ВО «УГАТУ», Уфа, e-mail: ahmetshin@bk.ru;

²ФГБОУ ВО «ЧелГУ», Челябинск;

³ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», Москва;

⁴ИФМК УФИЦ РАН, Уфа

Эффект памяти формы (ЭПФ) и сверхупругости проявляется более ярко в сплавах на основе никелида титана своими функциональными характеристиками: повышенной прочностью, высокой коррозионной стойкостью, способностью работать в труднодоступных конструкциях с агрессивной окружающей средой, таких как устройства для автоматического пожаротушения – спринклеры. Восстановление исходной формы при реализации обусловлено превращением мартенсита в аустенит путем нагрева и, наоборот – из аустенита в мартенсит путем охлаждения. Многократные циклы «охлаждение-нагрев» (термоциклирование (ТЦ)) в сплаве TiNi приводят к генерации дислокаций в кристаллической решетке, которые влияют на повышение предела текучести. Однако ТЦ не применяется для повышения предела текучести, но с использованием ТЦ возможна имитация реальных условий эксплуатации изделий, которые подвергаются термоциклическим нагрузкам в условиях агрессивной среды. В 2005 г. был запатентован спринклер, оросительная головка которого была выполнена из сплава TiNi на основе ЭПФ, данный сплав предполагал лучшее быстроедействие и меньшие затраты. Быстроедействие обеспечивалось такой характеристикой, как *удлинение*, однако удлинение не всегда показатель быстрогодействия, поэтому необходимо также учитывать *предел текучести*. На сегодняшний день не в полной мере изучено поведение сплава TiNi в комплексе со старением. Предполагается, что таким сплавом является TiNi, однако это несет сугубо теоретический характер; именно поэтому данная работа нацелена на раскрытие поведения сплава TiNi в условиях агрессивной среды.

Ключевые слова: эффект памяти формы (ЭПФ), термочувствительный элемент (ТЭ), термоциклирование (ТЦ), никелид титана (TiNi), механические свойства, крупнозернистая структура (КЗ), ультрамелкозернистая структура (УМЗ), спринклер

SELECTION OF MATERIAL OF THE THERMOSENSITIVE ELEMENT OF FIRE EQUIPMENT BY THE METHOD OF GRAPHIC EXPRESS ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF A SPRINKLER

¹Dorosh I.V., ^{1,4}Churakova A.A., ²Yamaletdinova K.Sh., ¹Martynova O.G.,

¹Akhmetshin R.I., ¹Rakhmanova S.T., ¹Popova E.E., ³Kuranina A.A.,

¹Semashko M.A., ¹Nafikova E.V., ¹Ismagilov A.A.

¹FSBEI HE USATU, Ufa, e-mail: ahmetshin@bk.ru;

²FSBEI HE ChelSU, Chelyabinsk;

³FSBEI HE MGTU «STANKIN», Moscow;

⁴IPMK UFIC RAS, Ufa

The shape memory and super-elasticity effect is more pronounced in titanium nickelide-based alloys with their functional characteristics: increased strength, high corrosion resistance, ability to work in hard-to-reach structures with aggressive environments such as automatic fire extinguishing devices – sprinklers. The restoration of the original form upon realization of the shape memory effect is due to the transformation of martensite into austenite by heating, and vice versa, from austenite to martensite by cooling. Multiple cooling-heating cycles (thermal cycling (TC)) in the TiNi alloy lead to the generation of dislocations in the crystal lattice, which affect the increase in yield strength. However, the TC is not used to increase the yield strength, but using the TC it is possible to simulate the actual operating conditions of products that are subjected to thermocyclic loads in an aggressive environment. In 2005, a sprinkler was patented, the irrigation head of which was made of an EPF-based TiNi alloy, this alloy assumed better performance and lower costs. The performance was ensured by such a characteristic as *elongation*, however, elongation is not always an indicator of performance, therefore, it is also necessary to take into account the yield strength. At present, the behavior of the TiNi alloy in combination with aging has not been fully studied. It is assumed that such an alloy is TiNi, but this is purely theoretical in nature; that is why this work is aimed at revealing the behavior of the TiNi alloy in an aggressive environment.

Keywords: shape memory effect (EPF), heat-sensitive element (TE), thermal cycling (TC), titanium nickelide (TiNi), mechanical properties, coarse-grained structure (SC), ultrafine-grained structure (UFG), sprinkler

Современное противопожарное оборудование предполагает быстрое реагирование на возникновение локальной пожароопасной ситуации с целью дальнейшей ее ликвидации.

К устройствам быстрого реагирования относятся такие средства автоматического

пожаротушения, как спринклеры, выбор термочувствительного элемента которого явилось целью исследования, положенного в основу данной работы.

Выбор термочувствительного элемента спринклера в свою очередь основан на пра-

вильном подборе его материала, обладающего ЭПФ, и к которому предъявляются требования по величине *относительного удлинения* и *предела текучести*. Названные характеристики напрямую влияют на быстродействие спринклера.

Цель исследования: исследование влияния термоциклических нагрузок на поведение сплава TiNi на основе ЭПФ в условиях агрессивной среды.

Материалы и методы исследования

Недостатком известных моделей спринклеров является низкое быстродействие. В патенте [1; 2] был предложен спринклер, который отвечал бы большим быстродействием. Конструкция такого спринклера представлена на рис. 1.

Однако материал термочувствительного элемента спринклера, предложенный в данном патенте, не был подтвержден экс-

периментами, которые бы предоставляли необходимые значения параметров предела текучести и относительного удлинения при различных режимах термообработки, непосредственно влияющих на быстродействие.

Общеизвестно, что ЭПФ представляет собой восстановление формы термочувствительного элемента, которую ему придали при температуре фазового превращения, если этот элемент будет нагрет [3].

На конец XX века ЭПФ был обнаружен более чем у 20 сплавов, например в следующих системах: TiNi, AuCd, CuZnAl, CuAlNi и др. [4; 5]. Из представленного списка ни одна система не обладает лучшей, чем TiNi, характеристикой относительного удлинения, удлинения при разрыве. Для примера сравним механические и физические характеристики систем: TiNi (приведенной в патенте) и произвольно выбранной из списка системы CuZnAl (табл. 1, рис. 2).



Рис. 1. Конструкция спринклера

Таблица 1
Сравнение механических и физических характеристик систем TiNi и CuZnAl

№ п/п	Показатели	Система	
		TiNi	CuZnAl
I	Температура плавления t , °C	1300	1020
II	Плотность, г/см ³	6,5	8
III	Теплопроводность при 20 °C	18	120
IV	Предел прочности, МПа	1100	800
V	Удлинение при разрыве, %	50	15
VI	Предел текучести, МПа	800	350
VII	Модуль Юнга, ГПа	80	100
VIII	Усталостная прочность, МПа	350	270
IX	Размер зерна, мкм	100	150

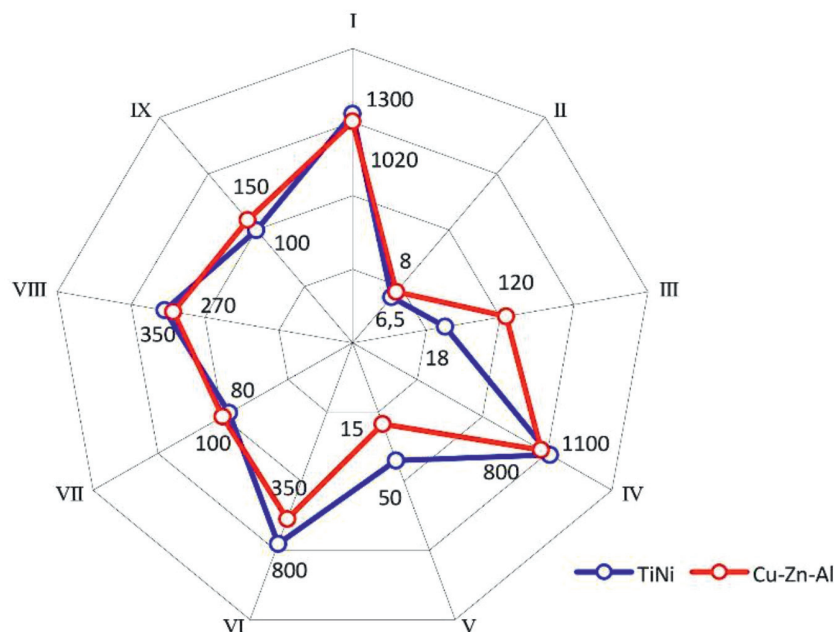


Рис. 2. Диаграмма сравнения механических и физических характеристик ЭПФ материалов

Из табл. 1 и рис. 2 видно, что предел текучести и относительное удлинение, удлинение при разрыве системы TiNi выше, чем у системы CuZnAl, что можно объяснить уникальной кристаллической решеткой [6–8].

Выбор системы TiNi лег в основу проведения эксперимента, который воспроизводил условия термоциклических нагрузок, что являлось необходимым для понимания: насколько в процессе нагрузок способна удлиняться проволока нитинола, а также насколько может повышаться предел текучести, т.к. именно эти свойства влияют на такой важный фактор, как быстродействие спринклера [9–10].

Для имитации реальных условий эксплуатации в качестве материала для исследования был выбран интерметаллид системы TiNi: застехиометрический сплав $Ti_{49}Ni_{51}$ – производства ЗАО «Промышленный центр МАТЭКС» (Россия), основная фаза которого – аустенитная, имеющая B2 кристаллическую решетку и фазу, обогащенную никелем Ti_2Ni_3 .

Термоциклирование образцов в различных исходных состояниях осуществлялось путем последовательного погружения образцов в жидкий азот (-196°C), с последующим нагревом до температуры 140°C , что заведомо может быть как ниже, так и выше температур: M_n – прямого и A_k – обратного мартенситного превращения. Нагрев образ-

цов проводился на лабораторной электрической плитке. Число термоциклов «нагрев – охлаждение» n составило от 0 до 100 ($n = 20$, $n = 100$). Толщина образцов, подвергнутых ТЦ, в сечении была менее 1 мм, что обеспечивало их быстрый прогрев и охлаждение. Время выдержки составило $t = 8$ мин. для обеспечения полного нагрева/охлаждения образцов [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты механических испытаний образцов [10] до ТЦ приведены в табл. 2 и на рис. 3, 4. При этом рассматривались два состояния сплава TiNi: крупнозернистое (КЗ) и ультрамелкозернистое (УМЗ).

Представим данные табл. 2 как графики зависимостей состояний (структуры) сплава и пределов текучести от режимов термообработки до ТЦ [10].

Диаграммы, представленные на рис. 3, позволяют сделать вывод о том, что при любом режиме термообработки состояние УМЗ позволяет получить прирост предела текучести по сравнению с состоянием КЗ.

Графики зависимостей состояний сплава и относительных удлинений от режимов термообработки представлены на рис. 4 [10].

По рис. 4 можно сделать вывод, что в УМЗ- и КЗ-состоянии относительное удлинение практически неизменно и составляет в обоих случаях 33–35%.

Таблица 2

Результаты механических испытаний образцов сплава TiNi
при различных состояниях [10]

Результаты механических испытаний до термоциклирования			
Состояние (структура) сплава	Режим термообработки, при t , °C	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ , %
крупнозернистое (КЗ)	Закалка, 800	460 ± 20	33 ± 5
	Отжиг, 250	570 ± 25	25 ± 5
	Отжиг, 400	595 ± 20	24 ± 5
ультрамелко-зернистое (УМЗ)	Закалка, 800	960 ± 20	42 ± 5
	Отжиг, 250	980 ± 20	35 ± 5
	Отжиг, 400	1037 ± 20	36 ± 5

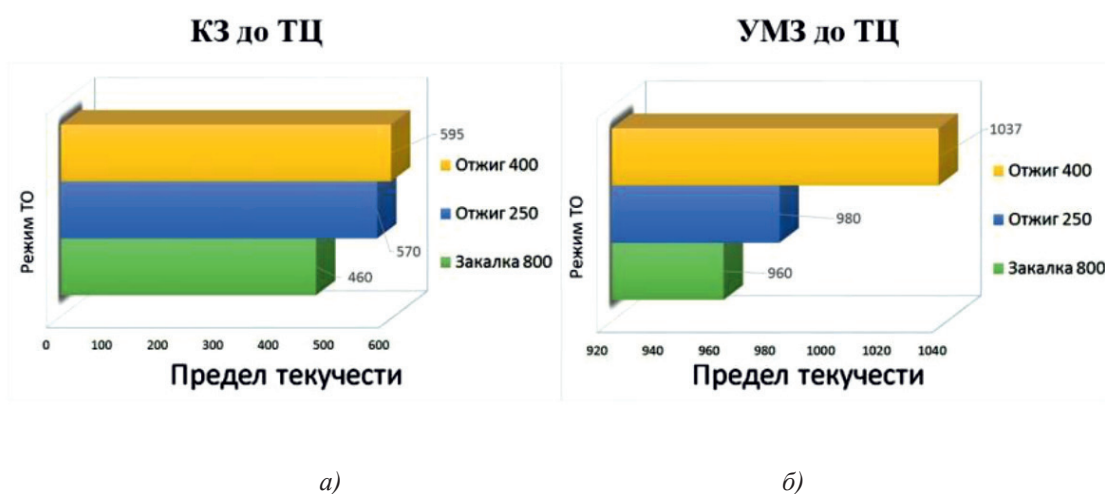


Рис. 3. Графики зависимостей состояний (структуры) сплава и пределов текучести образцов от режимов термообработки: а) КЗ до ТЦ; б) УМЗ до ТЦ

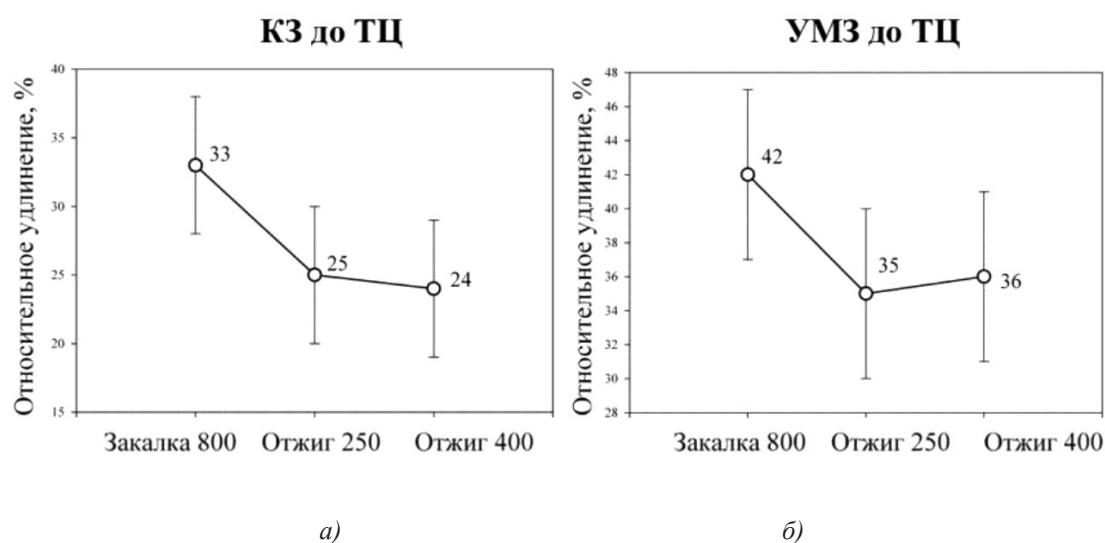


Рис. 4. Графики зависимостей состояний сплава и относительных удлинений образцов от режимов термообработки: а) КЗ до ТЦ; б) УМЗ до ТЦ

Результаты механических испытаний образцов после ТЦ приведены в табл. 3 и на рис. 5, 6. При этом рассматривались два состояния сплава TiNi: крупнозернистое (КЗ) и ультрамелкозернистое (УМЗ).

Представим данные табл. 3 как графики зависимостей состояний сплава и пределов текучести от режимов термообработки после ТЦ [10].

Диаграммы, представленные на рис. 5, позволяют сделать вывод о том, что состояние УМЗ по сравнению с состоянием КЗ не для всех режимов ТО позволяет получить прирост предела текучести. Это происходит по причине перенасыщения дислокаций.

Графики зависимостей состояний сплава и относительного удлинения от режимов термообработки представлены на рис. 6.

По рис. 6 можно сделать вывод, что в ультрамелкозернистом и крупнозерни-

стом состояниях относительное удлинение после термоциклирования практически неизменно.

Выводы

Результаты исследования показывают, что в состояниях крупнозернистом и ультрамелкозернистом после термоциклирования наблюдается существенный прирост предела текучести, однако удлинение составляет всего 20 %. Вполне возможно, что для повышения относительного удлинения необходимо провести большее количество циклов. С ростом предела текучести может возрасти быстродействие спринклера из-за его способности находиться в напряженном состоянии и противостоять стационарным или динамическим термоциклическим нагрузкам, в том числе и в агрессивной среде [10].

Таблица 3

Результаты механических испытаний образцов сплава TiNi при различных состояниях [10]

Результаты механических испытаний после термоциклирования			
	Число термоциклов (n) + режим термообработки, при t , °C	Предел текучести σ_t , МПа	Относительное удлинение δ , %
КЗ + ТЦ	$n = 20$	665 ± 20	18 ± 5
	$n = 100$	635 ± 20	20 ± 5
	20 + отжиг, 250	660 ± 20	20 ± 5
	100 + отжиг, 250	670 ± 20	24 ± 5
	20 + отжиг, 400	690 ± 20	20 ± 5
	100 + отжиг, 400	570 ± 20	18 ± 5
УМЗ + ТЦ	$n = 20$	950 ± 20	20 ± 5
	$n = 100$	1170 ± 20	20 ± 5
	20 + отжиг, 250	1036 ± 20	22 ± 5
	100 + отжиг, 250	1160 ± 25	24 ± 5
	20 + отжиг, 400	1040 ± 25	20 ± 5
	100 + отжиг, 400	1165 ± 25	20 ± 5

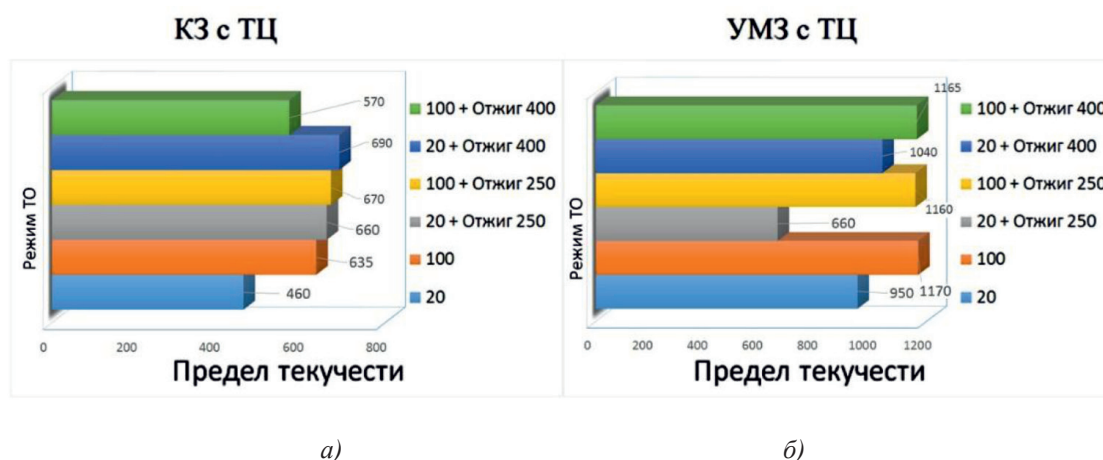


Рис. 5. Графики зависимостей состояний сплава и пределов текучести от режимов термообработки: а) КЗ с ТЦ; б) УМЗ с ТЦ

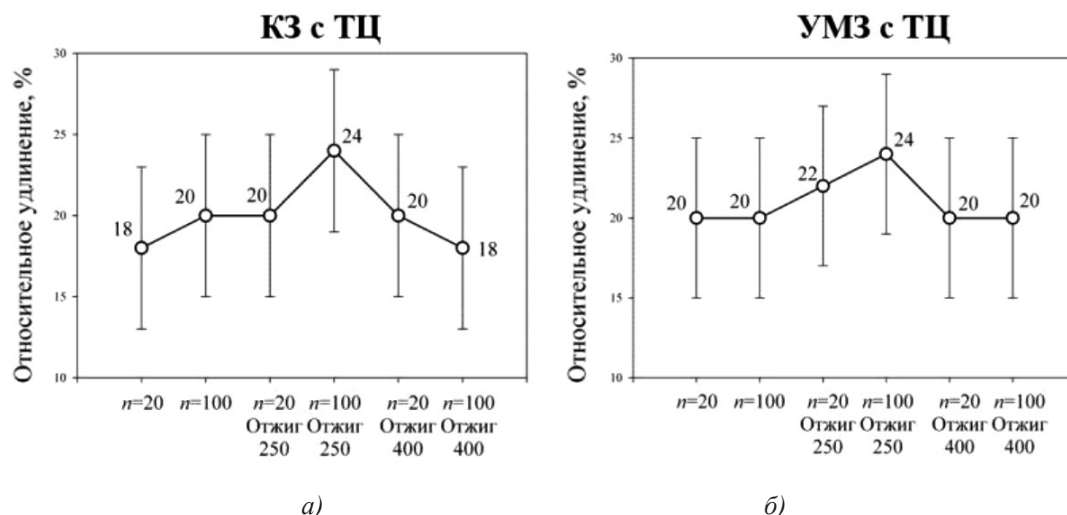


Рис. 6. Графики зависимостей состояний сплава и относительного удлинения от режимов термообработки: а) КЗ с ТЦ; б) УМЗ с ТЦ

Результатом экспериментов, проведенных в рамках исследования [10], явилось подтверждение выбора материала термочувствительного элемента спринклера, напрямую влияющего на показатель быстрого действия, что проявляется в существенном приросте предела текучести в условиях агрессивной среды. Тем не менее удлинение составляет всего 20%, что может быть объяснено тем, что происходит большое скопление дислокаций.

Несмотря на то что производство сплава TiNi является весьма дорогостоящим, экономический эффект может быть достигнут за счет того, что отпадает необходимость замены пластины из никелида титана после каждого срабатывания спринклера ввиду возврата пластины в исходное состояние за счет ЭПФ.

Работа выполнена на базе Института физики молекул и кристаллов Уфимского федерального исследовательского центра РАН при поддержке Гранта Республики Башкортостан Российской Федерации для молодых ученых (№ 28 ГР от 07.03.2019).

Список литературы

1. Забегаев В.И., Миронов Б.Н., Лоцилина Л.Н. Спринклер // Патент РФ № 1839803. Патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МВД РФ. 2005. Бюл. № 21. 4 с.
2. Забегаев В.И., Миронов Б.Н., Дьяконов Ю.А. Спринклер // Патент РФ № 1839807. Патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МВД РФ. 2005. Бюл. № 21. 8 с.
3. Дорош И.В., Чуракова А.А., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И., Семашко М.А. Обоснование использования термочувствительного элемента TiNi в противопожарном оборудовании на примере спринклера с использованием графических моделей // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Международ-

ной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России (Иваново, 11 декабря 2019 г.). Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 70–77.

4. Дорош И.В., Чуракова А.А., Ямалетдинова К.Ш., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И. Графическая интерпретация обоснования использования термочувствительного элемента TiNi в противопожарном оборудовании на примере спринклера // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: материалы IX Международной молодежной научной конференции (г. Уфа, 14–15 ноября 2019 г.) / отв. редактор К.Ш. Ямалетдинова. Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. С. 179–187.

5. Молодцов Г.А., Биткин В.Е., Симонов В.Ф., Урмансов Ф.Ф. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 2000. 352 с.

6. Бондарев А.Б., Хусаинов М.А., Андреев В.А. Технологические особенности производства тонкомерной проволоки из сплавов Ti-Ni с эффектом памяти формы // Фазовые превращения и прочность кристаллов: сборник тезисов VII Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика Г.В. Курдюмова. 2012. С. 148–149.

7. Хусаинов М.А., Бондарев А.Б., Летенков О.В., Андреев В.А. Формирование многократно-обратимой памяти формы в наноструктурированном никелиде титана // Фазовые превращения и прочность кристаллов: сборник тезисов VII Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика Г.В. Курдюмова. 2012. С. 148.

8. Бондарев А.Б., Хусаинов М.А. Технологическая схема и особенности производства тонкомерной проволоки из сплавов Ti-Ni с эффектом памяти формы // Вестник Новгородского гос. университета им. Ярослава Мудрого. 2012. № 68. С. 119–121.

9. Бондарев А.Б., Хусаинов М.А., Андреев В.А. Влияние степени обжата на функциональные свойства и фазовый состав сплавов Ti-Ni с памятью формы // Производство проката. 2012. № 1. С. 9–13.

10. Чуракова А.А. Дорош И.В. Сравнение процесса старения в крупнозернистом и ультрамелкозернистом сплаве TiNi с предварительным термодиффузионным // Физическое материаловедение: IX Международная школа с элементами научной школы для молодежи (Тольятти, 9–13 сентября 2019 года); Актуальные проблемы прочности: LXI Международная конференция, посвященная 90-летию профессора М.А. Криштала (Тольятти, 9–13 сентября 2019 года): сборник материалов / ответственный редактор Д.Л. Мерсон. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2019. 254 с.

УДК 004.052.2

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ОПОЗНАВАНИЯ «СВОЙ-ЧУЖОЙ»

Калмыков И.А., Степанова Е.П., Калмыкова Н.И., Павлюк Д.Н.

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь,
e-mail: kia762@yandex.ru*

В качестве одного из способов, позволяющих увеличить информационную скрытность низкоорбитальной системы спутниковой связи, можно выделить систему опознавания «свой-чужой». Применение такой системы позволяет перед началом сеанса «спутник-Земля» провести аутентификацию космического аппарата. Если статус спутника окажется «свой», то система опознавания предоставляет сеанс связи. С целью сокращения времени на аутентификацию в ряде работ предлагается перейти к применению полиномиального модулярного кода (ПМК). Данный код представляет собой набор остатков, которые получены при делении исходного числа на выбранные неприводимые многочлены, которые являются основаниями ПМК. В результате этой операции сложения, вычитания и умножения можно заменить соответствующими операциями над остатками. В результате того что остатки имеют маленькую разрядность, а отмеченные выше операции выполняются параллельно, использование полиномиальных модулярных кодов позволяет повысить скорость проводимых вычислений. Таким образом, использование параллельности ПМК сокращает время на вычисление ответов на поставленный вопрос запросчика. В результате этого сокращается время, необходимое на опознавание спутника. Однако если в данный код ввести избыточность, то он будет способен осуществлять поиск и коррекцию ошибки. В результате применения избыточного ПМК повышается отказоустойчивость системы опознавания. Цель работы – разработать алгоритм коррекции ошибок в полиномиальных модулярных кодах, применение которого позволит повысить отказоустойчивость системы «свой-чужой».

Ключевые слова: система опознавания, протокол аутентификации спутника, полиномиальные модулярные коды, алгоритм поиска и коррекции ошибок, синдром ошибки

DEVELOPMENT OF AN ERROR CORRECTION ALGORITHM TO IMPROVE THE FAULT TOLERANCE OF THE IDENTIFICATION-FRIEND-OR-FOE

Kalmykov I.A., Stepanova E.P., Kalmykova N.I., Pavlyuk D.N.

*Federal State Autonomous Educational Institution Higher Professional Education
«North-Caucasian Federal University», Stavropol, e-mail: kia762@yandex.ru*

As one of the ways to increase the information secrecy of a low-orbit satellite communication system, we can single out the «friend-foe» identification system. The use of such a system allows you to authenticate the spacecraft before the start of the satellite-Earth session. If the satellite status turns out to be «own», the identification system provides a communication session. In order to reduce the time for authentication, a number of papers suggest switching to the use of polynomial modular code (PMC). This code is a set of residuals that are obtained by dividing the original number by the selected irreducible polynomials that are the bases of the PMC. As a result, the addition, subtraction, and multiplication operations can be replaced with the corresponding operations on the remainder. As a result of the fact that the remainder has a small bit depth, and the operations noted above are performed in parallel, the use of polynomial modular codes allows you to increase the speed of calculations. Thus, the use of parallel PMC reduces the time to calculate the answers to the requester's question. As a result, the time required to identify the satellite is reduced. However, if you enter redundancy in this code, it will be able to search for and correct the error. As a result of the use of excessive PMC, the fault tolerance of the identification system increases. The purpose of this work is to develop an error correction algorithm for polynomial modular codes, which will improve the fault tolerance of the identification-friend-or-foe.

Keywords: identification-friend-or-foe, satellite authentication protocol, polynomial modular codes, error search and correction algorithm, error syndrome

В последнее десятилетие наблюдается тенденция по расширению сферы применения низкоорбитальных систем спутниковой связи (НССС). Невозможно представить себе без НССС развитие Северного морского пути, развертывание подразделений Вооруженных сил Российской Федерации, обеспечивающих безопасность страны в Арктике, а также создание глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы [1; 2]. Очевидно, что современные НССС должны обладать высокой информационной скрытностью. В работах [3; 4] для достижения данной цели предлагается исполь-

зовать систему опознавания «свой-чужой». С целью повышения скорости опознавания спутников НССС в работе [5] предлагается использовать полиномиальные модулярные коды (ПМК), которые обеспечивают параллельную реализацию протокола аутентификации. Однако при введении избыточности полиномиальные модулярные коды могут осуществлять поиск и коррекцию ошибок, что позволит повысить отказоустойчивость системы опознавания «свой-чужой». Поэтому разработка алгоритма коррекции результатов вычислений с помощью ПМК является актуальной задачей.

Для повышения эффективности функционирования системы опознавания спутников предлагается воспользоваться непозиционными полиномиальными модулярными кодами, в которых данные, представленные в виде набора остатков, обрабатываются параллельно. Так как в процессе вычислений обмена между основаниями не происходит, то данное свойство используется для построения кодов, способных осуществлять поиск и коррек-

цию ошибок. Поэтому целью работы является разработка алгоритма коррекции ошибок в ПМК, применение которого позволит повысить отказоустойчивость системы «свой-чужой».

Материалы и методы исследования

Чтобы получить полиномиальный модулярный код, выбирают кортеж неприводимых полиномов $m_1(x), m_2(x), \dots, m_k(x)$ [6; 7]. Их произведение дает рабочий диапазон

$$\hat{M}(x) = \prod_{i=1}^k m_i(x). \quad (1)$$

Тогда полином $Y(x)$ можно однозначно описать комбинацией ПМК

$$Y(x) = (y_1(x), y_2(x), \dots, y_k(x)), \quad (2)$$

где $y_i(x) \equiv Y(x) \bmod m_i(x)$; $\deg Y(x) < \deg \hat{M}(x)$; $\deg Y(x)$ – степень полинома $Y(x)$.

При этом для арифметических операций, выполняемых в ПМК, справедливо

$$Y(x) \oplus Z(x) = (|y_1(x) + z_1(x)|_{p_1(x)}, \dots, |y_k(x) + z_k(x)|_{p_k(x)}), \quad (3)$$

$$Y(x) \cdot Z(x) = (|y_1(x) \cdot z_1(x)|_{p_1(x)}, \dots, |y_k(x) \cdot z_k(x)|_{p_k(x)}), \quad (4)$$

где $Z(x) \equiv z_i(x) \bmod p_i(x)$; $i = 1, 2, \dots, k$; $\deg Z(x) < \deg \hat{M}(x)$.

В работе [5] представлен протокол аутентификации спутника, реализованный в ПМК. Выбираем параметры, удовлетворяющие условию

$$\log_2 \{U, S(j), T(j)\} < \deg \hat{M}(x), \quad (5)$$

где U – секретный ключ спутника, $S(j)$ и $T(j)$ – сеансовый ключ и число, позволяющее определить повторное использование данного ключа.

Представляем их $U = (u_1 \parallel u_2 \parallel \dots \parallel u_k)$, $S^j = (S_1^j \parallel S_2^j \parallel \dots \parallel S_k^j)$, $T^j = (T_1^j \parallel T_2^j \parallel \dots \parallel T_k^j)$, где $u_i = \deg m_i(x)$, $S_i^j = \deg m_i(x)$; $T_i^j = \deg m_i(x)$; $i = 1, 2, \dots, k$.

1. Перед j -м сеансом связи ответчик определяет истинный статус спутника в ПМК

$$C^j(x) = (C_1^j(x), C_2^j(x), \dots, C_k^j(x)), \quad (6)$$

где $C_i^j(x) = \left| g(x)^{u_i} g(x)^{S_i^j} g(x)^{T_i^j} \right|_{m_i(x)}^+$; $g(x) = x$; $i = 1, 2, \dots, k$.

2. Затем производится изменение секретных параметров

$$\tilde{u}_i = (u_i + \Delta u_i) \bmod G_i, \quad \tilde{S}_i^j = (S_i^j + \Delta S_i^j) \bmod G_i, \quad \tilde{T}_i^j = (T_i^j + \Delta T_i^j) \bmod G_i, \quad (7)$$

где $\{\Delta u_i, \Delta S_i^j, \Delta T_i^j\} < G_i$ – случайные числа; $G_i = 2^{\deg m_i(x)} - 1$; $i = 1, 2, \dots, k$.

3. После вычисляется зашумленный статус спутника, используя ПМК

$$\tilde{C}^j(x) = (\tilde{C}_1^j(x), \tilde{C}_2^j(x), \dots, \tilde{C}_k^j(x)), \quad (8)$$

где $\tilde{C}_i^j(x) = \left| g(x)^{\tilde{u}_i} g(x)^{\tilde{S}_i^j} g(x)^{\tilde{T}_i^j} \right|_{m_i(x)}^+$.

4. Для опознавания запросчик задает вопрос $d^j = (d_1^j, d_2^j, \dots, d_k^j)$, где $d_i^j \equiv d^j \bmod G_i$.

5. Ответчик, находящийся на спутнике, отвечает на вопрос $d^j = (d_1^j, d_2^j, \dots, d_k^j)$

$$r_i^1 = (\tilde{u}_i - d_i^j \cdot u_i) \bmod G_i, \quad r_i^2 = (\tilde{S}_i^j - d_i^j \cdot S_i^j) \bmod G_i, \quad r_i^3 = (\tilde{T}_i^j - d_i^j \cdot T_i^j) \bmod G_i. \quad (9)$$

6. Ответчик осуществляет передачу запросчику следующих данных

$$\{(C_1^j(x), \dots, C_k^j(x)), (\tilde{C}_1^j(x), \dots, \tilde{C}_k^j(x)), (r_1^1, \dots, r_k^1), (r_1^2, \dots, r_k^2), (r_1^3, \dots, r_k^3)\}.$$

7. Запросчик осуществляет проверку статуса спутника

$$Y_i^j(x) = \left| \left(C_i^j(x) \right)^{d_i^j} g(x)^{r_i^1} g(x)^{r_i^2} g(x)^{r_i^3} \right|_{m_i(x)}^+. \quad (10)$$

Статус «свой» будет только при выполнении условия

$$\{Y_1^j(x) = \tilde{C}_1^j(x), Y_2^j(x) = \tilde{C}_2^j(x), \dots, Y_k^j(x) = \tilde{C}_k^j(x)\}. \quad (11)$$

Анализ выражений (5)–(11) показывает, что применение ПМК позволило сократить время опознавания. При этом ПМК способны осуществлять поиск и исправление ошибок [7]. Так, для исправления однократной ошибки необходимо два основания, так чтобы

$$\deg m_{k-1}(x) + \deg m_k(x) \leq \deg m_{k+1}(x) + \deg m_{k+2}(x). \quad (12)$$

В результате этого получаем полный диапазон избыточного ПМК

$$M(x) = \prod_{i=1}^{k+2} m_i(x) = \hat{M}(x) \prod_{i=k+1}^{k+2} m_i(x). \quad (13)$$

Комбинация $Y(x) = (y_1(x), y_2(x), \dots, y_{k+2}(x))$ не содержит ошибки, если

$$\deg Y(x) < \deg \hat{M}(x) = \prod_{i=1}^k m_i(x). \quad (14)$$

Однократная ошибка изменяет значение j -го остатка согласно

$$Y^*(x) = (y_1(x), \dots, y_j^*(x), \dots, y_{k+2}(x)) = (y_1(x), \dots, |y_j(x) \oplus \Delta y_j(x)|_{m_j(x)}, \dots, y_{k+2}(x)), \quad (15)$$

где $y_j^*(x)$ – искаженный остаток ПМК; $\Delta y_j(x)$ – глубина однократной ошибки.
В результате нарушается условие (14), так как имеем

$$Y^*(x) = \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{k+2} (y_i(x) B_i(x) = (y_j(x) + \Delta y_j(x)) B_j(x)) \bmod M(x) = Y(x) + \Delta y_j(x) B_j(x), \quad (16)$$

где $B_i(x)$ – ортогональные базисы ПМК; $B_i(x) = M_i(x) M_i^{-1}(x)$; $M_i(x) = M(x) / m_i(x)$.

Для поиска и коррекции ошибок в полиномиальных модулярных кодах в работе [7] рекомендуется вычислять позиционную характеристику – интервал ПМК

$$\begin{cases} L_{k+1}(x) = \left(\sum_{i=1}^{k+2} y_i(x) C_i(x) + \hat{R}(x) \right) \bmod m_{k+1}(x), \\ L_{k+2}(x) = \left(\sum_{i=1}^{k+2} y_i(x) C_i(x) + \hat{R}(x) \right) \bmod m_{k+2}(x), \end{cases} \quad (17)$$

где $B_i(x) = C_i(x) \hat{M}(x) + \hat{B}_i(x)$; $\hat{B}_j(z)$ и $\hat{R}(x) = \left[\sum_{j=1}^k y_j(x) \hat{B}_j(x) / \hat{M}(x) \right]$ – ортогональный

базис и ранг кортежа информационных оснований ПМК.

С целью снижения схемных затрат был разработан алгоритм, позволяющий определить место и величину ошибки на основе модульной свертки.

$$\begin{cases} \sigma_1(x) = y_{k+1}(x) \oplus \ddot{y}_{k+1}(x) = y_{k+1}(x) \oplus \left| \sum_{j=1}^k \lambda_j(x) y_j(x) \right|_{m_{k+1}(x)}^+ \\ \sigma_2(x) = y_{k+2}(x) \oplus \ddot{y}_{k+2}(x) = y_{k+2}(x) \oplus \left| \sum_{j=1}^k \lambda_j(x) y_j(x) \right|_{m_{k+2}(x)}^+ \end{cases}, \quad (18)$$

где $\ddot{y}_{k+s}(x) = \left| \sum_{j=1}^k \lambda_j(x) z_j(x) \right|_{m_{k+s}(x)}^+$ – модульная свертка; $\lambda_j(x)$ – константа свертки; $s = 1, 2$.

Для вычисления констант модульной свертки воспользуемся китайской теоремой об остатках (КТО) для безызбыточной системы полиномиального модулярного кода, то есть

$$Y(x) = \left(\sum_{j=1}^k y_j(x) \hat{B}_j(x) \right) \bmod \hat{M}(x) = \sum_{j=1}^k y_j(x) \hat{B}_j(x) - \hat{R}(x) \hat{M}(x). \quad (19)$$

Известно, что ортогональный базис определяется

$$\hat{B}_j(x) = M_j^{-1}(x) M_j(x) = M_j^{-1}(x) \hat{M}(x) / m_j(x), \quad (20)$$

где $M_j^{-1}(x)$ – вес ортогонального базиса.

Чтобы определить константу свертки $z_j(x) \lambda_j(x)$, где $j = 1, 2, \dots, k$, необходимо найти $z_j(x) = y_j(x) M_j^{-1}(x) \bmod m_j(x)$, при этом $\deg(y_j(x) M_j^{-1}(x) \bmod m_j(x)) < \deg m_j(x)$. В этом случае при реализации (19) можно отказаться от вычисления ранга, то есть имеем

$$Y(x) = \sum_{j=1}^k \left| y_j(x) M_j^{-1}(x) \right|_{m_j(x)}^+ M_j(x). \quad (21)$$

Тогда $z_j(x) \lambda_j(x) \bmod m_{k+s}(x)$, где $j = 1, 2, \dots, k$, $s = 1, 2$, определяется

$$z_j(x) \lambda_j(x) \bmod m_{k+s}(x) = \left(\left| y_j(x) M_j^{-1}(x) \right|_{m_j(x)}^+ M_j(x) \right) \bmod m_{k+s}(x). \quad (22)$$

Значит, модульная свертка позволяет корректировать ошибку в ПМК, используя

$$\begin{cases} \sigma_1(x) = y_{k+1}(x) \oplus \left| \sum_{j=1}^k \left| M_j^{-1}(x) y_j(x) \right|_{m_j(x)}^+ M_j(x) \right|_{m_{k+1}(x)}^+ \\ \sigma_2(x) = y_{k+2}(x) \oplus \left| \sum_{j=1}^k \left| M_j^{-1}(x) y_j(x) \right|_{m_j(x)}^+ M_j(x) \right|_{m_{k+2}(x)}^+ \end{cases} \quad (23)$$

Если свертка $\ddot{y}_{k+s}(x) = \left| \sum_{j=1}^k \lambda_j(x) z_j(x) \right|_{m_{k+s}(x)}^+$ совпадает с контрольным основанием, то комбинация ПМК не содержит ошибки. В противном случае – комбинация ПМК ошибочная.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве информационных оснований ПМК выбираем $m_1(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$, $m_2(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$, $m_3(x) = x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$. Согласно (1) рабочий диапазон $\hat{M}(x) = \prod_{i=1}^3 m_i(x) = x^{15} + x^{11} + x^{10} + x^2 + 1$. Согласно (12) контрольными основаниями ПМК будут $m_4(x) = x^5 + x^2 + 1$ и $m_5(x) = x^5 + x^3 + 1$. Используя (21), определим

$$M_1(x) = m_2(x)m_3(x) = x^{10} + x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1; M_1^{-1}(x) = x^4 + x^2 + 1;$$

$$M_2(x) = m_1(x)m_3(x) = x^{10} + x^9 + x^4 + x^3 + 1; M_2^{-1}(x) = x^4 + x + 1;$$

$$M_3(x) = m_1(x)m_2(x) = x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1; M_3^{-1}(x) = x^2 + x + 1.$$

Для выполнения алгоритма поиска и коррекции ошибки вычислим константы

$$\lambda_1(x) \bmod m_4(x) = \left| M_1(x) \right|_{m_4(x)}^+ = \left| x^{10} + x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 \right|_{m_4(x)}^+ = x^3 + x + 1;$$

$$\lambda_2(x) \bmod m_4(x) = \left| M_2(x) \right|_{m_4(x)}^+ = \left| x^{10} + x^9 + x^4 + x^3 + 1 \right|_{m_4(x)}^+ = x^4 + x;$$

$$\lambda_3(x) \bmod m_4(x) = \left| M_3(x) \right|_{m_4(x)}^+ = \left| x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1 \right|_{m_4(x)}^+ = x^4 + x^3 + x^2 + 1.$$

Для второго контрольного основания $m_5(x) = x^5 + x^3 + 1$ имеем константы

$$\lambda_1(x) \bmod m_5(x) = \left| M_1(x) \right|_{m_5(x)}^+ = \left| x^{10} + x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 \right|_{m_5(x)}^+ = x + 1;$$

$$\lambda_2(x) \bmod m_5(x) = \left| M_2(x) \right|_{m_5(x)}^+ = \left| x^{10} + x^9 + x^4 + x^3 + 1 \right|_{m_5(x)}^+ = x^4 + x^2 + x + 1;$$

$$\lambda_3(x) \bmod m_5(x) = \left| M_3(x) \right|_{m_5(x)}^+ = \left| x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1 \right|_{m_5(x)}^+ = x^3 + 1.$$

Выбираем $Y(x) = x^7 + x + 1 = (x^4 + x^3 + 1, x^3 + x^2 + 1, x^4, x^4 + x^2 + x + 1, x^3 + x^2 + x)$. Вычислим произведение $z_j(x) = y_j(x)M_j^{-1}(x) \bmod m_j(x)$, где $j = 1, 2, 3$. Тогда

$$z_1(x) = y_1(x)M_1^{-1}(x) \bmod m_1(x) = \left| (x^4 + x^3 + 1)(x^4 + x^2 + 1) \right|_{x^5 + x^4 + x^3 + x + 1}^+ = x^3 + x^2 + x,$$

$$z_2(x) = y_2(x)M_2^{-1}(x) \bmod m_2(x) = \left| (x^3 + x^2 + 1)(x^4 + x + 1) \right|_{x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1}^+ = x^3 + x^2 + x,$$

$$z_3(x) = y_3(x)M_3^{-1}(x) \bmod m_3(x) = \left| x^4 \cdot (x^2 + x + 1) \right|_{x^5 + x^3 + x^2 + x + 1}^+ = 1.$$

Воспользуемся модульной сверткой и вычислим контрольные остатки

$$\ddot{y}_4(x) = \left| \sum_{j=1}^3 \lambda_j(x) z_j(x) \right|_{m_4(x)}^+ = ((x^3 + x^2 + x)(x^3 + x + 1) + (x^3 + x^2 + x)(x^4 + x) + (x^4 + x^3 + x^2 + 1)) \bmod x^5 + x^2 + 1 = x^4 + x^2 + x + 1,$$

$$\ddot{y}_5(x) = \left| \sum_{j=1}^3 \lambda_j(x) z_j(x) \right|_{m_5(x)}^+ = ((x^3 + x^2 + x)(x + 1) + (x^3 + x^2 + x)(x^4 + x^2 + x + 1) + (x^3 + 1)) \bmod x^5 + x^3 + 1 = x^3 + x^2 + x.$$

Тогда согласно (18) получаем, что комбинация не содержит ошибки, так как

$$\begin{cases} \sigma_1(x) = y_{k+1}(x) + \ddot{y}_{k+1}(x) = (x^4 + x^2 + x + 1) + (x^4 + x^2 + x + 1) = 0, \\ \sigma_2(x) = y_{k+2}(x) + \ddot{y}_{k+2}(x) = (x^3 + x^2 + x) + (x^3 + x^2 + x) = 0. \end{cases}$$

Введем ошибку, равную $\Delta y_2(x) = x + 1$. Тогда $y_2^*(x) = \left| y_2(x) + \Delta y_2(x) \right|_{m_2(x)}^+ = x^2 + x$, а комбинация ПМК примет вид $Y^*(x) = (x^4 + x^3 + 1, x^3 + x^2 + x, x^4, x^4 + x^2 + x + 1, x^3 + x^2 + x)$. Вычислим остатки по контрольным основаниям

$$z_2^*(x) = y_2(x)M_2^{-1}(x) \bmod m_2(x) = \left| (x^3 + x^2 + x)(x^4 + x + 1) \right|_{x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1}^+ = x^2 + x.$$

Воспользуемся модульной сверткой и вычислим контрольные остатки

$$\begin{aligned} \ddot{y}_4^*(x) &= \left| \sum_{j=1}^3 \lambda_j(x) z_j(x) \right|_{m_4(x)}^+ = ((x^3 + x^2 + x)(x^3 + x + 1) + (x^2 + x)(x^4 + x) + \\ &\quad + (x^4 + x^3 + x^2 + 1)) \bmod x^5 + x^2 + 1 = x^4 + 1, \\ \ddot{y}_5^*(x) &= \left| \sum_{j=1}^3 \lambda_j(x) z_j(x) \right|_{m_5(x)}^+ = ((x^3 + x^2 + x)(x + 1) + (x^2 + x)(x^4 + x^2 + x + 1) + \\ &\quad + (x^3 + 1)) \bmod x^5 + x^3 + 1 = x^4 + x. \end{aligned}$$

Тогда согласно (18) получаем, что комбинация содержит ошибки, так как

$$\begin{cases} \sigma_1(x) = y_{k+1}(x) + \ddot{y}_{k+1}^*(x) = (x^4 + x^2 + x + 1) + (x^4 + 1) = x^2 + x, \\ \sigma_2(x) = y_{k+2}(x) + \ddot{y}_{k+2}^*(x) = (x^3 + x^2 + x) + (x^4 + x) = x^4 + x^3 + x^2. \end{cases}$$

На основании результата выбираем вектор ошибки $\bar{e}(x) = (0, x + 1, 0, 0, 0)$. Тогда

$$Y(x) = Y^*(x) + \bar{e}(x) = (x^4 + x^3 + 1, x^3 + x^2 + 1, x^4, x^4 + x^2 + x + 1, x^3 + x^2 + x).$$

Используя рассмотренный алгоритм, разработали структурную схему устройства поиска и коррекции ошибки. Произведем оценку схемных затрат на реализацию разработанного алгоритма. Устройство содержит два тракта, в каждом из которых:

- три LUT-таблицы, реализующие вычисление $z_j(x) = y_j(x)M_j^{-1}(x) \bmod m_j(x)$;
- три LUT-таблицы, реализующие вычисление $z_j(x)\lambda_j(x) \bmod m_{k+s}(x)$;
- две LUT-таблицы, реализующие вычисление модульной свертки.

Значит, на устройство поиска и коррекции ошибки, использующее модульную свертку, необходимо 16 LUT-таблиц.

В этом случае устройство, реализующее алгоритм поиска и коррекции ошибок, определяемый (14), также содержит два тракта, в каждом из которых:

- пять LUT-таблиц, реализующих вычисление $s_i(x) = \left| y_i(x)C_i(x) \right|_{m_i(x)}^+$;

– четыре LUT-таблицы, реализующие вычисление ранга ПМК;

– три LUT-таблицы, реализующие вычисление $\sum_{i=1}^5 y_i(x)C_i(x) + \hat{R}(x)$.

Значит, на устройство поиска и коррекции ошибки, построенное на основе алгоритма [7], необходимо 22 LUT-таблицы. Таким образом, разработанный алгоритм позволяет сократить аппаратные затраты в 1,375 раза по сравнению с использованием алгоритма вычисления интервала ПМК.

Заключение

С целью сокращения времени, необходимого на определение статуса космического аппарата, был предложен протокол аутентификации, реализованный в ПМК. При этом полиномиальные модулярные коды позволяют обнаруживать и исправлять ошибки, которые возникают в процессе функционирования системы опознавания,

что позволит повысить ее отказоустойчивость. В работе показан алгоритм поиска и коррекции ошибок в полиномиальных кодах, который базируется на использовании модульной свертки. Проведенные исследования показали, что при использовании полиномов пятой степени разработанный алгоритм требует в 1,375 раза меньше аппаратных затрат по сравнению с алгоритмом вычисления интервала ПМК, приведенным в работе [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-01020.

Список литературы

1. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. М.: «Альпина Паблицер», 2015. 489 с.
2. Кукк К.И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее. М.: Горячая линия – Телеком, 2017. 256 с.
3. Rezenkov R.N., Pashintsev V.P., Zhuk P.A. Application of spoof resistant authentication protocol of spacecraft in low earth orbit systems of satellite communication. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018. Vol. 9. Issue 5, May. P. 958–965.
4. Пашинцев В.П., Ляхов А.В. Применение помехоустойчивого протокола аутентификации космического аппарата для низкоорбитальной системы спутниковой связи // Инфокоммуникационные технологии. 2015. № 2. С. 183–190.
5. Pashintsev V.P., Zhuk F.P., Chistousov N.K. Development of Satellite Authentication System for Low Earth Orbit Satellite Communication System on the Basis of Polynomial Residue Number System. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. Vol. 8 Issue 5. P. 2557–2562.
6. Калмыков И.А. Емарлукова Я.В. Математические модели и схемные решения отказоустойчивых непозиционных вычислительных систем: монография. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2016. 216 с.
7. Горденко Д.В., Резеньков Д.Н., Саркисов А.Б. Методы и алгоритмы реконфигурации непозиционных вычислительных структур для обеспечения отказоустойчивости спецпроцессоров. Ставрополь: Издательство Фабула, 2014. 180 с.

УДК 004.032.26:004.89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЕПРОДУКТОВ

^{1,2}Кувыкин В.И., ²Кувыкина Е.В.

¹Институт проблем машиностроения РАН, Нижний Новгород;

²Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского
(Национальный исследовательский университет), Нижний Новгород, e-mail: vkuvykin@yandex.ru

В статье исследованы способы уменьшения погрешности при использовании искусственных нейронных сетей для прогнозирования качественных характеристик нефтепродуктов. Рассмотрен пример вычисления предельной температуры фильтруемости дизельного топлива по известным физико-химическим показателям. При расчете применялись многослойный персептрон с различным числом скрытых слоев и сеть радиально-базисных функций. Математические модели включали одну зависимую переменную и десять предикторов. Исследовано влияние алгоритмов обучения, функций активации, количества нейронов на результаты прогнозирования. Многослойный персептрон, использующий на стадии обучения метод сопряженных градиентов, обеспечил лучшую точность, чем сеть радиально-базисных функций. Определено влияние входных параметров на низкотемпературные свойства дизельного топлива. Численные эксперименты показали, что уменьшение aberrации прогнозируемых значений базируется как на выборе оптимальных параметров модели, так и на статистическом анализе исходных данных. Точность прогноза существенно повышается при исключении ряда примеров, принадлежащих одной из границ обучающего множества. Предложенная модель может обеспечить необходимую для промышленного применения точность. Абсолютная погрешность вычисления предельной температуры фильтруемости соответствует требованиям стандартов измерения. Технологии автоматизированного расчета качественных характеристик нефтепродуктов с применением искусственных нейронных сетей могут успешно использоваться в лабораториях и на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Ключевые слова: математическое моделирование, искусственные нейронные сети, многослойный персептрон, нефтепереработка, дизельное топливо, предельная температура фильтруемости

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPLICATION TO PREDICT QUALITY CHARACTERISTICS OF PETROLEUM PRODUCTS

^{1,2}Kuvykin V.I., ¹Kuvykina E.V.

¹Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Nizhny Novgorod;

²Lobachevsky State University (National Research University), Nizhny Novgorod, e-mail: vkuvykin@yandex.ru

This article deals with methods for reducing the error of predicting the qualitative characteristics of oil products using artificial neural networks. It was considered an example of calculating cold filter plugging point of diesel fuel using physicochemical parameters as an input. For calculating were used a multilayer perceptron with a different number of hidden layers and a radial basis function networks. Mathematical models included one dependent variable and ten predictors. The influence of training algorithms, activation functions, the number of neurons on the results of forecasting were investigated. The multilayer perceptron, which uses the conjugate gradient method at the training stage, ensured the better accuracy than a network with a radial basis function. The influence of input parameters on the cold filter plugging point of diesel fuel was determined. Numerical experiments showed that the reduction in the aberration of the predicted values was based both on the selection of the optimal model parameters and on a statistical analysis of the original data. The accuracy of the forecast significantly increases with the exception of a number of examples belonging to one of the boundaries from the training set. This model can provide the precision required for industrial applications. The absolute error for cold filter plugging point was less than the reproducibility of the presently fixed measurement standards. Automated calculation technologies with the neural network models can be successfully applied in laboratories and in oil refineries.

Keywords: mathematical modeling, artificial neural network, multilayer perceptron, refinery, diesel fuel, cold filter plugging point

Разработка производственных систем с искусственным интеллектом в нефтепереработке направлена на решение задач моделирования процессов оперативного управления, расчета показателей качества, управления технологическими процессами, разработки динамических баз данных и знаний [1]. Искусственные нейронные сети (ИНС) как составной компонент Industry 4.0 имеют огромный потенциал оптимизации производственных процессов

и снижения затрат нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Цифровые технологии позволяют улучшить управление производственным процессом на основе достоверной информации, повышают производительность труда.

Следует отметить, что планирование, составление расписаний и оптимизация смешения продукции производят ощутимый эффект [2–4], который можно существенно увеличить за счет ИНС [5, 6]. При этом про-

гноз качества продукции в нефтепереработке выступает как один из основных элементов практического приложения ИНС [5, 7].

Актуальным вопросом является моделирование низкотемпературных свойств дизельного топлива [5, 7, 8]. Во-первых, объем производства дизельного топлива в России максимальный среди других нефтепродуктов, и его выпуск поддерживается стабильным внешним и внутренним спросом. Во-вторых, климатические условия РФ вызывают большую потребность в высококачественных низкозастывающих дизельных топливах, которая удовлетворяется менее чем наполовину [9]. Эффективность нефтепереработки существенно вырастет, если математическое моделирование даст возможность вычислить низкотемпературные свойства дизельного топлива вместо проведения дорогостоящих физических измерений.

Основными параметрами, характеризующими низкотемпературные свойства, выступают температура помутнения и предельная температура фильтруемости (ПТФ). Если температура помутнения может быть вычислена с применением достаточно простой линейной регрессии, то расчет ПТФ требует построения сложных нелинейных моделей [7]. Вместе с тем ПТФ – это весьма важный показатель для потребителей, поскольку определяет минимальную температуру, при которой будет обеспечен бесперебойный поток в топливных системах [10]. В работах [7, 8] для некоторого заданного набора лабораторных данных отмечена приемлемая точность прогнозирования ПТФ с помощью ИНС. Тем не менее для ряда точек абсолютная погрешность остается высокой, и для практического применения ИНС требуются исследования, направленные на повышение точности прогнозирования.

Наиболее широкое распространение при анализе качества получили сети прямого распространения, такие как многослойный персептрон (МП) и сеть радиально-базисных функций (РБФ) [7, 8]. Они позволяют сравнить предсказанные моделью результаты с известными значениями зависимых переменных [11]. Нейросетевые модели не требуют формулировки гипотез о взаимосвязи между зависимыми и независимыми переменными, расчет происходит в процессе обучения. Хотя результаты моделирования ИНС представляют систему «черный ящик» и с трудом поддаются интерпретации, оценка важности значений предикторов позволяет анализировать зависимость выходной функции от входных переменных.

Целями работы являются разработка способов уменьшения погрешности прогнозирования качественных характеристик нефтепродуктов с помощью искусственных нейронных сетей на примере предельной температуры фильтруемости дизельного топлива; определение степени влияния входных параметров на итоговый прогноз.

Основные задачи могут быть сформулированы следующим образом: построение прогноза для определения ПТФ по другим известным физико-химическим параметрам; исследование влияния алгоритмов обучения, функций активации сетей и числа нейронов на точность прогнозирования; статистический анализ данных для выявления примеров, оказывающих отрицательное влияние на точность прогнозирования; оценка влияния предикторов на низкотемпературные свойства дизельного топлива.

Материалы и методы исследования

Для обучения ИНС использовались паспортные данные зимнего дизельного топлива, предусмотренные стандартами на готовую продукцию [12]. Входной слой включал 10 нейронов с показателями: цетановое число; цетановый индекс; плотность при 15 °C (кг/м³); массовая доля полициклических ароматических углеводородов (%); массовая доля серы (мг/кг); температура вспышки в закрытом тигле (°C); кинематическая вязкость при 40 °C (мм²/с); объем перегонки до 180 °C и до 360 °C (% об.); температура выкипания 95 % объема (°C). Поскольку изменение остальных характеристик было несущественным, то и в построении нейронной сети они не участвовали. На выходе имелся только один нейрон для расчета ПТФ (°C).

Вычисления и статистическая обработка информации осуществлялись с помощью компьютерной программы SPSS Statistics. В процессе построения модели множество данных делилось случайным образом на обучающее, тестирующее и контрольное. Контрольное множество ни в обучении, ни в оптимизации и тестировании сети не участвовало. Результаты сравнения для контрольного множества являлись основным фактором при сравнении архитектуры сетей, функций активации и выбора методов решения.

Расчет ПТФ проведен для МП с различным числом скрытых слоев и сетей РБФ. Созданы нейросетевые модели для одной зависимой переменной на основании значений переменных предикторов. Многослойный персептрон включает входной слой, ряд скрытых слоев и выходной уровень.

Для обучения сети варьировались алгоритмы, архитектура сети и число нейронов.

В отличие от многослойного персептрона, сеть РБФ включает только 3 уровня: входной, один скрытый и выходной. Функциями активации в скрытом слое являются радиальные базисные функции. Широкое применение нейронных сетей РБФ обусловлено простой структурой сети и высокой скоростью обучения.

Обозначим через Y множество значений ПТФ, G_+ , G_- – граничные точки данного множества. При оценке результатов работы ИНС вычислялась средняя абсолютная погрешность MAE (Mean Absolute Error) по формуле:

$$MAE_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y_{nk} - \hat{y}_{nk}|, \quad (1)$$

где $\hat{y}_{nk} \in Y$ – измеренное, y_{nk} – прогнозируемое значение ПТФ для k -ой группы n -го значения, N – количество примеров. Следующим важным показателем, характеризующим работу сети, является средняя абсолютная процентная погрешность MAPE (Mean absolute percentage error)

$$MAPE_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{y_{nk} - \hat{y}_{nk}}{y_{nk}} \right| \times 100. \quad (2)$$

Были проведены расчеты с разным числом нейронов. Определено оптимальное количество нейронов, которое обеспечивает наименьшую относительную погрешность для контрольных данных и наименьшие значения показателей (1) и (2).

В основе предлагаемой методологии лежит статистический анализ влияния исходного обучающего множества на точность прогноза. Известно, что в исходной информации могут быть данные, которые выпадают из общей закономерности. Их исключение приводит к уменьшению погрешности обучения сети и улучшению прогноза [11]. Проведено последовательное исключение примеров из обучающего множества и вычислена погрешность ИНС, обученной на таких усеченных множествах.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследования рассмотрено 188 примеров в диапазоне изменения ПТФ от -34°C до -28°C (Ряд 1 на рис. 1). Расчеты показали, что уменьшение абберации прогнозируемых значений ПТФ происходит при исключении ряда примеров из обучающего множества. Для дальнейшего исследования были удалены примеры со значениями, принадлежащими нижней

границе интервала $1,5 \cdot \text{IQR}$ (IQR – межквартильный размах). Они вносят наибольшие погрешности, и включать их для обучения ИНС нецелесообразно. С целью уменьшения погрешности прогнозирования ПТФ выбран измененный массив данных $\Psi = Y \setminus G_-$, содержащий 180 точек (Ряд 2 на рис. 1). Отметим, что МП позволяет идентифицировать примеры, которые выпадают из закономерности, характерной для изучаемого массива данных.

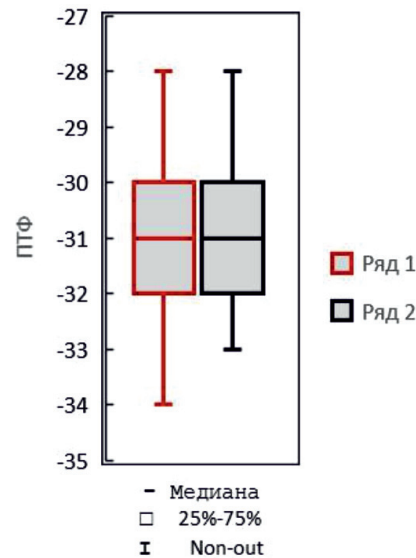


Рис. 1. Диаграмма ящик с усами исходного массива данных предельной температуры фильтруемости (ПТФ), обозначенных Ряд 1, и с исключенными примерами – Ряд 2

Обучающее множество для МП включало 102 (56,7%) примера, тестовое – 23 (12,7%) и контрольное – 55 (30,6%). Расчет ПТФ с максимальной точностью обеспечивает нейронная сеть с 2 скрытыми слоями, 7 нейронов было задействовано на первом скрытом слое и 3 – на втором. Функция активации – гиперболический тангенс. При обучении применялся метод масштабируемых сопряженных градиентов. Для сети РБФ обучающее множество содержало 104 (57,8%) примера, тестовое – 35 (19,4%) и контрольное – 41 (22,8%). Лучшие результаты для контрольного множества обеспечила нормализованная радиальная базисная функция с 9 нейронами скрытого слоя.

Как МП, так и сети РБФ дают погрешности, которые находятся в пределах, предусмотренных национальным стандартом [10]. Расчет показателей (1) и (2) представлен в табл. 1, в которой K указывает номер модели, N – количество

примеров, показатели MAE и $MAPE$ вычислены по формулам (1), (2). Как следует из приведенной таблицы, МП с показателями $MAE_3 = 0,4^\circ\text{C}$ и $MAPE_3 = 1,3\%$ дает существенно лучшие результаты, чем сеть РБФ (табл. 1). Этот вывод совпадает с результатами, полученными в работе [8] для других входных данных и сети с другим числом нейронов. Многослойный персептрон для примеров, исключающих нижнюю границу интервала, отделяющего выбросы, имеет показатели в 2,5 раза меньшие (табл. 1). Таким образом, исключение 4% точек из обучающего множества существенно улучшает прогноз.

Таблица 1

Сравнение статистических показателей для МП и сети РБФ

K	Нейросеть	N	$MAE, ^\circ\text{C}$	$MAPE, \%$
1	МП	188	1,0	3,2
2	РБФ	180	1,0	3,6
3	МП	180	0,4	1,3

Для МП (табл. 1, $K = 3$) получены наилучшие результаты и обеспечено вычисление ПТФ с абсолютной погрешностью, соответствующей стандартам измерения [10]. На рис. 2 приведены исходные значения ПТФ и прогнозируемые значения, рассчитанные ИНС. Для приведенного в работе диапазона температур расхождение менее $2,0^\circ\text{C}$, что соответствует стандарту по определению ПТФ [10].

Для МП осуществлен анализ чувствительности, при котором производилось вычисление важности каждого входного параметра ИНС на основе обучающих и проверочных примеров. В табл. 2 приведены данные, полученные с помощью МП, показывающие важность и нормализованную важность для каждого предиктора при расчете ПТФ.

Наиболее существенное влияние, как следует из табл. 2, оказали показатели объема перегонки до 360°C и температуры выкипания 95% объема. Информация представляет интерес при анализе производственных процессов и может служить основой для построения регрессионных моделей.

Заключение

Модель с применением ИНС способна обеспечить необходимую для промышленного применения точность, поскольку абсолютная погрешность вычисления ПТФ соответствует требованиям стандартов измерения.

Численные эксперименты показали, что уменьшение аберрации прогнозируемых значений базируется как на выборе оптимальных параметров модели, так и на статистическом анализе исходных данных. В задачах определения низкотемпературных свойств дизельных топлив МП дает лучшие результаты, чем сеть РБФ, и рекомендуется для применения. Исключение ряда примеров, принадлежащих одной из границ обучающего множества, существенно повышает точность прогноза.

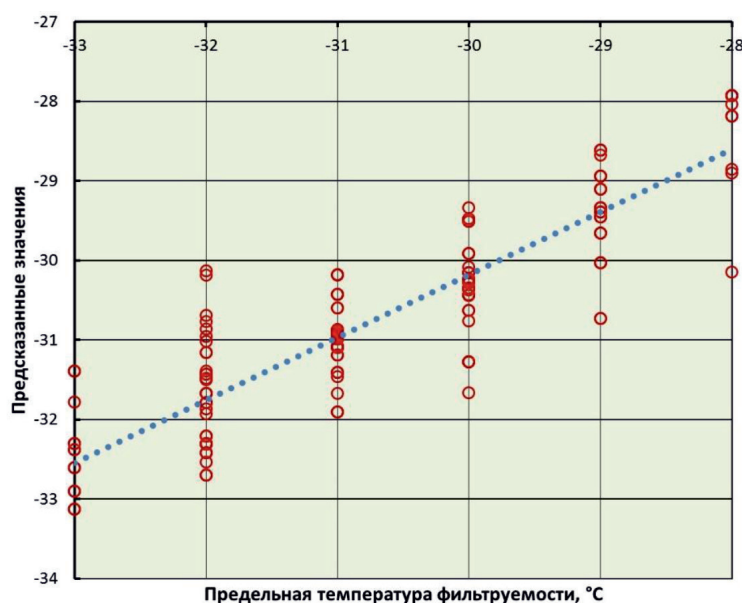


Рис. 2. Предсказанные и исходные значения предельной температуры фильтруемости зимнего дизельного топлива

Таблица 2

Важность независимых переменных

Показатели качества дизельного топлива	Важность	Нормализованная важность
Цетановое число	0,102	78,5%
Цетановый индекс	0,114	87,4%
Плотность при 15°C, кг/м ³	0,072	54,8%
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов (%)	0,098	74,9%
Массовая доля серы, мг/кг	0,113	86,2%
Темп вспышки	0,065	49,8%
Кинематическая вязкость при 40°C, мм ² /с	0,055	42,4%
Объем перегонки до 180°C	0,124	95,0%
Объем перегонки до 360°C	0,131	100,0%
Температура выкипания 95% объема	0,127	97,1%

Разработанные модели могут применяться в лабораториях и на заправочных станциях для быстрого вычисления и контроля предельной температуры фильтруемости дизельного топлива и на нефтеперерабатывающих заводах для непрерывного контроля качества, в системах календарного планирования и управления смешением топлив.

Список литературы

1. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа / Под ред. С.А. Ахметова. М.: Химия, 2005. 736 с.
2. Кувыкин В.И. Использование моделей бизнес-процессов НПЗ в системах планирования и учёта // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2013. № 7. С. 47–48.
3. Кувыкин В.И., Кувыкина Е.В., Петухов М.Ю. Анализ оптимальных решений в задачах нелинейного программирования // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4–5. С. 2285–2286.
4. Кувыкин В.И., Мелешкевич М.А., Наумова С.В. Системный подход к оптимизации управления смешением // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 10–2 (52). С. 133–136. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.075.

5. Weimin Li, Wenkai Li, Hui C.-W. Integrating neural network models for refinery planning. Computer Aided Chemical Engineering. 2003. V. 15. No. 12. P. 1304–1309. DOI: 10.1016/S1570-7946(03)80490-X.

6. Gao X., Shang C., Jiang Y., Huang D., Chen T. Refinery scheduling with varying crude: A deep belief network classification and multimodal approach. Aiche Journal. 2014. V. 60 (7). P. 2525–2532. DOI: 10.1002/aic.14455.

7. Wu C., Zhang J., Li W., Wang Y., Cao H. Artificial neural network model to predict cold filter plugging point of blended diesel fuels. Fuel Process. Technol. 2006. No. 87. P. 585–590.

8. Маринович С., Боланча Т., Юкич С., Рукавина В., Юкич А. Вычисление низкотемпературных характеристик дизельного топлива с помощью искусственных нейронных сетей // Химия и технология топлив и масел. 2012. № 1. С. 47–52.

9. Камешков А.В., Гайле А.А. Получение дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами // Изв. СПбГТИ(ТУ). 2015. № 29. С. 49–60.

10. ГОСТ 33755-2016. Топливо дизельное и мазут топочный. Определение предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

11. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. М.: Лаборатория знаний, 2016. 221 с.

12. ГОСТ 35511-2013. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

УДК 004.89:004.932:159.9

ПРИМЕНЕНИЕ VOW-СЛОВАРЕЙ НА БАЗЕ KAZE-ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИЧНОСТНЫХ ФАКТОРОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

¹Латышев А.В., ²Фраленко В.П.

¹ООО «РИТЕХ», Москва, e-mail: andrey.latyshev@gmail.com;

²ФГБУН Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук
(ИПС им. А.К. Айламазяна РАН), Вельково, e-mail: alarmod@pereslavl.ru

В статье в качестве инструментальных средств оценки личностных факторов «Большой пятерки» предлагается применять современные методы автоматической обработки изображений: извлекать из изображений в профилях пользователей социальной сети «ВКонтакте» Vow-словари на базе инвариантных к повороту, смещению и изменению освещения KAZE-дескрипторов с дальнейшей их обработкой на искусственных нейронных сетях с целью построения инструмента для прогнозирования личностных факторов пользователей. Для формирования обучающей и тестовой выборки была использована база данных изображений и анкет пользователей социальной сети, изготовленная при непосредственном участии Психологического института Российской академии образования, анкетирование осуществлялось по опроснику «NEO-FFI». Нейронные сети реализованы с помощью библиотеки «Microsoft Cognitive Toolkit» (CNTK). Исследованы различные архитектуры нейронных сетей, разнообразные активационные функции и оптимизаторы обучения. Проводится сравнение с методами прямой нейросетевой обработки изображений. Выделены личностные факторы, коррелирующие с размещаемыми изображениями. Предложенный метод оказался лучше в задаче прогнозирования личностных факторов, чем подход с двумя нейронными сетями (прямого распространения и сверточной), где первая сжимает данные, а вторая уже обучается на них.

Ключевые слова: личностные факторы, «Большая пятерка», социальная сеть, дескрипторы, изображения, анкетирование

APPLICATION OF BOW-DICTIONARIES ON THE BASIS OF KAZE-DESCRIPTORS FOR FORECASTING PERSONAL FACTORS OF SOCIAL NETWORKSUSERS

¹Latyshev A.V., ²Fralenko V.P.

¹Ritech, Moscow, e-mail: andrey.latyshev@gmail.com;

²Ailamazyan Program Systems Institute of Russian Academy of Sciences,
Veskovo, e-mail: alarmod@pereslavl.ru

The article proposes to apply modern methods of automatic image processing as a tool for assessing «Big Five» personal factors: offered extract BoW-dictionaries based on invariant to rotation, displacement, and changes in the lighting of KAZE-descriptors from the images in the profiles of users of the «VKontakte» social network with their processing on artificial neural networks in order to build a tool for predicting the personal factors of users. To form training and test samples we used a database of images and profiles of a social networkusers, made with the direct participation of the Psychological Institute of Russian Academy of Education, questioning was carried out according to the «NEO-FFI» questionnaire. Neural networks are implemented using the Microsoft Cognitive Toolkit (CNTK) library. Various neural network architectures, various activation functions, and learning optimizers have been investigated. A comparison is made with methods of direct neural network image processing. Identified personal factors that correlate with the posted images. The proposed method turned out to be better in the task of predicting personality factors than the approach with two neural networks (direct distribution and convolutional), where the first compresses the data, and the second is already trained on them.

Keywords: personality factors, Big Five, social network, descriptors, images, questioning

В «Большую пятерку» личностных факторов (черт) входят открытость к опыту, интеллект («Openness»); сознание, самосознание, добросовестность («Consciousness»); экстраверсия, энергичность поведения, склонность к контактам («Extraversion»); доброжелательность, приятность, способность прийти к согласию («Agreeableness»); нейротизм, эмоциональная неустойчивость, тревожность, низкое самоуважение («Neuroticism») – сокращенно OCEAN [1]. Настоящая работа продолжает исследование применимости нейросетей для прогнозирования личностных факторов [2, 3].

Предложен принципиально новый подход, предполагающий уход от оценки отдельных изображений к формированию специальных Vow-словарей (BagsOfWords) с дальнейшей нейросетевой обработкой соответствующих дескрипторов.

Методы на основе Vow-словарей весьма популярны в том числе для фильтрации нежелательного контента на веб-страницах. Например, работа [4] посвящена подходу к обнаружению порнографических изображений. В качестве шага предобработки предложен метод вычисления инвариантных к масштабу SIFT-дескрипторов. Далее

они используются в качестве входных данных BoW-алгоритма. В результате получается выборка с обучающими векторами очень большой размерности, для работы с которыми предложен алгоритм ARCX4 на основе мультиномиального наивного байесовского классификатора [5]. Полнота обнаружения нежелательного контента полученным классификатором составляет от 87,93 % до 91,75 % (в зависимости от размера обучающей выборки). В работе [6] представлена экспериментальная оценка классификации изображений с использованием BoW-дескрипторов и нейронных сетей. Все изображения масштабировались без искажений пропорций до одного и того же масштаба. F1-мера при работе с дескрипторами достигла 78 %. Наше же исследование опирается на новые инвариантные к повороту, смещению и изменениям освещения KAZE-дескрипторы [7].

Исследование посвящено созданию современных инструментальных средств анализа данных социальных сетей для проведения научных исследований в предметной области. Предлагается применять современные методы машинного обучения по графической информации пользователей и экспертной информации. Цель исследования состоит в упрощении и автоматизации работы психологов с существенными объемами данных социальных сетей, в том числе – в облегчении работы с сырыми (необработанными) данными. При этом инструментальные средства помогают в извлечении статистических данных и в их обработке на высокопроизводительной вычислительной технике с целью извлечения и приобретения новых знаний.

Материалы и методы исследования

Описание предложенного подхода

На этапе подготовки обучающей выборки отобраны альбомы пользователей социальной сети «ВКонтакте» с числом изображений от 5 штук. Всего были использованы данные 84 пользователей: 42 альбома для обучения и 42 для тестирования (база данных изображений и анкет пользователей социальной сети, прошедших специальное анкетирование по опроснику «NEO-FFI» и разрешивших использовать эти данные). База сформирована при участии Психологического института Российской академии образования с целью проведения корректного сравнительного анализа полученных результатов с результатами, описанными в работе [2], указанная работа посвящена применению сверточных искусственных нейронных сетей (ИНС) для оценки связи

изображений, размещаемых пользователями, с их личностными факторами.

Из альбомов последовательно считываются изображения до тех пор, пока не будет достигнут лимит по максимальному количеству обрабатываемых изображений пользователя (для сокращения времени обучения/тестирования). В экспериментах использовалось ограничение в 160 штук, что обеспечило порядка 100 изображений на одного пользователя социальной сети. Обрабатываемые изображения приводились к фиксированному масштабу, так, чтобы количество пикселей составляло около 300 тысяч, что приблизительно соответствует размеру 548x548 пикселей. Каждому профилю пользователя сопоставлен json-файл со сведениями об уровне факторов «Большой пятерки», сведения получены с помощью опросника «NEO-FFI» [8]. Низкий уровень: 0–20, средний: 21–32, высокий: 32–48.

Далее из каждого изображения пользователя с порогом чувствительности 0,005 (KAZE-Response) вычисляются KAZE-дескрипторы, каждый дескриптор представляет собой вектор с числами с плавающей точкой. Затем выполняется кластеризация KAZE-дескрипторов с использованием метода k-средних [9]. При этом на старте задается ожидаемое число кластеров на выходе алгоритма кластеризации. Для того чтобы отсеять KAZE-дескрипторы, наиболее далекие от выделенных кластеров, для каждого дескриптора обучающей выборки находится кластер, наиболее близкий к нему по расстоянию Евклида. Затем по всей обучающей выборке считается distVAG, среднее расстояние от дескрипторов до их кластеров-победителей. Полученное расстояние в дальнейшем используется для отсева тех дескрипторов, что далеки от кластеров (считаем их случайными выбросами).

Оставшиеся дескрипторы отдельных пользователей социальной сети используются для формирования усредненных векторов встречаемости KAZE-дескрипторов на изображениях, то есть для непосредственной подготовки так называемых мешков визуальных слов, или обобщающих BoW-дескрипторов пользователей (Bag-of-visual Words). Размер BoW-дескриптора определяется числом используемых кластеров. На первом шаге вычисления BoW-дескрипторов для отдельных пользователей предлагается в виде вектора записать количество выявленных KAZE-дескрипторов с расстоянием до ближайшего центра кластера $\leq \text{distVAG}$. На втором шаге для обеспечения относительной нечувствительности к разному количеству изображений в со-

ответствующих профилях пользователей осуществляется нормирование полученных векторов путем деления на количество изображений в данных профилях. На основе полученных данных фиксируется дополнительный вектор из максимальных нормированных значений, вектор используется на заключительном, третьем шаге для получения значений векторов VoW-дескрипторов в диапазоне от 0,15 до 0,85 или в диапазоне от -0,85 до 0,85 (для разных активационных функций на выходном слое ИНС). Например, для получения значений в указанном диапазоне все нормированные значения делятся на соответствующие им максимумы, далее полученные величины умножаются на 0,70, и к ним прибавляется 0,15. Данная предобработка необходима для нормализации работы искусственной нейронной сети, в том числе за счет ухода от нулей в VoW-дескрипторах обучающей выборки.

Обучение нейронных сетей

Далее происходит обучение искусственных нейронных сетей прямого распространения, реализация на основе библиотеки «Microsoft Cognitive Toolkit» (CNTK) версии 2.6 [10]. В экспериментах размер словаря варьировался от 64 до 16384 элементов, чтобы подобрать лучший вариант, обеспечивающий высокую точность про-

гнозирующих нейронных сетей. Изначально обучалось два варианта сетей, с одним и тремя слоями. Далее при обобщении полученных результатов был сформирован третий вариант. Выбор лучших конфигураций осуществлялся с помощью тестирования разных конфигураций ИНС, изменялось число нейронов в соответствующих слоях, был выполнен перебор по сетке разных сочетаний числа нейронов, активационных функций и иных настроек. Исследовалась работа активационных функций, поддерживаемых CNTK [11], дополнительно проверены вейвлет-функции PolyWog [12]. Список оптимизаторов обучения был ограничен набором тех, что поддерживается в CNTK [13].

Первый вариант архитектуры ИНС:

- входной слой, 125–1000 нейронов;
- dropout-слой с вероятностью срабатывания 0,01 [14];
- выходной слой 5 нейронами.

Наилучший результат показал вариант с 2048 элементами словаря и 250 нейронами входного слоя с ReLU-активационной функцией $f(x) = \max(0, x)$, для выходного слоя активационная функция не использовалась ($f(x) = x$), нейросеть обучалась с помощью Adam-оптимизатора [15] с коэффициентами L1- и L2-регуляризации 0,0001 и 0,01 соответственно (табл. 1, 2).

Таблица 1

Совместное прогнозирование пяти факторов, обучающая выборка
(первый вариант архитектуры)

	О	С	Е	А	Н
Средние значения СКВО по отдельным факторам «Big Five»	0,29	0,32	0,35	0,32	0,27
Усредненное значение СКВО по отдельным факторам	0,31	Среднее значение СКВО по отдельным пользователям		0,28	
Точность выделения наиболее четко выраженного фактора (от 0 до 1)	1,00	Точность выделения наименее четко выраженного фактора (от 0 до 1)		1,00	

Таблица 2

Совместное прогнозирование пяти факторов, тестовая выборка
(первый вариант архитектуры)

	О	С	Е	А	Н
Средние значения СКВО по отдельным факторам «Big Five»	12,54	14,36	12,40	11,65	15,99
Усредненное значение СКВО по отдельным факторам	13,39	Среднее значение СКВО по отдельным пользователям		12,43	
Точность выделения наиболее четко выраженного фактора (от 0 до 1)	0,24	Точность выделения наименее четко выраженного фактора (от 0 до 1)		0,29	

Второй вариант архитектуры ИНС:
 – входной слой, 64–1000 нейронов;
 – dropout-слой с вероятностью срабатывания 0,01;
 – скрытый слой, 50–800 нейронов;
 – dropout-слой с вероятностью срабатывания 0,01;
 – скрытый слой, 35–600 нейронов;
 – dropout-слой с вероятностью срабатывания 0,01;
 – выходной слой с 5 нейронами.

Наилучший результат показал вариант с 1536 элементами словаря, нейронная сеть в своих слоях содержала 250, 200 и 150 нейронов с ReLU-активационной функцией, использовался Adam-оптимизатор с коэффициентами L1- и L2-регуляризации 0,0001 и 0,01 соответственно, выходной слой также без активационной функции (табл. 3, 4).

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что добавление дополнительных слоев в ИНС улучшило показатель СКВО на тестовой выборке (с 12,43–13,39 до 11,40–12,34). При этом точность выделения факторов колеблется незначительно. Оптимальное число нейронов в первом слое обеих сетей – 250 штук. В связи с этим было принято решение увеличить число слоев, сохранив архитектурные особенности ИНС и иные условия эксперимента. Для третьей ИНС взято 400,

350, 300, 250, 200 и 150 нейронов в слоях (вперемежку с dropout-слоями), использовалось 1536 элементов словаря. Число слоев подобрано экспериментально. Результаты тестирования показаны в табл. 5, 6.

Результаты исследования и их обсуждение

Для сравнения полученных результатов с предыдущими достижениями обратимся к работе [2]. В первом эксперименте там была исследована возможность использования сверточных нейронных сетей в качестве аппарата для оценки взаимосвязи изображений, размещаемых пользователями, с их личностными чертами. При этом никаких вспомогательных инструментов не использовалось, нейронная сеть выполняла прогноз личностных факторов за счет собственной архитектуры. Во втором эксперименте проверялось использование предварительно обученных сверточных нейросетей для получения признаков высокого уровня с дальнейшим их использованием для обучения второй нейронной сети прогнозу личностных факторов. При обработке пользовательских профилей вектор прогнозируемых личностных черт получался усреднением отдельных нейросетевых прогнозов по всем изображениям, размещенным в соответствующих профилях.

Таблица 3

Совместное прогнозирование пяти факторов, обучающая выборка
(второй вариант архитектуры)

	О	С	Е	А	Н
Средние значения СКВО по отдельным факторам «Big Five»	0,62	0,56	0,56	0,69	0,51
Усредненное значение СКВО по отдельным факторам	0,59	Среднее значение СКВО по отдельным пользователям		0,52	
Точность выделения наиболее четко выраженного фактора (от 0 до 1)	0,98	Точность выделения наименее четко выраженного фактора (от 0 до 1)		1,00	

Таблица 4

Совместное прогнозирование пяти факторов, тестовая выборка
(второй вариант архитектуры)

	О	С	Е	А	Н
Средние значения СКВО по отдельным факторам «Big Five»	10,89	13,73	11,11	10,87	15,11
Усредненное значение СКВО по отдельным факторам	12,34	Среднее значение СКВО по отдельным пользователям		11,40	
Точность выделения наиболее четко выраженного фактора (от 0 до 1)	0,21	Точность выделения наименее четко выраженного фактора (от 0 до 1)		0,31	

Таблица 5

Совместное прогнозирование пяти факторов, обучающая выборка
(третий вариант архитектуры)

	О	С	Е	А	Н
Средние значения СКВО по отдельным факторам «Big Five»	1,00	0,77	0,83	0,98	0,68
Усредненное значение СКВО по отдельным факторам	0,85	Среднее значение СКВО по отдельным пользователям		0,75	
Точность выделения наиболее четко выраженного фактора (от 0 до 1)	0,98	Точность выделения наименее четко выраженного фактора (от 0 до 1)		0,95	

Таблица 6

Совместное прогнозирование пяти факторов, тестовая выборка
(третий вариант архитектуры)

	О	С	Е	А	Н
Средние значения СКВО по отдельным факторам «Big Five»	8,74	12,64	8,97	9,92	13,85
Усредненное значение СКВО по отдельным факторам	10,82	Среднее значение СКВО по отдельным пользователям		9,98	
Точность выделения наиболее четко выраженного фактора (от 0 до 1)	0,21	Точность выделения наименее четко выраженного фактора (от 0 до 1)		0,38	

В указанном исследовании на тестовой выборке точность выделения наиболее четко выраженного фактора составила 0,19–0,21, что фактически есть случайный выбор, при использовании BoW-словарей и дескрипторов достигнута точность 0,21. Однако точность выделения наименее четко выраженного фактора в предыдущей работе составила 0,33–0,45, тут достигнута точность 0,38. Новый метод оказался лучше в задаче прогнозирования личностных факторов, чем подход с двумя нейронными сетями (сверточной и прямого распространения), где первая сжимает данные, а вторая уже обучается на них, однако он уступает сверточной нейронной сети, прогнозирующей личностные факторы своим выходным слоем нейронов.

Заключение

Очевидно, что в этой области добиться хороших результатов проблематично ввиду нечеткости и неоднозначности экспертных оценок личностных факторов. Предложенный метод сжатия информации на основе BoW-словарей сохраняет больше информации, пригодной для обучения ИНС прямого распространения, чем специализированная сверточная ИНС, при этом наблюдается

рост СКВО по отдельным факторам и отдельным пользователям.

Новые результаты, полученные в настоящей работе, показывают, что прогнозирование личностных факторов по BoW-дескрипторам уступает прогнозированию с прямой обработкой изображений с помощью нейронных сетей в части выбора наиболее и наименее выраженных факторов. Получено отличное запоминание обучающей выборки, результаты работы с тестовой выборкой могут быть улучшены путем существенного расширения обучающей выборки. На тестовых выборках хорошо прогнозируются факторы «Openness» и «Agreeableness», что подтверждает полученные ранее выводы о связи изображений, размещаемых пользователями социальной сети, с этими личностными факторами. Хуже всего прогнозируется «Neuroticism».

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-29-22003-мк «Разработка методов нейросетевого анализа визуального интернет-контента пользователей социальных сетей с целью автоматизированного определения выраженности личностных черт, связанных с психологическим неблагополучием»).

Список литературы

1. Tupes E.C., Christal R.E. Recurrent personality factors based on trait ratings. *Journal of Personality*. 1992. vol. 60. no. 2. P. 225–251. DOI: 10.1111/j.1467-6494.1992.tb00973.x.
2. Кисельникова Н.В., Куминская Е.А., Латышев А.В., Фраленко В.П., Хачумов М.В. Инструментальные средства анализа депрессивного состояния и личностных черт человека // Программные системы: теория и приложения. 2019. № 3. С. 129–159. DOI: 10.25209/2079-3316-2019-10-3-129-159.
3. Fralenko V., Khachumov V., Khachumov M. Correlation analysis and prediction of personality traits using graphic data collections. *SHS Web of Conferences*. 2019. vol. 72. Proceeding of the International Scientific Conference «Achievements and Perspectives of Philosophical Studies» (APPSCONF-2019). DOI: 10.1051/shsconf/20197201012. [Электронный ресурс]. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/13/shsconf_appsconf2019_01012.pdf (дата обращения: 05.03.2020).
4. Do T.-N. Detection of pornographic images using Bag-Of-Visual-Words and ARX4 of random multinomial naive bayes. *Journal of Science and Technology*. 2011. vol. 49. no. 5. P. 13–24.
5. Deselaers T., Pimenidis L., Ney H. Bag-of-visual-words models for adult image classification and filtering. *Proceeding of the 19th International Conference on Pattern Recognition*. 2008. P. 1–4.
6. Fralenko V.P., Suvorov R.E., Tikhomirov I.A. Automatic Image Classification for Web Content Filtering: New Dataset Evaluation. *Recent Developments and the New Direction in Soft-Computing Foundations and Applications (Selected Papers from the 6th World Conference on Soft Computing, May 22–25, 2016, Berkeley, USA)*. 2018. P. 351–360.
7. Alcantarilla P.F., Bartoli A., Davison A.J. KAZE Features. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)* (October 2012, Firenze, Italy). 14 p. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.robots.ox.ac.uk/papers/alcantarilla/papers/Alcantarilla12eccv.pdf> (дата обращения: 05.03.2020).
8. Costa P.T., McCrae R.R. Normal personality assessment in clinical practice: The NEO personality inventory. *Psychological assessment*. 1992. vol. 4. no. 1. P. 5–13. DOI: 10.1037/1040-3590.4.1.5.
9. Celebi M.E., Kingravi H.A., Vela P.A. A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm. 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1209.1960> (дата обращения: 05.03.2020).
10. Microsoft Cognitive Toolkit. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/cognitive-toolkit/> (дата обращения: 05.03.2020).
11. Cntk.ops package – Python API for CNTK 2.6 documentation. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://cntk.ai/pythondocs/cntk.ops.html> (дата обращения: 05.03.2020).
12. Ван Лянпэн. Программные средства с использованием методов и алгоритмов кратномасштабного вейвлет анализа для обработки и поиска изображений: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2019. 138 с.
13. Cntk.learners package – Python API for CNTK 2.6 documentation. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://cntk.ai/pythondocs/cntk.learners.html> (дата обращения: 05.03.2020).
14. Srivastava N., Hinton G., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R. Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*. 2014. vol. 15. P. 1929–1958.
15. Kingma D.P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization. *Proceedings of International Conference on Learning Representations (ICLR)*. 2015. 13 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1412.6980.pdf> (дата обращения: 05.03.2020).

УДК 004

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА НАГРУЗКИ КРИТИЧЕСКОГО РЕЖИМА

¹Певнева А.Г., ²Марьевский В.А., ¹Ананченко И.В., ¹Войтюк Т.Е.

¹Университет ИТМО, Санкт-Петербург,

e-mail: pevneva@inbox.ru, anantchenko@yandex.ru, taire2006@ya.ru;

²ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,
Санкт-Петербург, e-mail: marevskij@bk.ru

Представленная в настоящей статье проблематика является результатом обобщения опыта тестирования производительности распределенной системы и осмысления этого опыта в теоретическом аспекте. В статье предложены некоторые правила проектирования программного инструментария для проверки комплексной надежности информационной системы, которые полагаются основными. Сформулированы принципы программного конструирования испытательного стенда для оценки производительности и особенности использования инструментов нагрузочного тестирования в ситуациях появления системных и программных ошибок. Даются краткое описание моделей сценариев нагрузочного тестирования, математическое описание процесса тестирования работы информационной системы под критической нагрузкой в терминологии системного анализа и ссылки на обоснование моделей аппаратом теории случайных процессов и систем массового обслуживания. Приведена классификация информационных систем по критерию реакции на повышение нагрузки. Даны развернутое описание ошибок, которые диагностируются в ходе тестирования нагрузки, и классификация этих ошибок по различным критериям. Отмечено, что перспективным представляется использование линейной темпоральной логики с часами (Temporal Logic with Clock, TLC). Применение инструментов нагрузочного тестирования, обладающих способностью одновременного запуска различных по составу последовательных тестов, позволяет гибко моделировать характерные ситуации, выделяя проблемные места. Высказываются предположения о методологическом подходе к формализации и моделированию процесса тестирования производительности в рамках логического моделирования с использованием специфических модальных алгоритмических логик.

Ключевые слова: нагрузочное тестирование, системный анализ, критическая нагрузка, инструменты стресс-тестирования, разработка тестовых сценариев

MAIN DESIGNING ASPECTS OF THE CALCULATE LOADS SYSTEM IN CRITICAL MODE

¹Pevneva A.G., ²Marevskiy V.A., ¹Ananchenko I.V., ¹Voytyuk T.E.

¹ITMO University, Saint-Petersburg,

e-mail: pevneva@inbox.ru, anantchenko@yandex.ru, taire2006@yandex.ru;

²Federal state budget military educational institution of higher professional education
«Military space Academy named after A.F. Mozhaysky» of the Ministry of defence
of the Russian Federation, St. Petersburg, e-mail marevskij@bk.ru

The present article shows issue which is a result of summarizing the experience of testing the performance of adistributed system and comprehending this experience in a theoretical aspect. The article proposes some designing rules of software tools for testing the comprehensive reliability of an information system, as main problem. Article defines principles of programmatic design of the testing stand for evaluating performance. It presents features of using stress testing tools in contest of system and program errors. Article has a brief description of the model's scenarios of stress testing, the mathematical description of the testing process of the information system under critical load by using terminology of system analyses and links for theory of random processes and theory of Queuing systems which are substantiate the model. The information systems classification is given by the criterion of response to increased load. A detailed description of the errors is given that are diagnosed during load testing and the classification of these errors according to various criteria. Assumptions are made about a methodological approach to formalizing and modelling the performance testing process in the framework of logical modelling by using specific modal algorithmic logics.

Keywords: load testing, system analysis, critical load, stress testing tools, development of test scenarios

Поведение информационной системы (ИС) в условиях повышения нагрузки характеризует ее отказоустойчивость и является одной из составляющих комплексной надежности информационной системы [1]. Организация работ по оценке производительности в условиях реальной эксплуатации ИС – это сложный процесс, так как создание разноуровневой нагрузки требует жесткой регламентации поведения большого числа пользователей. В этих усло-

виях возможны информационные потери и нарушение целостности информации [2]. Чтобы оценить поведение системы в критических условиях, можно воспользоваться математическими моделями для их расчета. Методология этих моделей имеет в основе теорию массового обслуживания [3]. Но известны случаи серьезного, до 20%, несовпадения таких расчетов с фактическими [2, 4]. По-видимому, это связано с динамически изменяющейся неоднородностью

всей системы в контексте исследования предельной производительности: критичные элементы программно-аппаратной платформы всегда имеются, но их вклад в комплексную надежность изменяется в зависимости от условий эксплуатации системы. Выявление таких элементов в структуре ИС – это сложное направление [1, 5]. Поэтому и с теоретической, и с практической точки зрения представленная работа является весьма актуальной. Для получения экспериментальных данных о нагрузке может использоваться испытательный стенд. Описание общей структуры такого стенда является целью данной статьи.

Описание процесса нагрузочного тестирования в аспекте системного анализа

Так как в реальных условиях эксплуатации заранее не известен объем нагрузки в каждый момент, для формального описания традиционно используют математический аппарат случайных процессов, с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Пусть p_i – вероятности событий, состоящих в том, что система находится в состоянии S_i (рисунок): S_0 – все линии обслуживания свободны, S_1 – одна линия занята обработкой запроса, ... S_n – все порты заняты обслуживанием запросов, но в очереди количество запросов пренебрежимо мало, вероятность этого события p_n ; S_{n+1} – все порты заняты, в буфере один запрос; ... S_{n+m} – все порты заняты, буфер переполнен, т.е. регистрируемое событие – «отказ в обслуживании».

Переход из состояния S_i в S_{i+1} происходит с увеличением количества запросов к определенным портам, интенсивность этого потока λ_{ji} , обратный переход происходит в результате обработки запроса, интенсивности потока обслуживания μ_{ji} . Вероятность $p_i(t)$ того, что система будет находиться в состоянии S_i в момент времени t (вместе с начальными условиями $p_i(0)$), определяется системой дифференциальных уравнений А.М. Колмогорова. Методы решения этой системы известны для марковских процессов с известными характеристиками входных потоков и потоков обслуживания [6].

Далее приведем основные составляющие комплексной производительности [7]:

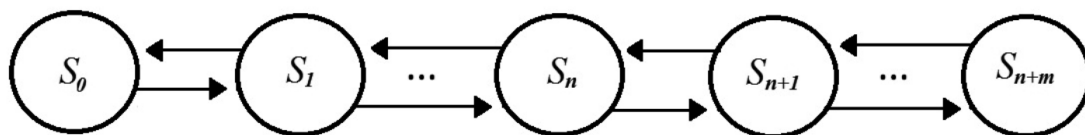
- количество операций, выполняемых в системе в единицу времени (пропускная способность);
- количество операций, выполняемых одновременно (параллелизм);
- время выполнения операции (время отклика/задержка);
- объем резервной мощности, необходимый системе для обеспечения роста нагрузки (запас ресурсов);
- количество исключений, генерированных в системе при повышенной нагрузке (частота ошибок).

Модельное соответствие этих величин приведенному выше случайному процессу вполне очевидно. Например, под линией обслуживания подразумеваются открытые порты, интенсивность потока обслуживания μ_{ji} – это и есть пропускная способность, однако первая сложность на пути реализации теоретических расчетов – большое число состояний современной ИС, следовательно, большая (до 10^6) размерность задачи.

Кроме этого, модели существенно усложняются в случаях, когда режим работы системы не является стационарным и теряет марковские свойства. Причем при падении интенсивности событий входного потока этим вполне допустимо пренебрегают [8], но при возрастании интенсивности отсутствие марковских свойств процесса серьезно усложняет расчеты, так как для конкретной ИС необходимо выбирать конкретный способ конструирования, упрощения и разрешения математической модели. Улучшение ситуации возможно, если теоретические выкладки проводить совместно с программным проектированием ИС и учитывать их в программных сценариях тестирования.

Наконец, следует указать, что само понятие состояния системы для каждой конкретной ИС является комплексным и события перехода из одного состояния в другое могут не образовывать полную группу событий.

Указанные рассуждения объясняют частые несовпадения расчетных значений с фактическими показателями производительности ИС.



Граф состояний системы обслуживания

*Тестирование нагрузки
в аспекте проверки надежности*

Реакцию ИС системы на повышение нагрузки до критических значений можно классифицировать следующим образом:

– идеальные ИС, где при плавном повышении нагрузки во времени производительность падает до некоторого значения, но в дальнейшем ее можно считать постоянной независимо от увеличения нагрузки;

– устойчивые ИС, где плавному повышению нагрузки после критического уровня соответствует такой же плавный спад производительности;

– неустойчивые ИС, где при незначительном превышении максимальной нагрузки имеет место резкое падение производительности.

Для получения экспериментальных данных, характеризующих поведение ИС, используется тестирование под нагрузкой с применением специального программного инструментария, разработанного с учетом условий эксплуатации. Нагрузочное тестирование – комплексная методика применения тестовых сценариев, которые имитируют возрастание нагрузки на ИС в различных режимах.

Интуитивно ясно, что объем нагрузки связан с количеством запросов различных типов. Известные инструменты стресс-тестирования сети, например утилита *slowhttptest*, используют следующие параметры: общее количество соединений, i – время ожидания данных, r – количество запросов указанного типа (например, GET запросы), x – размер запроса в байтах, p – время ожидания ответа на запрос.

В ходе нагрузочного тестирования ИС основную роль играет модель взаимосвязи обработки информации. Она является последовательной или конвейерной, так что входные данные на каждом технологическом этапе обработки запроса зависят от выходных данных предыдущего. Чтобы модель была адекватной, разработанные инструменты тестирования должны учитывать взаимозависимость рабочих циклов, преобразуя их в соответствующие этапы выполнения тестовых сценариев. При этом необходимо учесть асинхронную передачу данных в циклах исполнения сценариев.

*Особенности использования инструментов
нагрузочного тестирования*

В зависимости от цели нагрузочное тестирование проводится в следующих направлениях:

– моделирование DOS-атак как моделирование преднамеренных действий со стороны злоумышленника;

– исследование деятельности ИС под повышенной нагрузкой;

– определение предельной величины нагрузки на ИС в конкретном окружении.

Моделирование DOS-атак в этом случае следует понимать как моделирование действий злоумышленника, в распоряжении которого имеются далеко не все ресурсы системы, а только сравнительно небольшая часть каналов для отправки запросов. Благодаря принципу масштабируемости можно организовать массивную тестовую атаку несколькими тысячами запросов в короткий промежуток времени с одной или нескольких нагрузочных станций. Заметим, что уязвимыми к подобным атакам бывают приложения распределенных вычислений, так как в процессе работы каждое соединение ассоциируется с конкретным системным портом, процессом или областью памяти.

Исполнение DOS-атак параллельно с эмуляцией пользовательского поведения в штатном режиме проводится с целью оценки влияния дестабилизирующих воздействий на ход процесса обработки запросов.

Чтобы определить предельную величину нагрузки на ИС в конкретном окружении, для одного и того же тестового сценария выполняется серия испытаний с увеличением нагрузки, т.е. увеличение запросов на обработку к каждой службе. Значение времени ожидания ответа фиксируется в каждом испытании. Нагрузка, при которой время ожидания становится больше некоторого конкретного значения, подобранного специально для данной системы в данном окружении, определяется как критическая.

*Принципы конструирования
испытательного стенда для оценки
производительности*

Испытательный стенд предназначен для имитации взаимодействия «клиент – сервер» при работе приложения в режиме одновременной работы пользователей, число которых меняется на несколько порядков в разных сеансах тестирования.

При разработке такого стенда придерживаются следующих принципов.

1. Принцип масштабирования нагрузки при параллельном запуске тестовых сценариев. Число эмулируемых пользователей на виртуальных рабочих станциях должно в пределах отличаться как минимум на три порядка от нормальной средней нагрузки в ходе проведения эксперимента.

2. Принцип централизованной обработки и управления. В состав инструментария должны входить центральная рабочая стан-

ция, которая реализует функции управления экспериментом, средства журналирования эксперимента, статистическая обработка результатов.

3. Принцип адаптивных моделей. Тестовые сценарии для эмуляции пользовательских транзакций должны соответствовать реальным условиям эксплуатации.

4. Принцип независимости (асинхронность исполнения). Любая тестовая транзакция с различными условиями имеет свой план исполнения и количество имитируемых пользователей.

5. Принцип структурированного хранения результатов тестирования. Условия любого эксперимента, в том числе и нагрузочного, должны обеспечивать возможность его повторения. При этом система хранения результатов должна предусматривать удобные инструменты сравнительного анализа. Оптимальным представляется использование реляционных систем управления базами данных для хранения конфигураций и результатов [9].

6. Принцип мониторинга состояния операционной системы. Анализ системной статистики и статистики испытуемой системы выявляет несбалансированность процессов в ИС. Такой анализ, очевидно, проводится на единой временной оси.

Структура стенда, спроектированно по таким принципам, должна включать, кроме самого объекта испытания, рабочую станцию, откуда специалист осуществляет управление процессом тестирования, программное обеспечение статистического анализа результатов тестирования. Отдельно расположены станции, содержащие программные средства эмуляции поведения множества пользователей. Кроме того, в зависимости от аппаратной и программной реализации могут потребоваться дополнительные станции мониторинга системных процессов и процессов обработки запросов в ИС в реальном времени, а также отдельно реализованные генераторы тестов для постоянного обеспечения станций эмуляции нагрузки [1].

Классификация проявляющихся ошибок

Основная цель тестирования – обнаружение ошибок. В источнике [1] ошибки, наиболее часто выявляемые в условиях высокоинтенсивной нагрузки, приведены списком, без классификации. Но, с точки зрения авторов, для проектирования реестра, содержащего данные о проведении нагрузочного тестирования, подобная классификация необходима. При системном подходе все ошибки, влияющие на производительность, можно разделить на три груп-

пы: ошибки управления ресурсами, ошибки управления временем, ошибки потери связи между аппаратным и программным обеспечением, которое задействует ИС. Все они возникают вследствие неэффективности алгоритмов диспетчеризации, а также сегментации памяти или иных необратимых процессов. Ошибочные алгоритмы, работающие против общей поставленной задачи перед ПО, накапливая ошибочное значение в каком-либо определенном параметре, занимают лишнее место в памяти.

К ошибкам управления ресурсами отнесем прежде всего утечки памяти (утечки ресурсов). Процесс неконтролируемого уменьшения объема свободной оперативной или виртуальной памяти компьютера, связанный с ошибками в работающих программах, вовремя не освобождающих ненужные участки памяти, или с ошибками системных служб контроля памяти, связан с нагружением памяти, при этом другая информация не имеет возможности поместиться в нее. Это влечет отказы в выделении ресурсов памяти, сетевых соединений, портов. При этом скрипт обходит по очереди каждый узел и выполняет на нем определенные действия. Проблема в том, что, как только скрипт доходит до «лежачего» узла (а они есть практически всегда), его выполнение прерывается. Отказы в выделении ресурсов влекут за собой взаимные блокировки (deadlocks) на таблицах баз данных. При этом процесс 1 блокирует ресурс А, процесс 2 блокирует ресурс Б, процесс 1 пытается получить доступ к ресурсу Б, процесс 2 пытается получить доступ к ресурсу А. В итоге один из процессов должен быть прерван, чтобы другой мог продолжить выполнение.

К ошибкам управления временем отнесем ошибки синхронизации. Если синхронизация работает правильно, число элементов в поле «Содержимое» папки на сервере и в поле «Содержимое» автономной папки совпадает. Если синхронизация не работает или проверки папки сервера и автономной папки не осуществляются, необходимо проверить параметры сверки данных. Ошибки обработки тайм-аутов применяются в основном для реализации таймеров и тайм-аутов, где используются функции, возвращающие текущее время, когда время может быть изменено администратором или злоумышленником. Ошибки управления временем влекут несбалансированность процессов обработки между собой, т.е. перегрузки одних процессов на фоне недогруженности других.

Ошибки двух этих категорий выявляют узкие проблемные места в системе – ресурсы, использование которых имеет наибольш-

шее значение. Балансирование системы/ процессов между собой обеспечивает выравнивание загрузок компонентов системы, в результате чего устраняется узкое место и все узлы начинают действовать как ресурсы с одинаковой эффективностью использования.

Заключение

По результатам проведенных обобщений эмпирических наблюдений за тестированием производительности ИС можно сделать вывод о необходимости корректировки расчетных моделей нагрузки в процессе проектирования информационных систем. Обобщение сведений по результатам такого моделирования помогло бы в будущем выявить зависимости между параметрами составляющих системы. Разработка тестовых сценариев должна также проводиться на этапе проектирования компонентов ИС.

Проектирование информационной системы, возможно, требует не только традиционного инфологического и графического подхода, но и формализаций с использованием аппарата алгебры множеств и модальных логик. Перспективным представляется использование линейной темпоральной логики с часами (Temporal Logic with Clock, TLC). Изначально эта логическая система относится к модальным темпоральным логикам с множественной грануляцией времени. Данная логическая система может использоваться для доказательства корректной работы (верификации и валидации) систем, реагирующих на сторонние запросы. Грануляция, т.е. классификация временных отрезков для каждой предикатной формулы, позволяет выводить в данной логике утверждения, однозначно определяющие синхронизацию процессов, а возрастание нагрузки до критической привело бы к ло-

гическому противоречию. Вывод формул, как прямой, так и обратный, в этой логической системе может также использоваться при проектировании тестовых сценариев. Практико-ориентированные разработки в этом направлении представляются достаточно перспективными.

Список литературы

1. Нагрузочное тестирование как элемент формирования безопасных систем [Электронный ресурс]. URL: <http://docplayer.ru/80673204-Nagruzochnoe-testirovanie-kak-element-formirovaniya-bezopasnyh-sistem.html> (дата обращения: 15.03.2020).
2. Котов А.С., Котов С.Л., Гибин Ю.В. Средства обеспечения надежности функционирования информационных систем // Программные продукты и системы. 2002. № 2. URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=705> (дата обращения: 15.03.2020).
3. Рыжиков Ю.И. Численные методы теории очередей. 1-е изд., стер. СПб.: Издательство «Лань», 2019. 512 с.
4. Masashi Narumoto. Анализ ключевых показателей производительности [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/271547> (дата обращения: 15.03.2020).
5. Гончаренко В.А. Метод оценивания нагрузоустойчивости критических информационных систем в условиях неопределенности на основе технологии нагрузочного зондирования // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenivaniya-nagruzoustoychivosti-kriticheskikh-informatsionnyh-sistem-v-usloviyah-neopredelennosti-na-osnove-tehnologii> (дата обращения: 15.03.2020).
6. Рыжиков Ю.И. Алгоритмический подход к задачам массового обслуживания: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 496 с.
7. Стресс-тестирование: комплексная производительность [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/271547/> (дата обращения: 15.03.2020).
8. Щеглов А.Ю., Щеглов К.А. Математические модели и методы формального проектирования систем защиты информационных систем: учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 93 с.
9. Голиков О.И., Панкратов И.А. Исследование способов повышения эффективности обработки данных в реляционных БД на примере СУБД MySQL // Вестник ВУиТ. 2016. № 2. С. 124–130.

УДК 517.91:519.6

КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ромм Я.Е.

Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)», Таганрог,
e-mail: romm@list.ru

Необходимые и достаточные условия устойчивости по Ляпунову сформулированы с учетом асимптотического поведения отношения возмущения решения к варьируемому возмущению начальных значений в ограничениях общего вида. Вытекающие отсюда признаки устойчивости адаптированы к специфике нелинейных, автономных и линейных систем. Признаки ориентированы на компьютерную реализацию, но могут применяться для аналитического исследования. В случае автономных систем правые части трактуются как аналоги функций Ляпунова, что приводит к критериям, использующим сопоставление знаков компонентов решения, его первой и второй производных на полуоси. В случае линейных однородных систем с постоянной матрицей коэффициентов те же критерии достаточно применять лишь к одному решению с произвольно выбранными ненулевыми компонентами начального вектора. Критерии доказаны аналитически, иллюстрированы примерами, практически апробированы с помощью численных экспериментов. Эксперименты с программным формированием признаков устойчивости выполнены для систем различных классов. Приведены коды программ, на основе которых выполнялись эксперименты, анализируется соответствие практических результатов и теоретических оценок устойчивости. Численное моделирование использует комплекс предложенных критериев, выполняется по ходу решения системы, процесс моделирования применим для мониторинга устойчивости автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: критерии устойчивости по Ляпунову, аналоги функций Ляпунова, компьютерная реализация анализа устойчивости, численное моделирование устойчивости, системы обыкновенных дифференциальных уравнений

COMPUTER-ORIENTED STABILITY ANALYSIS OF SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL SYSTEMS

Romm Ya.E.

A.P. Chekhov Taganrog Institute (branch) of Rostov State University of Economics,
Taganrog, e-mail: romm@list.ru

The necessary and sufficient Lyapunov stability conditions are formulated taking into account the asymptotic behavior of the ratio of the solution perturbation to the varied perturbation of the initial values in general constraints. The resulting signs of stability are adapted to the specifics of nonlinear, autonomous and linear systems. The signs are computer-oriented, but can be used for analytical research. In the case of autonomous systems, the right-hand sides are treated as analogues of Lyapunov functions, which leads to criteria using a comparison of the signs of the solution components, its first and second derivatives on the semi-axis. In the case of linear homogeneous systems with a constant matrix of coefficients, the same criteria can be applied to only one solution with arbitrarily selected nonzero components of the initial vector. The criteria are proved analytically, illustrated by examples, practically tested using numerical experiments. Experiments with the software formation of stability signs were performed for systems of various classes. The codes of the programs on the basis of which the experiments were carried out are given, the correspondence of practical results and theoretical stability estimates is analyzed. Numerical modeling uses a set of proposed criteria, is performed in the course of solving the system, the modeling process is applicable for monitoring the stability of automated control systems.

Keywords: Lyapunov stability criteria, analogues of Lyapunov functions, computer implementation of stability analysis, numerical simulation of stability, systems of ordinary differential equations

Анализ устойчивости решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) опирается на методы качественной теории [1, 2] и теории автоматического управления [3]. Компьютеризация системных исследований приводит к вопросу о применении в этой области средств вычислительной техники. Подход к анализу устойчивости на основе численного моделирования был предложен в [4, 5], исследование продолжено, его современное состояние отражено в [6, 7]. Известные методы, если они не относятся к специальным видам ОДУ, используют различные способы вычисления функций Ляпунова [8, 9]. В излагаемой

ниже работе подход опирается на разностное (в общем случае приближенное) решение системы, с выполнением которого совмещается численное моделирование устойчивости. Предварительные результаты приведены для линейных и нелинейных ОДУ в [10, 11]. В некоторых разновидностях предлагаемые методы дают возможность аналитического применения, в целом трактуются как компьютерно-ориентированные. Их построение опирается на рекуррентные и аддитивные преобразования разностных методов, для анализа устойчивости используются также функции правой части ОДУ и аналитическое выражение производных этих функ-

ций. Цель работы – представить целостные способы анализа устойчивости, ориентированные на компьютерную реализацию, изложить обоснование и указать ограничения. Требуется показать их применимость в различных условиях для нелинейных, автономных и линейных систем, привести примеры и результаты численных экспериментов. Изагаемые признаки могут входить частью в основу сравнительно доступных средств анализа для автоматизированного контроля устойчивости.

В работе ставится цель построить компьютерно-ориентированный метод анализа устойчивости в смысле Ляпунова решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, который имеет следующие отличия от известных аналогов.

1. Метод инвариантен относительно класса дифференциальных уравнений, применим к нелинейным, автономным и линейным системам, при этом позволяет учитывать специфику системы.

2. Предложенный подход не использует построение функций Ляпунова, не опирается на первый и второй методы Ляпунова.

3. Метод включает алгоритмизацию, сравнительно простую программную реализацию и может использоваться для численного моделирования по ходу решения системы.

4. Отличия дают преимущество относительно известных способов компьютерного анализа устойчивости, позволяющее достигать инвариантности достоверной оценки устойчивости в условиях сходимости метода приближенного решения системы.

Цель работы включает математическое обоснование предложенных критериев, выполнение их алгоритмизации. Кроме того, требуется представить развернутый численный эксперимент, иллюстрирующий практическую реализуемость комплекса предложенных средств компьютерного анализа устойчивости.

Исходные соотношения. Рассматривается задача Коши для системы

$$Y' = F(t, Y), Y(t_0) = Y_0, \quad (1)$$

где

$$F(t, Y) = (f_1(t, Y), f_2(t, Y), \dots, f_n(t, Y)),$$

$$Y = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)), Y_0 = (y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0n}).$$

Предполагается, что существует $\delta_0 > 0$, такое, что на полупрямой $[t_0, \infty)$ выполнены все условия существования и единственности для невозмущенного решения и для каждого его возмущения $Y = \tilde{Y}(t)$, $Y(t_0) = \tilde{Y}_0$, с начальным вектором в границах $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \delta_0$. Применяются канонические согласованные нормы матрицы и вектора. По умолчанию $\|\tilde{Y}(t)\| = \max_{1 \leq k \leq n} |\tilde{y}_k(t)|$, в численных экспериментах используется евклидова норма. Предполагается, что в области $R_0 : \{t_0 \leq t < \infty; \forall Y(t), \tilde{Y}(t) : \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \delta_0\}$ функция $F(t, Y)$ определена, непрерывна и непрерывно дифференцируема (в t_0 – справа), компоненты функции удовлетворяют неравенству:

$$|f_k(t, Y) - f_k(t, \tilde{Y})| \leq L |y_k - \tilde{y}_k|, L = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty), \forall (t, Y), (t, \tilde{Y}) \in R_0, \forall k \in \overline{1, n}. \quad (2)$$

Из (2) следует условие Липшица $\|F(t, Y) - F(t, \tilde{Y})\| \leq \tilde{L} \|Y - \tilde{Y}\|$, $\tilde{L} = \text{const}$. В этих условиях определение устойчивости упрощено: решение $Y = Y(t)$ устойчиво, если $\forall \varepsilon > 0$ найдется Δ , $0 < \Delta \leq \delta_0$, такое, что $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta$ влечет $\|\tilde{Y}(t) - Y(t)\| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty)$. Решение асимптотически устойчиво, если оно устойчиво и найдется Δ_0 , $0 < \Delta_0 \leq \Delta$, такое, что из неравенства $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_0$ следует $\tilde{Y}(t) - Y(t) \rightarrow 0$, если $t \rightarrow \infty$. Метод Эйлера решения задачи (1)

$$Y_{i+1} = Y_i + F(t_i, Y_i)h, \quad (3)$$

включая запись с остаточным членом, на произвольном отрезке $[t_0, t]$, применяется в предположении, что значение $t \in [t_0, \infty)$ является произвольно фиксированным, при этом индекс i неограниченно растет одновременно с убыванием равномерного шага:

$$t = \text{const}, t = t_{i+1}, h = (t_{i+1} - t_0) / (i+1), i = 0, 1, \dots, t_{k+1} = t_k + h, k \in \overline{0, i}. \quad (4)$$

В форме с остаточным членом метод (3) примет вид $Y_{i+1} = Y_i + F(t_i, Y_i)h + Q_i$, $Q_i = (q_{1i}, q_{2i}, \dots, q_{ni})$, где i, h из (4), q_{ki} – остаточный член формулы Тейлора для k -го компонента приближения: $q_{ki} = 2^{-1} f'_k(\xi_{ki}, Y(\xi_{ki}))h^2$, $t_i < \xi_{ki} < t_{i+1}$, аналогично для возмущенного

решения, $\tilde{Y}_{i+1} = \tilde{Y}_i + F(t_i, \tilde{Y}_i)h + \tilde{Q}_i$, $\tilde{Q}_i = (\tilde{q}_{1i}, \tilde{q}_{2i}, \dots, \tilde{q}_{ni})$, $\tilde{q}_{ki} = 2^{-1} f'_k(\tilde{\xi}_{ki}, \tilde{Y}(\tilde{\xi}_{ki}))h^2$, $t_i < \tilde{\xi}_{ki} < t_{i+1}$, $k \in \overline{1, n}$. Предварительно предполагается, что

$$\tilde{y}_k(t) - y_k(t) \neq 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}, \quad (5)$$

в дальнейшем ограничение (5) будет ослаблено или снято. Исходными являются соотношения $\tilde{y}_{k(i+1)} - y_{k(i+1)} = \tilde{y}_{ki} - y_{ki} + \frac{f_k(t_i, \tilde{Y}_i) - f_k(t_i, Y_i)}{\tilde{y}_{ki} - y_{ki}}(\tilde{y}_{ki} - y_{ki})h + w_{ki}$, $w_{ki} = \tilde{q}_{ki} - q_{ki}$, или

$$\tilde{y}_{k(i+1)} - y_{k(i+1)} = (1 + D_i^{(k)} h)(\tilde{y}_{ki} - y_{ki}) + w_{ki}, \quad D_i^{(k)} = (f_k(t_i, \tilde{Y}_i) - f_k(t_i, Y_i)) / (\tilde{y}_{ki} - y_{ki}). \quad (6)$$

С учетом (2) при ограничении (5) выполняется неравенство:

$$|f_k(t, Y) - f_k(t, \tilde{Y})| \leq L, \quad L = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall (t, Y), (t, \tilde{Y}) \in R_0, \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (7)$$

Отсюда

$$|D_{i-\ell}^{(k)}| \leq L, \quad L = \text{const}, \quad \forall i = 0, 1, \dots, \forall \ell \in \overline{0, i}, \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (8)$$

Рекуррентное преобразование (6) влечет

$$\tilde{y}_{k(i+1)} - y_{k(i+1)} = \prod_{\ell=0}^i (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)(\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) + R_{0i}^{(k)}, \quad R_{0i}^{(k)} = \sum_{r=0}^{i-1} \prod_{\ell=0}^r (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) w_{k(i-r-1)} + w_{ki}, \quad (9)$$

где h соответствует (4), w_{ki} из (6), $k \in \overline{1, n}$. Для дальнейшего приводятся некоторые утверждения из [10, 11].

Лемма 1. В рассматриваемых условиях $\lim_{i \rightarrow \infty} R_{0i}^{(k)} = 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}$.

Доказательство. Для $\forall t \in [t_0, \infty), \forall \tilde{t} \in [t_0, t] \quad \exists C_0 = C_0(t): \quad \|F'_t(\tilde{t}, Y)\| \leq C_0, \quad \|F'_t(\tilde{t}, \tilde{Y})\| \leq C_0$. Поэтому $|w_{kr}| \leq C_0 h^2 \quad \forall r \in \overline{0, i}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad \forall k \in \overline{1, n}$. Из (9) с учетом (8) $|R_{0i}^{(k)}| \leq \sum_{\ell=0}^i (1 + Lh)^\ell C_0 h^2$, следовательно, $|R_{0i}^{(k)}| \leq C_0 L^{-1} ((1 + Lh)^{i+1} - 1) h$. Отсюда $|R_{0i}^{(k)}| \leq C_0 L^{-1} ((1 + Lh)^{\frac{t-t_0}{h}} - 1) h$, тем более, $|R_{0i}^{(k)}| \leq C_0 L^{-1} (e^{L(t-t_0)} - 1)(t - t_0) / (i + 1)$, и $R_{0i}^{(k)} \rightarrow 0$ при $i \rightarrow \infty \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}$. Лемма доказана.

Следствие 1. В тех же условиях

$$\tilde{y}_k(t) - y_k(t) = \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)(\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (10)$$

Лемма 2. В рассматриваемых условиях для устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно, чтобы существовало $\Delta_1, 0 < \Delta_1 \leq \delta_0$, такое, что $\forall \tilde{Y}(t), \tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0$, при ограничении $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_1$ выполняется неравенство

$$\left| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \right| \leq C^{(1)}, \quad C^{(1)} = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (11)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы выполнялось предыдущее утверждение и существовало $\Delta_2 \leq \Delta_1$, такое, что $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_2$ влечет

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \right| = 0 \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (12)$$

На $[t_0, t]$ частичное произведение $\prod_{\ell=0}^i (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)$ при изменении i меняет одновременно все свои сомножители и h в каждом из них согласно (4).

Расширенные условия устойчивости. Из (10)

$$(\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) = \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (13)$$

Следствие 2. При $\tilde{y}_{k0} \neq y_{k0}$ формулировка и утверждение леммы 2 дословно сохраняются при замене (11) на соотношение

$$|(\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0})| \leq C^{(1)}, \quad C^{(1)} = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}, \quad (14)$$

и (12) – на соотношение

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |(\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0})| = 0 \quad \forall k \in \overline{1, n}. \quad (15)$$

Частное в (14) выражает отношение возмущения решения именно к вызвавшему его возмущению начальных значений при всех их вариациях в границах $|\tilde{y}_{k0} - y_{k0}| \leq \Delta_1$ выполняется $|(\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0})| = O(1) \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}$.

Предварительно предполагалось выполнение (5). Требуется показать, что обе леммы и следствия сохраняются при ослаблении или исключении этого ограничения.

Лемма 3. Пусть для решений $Y(t), \tilde{Y}(t)$ задачи (1) рассматриваются $k \in \overline{1, n}$, L из (2), t_i из (4) и произвольные значения $\tilde{y}_k(t_i), y_k(t_i)$, включая случай $t_i \rightarrow \tilde{t}$, где $\tilde{y}_k(\tilde{t}) = y_k(\tilde{t})$, при этом в некоторой окрестности $\tilde{t}$ выполнено $\tilde{y}_k(t) \neq y_k(t) \quad \forall t \neq \tilde{t}$. В этих условиях

$$\begin{aligned} & \lim_{t_i \rightarrow \tilde{t}} ((f_k(t_i, \tilde{Y}_i) - f_k(t_i, Y_i)) / (\tilde{y}_k(t_i) - y_k(t_i))) = \\ & = \lim_{i \rightarrow \infty} ((f_k(t_i, \tilde{Y}_i) - f_k(t_i, Y_i)) / (\tilde{y}_k(t_i) - y_k(t_i))) = \beta_k, \quad |\beta_k| \leq L, \quad \forall k \in \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (16)$$

Доказательство. В достаточно малой окрестности $\tilde{t}$ с учетом $\tilde{y}_k(t) \neq y_k(t) \quad \forall t \neq \tilde{t}$ и (2) выполняется (7). Функции $F(x, Y), F(x, \tilde{Y})$ и $Y(t), \tilde{Y}(t)$ из (1) определены и непрерывны на $[t_0, \infty)$, поэтому $\exists \lim_{t \rightarrow \tilde{t}} (\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) = c_{0k}$ и $\exists \lim_{t \rightarrow \tilde{t}} (f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) = c_{1k}$, разности под знаками пределов конечны на любом отрезке $[t_0, T]$, включающем $\tilde{t}$ вместе с рассматриваемой окрестностью. Так что $|c_{0k}| < \infty$, кроме того, $|c_{1k}| \leq L |c_{0k}|$ вследствие (2). Отсюда $\exists \lim_{t \rightarrow \tilde{t}} ((f_k(t_i, \tilde{Y}_i) - f_k(t_i, Y_i)) / (\tilde{y}_k(t_i) - y_k(t_i))) = c_{1k} / c_{0k}$, где $|c_{1k} / c_{0k}| \leq L$. В частности, для $t_i \rightarrow \tilde{t}, t_i \neq \tilde{t}, i \rightarrow \infty, \lim_{t_i \rightarrow \tilde{t}} ((f_k(t_i, \tilde{Y}_i) - f_k(t_i, Y_i)) / (\tilde{y}_k(t_i) - y_k(t_i))) = \beta_k, \quad \beta_k = c_{1k} / c_{0k}$. Лемма доказана.

Лемма 4. В условиях леммы 3

$$\begin{aligned} & \exists \lim_{i \rightarrow \infty} ((f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) - f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell})) / (\tilde{y}_k(t_{i-\ell}) - y_k(t_{i-\ell}))) = \\ & = \beta_{ek}, \quad |\beta_{ek}| \leq L \quad \forall \ell \in \overline{1, i}, \quad \forall k \in \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (17)$$

Для доказательства достаточно заметить, что относительно отношения под знаком предела в (17) с точностью до обозначений сохраняются рассуждения и оценки доказательства леммы 3. Поэтому $\forall \ell \in \overline{1, i} \quad \exists \lim_{t_{i-\ell} \rightarrow \tilde{t}} ((f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) - f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell})) / (\tilde{y}_k(t_{i-\ell}) - y_k(t_{i-\ell}))) = \beta_{ek}, \quad |\beta_{ek}| \leq L, \quad \forall k \in \overline{1, n}$, отсюда следует (17).

Условия леммы 3 исключают неустранимые особенности в $D_i^{(k)}$ и $D_{i-\ell}^{(k)}$.

Следствие 3. Соотношение (10) будет сохраняться на произвольном отрезке $[t_0, t]$, если условия леммы 1 расширить до условий леммы 3 и, кроме того, допускать любое конечное число точек, в которых на этом отрезке нарушается ограничение (5).

Доказательство. С учетом (16), (17) при однократном нарушении (5) ни одно из соотношений доказательства леммы 1 в расширенных условиях не изменится, поэтому (10) будет сохраняться. Если на $[t_0, t]$ количество точек t_e , где $\tilde{y}_k(t_e) = y_k(t_e)$ конечно, то они взаимно отделены. В достаточно малой окрестности каждой из них нарушение ограничения (5) однократно, следовательно, (10) сохраняется. Следствие доказано.

Из следствия 3, соотношения (10) и леммы 2 вытекает

Теорема 1. В исходных предположениях, с тем изменением, что на произвольном отрезке $[t_0, t]$ допускается любое конечное число нарушений ограничения (5), для устойчивости, а также для асимптотической устойчивости решения задачи (1) сохраняются необходимые и достаточные условия леммы 2, включая соотношения (11), (12).

Согласно (13) имеет место

Следствие 4. Теорема 1 распространяется на условия устойчивости следствия 2, включая соотношения (14), (15) при $\tilde{y}_{k0} \neq y_{k0} \forall k \in \overline{1, n}$.

Условия устойчивости можно дополнительно расширить. Пусть решение системы (1) устойчиво. Пусть произвольно зафиксировано k , $\tilde{y}_{k0} \neq y_{k0}$ и рассматривается $[t_0, t] \forall t \in [t_0, \infty)$. Пусть сохраняются все исходные условия, с тем исключением, что множество точек $\tilde{t} \in [t_0, t]$, в которых нарушается (5), $\tilde{y}_k(\tilde{t}) = y_k(\tilde{t})$, является произвольным. Вне данного множества $\forall \tilde{t}_e \in [t_0, t]$, $\tilde{t}_e \neq \tilde{t}$, для разности $\tilde{y}_k(\tilde{t}_e) - y_k(\tilde{t}_e)$ согласно следствию 1 сохраняется (10). В каждой такой точке необходимо выполняется (11) и (14), при этом в Δ_1 -окрестности y_{k0} константа $C^{(1)}$ не меняется. В точках $\tilde{t} \in [t_0, t]$, где $\tilde{y}_k(\tilde{t}) = y_k(\tilde{t})$, функция

$(\tilde{y}_k(\tilde{t}) - y_k(\tilde{t})) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0})$ равна нулю. По непрерывности этой функции каждое $\tilde{t}$ можно заключить в столь малый интервал $V(\tilde{t})$, что $|(\tilde{y}_k(t_e) - y_k(t_e)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0})| \leq C^{(1)} \forall t_e \in V(\tilde{t})$. В результате все точки отрезка $[t_0, t]$ покрываются системой интервалов $\bigcup V(\tilde{t}, \tilde{t}_e)$, на каждом из которых выполнено (14). По лемме Бореля из системы $\bigcup V(\tilde{t}, \tilde{t}_e)$ можно выбрать конечную подсистему, покрывающую $[t_0, t]$. На каждом интервале конечного покрытия, следовательно, во всех точках $[t_0, t]$, для выбранных k и t выполняется (14). Рассуждения сохраняются $\forall k \in \overline{1, n}$ с одной и той же $C^{(1)} = \text{const}$. Ввиду произвольности t отсюда следует, что в случае устойчивости (14) с необходимостью выполняется $\forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$. Такое обоснование необходимости опирается на (10), что априори предполагает непрерывную дифференцируемость $F(t, Y)$. В то же время выполнение (14) является достаточным условием устойчивости без этого предположения. Если $|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| \leq C^{(1)} |\tilde{y}_{k0} - y_{k0}|$, $C^{(1)} = \text{const}$, $0 < C^{(1)}$, $\forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$, $\tilde{y}_{k0} - y_{k0} \neq 0$, то $\forall \varepsilon > 0$ выполнено $|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| \leq \varepsilon \quad \forall k \in \overline{1, n}, \forall t \in [t_0, \infty)$, лишь только $C^{(1)} |\tilde{y}_{k0} - y_{k0}| \leq \varepsilon$. Отсюда $\|\tilde{Y}(t_0) - Y(t_0)\| \leq \Delta_1$, где $\Delta_1 \leq \varepsilon / C^{(1)}$, влечет $\|\tilde{Y}(t) - Y(t)\| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, и (14) – достаточное условие устойчивости без отмеченного ограничения. Из изложенного вытекает

Теорема 2. Пусть сохраняются все исходные условия, включая непрерывную дифференцируемость $F(t, Y)$ из (1), со следующим изменением: на произвольном отрезке $[t_0, t]$, $\forall k \in \overline{1, n}$ допускается любое множество точек $\tilde{t}$, в которых $\tilde{y}_k(\tilde{t}) = y_k(\tilde{t})$. Тогда для устойчивости решения задачи (1) необходимо, чтобы существовало такое Δ_1 , $0 < \Delta_1 \leq \delta_0$, что $\forall \tilde{Y}(t), \tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0$, при ограничении $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_1$, $\tilde{y}_{k0} \neq y_{k0} \quad \forall k \in \overline{1, n}$ верно неравенство

$$\left\| \left\{ (\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C^{(1)}, \quad C^{(1)} = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty). \quad (18)$$

Эти же условия являются достаточными условиями устойчивости без предположения о непрерывной дифференцируемости $F(t, Y)$ из (1). Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы в соответственных условиях устойчивости существовало $\Delta_2 \leq \Delta_1$, такое, что $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_2$ влечет

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \left\{ (\tilde{y}_k(t) - y_k(t)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right\}_{k=1}^n \right\| = 0. \quad (19)$$

Остается доказать утверждение относительно (19). Поскольку $\tilde{y}_{k0} - y_{k0} \neq 0 \quad \forall k \in \overline{1, n}$, то (19) выполняется тогда и только тогда, когда $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{y}_k(t) - y_k(t) = 0 \quad \forall k \in \overline{1, n}$, поэтому утверждение равносильно определению асимптотической устойчивости. Теорема доказана.

Следствие 5. Пусть система (1) имеет точку покоя. Теорема 2 дает необходимые и достаточные условия ее устойчивости при $Y(t) = \bar{0} \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, $Y_0 = \bar{0}$, (18) переходит в соотношение

$$\left\| \left\{ \tilde{y}_k(t) / \tilde{y}_{k0} \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C, \quad C = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty). \quad (20)$$

Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости точки покоя получаются из этой теоремы при переходе (19) в соотношение

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \left\{ \tilde{y}_k(t) / \tilde{y}_{k0} \right\}_{k=1}^n \right\| = 0. \quad (21)$$

С учетом (2) имеет место

Следствие 6. В условиях теоремы 2 для устойчивости решения задачи (1) необходимо, чтобы существовало Δ_F , $0 < \Delta_F \leq \delta_0$, такое, что $\forall \tilde{Y}(t), \tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0$, при ограничении $0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_F$ выполняется неравенство

$$\left\| \left\{ (f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_F, \quad C_F = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty). \quad (22)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо, чтобы решение было устойчиво и существовало $\tilde{\Delta}_F \leq \Delta_F$, такое, что $0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \tilde{\Delta}_F$ влечет

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \left\{ (f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right\}_{k=1}^n \right\| = 0. \quad (23)$$

В самом деле, согласно (2) $\left| (f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right| \leq L \left| (\tilde{y}_k - y_k) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right|$, $L = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, и в случае устойчивости, с учетом (18) $\left| (f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right| \leq LC^{(1)}$, $C^{(1)} = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$. Отсюда $\left\| \left\{ (f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_F$, $C_F = LC^{(1)}$, $C_F = \text{const}$. Аналогично доказывается (23).

Замечание 1. В условиях теоремы 2 в случае устойчивости соотношение (22) влечет равномерную на полуоси оценку правой части (1): $\left| f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y) \right| \leq C_F \left| \tilde{y}_{k0} - y_{k0} \right|$, и $\forall \varepsilon > 0$ выполнено $\left| f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y) \right| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$, лишь только $C_F \left| \tilde{y}_{k0} - y_{k0} \right| \leq C_F \Delta_F$, где $\Delta_F \leq \varepsilon C_F^{-1}$. Таким образом, необходимым условием устойчивости является соотношение

$$\left\| \left\{ f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y) \right\}_{k=1}^n \right\| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall \tilde{Y}(t), \tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0, \quad 0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_F. \quad (24)$$

Замечание 2. Для асимптотической устойчивости необходимо, чтобы решение было устойчиво и существовало $\tilde{\Delta}_F \leq \Delta_F$, такое, что $0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \tilde{\Delta}_F$ влечет

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \left\{ f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y) \right\}_{k=1}^n \right\| = 0. \quad (25)$$

Утверждение следует из того, что $(f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y)) / (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \rightarrow 0$ тогда и только тогда, когда $f_k(t, \tilde{Y}) - f_k(t, Y) \rightarrow 0$. Необходимость (25) следует также из условия Липшица.

Теорема 2, следствия и замечания применимы к нелинейным, автономным и линейным системам.

Условия устойчивости в случае автономной системы. Пусть для задачи Коши

$$Y' = F(Y), Y(t_0) = Y_0, \quad (26)$$

где $F(Y) = (f_1(Y), f_2(Y), \dots, f_n(Y))$, $Y = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$, $Y_0 = (y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0n})$, сохраняются все условия теоремы 2. В семейство решений (26) вместе с $Y = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$ всегда входит сдвиг $Y(t + \Delta) = (y_1(t + \Delta), y_2(t + \Delta), \dots, y_n(t + \Delta))$ при любом $\Delta = \text{const}$. Если в (18) положить $\tilde{y}_{k0} - y_{k0} = \Delta$, $k \in \overline{1, n}$, то применительно к (26), в силу единственности решения, $\tilde{y}_k(t) = y_k(t + \Delta)$, $k \in \overline{1, n}$. При таких начальных значениях в случае устойчивости условие $0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_1$ теоремы 2, или, $0 < |\Delta| \leq \Delta_1$, влечет

$$\left\| \left\{ (y_k(t + \Delta) - y_k(t)) / \Delta \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_1, C_1 = \text{const}, \forall \Delta, 0 < |\Delta| \leq \Delta_1, \forall t \in [t_0, \infty). \quad (27)$$

Таким образом, (27) – необходимое условие устойчивости решения задачи (26).

Поскольку выполнены условия теоремы о среднем, то

$$|y_k(t + \Delta) - y_k(t)| = |y'_k(\bar{t}_k)| \times |\Delta|, t - |\Delta| < \bar{t}_k < t + |\Delta|, \forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \Delta_1, \forall t \in [t_0, \infty), k \in \overline{1, n}.$$

Из (27)

$$|y'_k(\bar{t}_k)| \leq C_1, C_1 = \text{const} \forall k \in \overline{1, n}. \quad (28)$$

В (28) $\bar{t}_k$ меняется в зависимости от t , но неравенство переносится на $\forall t \in [t_0, \infty)$. Если предположить, что это не так и в условиях устойчивости $\forall N > C_1$ найдутся $k \in \overline{1, n}$, $t = \tilde{t}_k$, $t \in [t_0, \infty)$, такие, что $|y'_k(\tilde{t}_k)| > N$, то с учетом $y'_k(\tilde{t}_k) = f_k(Y(\tilde{t}_k))$ получится противоречие. В самом деле, $|f_k(Y(\tilde{t}_k))| > N$. В силу непрерывности $f_k(Y(t))$ последнее неравенство сохраняется на некотором интервале, включающем $\tilde{t}_k$: $|f_k(Y(t))| > N \forall t \in (\tilde{t}_k - |\tilde{\Delta}|, \tilde{t}_k + |\tilde{\Delta}|)$, $|\tilde{\Delta}| \leq |\Delta|$. Вследствие устойчивости на этом интервале выполняется (27). В частности, $|y_k(\tilde{t}_k + \tilde{\Delta}) - y_k(\tilde{t}_k) / \tilde{\Delta}| \leq C_1$, и $|y'_k(\hat{t}_k)| \leq C_1$, или, $|f_k(Y(\hat{t}_k))| \leq C_1$, $\hat{t}_k \in (\tilde{t}_k - |\tilde{\Delta}|, \tilde{t}_k + |\tilde{\Delta}|)$. Таким образом, $|f_k(Y(\hat{t}_k))| > N$, и вместе с тем $|f_k(Y(\hat{t}_k))| < N$, что невозможно. Следовательно, предположение неверно, и $|y'_k(t)| \leq C_1$, или $|f_k(Y(t))| \leq C_1$, $C_1 = \text{const} \forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1, n}$. Отсюда и из (24) $\left\| \left\{ f_k(\tilde{Y}) \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_1 + \varepsilon$, $0 < \varepsilon < C_1$, $\forall \tilde{Y}(t)$, $\tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0$, $0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_F$, $\forall t \in [t_0, \infty)$. В результате имеет место

Лемма 5. Если в условиях теоремы 2 решение $Y = Y(t)$, $Y(t_0) = Y_0$ задачи (26) устойчиво, то существует $\Delta_0 = \text{const}$, $0 < \Delta_0 \leq \min(\Delta_F, \Delta_1)$, где Δ_F из (24), Δ_1 из (27), такое, что

$$\|F(\tilde{Y})\| \leq C_0, \tilde{Y}(t_0) = \tilde{Y}_0, C_0 = \text{const} \forall \tilde{Y}_0: 0 \leq \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_0, \forall t \in [t_0, \infty). \quad (29)$$

В рассматриваемых ограничениях соотношение (29) – необходимое условие устойчивости решения автономной системы. Ниже определяются достаточные условия.

Лемма 6. Пусть выполнены условия теоремы 2 применительно к задаче (26). Тогда для устойчивости решения этой задачи необходимо и достаточно, чтобы $\exists c_0 = \text{const}$, $0 < c_0$, $\exists \tilde{\Delta}_0 = \text{const}$, такие, что $\forall \Delta$, $0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0$, имеет место соотношение

$$|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| \leq c_0 \sup_{k \in \overline{1, n}, 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0, t \in [t_0, \infty)} |y_k(t + \Delta) - y_k(t)| \quad \forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1, n}, \forall \tilde{Y}(t): \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \tilde{\Delta}_0. \quad (30)$$

Условие (30) является достаточным для устойчивости решения (26), если выполнено (29).

Доказательство. Пусть $\nabla_{\text{sup}} = \sup_{k \in \overline{1, n}, 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0, t \in [t_0, \infty)} |y_k(t + \Delta) - y_k(t)|$. Можно считать, что $0 < \nabla_{\text{sup}}$, иначе все сдвиги совпадали бы с невозмущенным решением, что для авто-

номной системы невозможно [12]. Необходимость доказывается следующим образом. Если предположить, что решение устойчиво, но (30) не выполняется, то, как бы велико ни было c_0 и как бы мало ни было $\tilde{\Delta}_0$, найдутся $k \in \overline{1, n}$, Δ , $0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0$, и $t \in [t_0, \infty)$, такие, что $|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| > c_0 \nabla_{\sup}$. Тогда $\forall \varepsilon > 0$ можно выбрать c_0 так, что $c_0 \nabla_{\sup} > \varepsilon$, и $|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| > \varepsilon$. Но в силу устойчивости при достаточно малом $\tilde{\Delta}_0$, $\forall \tilde{y}_{k0} : |\tilde{y}_{k0} - y_{k0}| \leq \tilde{\Delta}_0$ всегда выполнено $|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, что противоречит предположению. Достаточность получается с применением теоремы о среднем: $\nabla_{\sup} = \sup_{k \in \overline{1, n}, 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0, t \in [t_0, \infty)} |y'_k(t_k)| \Delta|$, $t - |\Delta| < t_k < t + |\Delta|$. Поэтому

$$\nabla_{\sup} \leq \sup_{k \in \overline{1, n}, 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0, t \in [t_0, \infty)} |f_k(Y(t_k))| \times \tilde{\Delta}_0, \quad t - \tilde{\Delta}_0 < t_k < t + \tilde{\Delta}_0,$$

и

$$\nabla_{\sup} \leq \tilde{\Delta}_0 \times \sup_{t \in [t_0, \infty)} \max_{1 \leq k \leq n} \max_{\tilde{t} \in [t - \tilde{\Delta}_0, t + \tilde{\Delta}_0]} |f_k(Y(\tilde{t}))|.$$

Отсюда

$$\nabla_{\sup} \leq \tilde{\Delta}_0 \times \sup_{t \in [t_0, \infty)} \sum_{k=1}^n \max_{\tilde{t} \in [t - \tilde{\Delta}_0, t + \tilde{\Delta}_0]} |f_k(Y(\tilde{t}))|,$$

тем более,

$$\nabla_{\sup} \leq \tilde{\Delta}_0 \times \sup_{t \in [t_0, \infty)} \sum_{k=1}^n \max_{\tilde{t} \in [t - \tilde{\Delta}_0, t + \tilde{\Delta}_0]} \left\| \{f_k(Y(\tilde{t}))\}_{k=1}^n \right\|,$$

или,

$$\nabla_{\sup} \leq n \tilde{\Delta}_0 \times \sup_{t \in [t_0, \infty)} \max_{\tilde{t} \in [t - \tilde{\Delta}_0, t + \tilde{\Delta}_0]} \left\| \{f_k(Y(\tilde{t}))\}_{k=1}^n \right\|.$$

Отсюда и из (29) $\sup_{k \in \overline{1, n}, 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0, t \in [t_0, \infty)} |y_k(t + \Delta) - y_k(t)| \leq n C_0 \tilde{\Delta}_0$. Таким образом, (30) влечет $|\tilde{y}_k(t) - y_k(t)| \leq \tilde{C}_0 \tilde{\Delta}_0$, $\tilde{C}_0 = n c_0 C_0$, $\tilde{C}_0 = \text{const}$, и, следовательно, $\|\tilde{Y}(t) - Y(t)\| \leq \tilde{C}_1 \tilde{\Delta}_0$, $\tilde{C}_1 = \text{const}$, $0 < \tilde{C}_1$, $\forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall \tilde{Y}(t) : \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \tilde{\Delta}_0$. В результате $\forall \varepsilon > 0$ выполнено $\|\tilde{Y}(t) - Y(t)\| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, лишь только $\tilde{\Delta}_0 \leq \varepsilon \tilde{C}_1^{-1}$. Лемма доказана.

Для асимптотической устойчивости решения задачи (26) необходимо и достаточно соответственное выполнение условий леммы 6 и существование $\tilde{\Delta}_0$ -окрестности Y_0 , $0 < \tilde{\Delta}_0 \leq \tilde{\Delta}_0$, в начальных условиях из которой выполняется соотношение

$$|y_k(t + \Delta) - y_k(t)| \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \infty, \quad \forall k \in \overline{1, n}, \quad \forall \Delta : 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_0. \quad (31)$$

Достаточность получается подстановкой (31) в правую часть (30) с учетом условий леммы, необходимость – из определения асимптотической устойчивости применительно к возмущению $\tilde{y}_k(t) = y_k(t + \Delta)$. Из изложенного вытекает

Теорема 3. Пусть выполнены все условия теоремы 2 применительно к задаче (26). Тогда для устойчивости решения этой задачи необходимо выполнение соотношений (27), (29) и (30). При этом если (29) выполнено, то выполнение (30) является достаточным условием устойчивости. Необходимым и достаточным условием асимптотической устойчивости решения задачи (26) является выполнение соответственных условий устойчивости при одновременном выполнении с ними соотношения (31).

Следствие 7. Из (27) следует известный факт равномерной непрерывности устойчивого решения автономной системы: $\forall \varepsilon > 0 : \left\| \{y_k(t + \Delta) - y_k(t)\}_{k=1}^n \right\| \leq \varepsilon \quad \forall \Delta, \quad 0 < |\Delta| \leq \Delta_1, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \Delta_1 \leq \varepsilon C_1^{-1}$, где $C_1 = \text{const}$ из (27).

Из замечаний 1, 2 вытекает

Следствие 8. В условиях теоремы 3 для устойчивости решения задачи (26) необходимо, чтобы существовало Δ_F , $0 < \Delta_F \leq \delta_0$, такое, что $\forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \Delta_F$, верно неравенство

$$\left\| \left\{ (f_k(Y(t+\Delta)) - f_k(Y(t))) / \Delta \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_\Delta, \quad C_\Delta = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty). \quad (32)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо, чтобы решение было устойчиво и существовало $\tilde{\Delta}_F \leq \Delta_F$, такое, что $\forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_F$ выполнялось соотношение

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \left\{ f_k(Y(t+\Delta)) - f_k(Y(t)) \right\}_{k=1}^n \right\| = 0. \quad (33)$$

Замечание 3. В случае устойчивости решения задачи (26) соотношение (32) влечет равномерную непрерывность правой части на полуоси. Именно $\forall \varepsilon > 0$ при $\forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \Delta_F$, выполнено $|f_k(Y(t+\Delta)) - f_k(Y(t))| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall k \in \overline{1, n}$, лишь только $\Delta_F \leq \varepsilon C_\Delta^{-1}$. Таким образом,

$$\|F(Y(t+\Delta)) - F(Y(t))\| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad \forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \Delta_F. \quad (34)$$

При данных ограничениях (34) – необходимое условие устойчивости решения (26).

Условия устойчивости точки покоя автономной системы. Пусть система (26) преобразована к виду, при котором анализ устойчивости ее решения сводится к анализу устойчивости нулевого решения (точки покоя):

$$V' = U(V), \quad V(0) = \bar{O}, \quad (35)$$

где $U(V) = (u_1(V), u_2(V), \dots, u_n(V))$, $V = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$, $\bar{O} = (0, 0, \dots, 0)^T$, не умаляя общности, можно считать $U(\bar{O}) = \bar{O}$ [1]. В дальнейшем формально предполагается, что $U(V) \neq \bar{O}$, если $V \neq \bar{O}$, и, кроме того, соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} u_\ell(t) = 0 \quad \forall \ell \in \overline{1, n}$ возможно только, если $\lim_{t \rightarrow \infty} v_\ell(t) = 0 \quad \forall \ell \in \overline{1, n}$. Применительно к анализу устойчивости нулевого решения задачи (35) вычитаемые в делителе (27), в соотношениях (30) – (34) становятся нулями. Ниже возмущение нулевого решения не будет отмечаться волной.

Следствие 9. Условия и утверждения теоремы 3 с точностью до обозначения повторяются для решения $V(t) = \bar{O}$ задачи (35). В частности, это относится к ограниченности в условиях устойчивости правой части $U(V)$ из (35). В случае устойчивости точки покоя задачи (35) соотношение (27) примет вид $\left\| \left\{ (v_k(t+\Delta)) / \Delta \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_1, \quad C_1 = \text{const}, \quad \forall \Delta, 0 < |\Delta| \leq \Delta_1, \quad \forall t \in [0, \infty)$ и (35) перейдет в соотношение $\left\| \left\{ v_k(t+\Delta) \right\}_{k=1}^n \right\| \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \infty, \quad \forall \Delta: |\Delta| \leq \bar{\Delta}_0, \quad \bar{\Delta}_0 \leq \Delta_1$.

Следствие 10. Применительно к (35) сохраняется следствие 8, при этом (32), (33) переходят в соотношения $\left\| \left\{ u_k(V(t+\Delta)) / \Delta \right\}_{k=1}^n \right\| \leq C_\Delta, \quad C_\Delta = \text{const}, \quad \forall t \in [0, \infty), \quad \forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \Delta_F$, и $\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \left\{ u_k(V(t+\Delta)) \right\}_{k=1}^n \right\| = 0 \quad \forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \tilde{\Delta}_F, \quad \tilde{\Delta}_F \leq \Delta_F$.

Сохраняется также замечание 3, при этом (34) перейдет в соотношение $\left\| \left\{ u_k(V(t+\Delta)) \right\}_{k=1}^n \right\| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [0, \infty), \quad \forall V(t), \quad V(0) = \bar{O}, \quad \forall \Delta: 0 < |\Delta| \leq \Delta_F$.

Согласно этим следствиям в случае устойчивости точки покоя системы (35) решение $V(t) = \{v_k(t)\}_{k=1}^n$ с начальными значениями из некоторой окрестности $V(0) = \bar{O}$ и правая часть $U(V) = \{u_k(V(t))\}_{k=1}^n$ ограничены. При некоторых условиях ограниченность $V(t)$ может определяться знаком компонент $V'_t = U(V)$, а $U(V)$ – знаком компонент U'_t . Покомпонентное сопоставление знаков производных приводит к достаточным условиям устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости, излагаемым ниже. По-прежнему относительно (35) сохраняются все условия теоремы 2.

Чтобы исключить неверный смысл последующих утверждений, дополнительно предполагается, что всюду, где используется знак нестрогого неравенства относительно $v_k(t)$, $u_k(t)$, $u'_k(t)$, решения системы (35) исключают каждый из случаев, когда $\exists k \in \overline{1, n}: v_k(t) \equiv 0 \ \forall t \in [0, \infty)$ или $\exists k \in \overline{1, n}: u_k(t) \equiv 0 \ \forall t \in [0, \infty)$, или $\exists k \in \overline{1, n}: u'_k(t) \equiv 0 \ \forall t \in [0, \infty)$.

Очевидны следующие утверждения.

1. Если $\exists \Delta > 0$, такое, что $\forall V(0): 0 < \|V(0)\| \leq \Delta$, $\forall k \in \overline{1, n}$ верны неравенства $0 \leq v_k(t)$, $u_k(t) \leq 0$, $0 \leq u'_k(t) \ \forall t \in [0, \infty)$, то $U(V)$ ограничена, а точка покоя системы (35) устойчива.

В данных условиях функция $u_k(t)$ не убывает, поэтому по модулю не возрастает, и $|u_k(t)| \leq |u_k(0)| \ \forall t \in [0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$. Функция $v_k(t)$ не возрастает, поэтому $0 \leq v_k(t) \leq v_k(0) \ \forall t \in [0, \infty)$. Отсюда $\forall \varepsilon > 0$, при выборе $\Delta \leq \varepsilon$, выполнено $|v_k(t)| \leq \varepsilon \ \forall t \in [0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$.

2. Если $\exists \Delta > 0$, такое, что $\forall V(0): 0 < \|V(0)\| \leq \Delta$, $\forall k \in \overline{1, n}$ верны неравенства $v_k(t) \leq 0$, $0 \leq u_k(t)$, $u'_k(t) \leq 0 \ \forall t \in [0, \infty)$, то $U(V)$ ограничена, а точка покоя системы (35) устойчива.

Утверждение оправдывается по аналогии с пунктом 1.

3. Если для некоторых $k = k_1 \in \overline{1, n}$ выполнены условия пункта 1, а для всех остальных $k = k_2 \in \overline{1, n}$ – условия пункта 2, то $U(V)$ ограничена, а точка покоя системы (35) устойчива.

При $\forall k \in \overline{1, n}$ выполнено: $|u_k(t)| \leq |u_k(0)|$, $0 \leq |v_k(t)| \leq |v_k(0)| \ \forall t \in [0, \infty)$. Если $0 < \|V(0)\| \leq \Delta$, то $\|U(V(t))\| \leq \max_{\|V(0)\| \leq \Delta} \|U(V(0))\|$, и $\forall \varepsilon > 0$, при выборе $\Delta \leq \varepsilon$, верно $\|V(t)\| \leq \varepsilon \ \forall t \in [0, \infty)$.

Ограниченность $U(V)$ в общем случае – следствие устойчивости согласно лемме 5, ниже это свойство отдельно не оговаривается. Из пунктов 1–3 вытекает

Предложение 1. Если $\exists \Delta > 0$, такое, что $\forall V(0): 0 < \|V(0)\| \leq \Delta$, $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется любая из пар неравенств $0 \leq v_k(t)$, $u_k(t) \leq 0$ или $v_k(t) \leq 0$, $0 \leq u_k(t) \ \forall t \in [0, \infty)$, то точка покоя системы (35) устойчива.

Теорема 4. Пусть выполнены условия предложения 1. Если $\exists \bar{\Delta} > 0$, $\bar{\Delta} \leq \Delta$, такое, что $\forall V(0): 0 < \|V(0)\| \leq \bar{\Delta}$, $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется пара неравенств $0 \leq v_k(t)$, $u_k(t) < 0$ или $v_k(t) \leq 0$, $0 < u_k(t) \ \forall t \in [0, \infty)$, и при этом $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = \bar{q}_k$, $|\bar{q}_k| \neq \infty$, то точка покоя системы (35) асимптотически устойчива.

Доказательство. Согласно предложению 1 точка покоя устойчива. Пусть при условии $\forall V(0): 0 < \|V(0)\| \leq \bar{\Delta}$ произвольно зафиксировано $k \in \overline{1, n}$, выбрано $\forall v_k(0): 0 \leq v_k(0) \leq \bar{\Delta}$, при котором выполняется $0 \leq v_k(t)$, $u_k(t) < 0 \ \forall t \in [0, \infty)$, и пусть $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = \bar{q}_k$, $|\bar{q}_k| \neq \infty$. Предположение, что $\bar{q}_k \neq 0$, окажется в противоречии с устойчивостью. В этом предположении $\exists q_k$, $q_k = \text{const}$, $\bar{q}_k < q_k < 0$, такое, что, начиная с некоторого t_1 , будет верно неравенство:

$$u_k(t) < q_k \ \forall t \in [t_1, \infty]. \text{ Тогда } v_k(t) = v_k(0) + \int_0^t u_k(t) dt + \int_{t_1}^t u_k(t) dt, \text{ где } \left| \int_{t_1}^t u_k(t) dt \right| \geq \left| \int_{t_1}^t q_k dt \right|,$$

$$\text{и } \left| \int_{t_1}^t q_k dt \right| = |q_k|(t - t_1) \rightarrow \infty, \text{ если } t \rightarrow \infty. \text{ Отсюда } |v_k(t)| = \left| v_k(0) + \int_0^t u_k(t) dt \right| \rightarrow \infty \text{ при}$$

$t \rightarrow \infty$, что означает неустойчивость нулевого решения вопреки условию. Предположение неверно, и в рассматриваемых условиях выполнено $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0$. Поскольку $u_k(t) = u_k(v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$, и $U(V) = \bar{O}$ тогда и только тогда, когда $V(t) = \bar{O}$, с учетом произвольности выбора $k \in \overline{1, n}$, соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0$ возможно только, если $\lim_{t \rightarrow \infty} v_\ell(t) = 0 \ \forall \ell \in \overline{1, n}$. Поэтому точка покоя асимптотически устойчива. Аналогично рассматривается случай $v_k(t) \leq 0$, $0 < u_k(t)$.

Предложение 2. Пусть точка покоя системы (35) устойчива. Если $\exists \Delta_1$, такое, что $\forall V(0): 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_1$, $\forall k \in \overline{1, n}$ выполнены неравенства $0 \leq u_k(t)$, $u'_k(t) < 0 \ \forall t \in [0, \infty)$, то точка покоя асимптотически устойчива.

Доказательство. Пусть зафиксировано $\forall k \in \overline{1, n}$ и выбрано $\forall v_k(0) : 0 \leq |v_k(0)| \leq \Delta_1$. Функция $u_k(t)$ убывает и ограничена снизу. Поэтому $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = q_k, q_k \geq 0$. Если предположить, что $q_k > 0$, возникнет противоречие. В самом деле, $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = v_k(0) + \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t u_k(t) dt$, $\exists \gamma_k = \text{const}, 0 < \gamma_k < q_k, \exists t_1, 0 \leq t_1$, такие, что $u_k(t) \geq \gamma_k \forall t \geq t_1$. Отсюда $\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) \geq v_k(0) + \int_0^{t_1} u_k(t) dt + \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t_1}^t \gamma_k dt$, где $\lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t_1}^t \gamma_k dt = \infty$. Следовательно, $\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = \infty$ вопреки устойчивости точки покоя. Предположение неверно, и $q_k = 0$. С учетом произвольности выбора $k \in \overline{1, n}$ и $v_k(0)$ соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0$ возможно только, если $\lim_{t \rightarrow \infty} v_\ell(t) = 0 \forall \ell \in \overline{1, n}$. Отсюда следует асимптотическая устойчивость точки покоя.

Предложение 3. Пусть точка покоя системы (35) устойчива. Если $\forall V(0) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_1, \forall k \in \overline{1, n}$ выполнено $u_k(t) \leq 0, 0 < u'_k(t) \forall t \in [0, \infty)$, то точка покоя асимптотически устойчива.

Доказательство аналогично предыдущему.

Если для некоторых $k = k_1 \in \overline{1, n}$ выполнены условия предложения 2, а для всех остальных $k = k_2 \in \overline{1, n}$ – условия предложения 3, то точка покоя системы (35) асимптотически устойчива. Отсюда вытекает

Теорема 5. Если точка покоя системы (35) устойчива и $\exists \Delta_1$, такое, что $\forall V(0) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_1, \forall k \in \overline{1, n}$ выполнено либо $u_k(t) \leq 0, 0 < u'_k(t)$, либо $0 \leq u_k(t), u'_k(t) < 0 \forall t \in [0, \infty)$, то точка покоя асимптотически устойчива.

Замечание 4. Согласно замечанию 2 соотношение (25) – необходимое условие асимптотической устойчивости. Для системы (35) оно примет вид: $\forall V(0) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta, \forall k \in \overline{1, n}$ выполняется $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0$. Для доказательства теоремы 4 и для доказательства предложения 2 достаточно выполнения самого этого соотношения и факта устойчивости, без использования условий, в силу которых это соотношение имеет место, в частности неравенств из условий предложений 1, 2.

На основании замечания 4 имеет место

Теорема 6. Если точка покоя системы (35) устойчива, то для ее асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности $V(0)$ выполнялось $\lim_{t \rightarrow \infty} \|U(V)\| = 0$.

Непосредственно из теорем 4, 5 вытекает

Теорема 7. Если $\exists \Delta_1 > 0$, такое, что $\forall V(0) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_1, \forall k \in \overline{1, n}$ выполняется любая из троек неравенств $0 < v_k(t), u_k(t) < 0, 0 < u'_k(t)$ или $v_k(t) < 0, 0 < u_k(t), u'_k(t) < 0 \forall t \in [0, \infty)$, то точка покоя системы (35) асимптотически устойчива.

В ограничениях начального предположения все знаки строгих неравенств в условиях теорем 4, 5, 7 можно заменить знаками соответственных нестрогих неравенств с сохранением утверждений. На пункты 4, 5 аналогичное утверждение не распространяется.

4. Если имеет место устойчивость, теорема 6 дает необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости. Кроме того, в условиях постоянства знака компонентов решения достаточные условия теорем 4, 5, 7 становятся необходимыми.

Предложение 4. Пусть $\exists \Delta_1 > 0$, такое, что $\forall V(0) : \|V(0)\| \leq \Delta_1, \forall k \in \overline{1, n}$ задача (35) имеет решения со свойством постоянства знаков компонентов, $\text{sgn}(v_k) = \text{const}$, то есть либо $v_k(t) < 0 \forall t \in [0, \infty)$, либо $0 < v_k(t) \forall t \in [0, \infty)$. Пусть $\forall V(0)$ из рассматриваемой окрестности начальных данных $\lim_{t \rightarrow \infty} \|U(V)\| = 0$. Тогда для асимптотической устойчивости точки покоя необходимо и достаточно выполнение одной из пар неравенств $v_k(t) < 0, 0 \leq u_k(t)$ или $0 < v_k(t), u_k(t) \leq 0 \forall t \in [0, \infty)$.

Доказательство. Достаточность условий доказывается аналогично тому, как доказывалась достаточность условий теоремы 4. Пусть теперь точка покоя системы (35) асимптотически устойчива, тогда $\forall V(0) : \|V(0)\| \leq \Delta_1$ решение $V(t)$ ограничено. Если предположить, что при некотором $k \in \overline{1, n}$ условия теоремы 6 нарушены, например в виде $0 < v_k(t), 0 \leq u_k(t) \forall t \in [0, \infty)$, то возникнет противоречие. Функция v_k положительна, не убывает и ограничена, следовательно, $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = \tau, 0 < \tau < \infty$. Но значение $\tau > 0$ противоречит

асимптотической устойчивости, в силу которой $\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = 0$. Предположение неверно, и в рассматриваемых условиях необходимо $v_k(t) < 0$, $0 \leq u_k(t) \quad \forall t \in [0, \infty)$. Если нарушение условий возникло в форме $v_k(t) < 0$, $u_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, то в силу устойчивости функция $v_k(t)$ отрицательна, ограничена на полуоси, при этом не возрастает. Поэтому $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = \bar{\tau}$, $-\infty < \bar{\tau} < 0$. Такое значение $\bar{\tau}$ противоречит асимптотической устойчивости. Отсюда необходимо $v_k(t) < 0$, $0 \leq u_k(t) \quad \forall t \in [0, \infty)$. Случаи нарушения условий $0 < v_k(t)$, $u_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$ рассматриваются аналогично.

С использованием ограниченности $U(V)$ согласно (29) аналогично доказывается

Предложение 5. Пусть точка покоя системы (35) устойчива. Тогда для ее асимптотической устойчивости необходимо и достаточно выполнение одной из пар неравенств $u_k(t) < 0$, $0 \leq u'_k(t)$ или $0 < u_k(t)$, $u'_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$.

5. Следующие условия достаточны для неустойчивости.

Предложение 6. Если для задачи (35) $\forall \Delta_1 > 0 \exists V(t) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_1$, $\exists k \in \overline{1, n}$, $\exists t_0 > 0$, такие, что неравенства $0 \leq v_k(t)$, $0 < u_k(t)$ верны $\forall t \in [t_0, \infty)$, при этом либо $u'_k(t) \leq 0$, либо $0 \leq u'_k(t) \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, то точка покоя неустойчива. Аналогично, если $v_k(t) \leq 0$, $u_k(t) < 0$.

Доказательство. Пусть $0 \leq v_k(t)$, $0 < u_k(t)$, где k из условий предложения. Если функция $v_k(t)$ ограничена сверху, то $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = \bar{p} < \infty$, при этом $0 < \bar{p}$ с учетом возрастания $v_k(t)$. Если в этом случае предположить, что точка покоя устойчива и $u'_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, то согласно предложению 5 и теореме 6 необходимо $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0$. Тогда $\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = 0$, что противоречит $0 < \bar{p}$. Если же предположить, что точка покоя устойчива и $0 \leq u'_k(t) \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, то в силу леммы 5 функция $u_k(t)$ ограничена, не убывает, следовательно, имеет предел $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = \bar{q} > 0$. Отсюда, как и раньше, $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = \infty$, что противоречит устойчивости. Остается предположить, что $v_k(t)$ не ограничена сверху, но это также означает, что точка покоя неустойчива. Случай $v_k(t) \leq 0$, $u_k(t) < 0$ рассматривается аналогично.

Нетрудно видеть, что к тому же результату приводит выполнение соотношений $0 < v_k(t)$, $0 \leq u_k(t)$ или $v_k(t) < 0$, $u_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty)$ при сохранении условий относительно $u'_k(t)$.

С помощью аналогичных рассуждений доказывается

Теорема 8. Точка покоя системы (35) неустойчива, если $\forall \Delta_1 > 0 \exists V(t) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_1$, $\exists k \in \overline{1, n}$, $\exists t_0 > 0$, такие, что $\forall t \in [t_0, \infty)$ верна хотя одна из пар следующих неравенств при сохранении условий предложения 6 относительно $u'_k(t)$: $0 \leq v_k(t)$, $0 < u_k(t)$; $v_k(t) \leq 0$, $u_k(t) < 0$; $0 < v_k(t)$, $0 \leq u_k(t)$; $v_k(t) < 0$, $u_k(t) \leq 0$. В тех же условиях решение неустойчиво, если верна хотя одна из пар следующих неравенств: $0 < u_k(t)$, $0 \leq u'_k(t)$; $u_k(t) < 0$, $u'_k(t) \leq 0$; $0 \leq u_k(t)$, $0 < u'_k(t)$; $u_k(t) \leq 0$, $u'_k(t) < 0$.

Элементарные примеры и программная реализация. Нулевое решение уравнения $v' = e^v - 1$ неустойчиво: $v'' = e^v(e^v - 1)$, если $v > 0$, то $v' > 0$, $v'' > 0$; если $v < 0$, то $v' < 0$, $v'' < 0$ (теорема 8). Нулевое решение уравнения $v' = e^{-v} - 1$ асимптотически устойчиво: $v'' = -e^{-v}(e^{-v} - 1)$, если $v > 0$, то $v' < 0$, $v'' > 0$; если $v < 0$, то $v' > 0$, $v'' < 0$ (теорема 7). Уравнение $v' = v$ неустойчиво: $v'' = v'$ (теорема 8), уравнение $v' = -v$ асимптотически устойчиво: $v'' = v = -v'$ (теорема 7). Для системы $v'_1 = -v_1^3 v_2^2$, $v'_2 = -v_1^2 v_2^3$ знаки v'_1 и v'_2 , v''_1 и v''_2 покомпонентно противоположны: $v'_1 = 5v_1^5 v_2^4$, $v'_2 = 5v_1^4 v_2^5$. Однако нельзя сделать вывод об асимптотической устойчивости – не выполнены исходные условия, которые предполагают теоремы 4, 6, 8, в частности не выполнено (2). В общем случае аналитически идентифицировать асимптотическое поведение знака решения, его первой и второй производной далеко не всегда возможно. Однако это не составляет затруднения при применении компьютера: достаточно по ходу решения выводить приближения $v_k(t)$, $u_k(t)$, $u'_k(t)$. Например, для уравнения $v' = e^v - 1$ следующая программа (Delphi) даст искомую информацию:

```
Program sgnnorm; {SAPPTYPE CONSOLE} uses SysUtils;
const h = 0.000001; eps = 0.001; tt = 1000000; var t, v: extended; k: longint;
function u (t, v: extended): extended; begin u := exp(v) - 1; end;
function u1 (t, v: extended): extended; begin u1 := exp(v) * (exp(v) - 1); end;
begin k := 0; v := eps; t := 0; while t <= 6 do begin v := v + h * u (t, v); t := t + h; k := k + 1; if k = tt then begin
writeln ('t=', t:4, ' ');
writeln; writeln (' ', 'znaki':32, ' '); writeln; writeln (' ', v, ' ', u (t, v), ' ', u1 (t, v)); writeln; writeln; k := 0 end; end;
readln end.
```


В качестве возмущения нулевого решения с отсчетом tt шагов выводится приближение по методу Эйлера решения $v(v)$, $v(0) = eps$, правой части $v' = u(u(t, v))$, ее производной $v'' = u'(u(t, v))$. Их знаки положительны на всем интервале приближения, что означает признак неустойчивости. Интервал взят малым, иначе возникнет переполнение, что даст дополнительный признак: заведомо нарушается необходимое условие устойчивости (20). Если по данной программе приближенно решать уравнение $v' = e^{-v} - 1$, интервал можно произвольно продлить, знаки решения, первой и второй производной будут чередоваться, $0 < v, u < 0, 0 < u'$, все эти величины будут убывать к нулю, означая асимптотическую устойчивость. При варьируемых начальных значениях чередование сохраняется. В продолжение процесса обнулятся значащие цифры выводимых значений в расширенном формате. Согласно (21) и теореме 6 стремление решения, а также производной к нулю дает дополнительный признак асимптотической устойчивости. По аналогичной программе можно выводить отношение решения к начальному значению (v/eps) для проверки необходимых и достаточных условий (20), (21).

В общем случае для исследования системы (35) программа с очевидностью модифицируется. В результате она выполнит аналогичные действия для каждого уравнения в отдельности, при этом производная от $u_k(V) = u_k(v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$ априори аналитически определяется

ся по формуле $\frac{du_k}{dt} = \sum_{\ell=1}^n \frac{\partial u_k}{\partial v_\ell} \frac{dv_\ell}{dt}$, или, $\frac{du_k}{dt} = \sum_{\ell=1}^n \frac{\partial u_k}{\partial v_\ell} u_\ell$ [13]. Значения u_k и u'_k зада-

ются подпрограммами-функциями, их приближения выводятся одновременно с компонентами приближенного решения v_k . Использование компонента $u_k(t)$ вектор-функции $\{u_k(t)\}_{k=1}^n$ из (35) сходно с применением производной в силу системы [1, 3]. Принципиальное отличие функции Ляпунова, использующей известное построение, в том, что в общем случае она не является вектор-функцией, ее значение принадлежит R как функции n переменных. Известное видоизменение – вектор-функция Ляпунова [3] – имеет число компонентов меньше n и использует вспомогательную систему. Рассматриваемое применение $u_k(t)$ ограничено условиями существования и непрерывности $u'_k(t) \forall t \in [0, \infty), \forall k \in \overline{1, n}$, что не необходимо для применения функции Ляпунова. Ее построение не детерминиро-

вано формулой и оставляет возможность оценки устойчивости с помощью выбора переменных, причем в более общем случае. Однако для численного моделирования устойчивости существенна инвариантность задания u'_k по формуле производной сложной функции.

Признаки устойчивости линейных систем. Как частный случай автономной системы (35) рассматривается однородная система

$$Y' = AY \quad (36)$$

с матрицей вещественных коэффициентов $n \times n$. К (36) применимы теоремы 4–8 и данные ранее утверждения относительно автономных и нелинейных систем. Выражение производных наглядно просто: $Y' = AY, Y'' = A^2Y$. Одним из условий асимптотической устойчивости системы является противоположность знаков k -х компонентов AY и A^2Y при каждом $k \in \overline{1, n} \forall t \in [0, \infty)$. Одно из условий неустойчивости – наличие при некотором k противоположных знаков k -х компонентов AY и $A^2Y \forall t \in [t_0, \infty)$. Пусть, например, рассматривается система $y'_1 = 2y_1 + 2y_2, y'_2 = y_1 + 2y_2$. В этом случае

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 2 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}, A^2 = \begin{pmatrix} 6 & 8 \\ 4 & 6 \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix},$$

$$AY = \begin{pmatrix} 2y_1 + 2y_2 \\ y_1 + 2y_2 \end{pmatrix}, A^2Y = \begin{pmatrix} 6y_1 + 8y_2 \\ 4y_1 + 6y_2 \end{pmatrix}.$$

Из записи метода Эйлера для приближенного решения этой системы, $Y_{i+1} = (E + hA)Y_i, i = 0, 1, \dots$, видно, что существует решение с положительными компонентами. При $y_1 > 0, y_2 > 0$ знаки компонентов Y, AY и A^2Y совпадают, решение неустойчиво (теорема 8). Такой вывод можно повторить для любой положительной матрицы A , что согласуется с теоремой Перрона о наибольшем по модулю собственном значении положительной матрицы: оно вещественно и положительно [14]. Пусть рассматривается система $y'_1 = -5y_1 - 2y_2, y'_2 = -3y_2$. Здесь

$$A = \begin{pmatrix} -5 & -2 \\ 0 & -3 \end{pmatrix}, A^2 = \begin{pmatrix} 25 & 16 \\ 0 & 9 \end{pmatrix},$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}, AY = \begin{pmatrix} -5y_1 - 2y_2 \\ -3y_2 \end{pmatrix},$$

$$A^2Y = \begin{pmatrix} 25y_1 + 16y_2 \\ 9y_2 \end{pmatrix}.$$

Второй компонент меняет знак при переходе от Y к AY и от AY к A^2Y . Если, начиная с некоторого $t_0 > 0$, выполнено $|y_1| > 0.4|y_2|$, то и первый компонент меняет знак аналогично. В этом предположении знаки компонент Y , AY и A^2Y попарно противоположны $\forall t \in [t_0, \infty)$, система асимптотически устойчива согласно теореме 7. Легко убедиться непосредственной постановкой, что в семейство решений входит $y_1 = e^{-5t} - e^{-3t}$, $y_2 = e^{-3t}$, это решение соответствует предположению и иллюстрирует асимптотическую устойчивость. Приближенное решение системы проявило бы те же и другие свойства асимптотического поведения ненулевого решения, в частности признак асимптотической устойчивости: $AY \rightarrow 0$, если $t \rightarrow \infty$ (теорема 6).

Ниже оговаривается, что для оценки устойчивости системы (36) достаточно выполнения обсуждаемых признаков для одного произвольного решения со всеми ненулевыми компонентами начальных значений.

Невыполнение достаточных условий теорем и предложений не означает неустойчивость. Так, система $y_1' = y_2$, $y_2' = -y_1$ не отвечает условиям этих утверждений, но устойчива: собственные значения матрицы $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$ мнимые и не кратные [14].

Как и в общем случае, для системы (36) нельзя предложить универсальный алгоритм аналитической идентификации знаков компонент решения и производных. Однако компьютерная идентификация знаков выполняется относительно без затруднений. В программу вводится матрица A , программно вычисляется A^2 . Для компонент AY и A^2Y задаются подпрограммы-функции, соответствующие каждой из строк матриц, значения функций выводятся по шагам приближенного решения одновременно с компонентами решения Y в случае возмущенных начальных значений. Такой процесс обладает естественным параллелизмом, в последовательной реализации A^2 можно не вычислять: выводятся компоненты Y , AY , по ассоциативности – $A \times (AY)$.

Для дальнейшего исследования требуется рассмотреть структуру общего решения системы (36), которое в форме Коши имеет вид [15]

$$y_k(t) = \sum_{i=1}^n y_i^{(0)} y_{ik}(t), \quad k \in \overline{1, n}, \quad (37)$$

где $y_i^{(0)}$ – начальные значения, которые считаются произвольными, $y_{ik}(t)$ – компоненты нормированной фундаменталь-

ной системы, $i \in \overline{1, n}$. Нормированность означает [15], что любое частное решение с единственностью получается из (37) при фиксировании начальных значений именно этого решения: $y_k(t_0) = y_k^{(0)}$, $k \in \overline{1, n}$ (включая $t_0 = 0$). Отсюда любое частное решение системы (36) в выражении из (37) в качестве элементов линейной комбинации содержит все n вектор-функций фундаментальной системы, каждую с ненулевым коэффициентом, при условии, что начальные значения решения имеют все ненулевые компоненты: $y_i^{(0)} \neq 0 \forall i \in \overline{1, n}$. Поэтому одно такое решение сохраняет свойства всех решений фундаментальной системы в смысле асимптотического поведения, определяющего характер устойчивости. Вектор-функция фундаментальной системы представляет собой решение с компонентами $y_{ik}(t) = P_{ik}(t)e^{\lambda_i t}$, $k \in \overline{1, n}$, где каждому собственному числу λ_i кратности ℓ матрицы A соответствуют полиномы $P_{ik}(t)$ степени не выше $\ell - 1$, в совокупности имеющие ℓ произвольных коэффициентов, через которые выражаются остальные [15]. При $\ell = 1$ полином имеет нулевую степень и выражается в виде одного свободного коэффициента. В случае комплексного λ_i отделяются его вещественная и мнимая части, по отдельности они порождают вещественные компоненты $y_{ik}(t)$. Вхождение каждого $y_{ik}(t) = P_{ik}(t)e^{\lambda_i t}$ с ненулевым коэффициентом в (37) сохраняет асимптотический характер роста в зависимости от знака действительной части λ_i либо от кратности мнимой части, если действительная часть равна нулю. В любом случае асимптотическое поведение одного частного решения, начальные значения которого составляют только ненулевые компоненты, эквивалентно в смысле устойчивости поведению всей фундаментальной системы, соответственной n собственным значениям матрицы системы. Это коррелирует с известным свойством системы (36): для ее устойчивости необходима и достаточна ограниченность одновременно всех решений, для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно стремление к нулю одновременно всех решений при $t \rightarrow \infty$ [1]. Однако по асимптотике какого именно из решений можно точно судить об устойчивости всей системы, ясно только на основании (37): по поведению любого частного решения, все компоненты начальных значений которого не равны нулю. На этой основе для анализа устойчивости системы (36) не требуется указывать окрестность возмущения начальных значений, как в следствии 5 в общем случае. Достаточно формулировать условия этого следствия для произвольного

решения с ненулевыми компонентами начальных значений. Применительно к (36) не требуется проверять выполнение условий предложений и теорем в окрестности нулевых начальных значений: достаточно их проверить для произвольно выбранных ненулевых компонентов начального вектора. Выполнение условий влечет в асимптотике ограниченность, стремление к нулю или неограниченность решения, характерные для всей фундаментальной системы.

Пусть в (36) $A = (a_{ij})$, $A^2 = (a_{ij}^{(2)})$ $\forall i, j \in \overline{1, n}$. Компоненты $Y(t)$, $Y'(t)$, $Y''(t)$ находятся из соотношений

$$Y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))^T,$$

$$y'_k(t) = \sum_{j=1}^n a_{kj} y_j(t), \quad y''_k(t) = \sum_{j=1}^n a_{kj}^{(2)} y_j(t),$$

$$k \in \overline{1, n}. \quad (38)$$

Согласно изложенному из теорем 4–8 применительно к (36) вытекает

Теорема 9. Пусть решение $Y(t)$ системы (36) выбрано произвольно при условии $y_k(0) \neq 0 \quad \forall k \in \overline{1, n}$ и компоненты $Y(t)$, $Y'(t)$, $Y''(t)$ определяются из (38). Если $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется любая из пар неравенств $0 \leq y_k(t)$, $y'_k(t) \leq 0$ или $y_k(t) \leq 0$, $0 \leq y'_k(t) \quad \forall t \in [0, \infty)$, то система (36) устойчива. Если $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется пара неравенств $0 \leq y_k(t)$, $y'_k(t) < 0$ или $y_k(t) \leq 0$, $0 < y'_k(t) \quad \forall t \in [0, \infty)$, и при этом $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = \bar{q}_k$, $|\bar{q}_k| \neq \infty$, то рассматриваемая система асимптотически устойчива. Если эта система устойчива и $\forall k \in \overline{1, n}$ выполнено либо $y'_k(t) \leq 0$, $0 < y''_k(t)$, либо $0 \leq y'_k(t)$, $y''_k(t) < 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, то она асимптотически устойчива. Если система (36) устойчива, то для ее асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы выполнялось $\lim_{t \rightarrow \infty} \|Y'(t)\| = 0$. Если $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется любая из троек неравенств $0 < y_k(t)$, $y'_k(t) < 0$, $0 < y''_k(t)$ или $y_k(t) < 0$, $0 < y'_k(t)$, $y''_k(t) < 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, то система (36) асимптотически устойчива.

Теорема 10. Система (36) неустойчива, если $\exists k \in \overline{1, n}$, $\exists t_0 > 0$, такие, что $\forall t \in [t_0, \infty)$ верна хотя одна из пар неравенств: $0 \leq y_k(t)$, $0 < y'_k(t)$; $y_k(t) \leq 0$, $y'_k(t) < 0$; $0 < y_k(t)$, $0 \leq y'_k(t)$; $y_k(t) < 0$, $y'_k(t) \leq 0$; и при этом либо $y''_k(t) \leq 0$, либо $0 \leq y''_k(t) \quad \forall t \in [t_0, \infty)$. В тех же услови-

ях решение неустойчиво, если верна любая из следующих пар неравенств: $0 < y'_k(t)$, $0 \leq y''_k(t)$; $y'_k(t) < 0$, $y''_k(t) \leq 0$; $0 \leq y'_k(t)$, $0 < y''_k(t)$; $y'_k(t) \leq 0$, $y''_k(t) < 0$.

Имеет место

Предложение 7. Пусть решение $Y(t)$ системы (36) выбрано при условии $y_j(0) \neq 0 \quad \forall j \in \overline{1, n}$. Тогда для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы хотя одна производная решения произвольного порядка была ограничена на полуоси: $\|Y^{(\ell)}(t)\| \leq c$, $c = \text{const} \quad \forall t \in [0, \infty)$, $\ell = 1, 2, \dots$. Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы для такой производной выполнялось соотношение $\|Y^{(\ell)}(t)\| \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$.

Доказательство. Очевидно,

$$Y'(t) = AY(t), \quad Y''(t) = AY'(t) = A^2Y(t),$$

и

$$Y^{(\ell)}(t) = AY^{(\ell-1)}(t) = A^\ell Y(t) \quad \forall \ell, \ell = 1, 2, \dots$$

Поэтому производная $Y^{(\ell)}(t)$ ограничена в том и только в том случае, если ограничено решение $Y(t)$. В рассматриваемых условиях ограниченность одного решения определяет ограниченность одновременно всех решений, что необходимо и достаточно для устойчивости системы (36) [1]. Для ее асимптотической устойчивости необходимо и достаточно стремление к нулю одновременно всех решений [1]. При рассматриваемом выборе решения это определяется тем, что $\|Y(t)\| \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Последнее соотношение выполняется тогда и только тогда, когда $\|Y^{(\ell)}(t)\| \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$. Предложение доказано.

Следствие 11. Предложение 7 сохраняется, если в качестве условия устойчивости требовать ограниченности на полуоси производных одновременно всех порядков, в качестве условия асимптотической устойчивости – их одновременного стремления к нулю при $t \rightarrow \infty$.

Замечание 5. В условиях предложения 7 в случае неасимптотической устойчивости системы (36) необходимо найдется $k \in \overline{1, n}$, такое, что компонент производной $y_k^{(\ell)}(t)$ любого порядка циклически меняет знак с ростом t на полуоси.

Если предположить обратное, например, что $\forall k \in \overline{1, n} \quad \exists \ell \geq 2, \exists t_\ell \geq 0: 0 \leq y_k^{(\ell)}(t) \quad \forall t \in [t_\ell, \infty)$, то $y_k^{(\ell-1)}(t)$ не убывает. По следствию 11 решение и производные всех порядков ограничены в силу устойчивости. Отсюда $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y_k^{(\ell-1)}(t) = c_{\ell-1}, c_{\ell-1} = \text{const}, c_{\ell-1} \neq 0$,

$t \rightarrow \infty$. Аналогично в случае $y_k^{(\ell)}(t) \leq 0 \forall t \in [t_\ell, \infty)$. В любом случае $\exists t_{\ell-1} \geq 0$, такое, что знак $c_{\ell-1}$, а вместе с ним и знак $y_k^{(\ell-1)}(t)$ постоянны $\forall t \in [t_{\ell-1}, \infty)$. Для $y_k^{(\ell-1)}(t)$ можно повторить рассуждение, в результате $\exists t_{\ell-2} \geq 0$, такое, что знак $y_k^{(\ell-2)}(t)$ постоянен $\forall t \in [t_{\ell-2}, \infty)$. По индукции $\exists t_1 \geq 0$, такое, что знак $y_k'(t)$ постоянен $\forall t \in [t_1, \infty)$, и $\exists t_0 \geq 0$, такое, что знак $y_k(t)$ постоянен $\forall t \in [t_0, \infty)$. Не умаляя общности, можно считать, что $t_1 \leq t_0$. Тогда $\forall t \in [t_0, \infty)$ компоненты $y_k(t)$ и $y_k'(t)$ имеют постоянные знаки. Если постоянные знаки $y_k(t)$, $y_k'(t)$ совпадают (знак $y_k''(t)$ постоянен), то по теореме 10 решение неустойчиво. Если эти знаки противоположны ($\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y_k'(t) = \bar{q}_k, |\bar{q}_k| \neq \infty$), то по теореме 9 решение асимптотически устойчиво. В обоих случаях это противоречит условию, по которому решение устойчиво, но не асимптотически. Следовательно, предположение неверно. С учетом того, что рассуждения распространялись на случай $y_k^{(\ell)}(t)$ при $\ell = 1$, утверждение замечания доказано.

С учетом окрестности нулевых начальных значений сходное утверждение доказывается относительно решения системы (35).

Замечание 6. В случае неасимптотической устойчивости решения системы (35) $\forall \Delta_0 > 0 \exists V(0) : 0 < \|V(0)\| \leq \Delta_0$, такое, что $\exists k \in 1, n$, при котором компоненты $u_k(t)$,

$u_k'(t)$ циклически меняют знак с ростом t на полуоси.

Для компьютерного анализа устойчивости системы (36) целесообразно применять еще один способ численного моделирования. Он основан на том, что система (36) устойчива тогда и только тогда,

когда $\left\| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + hA) \right\| \leq C_0, \quad C_0 = \text{const},$

$\forall t \in [0, \infty)$, для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы

$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + hA) \right\| = 0$, где h из (4) [10, 11].

Вычисление степени $(E + hA)^i$ заменяется вычислением $(E + hA)^{2^\ell}$:

$$\left\| \lim_{\ell \rightarrow \infty} (E + hA)^{2^\ell} \right\| \leq C_0, \quad C_0 = \text{const};$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\| \lim_{\ell \rightarrow \infty} (E + hA)^{2^\ell} \right\| = 0. \quad (39)$$

При достаточно малом h реализация (39) сводится к умножению матрицы $(E + hA)^{2^\ell}$ на себя до момента достижения заданной границы изменения t . Следующая программа совмещает анализ устойчивости системы (36) на основе теорем 8, 9 и соотношений (39).

```

Program sglinconst; {$APPTYPE CONSOLE} uses SysUtils;
const n=3; h=1.1e-14; x0=0; xn=1500; h1=1.1e-4; TT=150000;
type matr=array[1..n,1..n] of extended; vect=array[1..n] of extended;
const A: matr=((-1, -0.09, 0.077),
               (0.087, -0.9, 0.005),
               (-0.034, 0.034, -0.2));
var a1,c: matr; y1,y2,y3,z1,z2,z3: extended; s0,s1,x: extended; I,j,l,k,k0,kk: integer;
function ay1 (const a: matr; var y1,y2,y3: extended): extended;
begin ay1:=a[1,1]*y1+a[1,2]*y2+a[1,3]*y3; end;
function ay2 (const a: matr; var y1,y2,y3: extended): extended;
begin ay2:=a[2,1]*y1+a[2,2]*y2+a[2,3]*y3; end;
function ay3 (const a: matr; var y1,y2,y3: extended): extended;
begin ay3:=a[3,1]*y1+a[3,2]*y2+a[3,3]*y3; end;
procedure ummatr (var a1,c: matr);
var s1: extended; I,j,l: integer;
begin for I:=1 to n do for j:=1 to n do
begin s1:=0; for l:=1 to n do s1:=s1+a1[I,l]*a1[l,j]; c[I,j]:=s1 end; end;
begin kk:=0; for i:=1 to n do for j:=1 to n do begin a1[I,j]:=a[I,j]*h; if i=j then a1[I,j]:=a1[I,j]+1 end;
x:=x0; y1:=2;y2:=2;y3:=2; while x<=xn do begin kk:=kk+1;
y1:=y1+ay1(a,y1,y2,y3)*h1; y2:=y2+ay2(a,y1,y2,y3)*h1; y3:=y3+ay3(a,y1,y2,y3)*h1;
if kk=TT then begin z1:=ay1(a,y1,y2,y3); z2:=ay2(a,y1,y2,y3); z3:=ay3(a,y1,y2,y3);
write (' :4,y1:4,' :4,ay1(a,y1,y2,y3):4,' :4,ay1(a,z1,z2,z3):4);writeln;
write (' :4,y2:4,' :4,ay2(a,y1,y2,y3):4,' :4,ay2(a,z1,z2,z3):4);writeln;
write (' :4,y3:4,' :4,ay3(a,y1,y2,y3):4,' :4,ay3(a,z1,z2,z3):4);writeln;
writeln; writeln; kk:=0; end; x:=x+h1; end; writeln; writeln;
k:=0; x:=x0; while abs(x) <= 1e9 {3} do begin ummatr (a1,c); k:=k+1; x:=h*exp((k+1)*ln(2));
for i:=1 to n do for j:=1 to n do a1[I,j]:=c[I,j]; s0:=0; for i:=1 to n do for j:=1 to n do
s0:=s0+sqrt(a1[I,j]); write (' :2, s0:2,' :8); end; writeln; writeln; writeln (' :2, 'шаг=',h,' ');
writeln (' :2, 'параметр k=',k,' ');writeln (' :2, 'параметр x=',x:2,' '); readln end.

```

Результат выполнения программы:

	Y	Y'	Y''	
	6.8E-0003	-1.3E-0003	2.8E-0004	
	1.3E-0003	-2.8E-0004	5.7E-0005	
	7.2E-0002	-1.4E-0002	3.0E-0003	
	2.4E-0004	-4.9E-0005	9.9E-0006	
	4.8E-0005	-9.8E-0006	2.0E-0006	
	2.5E-0003	-5.2E-0004	1.0E-0004	
	4.4E-0132	-8.9E-0133	1.8E-0133	
	8.8E-0133	-1.8E-0133	3.6E-0134	
	4.7E-0131	-9.4E-0132	1.9E-0132	
	$\ (E+hA)^{2^\ell}\ $			
	1.7E+0000	1.7E+0000	1.7E+0000	1.7E+0000
	1.7E+0000	1.7E+0000	1.7E+0000	1.7E+0000
	1.7E+0000	1.7E+0000	1.6E+0000	1.5E+0000
	1.3E+0001	1.1E+0000	8.0E-0001	5.4E-0001
	1.9E-0009	3.7E-0018	1.4E-0035	1.9E-0070
	3.5E-0140	1.2E-0279	1.4E-0558	2.0E-1116
	0.0E+0000	0.0E+0000	0.0E+0000	0.0E+0000
	0.0E+0000	0.0E+0000	0.0E+0000	0.0E+0000

Система (36) с матрицей A , 3×3 , заданной в разделе описания констант, решается методом Эйлера с шагом $h_1 = 1.1 \times 10^{-4}$ на отрезке $[0, 1500]$. По ходу решения с начальными значениями $y_k(0) = 2$, $k = 1, 2, 3$ выводятся компоненты $y_k(t)$, $y'_k(t)$, $y''_k(t)$. Компоненты убывают до 10^{-130} , по следствию 11 это признак асимптотической устойчивости. Знаки компонентов чередуются на всем отрезке решения: $0 < y_k(t)$, $y'_k(t) < 0$, $0 < y''_k(t)$, $k = 1, 2, 3$. По теореме 8 это также признак асимптотической устойчивости. Соотношение (39) реализуется с шагом $h = 1.1 \times 10^{-14}$ путем умножения матрицы $(E+hA)^{2^\ell}$ на себя до момента $t = 10^9$ (закомментировано $t = 10^3$ на случай переполнения от роста нормы при неустойчивости). Норма убывает от $\|(E+hA)^{2^1}\| = 1.7$ до $\|(E+hA)^{2^\ell}\| = 0$ при количестве умножений матрицы на себя $\ell = 76$. Согласно (39) это дополнительный признак асимптотической устойчивости. Признаки указывают правильный результат, поскольку матрица имеет диагональное преобладание отрицательных элементов.

Численный эксперимент. Используются евклидовы нормы матрицы и вектора. Пусть в (36) в качестве матрицы коэффициентов поочередно рассматриваются

$$A_1 = \begin{pmatrix} -1 & -0.09 & 0.077 & -0.01 \\ 0.087 & -0.9 & 0.005 & 0.019 \\ -0.034 & 0.034 & -0.2 & -0.06 \\ 0 & -0.022 & 0.092 & -1.4 \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} 1 & -0.09 & 0.077 & -0.01 \\ 0.087 & 0.9 & 0.005 & 0.019 \\ -0.034 & 0.034 & 0.2 & -0.06 \\ 0 & -0.022 & 0.092 & 1.4 \end{pmatrix}. \quad (40)$$

Если в программе `sgnlinconst` ввести изменения, соответственные размерности и конкретным данным, выводить левую часть (20) в обозначении $z_\ell = y_\ell(t)/y_\ell(0)$ при

$y_\ell(0) = 3 \times 10^{-6}$, $\ell \in \overline{1, 4}$, $t \in [0, 1500]$, то в случае A_1 получится $\|Z\| = \sqrt{\sum_{\ell=1}^4 z_\ell^2} : 1.02 \times 10^0, \dots$,

$5.16 \times 10^{-17}, \dots, 3.72 \times 10^{-29}, \dots, 8.07 \times 10^{-86}, \dots, 1.28 \times 10^{-104}, \dots, 2.67 \times 10^{-134}$. Согласно (21) это признак асимптотической устойчивости (соответствует диагональному преобладанию отрицательных элементов). Для этой же матрицы получится признак асимптотической устойчивости, соответственный теореме 9: $0 < y_k(t), y'_k(t) < 0, 0 < y''_k(t), k \in \overline{1,4}$. Кроме того, компоненты $y_k(t), y'_k(t), y''_k(t), k \in \overline{1,4}$ убывают от 6.1×10^{-11} до 2.6×10^{-142} , по следствию 11 это также указывает на асимптотическую устойчивость. Реализация (39) даст для A_1 еще один признак асимптотической устойчивости $\|(E + hA_1)^{2^\ell}\|: 2.0 \times 10^0, 2.0 \times 10^0, \dots, 1.9 \times 10^0, 1.8 \times 10^0, \dots, 2.3 \times 10^{-36}, 5.2 \times 10^{-72}, \dots, 0, 0$. В случае A_2 преобладают положительные диагональные элементы, рост нормы соответствует неустойчивости, $\|Z\|: 5.75 \times 10^0, \dots, 1.01 \times 10^{20}, \dots, 3.68 \times 10^{100}, \dots, 1.85 \times 10^{491}, \dots, 4.30 \times 10^{656}, \dots, 8.62 \times 10^{772}, \dots, 4.18 \times 10^{908}$. Другой признак неустойчивости: $y_1 < 0, y'_1 < 0, y''_1 < 0; 0 < y_2, 0 < y'_2, 0 < y''_2; y_3 < 0, y'_3 < 0, y''_3 < 0; 0 < y_4, 0 < y'_4, 0 < y''_4$. Компоненты растут до 8.8×10^{893} , и далее, до переполнения, нарушается необходимое условие устойчивости следствия 11. Наконец, $\|(E + hA_2)^{2^\ell}\|: 2.0 \times 10^0, 2.0 \times 10^0, \dots, 2.0 \times 10^0, 2.1 \times 10^0, 2.2 \times 10^0, \dots, 1.1 \times 10^{240}, 1.3 \times 10^{480}$, далее следует переполнение. Для обеих матриц (40) признаки указывают правильные результаты. Можно рассмотреть пограничные состояния устойчивости линейных уравнений, взяв в (36) матрицу Фробениуса с нижней строкой, соответственной характеристическому полиному с кратными (или напротив) мнимыми корнями. Пусть, например,

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 4 & 0 & 7 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}, A_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -4 & -16 & -25 & -20 & -10 & -4 \end{pmatrix}.$$

Последняя строка – коэффициенты характеристических полиномов, за вычетом единичных при старших степенях, взятые с обратным знаком и расположенные в порядке возрастания индексов. Характеристический полином A_3 имеет кратные мнимые корни: $P_6(t) = t^6 - 2t^4 - 7t^2 - 4$ или $P_6(t) = (t^2 + 1)^2(t^2 - 4)$, в этом случае система неустойчива [14]. Программа `sgnlinconst` для $A_3, y_\ell(0) = 3 \times 10^{-6}, \ell \in \overline{1,6}, t \in [0, 1500]$, даст $\|Z\| = \sqrt{\sum_{\ell=1}^6 z_\ell^2}: 3.35 \times 10^1, \dots, 3.37 \times 10^{67}, \dots, 3.71 \times 10^{146}, \dots, 1.76 \times 10^{241}, \dots, 1.32 \times 10^{1276}, 2.82 \times 10^{1290}$. Ввиду нарушения условия (20) это признак неустойчивости. То же получается в соответствии с теоремой 10: $0 < y_k(t), 0 < y'_k(t), 0 < y''_k(t), k \in \overline{1,6}$. Компоненты $y_k(t), y'_k(t), y''_k(t)$ растут до 2.9×10^{1285} , нарушая необходимое условие устойчивости следствия 11. Еще один признак неустойчивости, $\|(E + hA_3)^{2^\ell}\|: 2.4 \times 10^0, 2.4 \times 10^0, \dots, 2.4 \times 10^0, 2.5 \times 10^0, \dots, 9.9 \times 10^{02}, \dots, 3.5 \times 10^{344}, 6.0 \times 10^{688}$, далее следует переполнение, что нарушает (39). Для матрицы A_4 характеристический полином имеет вид $P_6(t) = t^6 + 4t^5 + 10t^4 + 20t^3 + 25t^2 + 16t + 4$ или $P_6(t) = (t+1)^4(t^2+4)$, мнимые корни не кратны, действительные части остальных корней отрицательны, что соответствует неасимптотической устойчивости [14]. Программа с теми же входными параметрами даст $\|Z\|: 1.25 \times 10^1, \dots, 2.25 \times 10^1, \dots, 2.36 \times 10^1, \dots, 2.21 \times 10^1, \dots, 1.79 \times 10^1, \dots, 1.55 \times 10^1, \dots, 1.95 \times 10^1, \dots, 1.93 \times 10^1$. Это признак устойчивости согласно (20). Изменение компонентов $y_k(t), y'_k(t), y''_k(t), k \in \overline{1,6}$ ограничено по модулю, например при $k=1$ соответственно от $1.4 \times 10^{-8}, 4.9 \times 10^{-9}, 5.6 \times 10^{-8}$ до $9.0 \times 10^{-9}, 2.2 \times 10^{-8}, 3.6 \times 10^{-8}$, аналогично при $k \in \overline{2,6}$, что указывает на устойчивость по следствию 11. В тройке $y_k(t), y'_k(t), y''_k(t)$ знаки циклически меняются с ростом t . Точнее, при каждом $k \in \overline{1,6}$ всегда имеется пара противоположных знаков соседних компонентов тройки, для смежной пары один из знаков повторяется. При этом комбинация знаков меняется с ростом t и циклически повторяется, что по замечанию 5 иллюстрирует именно неасимптотическую

устойчивость системы. На том же отрезке $\|(E + hA_4)^{2^\ell}\| : 2.4 \times 10^0, \dots, 2.4 \times 10^0, \dots, 7.3 \times 10^0, \dots, 1.0 \times 10^1, \dots, 1.2 \times 10^1, \dots, 9.4 \times 10^0, \dots, 6.7 \times 10^0, \dots, 1.1 \times 10^1, \dots, 7.0 \times 10^0$. Согласно (39) признак указывает на устойчивость. В результате признаки соответствуют неустойчивости системы (36) с матрицей A_3 и ее неасимптотической устойчивости в случае A_4 . Пусть теперь рассматривается система $v'_1 = -v_2 \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$, $v'_2 = v_1 \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$. Известно, что ее нулевое решение устойчиво, все остальные неустойчивы. Программа, реализующая (20), аналогична приведенной выше `sgnrost`, отличается размерностью и функциями правой части. Признак устойчивости нулевого решения получается, в частности, при $v_k(0) = 10^{-6}$, $k=1, 2$, $t \in [0, 1500]$, шаг метода Эйлера $h = 10^{-6}$. В прежнем обозначении выводится $\|Z\| = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} : 1.4, 1.4, \dots, 1.4$. Признак сохраняется при вариации начальных значений. То, что устойчивость нулевого решения не асимптотическая, иллюстрируется, в частности, в случае $v_k(0) = 10^{-3}$: компоненты $v_k(t)$ и $u_k(t)$ циклически меняют знаки с ростом $t \in [0, 1500]$ в соответствии с замечанием 6, при этом $\|Z\|$ не выходит из отмеченных выше границ. Неустойчивость ненулевых решений на основе соотношения (18) проявляется, начиная с начальных значений $v_1(0) = 10^{-4}$, $v_2(0) = 10^{-4}$, при возмущении 3×10^{-6} . В обозначении $z_k = (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)) / (\tilde{v}_k(0) - v_k(0))$ получится $\|Z\| = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} : 1.41, 1.41, \dots, 1.42, \dots, 1.43, \dots, 1.447$. Если $v_1(0) = 10^{-3}$, $v_2(0) = 10^{-3}$, то $\|Z\| : 1.4, 1.5, \dots, 1.6, \dots, 1.9, \dots, 2, \dots, 2.1, \dots, 3, \dots, 3.3$. Если $v_1(0) = v_2(0) = 10^{-1}$, то $\|Z\| : 2, \dots, 4, \dots, 12, \dots, 89, \dots, 91, \dots, 180, \dots, 251, \dots, 300, \dots, 312$. Признак сохраняется при вариации возмущений начальных значений. Для ненулевого решения признак в соответствии с теоремой 7 непосредственно не получится, поскольку теорема дана для нулевого решения системы (35). Однако если численно смоделировать замены переменных $w_k(t) = \tilde{v}_k(t) - v_k(t)$, сводящие анализ устойчивости ненулевого решения $V(t)$ к анализу нулевого решения $W(t)$, то требуемый признак проявится при $v_k(0) = 10^{-4}$ и $\tilde{v}_k(0) = 10^{-4} + 10^{-9}$, $k=1, 2$. На всем отрезке $[0, 1500]$ знаки второго компонента решения и производной будут совпадать: $0 < w_2(t)$, $0 < w'_2(t)$, при этом $\|Z\|$ монотонно растет. Согласно эксперименту при возмущениях любых ненулевых начальных значений $\|Z\|$ неизменно растет, указывая на неустойчивость ненулевых решений.

Инвариантность признаков (18)–(21) для нелинейных уравнений далее иллюстрирует пример с использованием аналитических преобразований и оценок. Из (10)

$$\tilde{y}_k(t) - y_k(t) = e^{\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)} (\tilde{y}_{k0} - y_{k0}) \quad \forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1, n}. \text{ Лемма 2 сохранится при за-}$$

мене (11) на соотношение $\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \leq c_{11}$, $c_{11} = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1, n}$ и (12) –

на соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) = -\infty \quad \forall k \in \overline{1, n}$ [11]. Согласно (16), (17) в условиях

теоремы 1 при достаточно малом h под знаком логарифма исключены неустраняемые особенности. С учетом $\lim_{h \rightarrow 0} (\ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) / (D_{i-\ell}^{(k)} h)) = 1$ в тех же условиях лемма 2 сохранит-

ся при замене (11) на соотношение $\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i (D_{i-\ell}^{(k)} h) \leq c_{11}$, $c_{11} = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1, n}$

и (12) – на соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i (D_{i-\ell}^{(k)} h) = -\infty \quad \forall k \in \overline{1, n}$. На этой основе в рамках теоремы 1 ограничение (5) снимается с интегральных аналогов $\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i (D_{i-\ell}^{(k)} h)$ как пределов

интегральных сумм на $[t_0, t]$, элементами которых являются $D_{i-\ell}^{(k)}$ из (6), (10). Пусть задача (1) записана в виде

$$V'_t = U(t, V), \quad V(t_0) = V_0, \quad (41)$$

где $U(t, V) = (u_1(t, V), u_2(t, V), \dots, u_n(t, V))$, $V = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$, $V_0 = (v_{10}, v_{20}, \dots, v_{n0})$, и пусть она имеет нулевое решение $V(t) = \bar{O} \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, $V(t_0) = \bar{O}$, $0 < t_0$, устойчивость которого требуется исследовать. В дальнейшем для задачи (41) предполагаются выполненными условия теоремы 1 относительно ограничения (5), и любое ненулевое решение (41)

интерпретируется как возмущение решения $V(t) = \bar{O}$. При замене $\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i (D_{i-\ell}^{(k)} h)$ на интеграл справедлива

Лемма 7 [11]. Лемма 2 сохраняется для $V(t)$ из (41), если соотношения (11) заменить на $\int_{t_0}^t (u_k(t, V)/v_k(t)) dt \leq c^{(11)}$, $c^{(11)} = \text{const} \forall t \in [t_0, \infty)$ и (12) – на $\int_{t_0}^{\infty} (u_k(t, V)/v_k(t)) dt = -\infty$, $\forall k \in \overline{1, n}$.

В точках устранимых особенностей, $v_k(\tilde{t}) = 0$, дроби $u_k(t, V)/v_k(t)$ доопределяются: $u_k(\tilde{t}, V)/v_k(\tilde{t}) = \lim_{t \rightarrow \tilde{t}} (u_k(t, V)/v_k(t))$, и ограничение (5) снимается с условием двух теорем из [11].

Теорема 11. Если $\exists \Delta_1 > 0$: $\forall V(t)$, $0 < \|V(t_0)\| \leq \Delta_1$, выполнено $u_k/v_k \leq f_k(t) \forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$, где $\int_{t_0}^t f_k(t) dt \leq c_{11}$, $c_{11} = \text{const}$, то решение $V(t) = \bar{O}$ устойчиво. В частности, $f_k(t) = \rho t^\beta$, $\beta < -1$, $\beta = \text{const}$, $\rho = \text{const}$. Если $\forall \Delta_1 > 0 \exists V(t)$, $0 < \|V(t_0)\| \leq \Delta_1$, $\exists k \in \overline{1, n}$: $u_k/v_k \geq g_k(t) \forall t \in [t_0, \infty)$, где $\int_{t_0}^{\infty} g_k(t) dt = \infty$, то решение $V(t) = \bar{O}$ неустойчиво. В частности, $g_k(t) = \rho t^\alpha$, $-1 \leq \alpha$, $0 < \rho$, $\alpha = \text{const}$, $\rho = \text{const}$.

Теорема 12. Если для (41) выполнены условия устойчивости теоремы 11 и $\exists \Delta_2 > 0$, $\Delta_2 \leq \Delta_1$, $\forall V(t)$, $0 < \|V(t_0)\| \leq \Delta_2$: $u_k/v_k \leq f_k(t) \forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$, где $\int_{t_0}^{\infty} f_k(t) dt = -\infty$, то решение $V(t) = \bar{O}$ асимптотически устойчиво. В частности, $f_k(t) = -\rho t^\beta$, $-1 \leq \beta$, $0 < \rho$, $\beta = \text{const}$, $\rho = \text{const}$.

Условием теоремы 12 удовлетворяет система

$$\begin{aligned} v'_k &= -k\rho t^\beta v_k + t^{-2} v_k \cos^2(v_k v_r) e^{\sin^3\left(v_k^3 v_r^2 \left(\sum_{\ell=0}^p a_\ell t^\ell \sum_{\ell=0}^q b_\ell v_r^\ell\right)\right)}, \\ v'_r &= -r(1 + \sin^6(v_k^3 + v_r^3)) v_r t^\beta, \quad k \in \overline{1, n}, \forall r \in \overline{1, n}, r \neq k, \end{aligned} \quad (42)$$

где $0 < t_0$, $v_k(t_0) = v_{k0}$, $k \in \overline{1, n}$, $0 < \rho$, $-1 < \beta < 0$; $0 \leq p$, $0 \leq q$; a_ℓ , b_ℓ – вещественные числа $\forall \ell \in \overline{0, p}$,

$\forall i \in \overline{0, q}$. Для (42) $-k\rho t^\beta + t^{-2} \cos^2(v_k v_r) e^{\sin^3\left(v_k^3 v_r^2 \left(\sum_{\ell=0}^p a_\ell t^\ell \sum_{\ell=0}^q b_\ell v_r^\ell\right)\right)} \leq f_k(t)$, где $f_k(t) = -k\rho t^\beta + t^{-2} e$, при этом $\int_{t_0}^{\infty} f_k(t) dt = -k\rho((\beta+1)^{-1} \lim_{t \rightarrow \infty} t^{\beta+1} - (\beta+1)^{-1} t_0^{\beta+1}) + (-\lim_{t \rightarrow \infty} t^{-1} + t_0^{-1})$, или, $\int_{t_0}^{\infty} f_k(t) dt = -\infty$.

Кроме того, $-r(1 + \sin^6(v_k^3 + v_r^3)) t^\beta \leq f_r(t)$, где $f_r(t) = -rt^\beta$, $r \neq k$, и $\int_{t_0}^{\infty} f_r(t) dt = -\infty$. Реше-

ние $V(t) = \bar{O}$ асимптотически устойчиво. На основе (20), (21), $z_k = v_k(t)/v_k(t_0)$ для значений $n = 2$, $t_0 = 0.5$, $\beta = -0.5$, $\rho = 0.5$, $p = 3$, $q = 3$, $a_\ell = 1$, $b_\ell = 1$, $\ell = 0, 1, 2$ модифицированная программа `sgnrost`, $v_k(0) = 3 \times 10^{-6}$, $k = 1, 2$, $t \in [0, 1500]$, шаг метода Эйлера $h = 10^{-6}$, даст соответственный признак $\|Z\| = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} : 5.33 \times 10^{-1}$, ..., 6.17×10^{-3} , ..., 9.66×10^{-10} , ..., 9.24×10^{-14} , ..., 4.92×10^{-16} , ..., 2.56×10^{-16} .

Кроме того, $0 < v_k(t)$, $v'_k(t) < 0$, $t \in [0, 1500]$, $k = 1, 2$, для правой части в данном приближении выполнено $\lim_{t \rightarrow \infty} \|U(t, V)\| = 0$ (на конце отрезка $\|U(t, V)\| = 10^{-23}$).

Если в (42) множитель t^{-2} заменить на -1 , то полученная система снова будет удовлетворять условиям теоремы 12, можно положить $f_k(t) = -k\rho t^\beta$, откуда следует асимптотическая устойчивость решения $V(t) = \bar{O}$. Программа даст $\|Z\| : 3.99 \times 10^{-5}$, ..., 7.65×10^{-12} , ..., 8.26×10^{-21} , ..., 2.31×10^{-38} , ..., 1.91×10^{-54} , ..., 1.42×10^{-63} , ..., 1.45×10^{-66} .

Как и в предыдущем случае, $0 < v_k(t)$, $v'_k(t) < 0$, $t \in [0, 1500]$, $k = 1, 2$, на конце отрезка $\|U(t, V)\| = 2.3 \times 10^{-73}$.

Если t^{-2} заменить на $+1$ то $u_k(t) = v_k(t)g_k(t)$, где

$$g_k(t) = -k\rho t^\beta + \cos^2(v_k v_r) e^{\sin^3\left(v_k^3 v_r^2 \left(\sum_{\ell=0}^p a_\ell t^\ell \sum_{\ell=0}^q b_\ell v_r^\ell\right)\right)},$$

нулевое решение окажется неустойчивым. Если предположить обратное – что $V(t)=\bar{O}$ устойчиво, то $\forall \varepsilon > 0$, $\varepsilon^4 + \varepsilon \leq 4^{-1}$, $\exists \Delta > 0$: при условии $0 < \|V(t_0)\| \leq \Delta$ выполнено $|v_k(t)| \leq \varepsilon \forall k \in \overline{1, n}$, так что $|v_k(t)v_r(t)| \leq \varepsilon^2 \forall t \in [t_0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}, \forall r \in \overline{1, n}$. С учетом $\cos^2(v_k v_r) = 1 - \sin^2(v_k v_r)$ при достаточно малом ε верно $\cos^2(v_k v_r) \geq 1 - \varepsilon^4 - \varepsilon$. Отсюда

$$\cos^2(v_k v_r) e^{\sin^3\left(v_k^3 v_r^2 \left(\sum_{\ell=0}^p a_\ell t^\ell \sum_{\ell=0}^q b_\ell v_r^\ell\right)\right)} \geq (1 - \varepsilon^4 - \varepsilon) e^{-1}.$$

В силу $\beta < 0$, начиная с некоторого $t_1 \geq t_0$, выполняется $|-k\rho t^\beta| \leq (\varepsilon^4 + \varepsilon) e^{-1} \forall t \in [t_1, \infty)$. С точностью до устранимых особенностей $u_k(t)/v_k(t) = g_k(t) \forall t \in [t_1, \infty)$, где $g_k(t) \geq (1 - 2\varepsilon^4 - 2\varepsilon)e^{-1}$. Поскольку $\varepsilon^4 + \varepsilon \leq 4^{-1}$, то $g_k(t) \geq 2^{-1}e^{-1} \forall t \in [t_1, \infty)$, $\int_{t_1}^t g_k(t) dt \geq 2^{-1} \int_{t_1}^t e^{-1} dt$, и $\int_{t_1}^\infty g_k(t) dt = \infty$.

Функция $g_k(t)$ ограничена $\forall t \in [t_0, t_1]$, отсюда $\int_{t_0}^\infty g_k(t) dt = \infty$. По теореме 10 решение

$V(t)=\bar{O}$ неустойчиво вопреки предположению. Предположение неверно, и решение неустойчиво. Программа даст признак $\|Z\|$: 1.75×10^3 , ..., 6.05×10^{22} , ..., 8.43×10^{40} , ..., 1.20×10^{50} , ..., 1.17×10^{66} , ..., 4.96×10^{74} , ..., 8.42×10^{77} .

Кроме того, $0 < v_1(t)$, $0 < v'_1(t)$ ($0 < v_2(t)$, $v'_2(t) < 0$), $t \in [0, 1500]$. Все признаки сохраняются в единичной окрестности нулевых начальных значений.

Система (42) не является автономной, поэтому для оценки устойчивости нельзя сослаться на теоремы 4–8 и предложения 1–6. Тем не менее в рассмотренных трех видоизменениях этой системы экспериментальное поведение знаков компонентов решения и производной, стремление производной к нулю на полуоси соответствуют предложению 4, теоремам 6 и 8. Можно допустить, что при некоторых ограничениях предложения 1–6 теоремы 4–8 переносятся на общий случай системы (41) и на ее частный случай (42). В самом деле, при доказательстве предложений и теорем в случае ав-

тономной системы нигде не использовалась специфика системы (35), а применялись только предельные свойства монотонной функции одной переменной в зависимости от знака ее производной. Эти свойства были нужны, чтобы получить стремление к нулю компонентов правой части: $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0 \forall k \in \overline{1, n}$. Как только эти соотношения выполнялись, из них автоматически следовало стремление к нулю решения: $\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = 0 \forall k \in \overline{1, n}$. Отсюда рассматриваемые рассуждения переносятся на случай конкретной разновидности системы (41), если для нее выполняется $U(\bar{O}) = \bar{O}$ и то ограничение, что из $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0 \forall k \in \overline{1, n}$ следует

$\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = 0 \forall k \in \overline{1, n}$. Нетрудно видеть, что для системы (42) $U(\bar{O}) = \bar{O}$, а соотношения знаков $u_k(t)$ и $v_k(t) \forall t \in [t_1, \infty)$ при достаточно большом t_1 тривиально выводятся аналитически. Из этих соотношений непосредственно следует устойчивость точки покоя первых двух рассмотренных разновидностей системы (42) и ее неустойчивость в случае третьей разновидности. Однако доказать асимптотическую устойчивость точки покоя двух первых разновидностей системы с помощью аналитического вывода соотношения $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0 \forall k \in \overline{1, n}$ уже затруднительно. Более того, принципиальную трудность представляет показать, что из этого соотношения следует $\lim_{t \rightarrow \infty} v_k(t) = 0 \forall k \in \overline{1, n}$: правая часть (42) может стремиться к нулю за счет множителей – степенных функций с отрицательными показателями. Однако можно отметить, что экспериментальное выполнение $\lim_{t \rightarrow \infty} u_k(t) = 0$ согласуется с оценками на основе теоремы 12 – из оценок следует $u_k/v_k \rightarrow 0$, если $t \rightarrow \infty$, что возможно только, если $u_k \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Однако анализ на основе теоремы 12 уже влечет вывод об асимптотической устойчивости и не требует иных доказательств. Остается заключить, что представленные методы не перекрывают друг друга, они целесообразны в соответствии с классами задач и возможностями численного моделирования устойчивости.

Относительно ограничений параметров в ходе численного эксперимента можно отметить следующее. Для линейных систем изложенные признаки применимы в границах $10^{-15} \leq h \leq 10^{-3}$, для нелинейных – $10^{-6} \leq h \leq 10^{-3}$, h из (4). Границы t , в которых численные признаки достоверны, сокращаются с ростом h и размерности n , увеличиваются с точностью приближенных методов.

Заключение

Изложены компьютерно-ориентированные методы анализа устойчивости на основе приближенного решения дифференциальных систем, применимые к нелинейным, автономным и линейным системам. Методы включают необходимые и достаточные условия устойчивости с учетом класса задач, используются для построения численных признаков и для аналитического исследования. Предлагается совокупность способов одновременного компьютерного контроля устойчивости по ходу решения системы в реальном времени.

Список литературы

1. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Изд-во «Наука-всему», 2019. 480 с.
2. Канатников А.Н. Качественная теория обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 44 с.
3. Матросов В.М. Метод векторных функций Ляпунова: анализ динамических свойств нелинейных систем. М.: Физматлит, 2001. 376 с.
4. Маркеев А.П., Сокольский А.Г. Некоторые вычислительные алгоритмы нормализации гамильтоновых систем. М.: Препринт ИПМ АН СССР. 1976. № 31. 61 с.
5. Hammarling S. J. Numerical Solution of the Stable, Non-negative Definite Lyapunov Equation. IMA J. of Num. Analysis. Vol. 2. Issue 3. 1. July 1982. P. 303–323.
6. Новиков М.А. О вычислительных способах достаточных условий устойчивости автономных консервативных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 1 (41). С. 28–36.
7. Giesl P.A., Hafstein S.F. Computation of Lyapunov functions for nonlinear discrete time systems by linear programming. J. Difference Equ. Appl. 2014. 20. P. 610–640.
8. Giesl P.A., Hafstein S.F. Revised CPA method to compute Lyapunov functions for nonlinear systems. J. of Math. Anal. And Appl. February 2014. Vol. 410. Issue 1. P. 292–306.
9. Giesl P.A., Hafstein S.F. Review on computational methods for Lyapunov functions. Discrete & Continuous Dynamical Systems–B. 2015. Vol. 420 (8). P. 2291–2331.
10. Ромм Я.Е. Моделирование устойчивости по Ляпунову на основе преобразований разностных схем решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Известия РАН. Математическое моделирование. 2008. Т. 20. № 12. С. 105–118.
11. Ромм Я.Е. Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости на основе рекуррентных преобразований разностных решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Кибернетика и системный анализ. 2015. Т. 51. № 3. С. 107–124.
12. Пиголкина Т.С. Автономные системы. Фазовые траектории. Элементы теории устойчивости. М.: Изд-во МФТИ, 2013. 40 с.
13. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. СПб.: Изд-во «Лань», 2018. 608 с.
14. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2010. 558 с.
15. Матвеев Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Высшая школа, 1967. 566 с.

УДК 62-2:534.01

**МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ЖЕСТКОГО РОТОРА НА ПОДАТЛИВЫХ ПОДШИПНИКАХ****Сафина Г.Ф.***ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Нефтекамский филиал,
Нефтекамск, e-mail: safinagf@mail.ru*

Рассмотрена прямая спектральная задача определения частот свободных колебаний жесткого ротора, закрепленного с обоих концов подшипниками на податливых опорах. Смоделирована динамическая модель ротора с подшипниками, совмещенная с трехмерной координатной системой, выбраны обобщенные координаты. По конечному набору степеней свободы получены дифференциальные уравнения для центра тяжести ротора и его поворотов относительно осей координат. С учетом совершаемых малых гармонических колебаний ротора на подшипниках найдено вековое уравнение задачи, по которому определяются частоты четырех нормальных форм колебательного процесса. Приведен пример решения прямой задачи. С использованием математических моделей проведено исследование влияния на частоты колебаний ротора его физических характеристик, таких как масса ротора, жесткости податливых опор в различных направлениях. Показано, что увеличение массы ротора ведет к уменьшению частот колебаний, а увеличение коэффициентов жесткости опор как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях ведет к увеличению частот колебаний ротора. Причем одновременное увеличение всех параметров жесткости ведет к более сильному росту значений частот колебаний. Приведены таблицы, подтверждающие установленные зависимости. Решение поставленных задач сопровождается применением стандартных команд математического пакета Maple. Проведенные исследования прямой спектральной задачи учитываются при решениях проблем сохранения безопасных частот колебания ротора.

Ключевые слова: ротор на подшипниках, свободные колебания, собственные частоты, вековое уравнение, физические параметры

**MODELING OF FREE OSCILLATIONS OF RIGID ROTOR
ON FLEXIBLE BEARINGS IN TASK****Safina G.F.***Bashkir State University, Neftekamsk branch, Neftekamsk, e-mail: safinagf@mail.ru*

Direct spectral problem of determination of frequencies of free oscillations of rigid rotor fixed at both ends by bearings on flexible supports is considered. Dynamic model of rotor with bearings combined with three-dimensional coordinate system is simulated, generalized coordinates are selected. Differential equations for the center of gravity of the rotor and its rotations relative to coordinate axes are obtained from the final set of degrees of freedom. Taking into account the performed small harmonic oscillations of the rotor on bearings, the age-old equation of the task is obtained, from which frequencies of four normal forms of oscillatory process are determined. This is an example of solving a direct problem. Using mathematical models, the influence on the rotor vibration frequencies of its physical characteristics, such as rotor mass, of the stiffness of flexible supports in different directions was studied. It is shown that increase of rotor weight leads to decrease of vibration frequencies, and increase of support stiffness coefficients in both horizontal and vertical directions leads to increase of rotor vibration frequencies. Note here that simultaneous increase of all stiffness parameters leads to stronger increase of oscillation frequencies. The tables confirming the established dependencies are shown. The solution of the set tasks is accompanied by the application of standard commands of the mathematical package Maple. Performed investigations of direct spectral problem are taken into account in solving problems of maintaining safe frequencies of rotor oscillation.

Keywords: Rotor on bearings, free oscillations, natural frequencies, age equation, physical parameters

Роторы, валы, балки и другие элементы являются частыми составляющими подвижных и неподвижных механических систем [1; 2]. Известно, что по акустическому отклику конструкций возможно восстановление различного рода неисправностей таких систем. Исследования, связанные с изношенностью, а также с изменениями физических параметров конструкций, играют важную роль при решениях проблем сохранения безопасных частот свободных колебаний [3; 4].

Действительно, частыми случаями на практике являются колебания, возникающие при отсутствии какого-либо внешнего периодического возбуждения. Это и сравнительно простые процессы свободных колебаний, возникающие после мгновенного нарушения состояния устойчивого

равновесия механической системы, и более сложные процессы, такие как автоколебания систем.

Большое внимание исследователей в настоящее время привлечено к вопросам колебаний самых разнообразных механических конструкций (автомобилей, кораблей и самолетов, инженерных сооружений, роторов турбин, валов двигателей, турбинных лопаток, воздушных и гребных винтов, перекрытий промышленных зданий и т.п.).

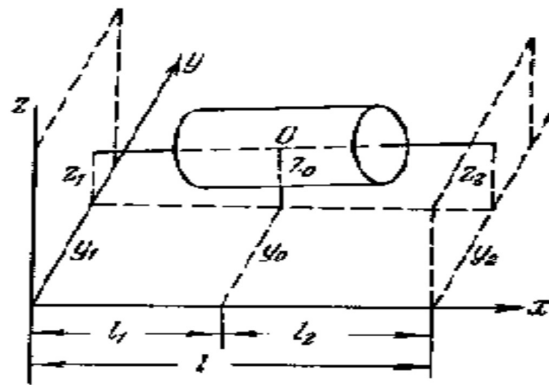
Многие научные труды по теории колебаний включают задачи свободных колебаний валов, роторов, например работы [2; 5; 6]. Целью данной работы является построение динамической модели ротора, закрепленного податливыми подшипниками с различными жесткостями в горизонтальном и вертикальном направлениях, получение

ние дифференциальных уравнений, описывающих колебательный процесс. В работе приводится также вывод векового уравнения прямой спектральной задачи. С помощью построенной программы по алгоритму решения задачи исследуется зависимость частот колебаний ротора от его физических параметров. Полученные результаты учитываются при обеспечении надежности механических колебательных процессов, составляющими которых являются роторы на податливых подшипниках.

Прямая задача определения частот свободных колебаний ротора на подшипниках

Смоделируем свободные колебания жесткого ротора, закрепленного подшипниками на податливых опорах.

Систему координат $Oxyz$ совмещаем с ротором так, как представлено на рисунке. За обобщенные координаты принимаем угловые перемещения β, γ оси ротора, а также перемещения y_0, z_0 центра тяжести ротора и малые перемещения y_1, z_1, y_2, z_2 подшипников в направлениях осей Oy и Oz [2].



Модель ротора на податливых подшипниках

Здесь: W и J – масса ротора и момент инерции его поперечного сечения; c_1, c_2 и d_1, d_2 – коэффициенты жесткостей подвижных опор в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно; l_1, l_2 – расстояния от центра тяжести ротора до его податливых опор, причем $l_1 + l_2 = l$.

По такой динамической модели для центра тяжести и угловых перемещений имеем равенства:

$$y_0 = y_1 \frac{l_2}{l} + y_2 \frac{l_1}{l}, \quad z_0 = z_1 \frac{l_2}{l} + z_2 \frac{l_1}{l}, \quad \beta = \frac{y_2 - y_1}{l}, \quad \gamma = \frac{z_2 - z_1}{l}.$$

Тогда соответствующие дифференциальные уравнения перемещений центра тяжести ротора и его поворотов относительно указанных осей примут вид:

$$\begin{cases} \frac{W}{gl}(l_2 \ddot{y}_1 + l_1 \ddot{y}_2) + c_1 y_1 + c_2 y_2 = 0, & \begin{cases} JW \frac{\dot{y}_2 - \dot{y}_1}{l} - J_1 \frac{\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1}{l} = z_2 l_2 d_2 - z_1 d_1 l_1, \\ JW \frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{l} + J_1 \frac{\ddot{y}_2 - \ddot{y}_1}{l} = -y_2 c_2 l_2 + y_1 c_1 l_1. \end{cases} \\ \frac{W}{gl}(l_2 \ddot{z}_1 + l_1 \ddot{z}_2) + d_1 z_1 + d_2 z_2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Четыре уравнения системы (1) описывают моделируемый колебательный процесс.

Вывод векового уравнения прямой задачи

С учетом свободных колебаний жесткого ротора на нежестких опорах принимаем колебательный процесс гармоническим:

$$y_1 = M_1 \sin pt, \quad y_2 = M_2 \sin pt, \quad z_1 = M_3 \cos pt, \quad z_2 = M_4 \cos pt, \quad (2)$$

где $M_i, (i = \overline{1,4})$ – амплитуды, p – собственная частота колебаний ротора.

Тогда с учетом (2) уравнения (1) примут вид

$$\begin{cases} JW \frac{M_2 p \cos pt - M_1 p \cos pt}{l} - J_1 \frac{-M_4 p^2 \cos pt + M_3 p^2 \cos pt}{l} = M_4 \cos pt l_2 d_2 - M_3 \cos pt d_1 l_1; \\ JW \frac{-M_4 p \sin pt + M_3 p \sin pt}{l} + J_1 \frac{-M_2 p^2 \sin pt + M_1 p^2 \sin pt}{l} = -M_2 \sin pt c_2 l_2 + M_1 \sin pt c_1 l_1; \\ \frac{W}{gl}(-l_2 M_1 p^2 \sin pt + l_1 M_2 p^2 \sin pt) + c_1 M_1 \sin pt + c_2 M_2 \sin pt = 0; \\ \frac{W}{gl}(-l_2 M_3 p^2 \cos pt - l_1 M_4 p^2 \cos pt) + d_1 M_3 \cos pt + d_2 M_4 \cos pt = 0. \end{cases}$$

Преобразуя последнюю систему, определяем четыре однородных уравнения относительно амплитуд M_i , ($i = 1, 4$) колебаний ротора.

Далее с учетом существования ненулевого решения этой системы [7] найдем вековой определитель для нашей задачи в виде:

$$\begin{vmatrix} \frac{JWp}{l} & \frac{JWp}{l} & -\frac{p^2 J_1}{l} + c_2 l_2 & \frac{p^2 J_1}{l} - d_2 l_2 \\ \frac{p^2 J_1}{l} - c_1 l_1 & -\frac{p^2 J_1}{l} + c_2 l_2 & \frac{JWp}{l} & -\frac{JWp}{l} \\ -\frac{p^2 l_2 W}{gl} + c_1 & -\frac{p^2 l_1 W}{gl} + c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{p^2 l_2 W}{gl} + d_1 & -\frac{p^2 l_1 W}{gl} + d_2 \end{vmatrix} = 0.$$

Преобразования определителя приводят его к уравнению восьмого порядка относительно частоты колебаний

$$Ap^8 + Bp^6 + Cp^4 + Dp^2 + E = 0. \quad (3)$$

с коэффициентами, содержащими в себе физические параметры жесткого ротора и податливых подшипников:

$$A = \frac{1}{l^4 g^2} (-J_1^2 l_1^2 W^2 - 2J_1^2 l_1 W^2 l_2 - W^2 l_2^2 J_1^2).$$

$$B = \frac{1}{l^4 g^2} (W^4 l_2^2 J^2 + W l_2 J_1^2 d_1 g l + W^2 l_2 J_1 d_1 l_1^2 l + W^2 l_2^3 J_1 d_2 l + W^2 l_2^3 c_2 l J_1 + J_1^2 c_2 g l l_1 W + \\ + J^2 W^4 l_1^2 + J_1^2 l_1 W d_1 g l + W^2 l_2^2 c_2 l J_1 l_1 + J_1^2 l_1 W d_2 g l + J_1 l_1 W^2 l_2^2 d_2 l + W l_2 J_1^2 d^2 g l + c_1 l_1^2 l W^2 l_2 J_1 + \\ + J_1^2 c_2 g l W l_2 + c_1 l_1^3 l W^2 J_1 + J_1 l_1^3 W^2 d_1 l + c_1 g l J_1^2 l_1 W + 2J^2 W^4 l_1 l_2 + c_1 g l J_1^2 W l_2);$$

$$C = \frac{1}{l^4 g^4} (-c_1 l_1^2 l^2 W J_1 d_2 g - W l_2^2 c_2 l^2 d_1 g J_1 - 2c_1 l_1 l^2 c_2 g W l_2 J_1 - J^2 W^3 l_1 d_1 g l - J^2 W^3 c_2 g l l_1 - \\ - J^2 W^3 c_2 g l l_2 - J^2 W^3 l_1 d_2 g l - W^2 l_2^2 c_2 l^2 d_1 l_1^2 - c_1 g l J^2 W^3 l_2 - c_1 l_1^2 l^2 c_2 g J_1 W - c_1 l_1^4 l^2 W^2 d_1 - \\ - c_1 g l^2 J_1 W l_2^2 d_2 - 2c_1 l_1^2 l^2 W d_1 g J_1 - J_1^2 c_2 g^2 l^2 d_2 - c_1 g l^2 c_2 l_2^2 W J_1 - c_1 g l^2 W^3 l_1 - 2J_1 c_2 g l^2 W l_2^2 d_2 - \\ - c_1 g^2 l^2 J_1^2 d_1 - 2J_1 l_1 W d_1 g l^2 d_2 l_2 - J_1 c_2 g l^2 d_1 l_1^2 W - J_1 l_1^2 W d_1 l^2 d_2 g - J_1^2 c_2 g^2 l^2 d_1 - W^3 l_2 J^2 d_2 g l - \\ - W^3 l_2 J^2 d_1 g l - W l_2^2 J_1 d_1 g l^2 d_2 - c_1 l_1^2 l^2 W^2 l_2^2 d_2 - W^2 l_2^4 c_2 l^2 d_2 - c_1 g^2 l^2 J_1^2 d_2); \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{l^4 g^2} (c_1 g^2 l^3 J_1 d_1 d_2 l_2 + c_1 l_1^3 l^3 W d_1 d_2 g + J^2 W^2 c_2 g^2 l^2 d_2 + W l_2^3 c_2 l^3 d_1 g d_2 + c_1 g^2 l^3 c_2 l_2 d_1 J_1 + \\ + c_1 l_1 l^3 c_2 g W l_2^2 d_2 + J_1 c_2 g^2 l^3 d_1 l_1 d_2 + J^2 W^2 c_2 g^2 l^2 d_1 + c_1 g^2 l^2 J^2 W^2 d_1 + c_1 l_1^2 l^3 W d_1 g d_2 l_2 + \\ + c_1 g^2 l^2 J^2 W^2 d_2 + c_1 g l^3 c_2 l_2^3 W d_2 + c_1 l_1 l^3 c_2 g^2 J_1 d_2 + c_1 l_1^3 l^3 c_2 g d_1 W + W l_2^2 c_2 l^3 d_1 l_1 d_2 g + \\ + c_1 g l^3 c_2 l_2 d_1 l_1^2 W + c_1 g^2 l^3 c_2 l_2 J_1 d_2 + J_1 c_2 g^2 l^3 d_1 d_2 l_2 + c_1 l_1 l^3 c_2 g^2 d_1 J_1);$$

$$E = \frac{1}{l^4 g^2} (-c_1 g^2 l^4 c_2 l_2^2 d_1 d_2 - 2c_1 l_1 l^4 c_2 g^2 d_1 d_2 l_2 - c_1 l_1^2 l^4 c_2 g^2 d_1 d_2).$$

Вековое уравнение (3)–(4) позволяет находить частоты нормальных форм колебаний жесткого ротора, закрепленного подшипниками на податливых опорах.

Применение математической модели (3)–(4) представим на примере. Пусть известны физические параметры ротора на подвижных опорах: $J = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $l = 0,3 \text{ м}$, $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $c_1 = 0,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $c_2 = 0,1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $W = 2 \text{ кг}$, $d_1 = 1,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $d_2 = 0,2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $J_1 = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $l_1 = 0,1 \text{ м}$, $l_2 = 0,2 \text{ м}$.

Определим собственные частоты колебаний ротора.

Подстановка заданных физических параметров ротора и подшипников в (4), а затем в (3) приводит к уравнению:

$$-0,0289p^8 + 0,8496p^6 - 7,3486p^4 + 19,0034p^2 - 0,0024 = 0.$$

Решение последнего уравнения, найденное с помощью программы в математическом пакете Maple, следующее: $\pm 0,011$, $\pm 2,211$, $\pm 2,881$, $\pm 4,022$.

Следовательно, собственные частоты колебаний ротора, соответствующие заданным характеристикам:

$$p_1 = 0,011 \text{ с}^{-1}, \quad p_2 = 2,211 \text{ с}^{-1}, \\ p_3 = 2,881 \text{ с}^{-1}, \quad p_4 = 4,022 \text{ с}^{-1}.$$

Полученная по алгоритму решения прямой задачи программа подтверждает также четырехчастотный колебательный процесс, полученный при его математическом и физическом моделировании.

Зависимость частот колебаний ротора на подшипниках от физических параметров

Рассмотрим теперь с помощью полученной математической модели (3), (4) влияние характеристик ротора на значения собственных частот его колебаний.

Даны следующие параметры ротора и подшипников:

$$J = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad l = 0,3 \text{ м}, \quad g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad c_1 = 0,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

$$c_2 = 0,1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad W = 2 \text{ кг}, \quad d_1 = 1,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad d_2 = 0,2 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

$$J_1 = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad l_1 = 0,1 \text{ м}, \quad l_2 = 0,2 \text{ м}. \quad (5)$$

Для исследований меняем какие-либо физические характеристики (например, массу ротора), оставляя другие характеристики постоянными. И с помощью модели (3), (4) будем определять соответствующие изменения в частотном спектре задачи.

Проведенные с помощью программы Maple расчеты показывают уменьшение

частот колебаний при увеличении массы ротора или момента инерции поперечного его сечения. Это можно увидеть, например, в табл. 1.

Таблица 1
Зависимость частот от массы ротора при его параметрах (5)

$W, \text{ кг}$	$p_1, \text{ с}^{-1}$	$p_3, \text{ с}^{-1}$
2	0,011	2,881
3	0,007	1,806
4	0,005	1,565
5	0,004	1,399
6	0,003	1,345

Расчеты влияния на значения частот колебаний ротора жесткостей его подвижных опор показывают, что здесь образуется прямая зависимость: увеличение параметров жесткости ведет к увеличению частот колебаний. Результаты вычислений представлены, например, табл. 2, 3.

Таблица 2
Зависимость частот от коэффициента жесткости податливых подшипников в горизонтальном направлении (при параметрах (5) ротора)

$c_1, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$p_1, \text{ с}^{-1}$	$p_2, \text{ с}^{-1}$
0,2	0,011	1,399
0,6	0,014	1,979
1	0,015	2,423
1,4	0,015	2,795
1,8	0,016	2,998

Таблица 3
Зависимость частот ротора от коэффициентов жесткости в горизонтальном направлении при параметрах (5) ротора

$c_1, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$c_2, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$p_1, \text{ с}^{-1}$	$p_2, \text{ с}^{-1}$
0,100	0,100	0,0084	0,9898
0,500	0,500	0,0188	1,2126
1,100	1,100	0,0278	2,8810
2,000	2,000	0,0373	2,8813
2,400	2,400	0,0412	2,8815

Проведенные расчеты показывают также, что одновременное увеличение жесткостей подвижных опор ротора (как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях) приводит к более значительному росту значений частот, чем при увеличении только в одном направлении. В подтверждение сказанного приведена табл. 4.

Таблица 4

Зависимость частот колебаний от коэффициентов жесткостей опор в горизонтальном и вертикальном направлениях при параметрах (5) ротора

$c_1, \frac{H}{M}$	$c_2, \frac{H}{M}$	$d_1, \frac{H}{M}$	$d_2, \frac{H}{M}$	p_1, c^{-1}	p_2, c^{-1}	p_3, c^{-1}
0,1	0,1	0,1	0,1	0,004	0,989	0,991
0,6	0,6	0,6	0,6	0,026	2,421	2,425
1	1	1	1	0,044	3,119	3,131
2	2	2	2	0,088	4,039	4,429
2,8	2,8	2,8	2,8	0,112	4,143	4,502

Аналогичные зависимости влияния характеристик масс и жесткостей на частотный спектр наблюдаются и при других физических характеристиках механической системы, отличных от (5).

Заключение

Рассмотрена прямая задача малых свободных колебаний ротора на подвижных опорах. Построены дифференциальные уравнения перемещений центра тяжести ротора и его поворотов относительно осей по двум подвижным направлениям. По динамической модели найдено вековое уравнение задачи с определением частот нормальных форм колебаний.

С помощью векового уравнения исследовано влияние на частоты колебаний ротора его физических параметров. Построены зависимости при различных характеристиках ротора и подшипников. Показано, что увеличение параметров жесткости увеличивает значения частот, а увеличение массовых параметров – уменьшает значения частот колебаний. Проведенные исследования учитываются при решении проблем диагностики технических конструкций, связанных

с изменениями в физических параметрах различного вида роторных конструкций.

Результаты исследований могут представить как теоретический, так и практический интерес при определении частот колебаний любого ротора на нежестких опорах. Причем как на этапах доводки, проектирования двигателей (насосов, осевых и центробежных компрессоров) машиностроения, так и на этапах практических спектральных расчетов.

Список литературы

1. Вульфсон И.И. Динамика машин. Колебания. М.: Юрайт, 2017. 275 с.
2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 2000. 344 с.
3. Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Тарасов Е.В. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: НПЦ ДИНАМИКА, 2007. 286 с.
4. Бьюи Х.Д. Механика разрушения: обратные задачи и решения. М.: Физматлит, 2011. 412 с.
5. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Ленанд, 2017. 416 с.
6. Баев В.К. Теория колебаний. М.: Юрайт, 2019. 348 с.
7. Головина Л.И. Линейная алгебра и некоторые ее приложения: Учебное пособие для вузов. М.: Альянс, 2016. 392 с.

УДК 004.93

ИНВАРИАНТНЫЕ МОМЕНТЫ И МЕТРИКИ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ

^{1,2}Хачумов М.В.

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), Москва, e-mail: khmike@inbox.ru;

²Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва

В статье исследуются вопросы анализа и применения алгебраических моментов как интегральных информативных признаков для решения задачи распознавания графических образов в условиях нестабильности среды. Большое внимание уделено вопросам исследования устойчивости интегральных моментов как инвариантов к группе аффинных преобразований и освещенности. Даны основные определения и приведено математическое обоснование применения теории алгебраических инвариантов для решения задач распознавания изображений. Показано, что в условиях нестабильности среды и наличия геометрических искажений моменты могут подвергаться изменениям, поэтому их следует рассматривать как «субинварианты», что требует подбора адекватных метрик или иных классификаторов. Проведена серия экспериментальных исследований по распознаванию объектов разной природы, включая фотографии лиц, буквы алфавита и профили самолетов. При этом в качестве характерных интегральных признаков использовались алгебраические моменты, а в качестве классификаторов применялись метрики Евклида и Евклида–Махаланобиса. Показано, что разработанная система уверенно справляется с задачей классификации фотографий лиц в сложных условиях: закрытые глаза, измененная мимика (улыбка и т.п.), повороты и наклоны головы, а также при небольших яркостных изменениях.

Ключевые слова: распознавание образов, метрика, инвариантные моменты, аффинные преобразования, устойчивость, нестабильная среда

INVARIANT MOMENTS AND METRICS IN PATTERN RECOGNITION

^{1,2}Khachumov M.V.

¹Federal Research Centre of «Computer Science and Control» of the Russian Academy of Sciences
(FRC CSC RAS), Moscow, e-mail: khmike@inbox.ru;

²People's Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow

The article considers the analysis and using of algebraic moments as integral informative features for solving the problem of recognition of graphic images in an unstable environment. Much attention is paid to the study of the stability of moments as invariants to the group of affine transformations and illumination. The basic definitions and a mathematical justification are given for the theory of algebraic invariants applied to solve image recognition problems. It is shown that under conditions of environmental instability and the presence of geometric distortions, the moments are subject to change, and therefore, they should be considered as «subinvariants», which requires the selection of adequate metrics or other classifiers. A series of experiments on the recognition of objects of different nature, including faces of people, letters of the alphabet and aircraft contours, was carried out. Herewith, algebraic moments are used as characteristic integral features, Euclidean and Euclidean–Mahalanobis metrics are used as classifiers. It is shown that the developed system confidently copes with the task of classifying images of faces in difficult conditions: closed eyes, facial expressions (smile, etc.), turns and tilts of the head, as well as insignificantly changed brightness.

Keywords: pattern recognition, metrics, invariant moments, affine transformations, stability, unstable environment

В последнее время наблюдается повышение интереса к задачам распознавания образов в информатике, космосе, биомедицине и других приложениях. Об актуальности этого научного направления свидетельствует создание Национального комитета при Президиуме РАН по распознаванию образов и анализу изображений (НК РОАИ) [1]. Исследования по распознаванию образов приобретают крупномасштабный и международный характер в виде проводимых российских и международных конкурсов. Одним из перспективных направлений в области распознавания образов являются разработка, исследование и практическое применение характеристик, инвариантных

к различным группам преобразований, что подчеркивается рядом актуальных современных публикаций [2–4].

В плоском случае инвариантами к операции поворота изображения некоторого объекта являются: площадь и длина контура изображения, отношение максимально-го и минимального расстояний от центра до границы объекта и другие особенности. В работах [5, 6] предложен и исследован способ сравнения профилей летательных объектов по габаритным параметрам. В сочетании с методами выделения объектов на фоне алгоритм может быть использован, например, для оценки относительного положения и распознавания движущихся объектов.

Представляет интерес направление, связанное с выделением инвариантов к яркостным и аффинным преобразованиям, что увеличивает вероятность получения правильного решения при распознавании образов.

В работах [7, 8] были предложены инвариантные моменты для бинарных и полутонных изображений. Теоретическая и экспериментальная проверка инвариантности была выполнена, например, в работах [9, 10]. Отмечается, что на практике изображения зашумлены и нестабильны. В таких условиях уместно говорить о «псевдоинвариантах», которые чувствительны к деформациям и шумам, но являются инвариантами при отсутствии возмущающих факторов. Для создания классов образов необходимо иметь представительный набор графических изображений, составляющих обучающую выборку.

В настоящей работе исследуются свойства инвариантов изображений, в том числе анализируется их устойчивость к аффинным и яркостным преобразованиям. Обобщаются результаты практических исследований, проведенных автором и его коллегами применительно к задачам распознавания лиц, печатных символов и ригидных объектов на снимках ДЗЗ в ИПС им. А.К. Айламазяна РАН, ФИЦ ИУ РАН и РУДН в разное время.

Материалы и методы исследования

Теория алгебраических инвариантов работает с функциями классов, которые остаются неизменными даже при координатных трансформациях, и позволяет дать математическое обоснование инвариантных особенностей. Приведем некоторые определения применительно к графическим объектам [10–12].

Определение 1. Инвариантом называется функционал $I(F)$, определенный на изображении F таким образом, что $I(F) = I(D(F))$ для пространства всех допустимых преобразований D , причем $I(F_1)$, $I(F_2)$ должны быть «достаточно различны» для разных изображений F_1 и F_2 . Наиболее ценными дескрипторами служат геометрические и яркостные инварианты.

Определение 2. Моментами $\mu_{lm}^{(f)}$ изображения $f(x, y)$ называются отображения кусочно-непрерывной функции в полиномиальный базис, $\mu_{lm}^{(f)} = \int \int_{D \in R \times R} P_{lm}(x, y) f(x, y) dx dy$,

где P – множество многочленов, определенных на компактном носителе $D \in R \times R$; l, m – неотрицательные целые; $r = l + m$ является порядком момента.

Определение 3. Инвариантными моментами называются дескрипторы $M_1^{(f)}, \dots, M_n^{(f)}$, построенные на основе степенных моментов, которые описывают математическую модель изображения $f(x, y)$ и являются инвариантами к его аффинным преобразованиям.

Примером служат инвариантные моменты, представленные в работе [7]. Вследствие дискретности цифровых изображений применение аффинных преобразований может приводить к частичной или полной потере свойств инвариантности (флуктуации моментов). Поэтому применительно к реальным изображениям следует говорить о «субинвариантах».

Определение 4. Субинвариантными моментами цифрового изображения F называются моменты $M(F)$, величины которых могут меняться при выполнении аффинных преобразований. При этом они не должны превышать установленные допустимые величины отклонений Δ , приемлемые для решения задачи классификации.

В дальнейшем для удобства, там, где это не оговорено особо, будем называть инвариантные и субинвариантные моменты просто моментами.

Применение геометрических инвариантов в виде моментов не требует смещений и масштабирования объектов, но они чувствительны к изменениям яркости.

Пусть дана функция $f(x, y)$, а также моменты порядка не выше чем $p + q$, которые определены как:

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy.$$

Если функция $f(x, y)$ является кусочно-непрерывной и имеет нулевые значения только на ограниченной части образа, то существуют моменты μ_{pq} всех порядков, которые взаимно однозначно ее определяют.

Центральные моменты для цифрового изображения определяются следующим образом [8]:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \quad (1)$$

где $\bar{x}, \bar{y}$ – это «центр тяжести» изображения.

Нормализованные центральные моменты определяются так:

$$y = (p + q) / 2, \quad y = (p + q) / 2.$$

Центральные моменты позволяют найти семь инвариантных моментов (табл. 1). В работе [9] выполнен анализ чувствительности инвариантных моментов.

Таблица 1

Моменты и их чувствительности

Моменты	Чувствительность к изменению масштаба	Чувствительность к изменению яркости
$M_1 = m_{20} + m_{02}$	δ^2	k
$M_2 = (m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2$	δ^4	k^2
$M_3 = (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} + m_{03})^2$	δ^6	k^3
$M_4 = (m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2$	δ^6	k^2
$M_5 = (m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12})[(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})] +$ $+(3m_{21} - m_{03})(m_{21} + m_{03})[3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2]$	δ^{12}	k^2
$M_6 = (m_{20} + m_{02})[(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2] +$ $+4m_{11}(m_{30} + m_{12})(m_{21} + m_{03})$	δ^6	k^3
$M_7 = (3m_{21} - m_{03})(m_{30} + m_{12})[(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})] -$ $-(m_{30} - 3m_{12})(m_{21} + m_{03})[3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2]$	δ^{12}	k^2

Точность измерения координат точек объекта обозначим величиной δ , $0 < \delta \leq 1$. Пусть $\delta x_i = \delta y_i$ – возможные изменения (флуктуации) переменных x_i, y_i , вызванные ошибками измерений. С учетом этих ошибок центральный момент μ_{11} будет вычислен как:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\delta x_i - \delta \bar{x})(\delta y_i - \delta \bar{y}) = \delta^2 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \delta^2 \mu_{11}.$$

Отсюда следует, что чувствительность μ_{11} к изменениям данных пропорциональна или равна δ^2 . Результаты исследований теоретической чувствительности моментов представлены в табл. 1. Нетрудно убедиться в том, что моменты для полутонных объектов чувствительны к изменениям освещенности. Нестабильность может привести к снижению показателей качества распознавания. Рассмотрим подходы к устранению этого недостатка.

Один из распространенных подходов связан с отказом от полутонных изображений путем перехода к бинарным изображениям на основе пороговой фильтрации. Однако при этом может быть потеряна часть информации.

Другой подход связан с введением нормирования изображений, препятствующего изменениям яркостных представлений одного и того же объекта. Пусть яркостные характеристики изображения подвергаются линейному преобразованию $f(x, y) \rightarrow kf(x, y) + a$.

Подставим модифицированную яркость пикселей в формулу (1):

$$\tilde{\mu}_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q (kf(x, y) + a). \quad (2)$$

Для удобства перенумеруем все пиксели изображения по порядку:

$$\tilde{\mu}_{pq} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^p (y_i - \bar{y})^q (kf(x_i, y_i) + a).$$

Тогда получим:

$$\tilde{\mu}_{pq} = k\mu_{pq} + a \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^p (y_i - \bar{y})^q.$$

Откуда:

$$\mu_{pq} = \frac{\tilde{\mu}_{pq} - a \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^p (y_i - \bar{y})^q}{k}.$$

Центральные моменты, вычисленные по этим формулам, будут инвариантны к линейным преобразованиям яркости. В случае когда имеет место только мультипликативное изменение яркости, нормализация моментов не представляет затруднений. Однако на практике информация о параметрах яркостных преобразований часто является априори неизвестной. В табл. 1 представлена чувствительность 2D-инвариантных моментов к изменениям масштаба в δ раз и яркости изображения в k раз.

В качестве δ можно использовать величину, характеризующую размер изображения: $\delta = \sqrt{m_{20} + m_{02}}$. С ее помощью можно построить моменты, инвариантные к масштабированию бинарных изображений [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные исследования проводились для объектов разной природы, включая фотографии лиц, буквы алфавита и профили самолетов. При этом в качестве признаков использовались инвариантные моменты, а в качестве классификаторов для распознавания объектов применялись метрики Евклида и Евклида–Махаланобиса.

Распознавание лиц метрикой Евклида

Для проведения серии экспериментов по распознаванию лиц был применен метод инвариантных моментов в сочетании с метрикой Евклида. В качестве объектов исследования использованы фотографии из открытой базы данных – 30 человек с разрешением 320x420 пикселей. Рассмотрим примеры распознавания лиц в условиях, когда они могут быть представлены в различных ракурсах. В табл. 2 представлены некоторые образцы фотографий.

Целесообразно осуществить переход от цветных изображений к полутоновому виду, воспользовавшись следующей формулой: $Y = 0.21 \cdot R + 0.72 \cdot G + 0.07 \cdot B$. Без потери общности положим, что изображения в базах данных приведены к одному масштабу.

В табл. 3 представлены инвариантные моменты для первых образцов (первого столбца) табл. 2.

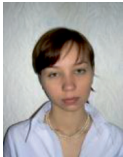
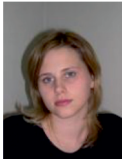
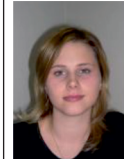
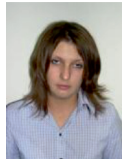
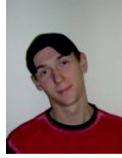
В табл. 4 представлены расстояния Ев-

клида $\sqrt{\sum_{i=2}^7 M_i^2}$ между экземплярами, причем первый момент ввиду большой абсолютной величины в расчет не брался.

Точность распознавания с применением метрики Евклида составила около 80 %.

Таблица 2

Фрагмент базы данных с фотографиями

Образец 1			
Образец 2			
Образец 3			
Образец 4			
Образец 5			
Образец 6			
Образец 7			

С целью расширения исследований и повышения достоверности решалась задача распознавания образов с применением метрик на существенно большем числе экземпляров. При этом допускались изменения в расположении лица на фотографии, наклоны головы, небольшие повороты, плохая освещенность.

Распознавание лиц с применением расстояния Евклида–Махаланобиса

Классы распознаваемых объектов могут пересекаться по установленной мере близости. С целью улучшения качества распознавания была введена мера Махаланобиса [11].

Таблица 3

Значения моментов для первого столбца

Образец	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
1	108,87	8,09 E-2	7,70 E-3	1,25 E-4	7,00 E-8	1,59 E-6	1,01 E-7
2	97,05	0,96 E-1	6,32 E-3	3,04 E-4	-8,3 E-7	7,22 E-6	1,18 E-7
3	93,12	9,77 E-2	5,87 E-3	6,05 E-4	3,63 E-7	-5,13 E-5	-3,41 E-8
4	105,13	1,00 E-1	4,90 E-3	9,95 E-5	-1,09 E-7	8,72 E-5	6,55 E-7
5	99,60	0,91 E-1	7,15 E-3	3,98 E-4	-2,67 E-7	-4,52 E-5	-4,90 E-7
6	104,54	0,95 E-1	6,83 E-3	6,22 E-4	6,14 E-7	-2,74 E-5	7,18 E-8
7	102,17	1,07 E-1	8,04 E-3	2,72 E-4	-9,66 E-8	-6,8 E-6	-1,25 E-7

Таблица 4

Расстояния Евклида между образами

Образец	1	2	3	4	5	6	7
1	0	2.67E-03	3.00E-03	3.46E-03	1.74E-03	2.48E-03	4.90E-03
2	2.67E-03	0	3.29E-04	7.84E-04	9.35E-04	1.91E-04	2.23E-03
3	3.00E-03	3.29E-04	0	4.55E-04	1.26E-03	5.20E-04	1.90E-03
4	3.46E-03	7.84E-04	4.55E-04	0	1.72E-03	9.75E-04	1.45E-03
5	1.74E-03	9.35E-04	1.26E-03	1.72E-03	0	7.44E-04	3.17E-03
6	2.48E-03	1.91E-04	5.20E-04	9.75E-04	7.44E-04	0	2.42E-03
7	4.90E-03	2.23E-03	1.90E-03	1.45E-03	3.17E-03	2.42E-03	0

Определение 5. Расстоянием Махаланобиса между двумя векторами $x = (x_1, \dots, x_p)^T$ и $y = (y_1, \dots, y_p)^T$ в пространстве R^p называется функцию вида:

$$d_M(x, y) = \sqrt{(x - y)^T S^{-1} (x - y)}, \quad (3)$$

где S – матрица ковариации; $d_M(x, 0) = \|x\|_S = \sqrt{x^T S^{-1} x}$ является нормой x .

Все точки с одним и тем же расстоянием, имеющим норму $\|x\|_S = c$, удовлетворяют равенству $x^T S^{-1} x = c^2$. Заметим, что если матрица ковариации S в функции $d_M(x, y)$ является единичной, то расстояние Махаланобиса становится равным расстоянию Евклида.

Для задачи классификации (принятие решения о принадлежности вектора классу) вводится расстояние Махаланобиса между вектором x и центром класса $\bar{x}$, которое определяется как $d_M(x, \bar{x}) = \sqrt{(x - \bar{x})^T S^{-1} (x - \bar{x})}$.

Метрика Махаланобиса обладает тем недостатком, что не может быть применена в случае обращения в нуль хотя бы одного элемента главной диагонали матрицы S , поэтому на практике используют ее модификации.

Определение 6. Расстоянием Евклида–Махаланобиса между двумя векторами

$x = (x_1, \dots, x_p)^T$ и $y = (y_1, \dots, y_p)^T$ в пространстве R^p называется функция вида [11]:

$$d_{E-M}(x, y) = \sqrt{(x - y)^T (C + E)^{-1} (x - y)}, \quad (4)$$

где E – единичная матрица. Метрика Евклида–Махаланобиса (4) устраняет недостаток метрики Махаланобиса (3), поскольку элементы ее главной диагонали всегда больше нуля.

Была проведена серия экспериментов, для которой использованы фотографии 168 человек с разрешением 180x200 пикселей из открытой базы данных [12], общим размером 3360 изображений. При этом 150 человек представлены вариантами лиц с незначительной мимикой и 18 человек – с сильными эмоциями.

В табл. 5 приведены примеры нескольких классов и тестовые примеры лиц людей с незначительными изменениями мимики. В таблице 6 приведены примеры фотографий плохого качества, на которых представлены люди с незначительным изменением мимики.

Применение метрики Евклида–Махаланобиса обеспечивает хорошее качество распознавания при небольших яркостных флуктуациях, она хорошо справляется с такими усложняющими распознавание факторами, как закрытые глаза, мимика (улыбки, гримасы и т.п.), наличие поворотов и на-

клонов головы. Точность распознавания с применением метрики Махаланобиса для первой группы составила 93,33 %, для второй – 89 %.

Распознавание букв алфавита метрикой Евклида

В подходе [13] предлагается выделять до 80 геометрических признаков с последующей статистической обработкой результатов и принятием наиболее вероятного решения. Заметим, что и статистические методы обеспечивают лишь 50–80%-ное распознавание для рукописного текста. Работы по практи-

ческому распознаванию букв и текстов на их основе по-прежнему являются актуальными, о чем свидетельствуют многочисленные публикации и доклады на конференциях по распознаванию образов.

Подход к распознаванию символов с применением моментов является достаточно популярным. Укажем, например, работу [14], в которой рассматривается алгоритм формирования признаков и решающих правил распознавания символов на основе инвариантных моментов на базе модели описания бинарного растрового изображения.

Таблица 5

Примеры фотографий людей с незначительным изменением эмоций

Примеры из обучающих выборок				Примеры для распознавания	
Класс 1				Пример 1	
Класс 2				Пример 2	
Класс 3				Пример 3	

Таблица 6

Примеры фотографий, на которых представлены лица людей с сильными эмоциями

Примеры из обучающих выборок				Примеры для распознавания	
Класс 1				Пример 1	
Класс 2				Пример 2	
Класс 3				Пример 3	

В табл. 7 показаны буквы и соответствующие этим буквам значения критерия. Распознавание букв алфавита проводилось на примере шрифта Times New Roman. За эталон были взяты заглавные буквы от «А» до «Я». Кегль равнялся 80 pt, а максимальный размер поля, на котором могли рассматриваться обрабатываемые буквы, – 300x300 точек.

При написании букв крупным кеглем появляется эффект «бахромы». Здесь целесообразен переход к бинарному изображению, реализуемый пороговой фильтрацией.

Для малой буквы «А» (кегель = 50 pt) мера равна 0,70065, для большой – 0,72302 (кегель = 180 pt). Форма интерфейса для распознавания букв представлена на рис. 1.

В левой верхней части формы расположено рабочее поле размером 300x300 пикселей, что достаточно для распознавания буквы размером до 200 pt. Три числа ввер-

ху справа (3518 86482 90000) соответствуют количеству черных пикселей, нечерных пикселей и общему количеству пикселей. Форма содержит значения инвариантных моментов для данной буквы и аддитивную меру близости.

Точность распознавания в соответствии с аддитивной мерой достаточно высока и составляет примерно 90 %. Для повышения точности распознавания следует применить преобразования, связанные с утоньшением и устранением «бахромы». Логические методы выполнения подобных преобразований хорошо описаны в работе [15].

Распознавание летательных аппаратов (ЛА) по контурам

Задача классификации ЛА по габаритным параметрам в большинстве практически важных случаев может быть сведена к исследованию контура (проекции) [6].

Таблица 7

Мера Евклида для букв алфавита (фрагмент)

А	Б	В	Г	Д	Е	Ё	Ж	З	И
0,701	0,173	0,0494	0,601	0,245	0,166	0,311	0,006	0,363	0,001

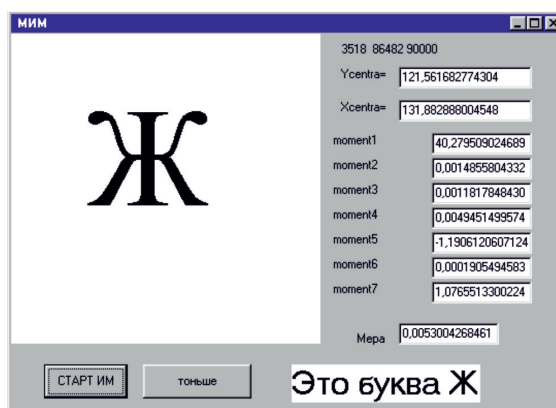


Рис. 1. Интерфейс для распознавания букв

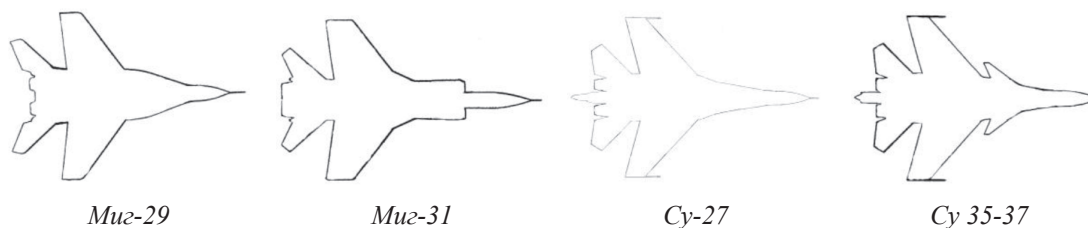


Рис. 2. Профили самолетов

Таблица 8

Значения инвариантных моментов для контуров самолетов

Момент	Тип летательного аппарата			
	Миг-29	Миг-31	Су-27	Су-37
M1	44,117	106,886	45,200	44,980
M2	0,157	0,207	0,357	0,353
M3	0,759	0,382	0,740	0,409
M4	0,233	0,132	0,441	0,169
M5	0,097	0,028	0,252	0,044
M6	0,087	0,060	0,264	0,100
M7	0,013	0,010	-0,001	-0,000
Аддитивный критерий	0,820	0,459	1,001	0,577

Таблица 9

Расстояния для тестовой выборки

Тип самолета	Расстояние Евклида		Расстояние Махаланобиса	
	Класс «Миг»	Класс «Су»	Класс «Миг»	Класс «Су»
Миг-27	3,18	23,93	2,95	266,12
Су-39	1,43	0,06	4,49	0,87

В табл. 8 указаны инвариантные моменты из обучающей выборки.

Процесс идентификации летательного аппарата заключается в сравнении отдельных элементов или полных наборов инвариантных моментов исследуемого и эталонных изображений. В табл. 9 приведены классифицирующие расстояния для некоторых тестируемых типов ЛА.

Видно, что обе метрики правильно классифицируют тестируемые образцы.

Измерение расстояний при условии корректного выделения силуэта позволяет идентифицировать образцы с точностью свыше 90 %.

Заключение

Применение инвариантов в качестве признаков изображений в общем случае дает неплохие результаты по распознаванию объектов различной природы за счет некоторой устойчивости к небольшим флуктуациям и искажениям изображений. Это могут быть фотографии, символы, объекты ДЗЗ и др. Для распознавания образов возможно применение различных метрик и классификаторов. Этап выделения признаков является определяющим для эффективной классификации образов. Инварианты в качестве признаков осуществляют существенное сжатие информации о классах, однако способны в некоторых пределах обеспечивать устойчивость к возмущениям среды в задачах распознавания. Для реальных динамических изображений с целочис-

ленными значениями координат моменты могут флуктуировать из-за геометрических искажений. При распознавании фотографий адекватной мерой является расстояние Махаланобиса и Евклида–Махаланобиса. Разработанную систему целесообразно использовать для классификации фотографий с изображениями лиц в сложных условиях: измененная мимика (улыбка и т.п.), повороты и/или наклоны головы, небольшие яркостные изменения (в пределах 20 %).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектов РФФИ № 20-07-00022 А «Разработка и исследование методов распознавания образов на основе инвариантов к яркостным и геометрическим преобразованиям в системах технического зрения беспилотных летательных аппаратов»; № 18-29-03011 мк «Исследование и разработка новых методов и технологий для задач интеллектуального анализа и оптимизации обработки больших потоков данных дистанционного зондирования Земли».

Список литературы

1. Национальный комитет РАН по распознаванию образов и анализу изображений. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ras.ru/win/db/show_org.asp?P=.oi-2577.ln-ru (дата обращения: 13.03.2020).
2. Batiouaa I., Benouinia R., Zenkouara K., Zahia A. Image classification using separable invariants moments based on Racah polynomials. *Procedia Computer Science* Volume. 2018. vol. 127. P. 320–327.
3. Hameed V.A. Determination of the Appropriate Geometric Moment Invariant Functions for Object Recognition.

Indian Journal of Science and Technology. 2016. vol. 21. no. 9. P. 1–6. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i21/95209.

4. Papakostas G.A., Karakasis E.G., Koulouriotis D.E. Orthogonal Image Moment Invariants: Highly Discriminative Features for Pattern Recognition Applications. Image Processing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. 2013. P. 1–18. DOI: 10.4018/978-1-4666-3994-2.ch002.

5. Гостев И.М. О методах распознавания графических образов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2004. № 1. С. 138–144.

6. Пережигин А.А., Хачумов В.М. Обнаружение и автоматическое определение параметров летательного объекта на видео потоке // Информационные технологии и вычислительные системы. 2005. № 1. С. 38–48.

7. Hu M.K. Visual pattern recognition by moment invariants. IRE Transactions on Information Theory. 1962. vol. 8. P. 179–187.

8. Arafah M., Moghli Q.A. Efficient Image Recognition Technique Using Invariant Moments and Principle Component Analysis. Journal of Data Analysis and Information Processing. 2017. vol. 5. P. 1–10. DOI: 10.4236/jdaip.2017.51001.

9. Абрамов Н.С., Хачумов В.М. Распознавание на основе инвариантных моментов // Вестник Российского универ-

ситета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика. 2014. № 2. С. 142–149.

10. Нгуен З.Т. Инварианты в задачах распознавания графических образов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, Информатика, Физика. 2016. № 1. С. 76–85.

11. Kachumov M.V. Distances, Metrics and Cluster Analysis. Scientific and Technical Information Processing. 2012. Vol. 39. No. 6. P. 310–316. DOI: 10.3103/S0147688212060020.

12. Collection of Facial Images. [Электронный ресурс]. URL: <https://cswww.essex.ac.uk/mv/allfaces/> (дата обращения: 13.03.2020).

13. Горский Н., Анисимов В., Горская Л. Распознавание рукописного текста: от теории к практике. СПб.: Политехника, 1997. 126 с.

14. Васин Д.Ю., Аратский А.В. Распознавание символов на основе инвариантных моментов графических изображений // 25 Международная конференция GraphiCon (Протвино, 22–25 сентября 2015 г.). М.: Институт физико-технической информатики, 2015. С. 259–264.

15. Бутаков Е.А., Островский В.И., Фадеев И.Л. Обработка изображений на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1987. 240 с.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО ПОКРЫТИЯ TiNiZrCuCr

Юров В.М., Гученко С.А., Маханов К.М.

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда,
e-mail: exciton@list.ru*

Настоящая статья является продолжением исследований TiNiZrCuCr, изложенных нами в предыдущей работе. В этой статье показано, что отмеченное выше покрытие обладает плотностью более низкой ($5,8 \text{ г/см}^3$) и твердостью в три раза большей ($9,6 \text{ ГПа}$) по сравнению с известными сплавами и покрытиями, которые считаются высокоэнтропийными. Коэффициент трения отмеченного выше покрытия равен $k = 0,04$, что подобно трению слоистых кристаллов. Цель работы – выявить причину столь разительных отличий. Эксперимент показал, что из пяти высокоэнтропийных покрытий ZrTiCrNiCu три имеют ГКЦ-структуру, TiCr₂ дает фазу Лавеса и NiTi дает мартенсит со структурой B19'. Микротвердость в сочетании с низким коэффициентом трения приводит к хорошей износостойкости покрытия ZrTiCrNiCu. Нанесение такого покрытия на детали локомотивов подвижного состава показало увеличение срока службы в 4 раза. Покрытия наносили на детали из стали DTRKZ4AC00446. Очень хорошие характеристики покрытий из мишени ZrTiCrNiCu, скорее всего, связаны с никелидами титана и циркония. Эти соединения обладают свойством памяти формы. Прикладное направление в использовании отмеченных выше никелидов титана состоит в разработке устройств, которые тепловую энергию превращали бы в механическую, например при движении валов, приводов и т.д. В таких аппаратах сплав, который обладает эффектом памяти, зависит от термомеханических воздействий, например силовое нагружение, изменение температуры многократно или изменение температуры через неполный или полный промежуток мартенситного преобразования.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, фазовый состав, структура, фаза Лавеса

STRUCTURAL PROPERTIES OF HIGH ENTROPY COATING TiNiZrCuCr

Yurov V.M., Guchenko S.A., Makhanov K.M.

Karaganda state university of E.A. Buketov, Karaganda, e-mail: exciton@list.ru

This work is a continuation of the work of TiNiZrCuCr, set forth by us in a previous work. In this work, it was shown that the coating noted above has a lower density (5.8 g / cm^3) and a hardness three times higher (9.6 GPa) in comparison with the known alloys and coatings, which are considered highly entropic. The friction coefficient of the coating noted above is $k = 0.04$ and is similar to the friction of layered crystals. The purpose of the work is to find out the reason for such striking differences. The experiment showed that of the five highly entropic ZrTiCrNiCu coatings, three have an MCC structure, TiCr₂ gives the Laves phase, and NiTi gives martensite with the B19' structure. Microhardness in combination with a low coefficient of friction leads to good wear resistance of the ZrTiCrNiCu coating. The application of such a coating to parts of locomotives of rolling stock showed an increase in service life by 4 times. The coatings were made on steel parts DTRKZ4AC00446. The very good performance of the coatings from the ZrTiCrNiCu target is most likely due to titanium and zirconium nickelides. These compounds have the property of shape memory. An applied direction in the use of titanium nickelides noted above is the development of devices that would convert thermal energy into mechanical energy, for example, when moving shafts, drives, etc. In such devices, an alloy that has a memory effect depends on thermomechanical influences, for example, force loading, a change in temperature many times, or a change in temperature through an incomplete or full interval of martensitic transformation.

Keywords: highly entropic alloy, phase composition, structure, Laves phase

В 2004 г. были открыты высокоэнтропийные сплавы [1]. Эти сплавы представляли собой многоэлементные сплавы, содержащие не менее 5 элементов в эквиатомных соотношениях и имеющие высокую энтропию смещения.

Один из первых обзоров по схеме «получение-структура-свойство» для высокоэнтропийных сплавов и нитридных покрытий на их основе был сделан в работе [2].

Была сделана проверка сегодняшней ситуации при получении высокоэнтропийных покрытий. Прежде всего, вызывал интерес их фазовый и элементный состав, а также их структурные особенности, морфология. Интересно было проследить зависимость физических свойств покрытий от темпера-

туры, давления остаточного газа, потенциала подложки и многое другое. Затем появилось много работ, посвященных синтезу и исследованию различных ВЭСов [3–5].

Высокое значение энтропии в ВЭСax объясняется в рамках классической термодинамики. Согласно ее представлениям энтропия суммы между несколькими составами химических элементов максимальна в том случае, если эти составы находятся в эквимолярном соотношении [6; 7]. Для идеальных твердых растворов энтропия смеси выражается равенством $S_{\text{смеси}} = R \ln N$, где R – универсальная газовая постоянная, а N – суммарное число компонент в твердом растворе (сплаве). Согласно этому равенству энтропия $S_{\text{смеси}}$ увеличивает-

ся в эквиатомных сплавах при увеличении числа компонент не менее пяти, которые образуют этот сплав. В эквиатомных сплавах довольно часто наблюдаются значения $S_{\text{смеси}} > 11$ Дж/моль К. Эти значения энтропии приводят к уменьшению свободной энергии твердых растворов, что приводит в основном к кристаллизации в виде простых кристаллических решеток. Многие ВЭСы поэтому кристаллизуются, как правило, в форме твердых растворов замещения с простой кристаллической решеткой ГЦК- или ОЦК-типов. Поскольку в ВЭСах находится пять и более атомов различных элементов с разными размерами и электронными конфигурациями, включая электроотрицательность и концентрацию электронов, то кристаллическая решетка ВЭСов заметно искажена. В результате такого искажения возникают стабильность ВЭСов как в термическом, так и механическом плане [8; 9].

В настоящее время в течение 15 лет после открытия ВЭСов во всем мире исследовано около 200 ВЭСов. Исследования касаются пока чисто научных интересов, связанных с выяснением зависимости состава смеси в основном и механической и термической стойкости сплавов. Предварительные результаты некоторых исследований дают надежду на то, что есть ВЭСы, которые по своим прочностным характеристикам, стойкости к коррозии, стойкости к абразивному износу, жаростойкости смогут в будущем конкурировать с традиционными сплавами.

В сплавах, состоящих из многих химических компонент, как правило, все элементы формируют фазу интерметалла или твердый раствор замещения в том или ином количестве или качестве. При этом физические свойства и их термодинамическое поведение определяют качественное и количественное соотношение наблюдаемых фаз. Из физических свойств самой главной является их электронная структура, которая определяется концентрацией электронов. К электронной структуре относятся и радиус атома элемента, и температура его плавления. Нельзя забывать и о термодинамических параметрах структуры (энтропия, энтальпия), каков тип и структура кристаллической решетки. Для образования твердых растворов замещения важную роль играет подвижность элементов к диффузии.

При получении фазы интерметаллида из разных элементов путем затвердевания расплава сплав определяется типом реакции формирования. Процесс формирования фазы интерметаллида зависит от температуры и энтальпии расплава, а также от количества компонент элементов расплава.

При получении фазы твердого раствора замещения путем затвердевания расплава эта фаза зависит, прежде всего, от концентрации электронов в металле и его температуры плавления.

При точном и аккуратном соблюдении режимов затвердевания расплава обе фазы возникают в таком количестве, какое допускает состав элементов кристаллизующегося в процессе плавления сплава. Последний обзор по ВЭСам был сделан в работе [10]. Анализ более 200 полученных высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) позволил установить взаимосвязь между электронной концентрацией, фазовым составом, параметром решетки и свойствами твердых растворов на основе ОЦК-, ГЦК-решетки. Выявлены основные условия появления высокоэнтропийных химических соединений – фазы Лавеса, σ - и μ -фаз. Чтобы прошел процесс возникновения σ -фазы с вероятностью 100%, нужно, чтобы элементы, составляющие высокоэнтропийный сплав, который состоит из двух компонент, а также их концентрация электронов составляли 6,7–7,3 электронов/атом. Чтобы прошел процесс возникновения фазы Лавеса с вероятностью 100%, нужно, чтобы энтальпия образования сплава была минус 7 кДж/моль, а для двух компонент энтальпия смешивания должна быть меньше минус 30 кДж/моль. Нужно также, чтобы размеры двух атомов были отличны друг от друга не более 12%. В целом обычная средняя концентрация электронов в сплаве должна быть равна 5–6 электрон/атом. Показано, что отношения параметров решеток твердорастворных ВЭС, определенных в эксперименте, к параметру решетки самого тугоплавкого металла в ВЭС определяют величину модуля упругости.

Настоящая работа является продолжением работы TiNiZrCuCr, изложенной нами в работе [11]. В этой работе показано, что отмеченное выше покрытие обладает плотностью более низкой (5,8 г/см³) и твердостью в три раза большей (9,6 ГПа) по сравнению с известными сплавами и покрытиями, которые считаются высокоэнтропийными. Коэффициент трения отмеченного выше покрытия равен $k = 0,04$ и подобен трению слоистых кристаллов.

Цель настоящей работы – выяснить причину столь разительных отличий.

Материалы и методы исследования

Для покрытия различных деталей на ионно-плазменной установке ННВ-6.6И1 синтезирована высокоэнтропийная магнетронная мишень методом механического легирования, описанным в работе [12; 13].

Порошки микронного ряда помещали в вакуумную печь и там сушили. После этого микропорошок с помощью пресса формировали в диск радиусом 200 мм и высотой 5 мм. Затем полученный диск помещали в высокотемпературную печь и там выдерживали 3 часа.

Испытание на микроскопе марки MIRA-3 проведено с точностью не менее 20 нм. Оно показало почти эквимольное содержание всех пяти элементов, так что сплав TiNiZrCuCr вполне оказался составом с высокой энтропией. На рентгено-

ском дифрактометре XRD-6000 подробно и качественно исследовался фазовый состав и параметры структуры нанесенного ионно-плазменного покрытия. В таблице и на рис. 1 приведены данные по исследованным образцам.

Результаты исследования и их обсуждение

Наша задача – сравнить обнаруженные фазы на рис. 1 и в таблице со свойствами и характеристиками синтезированного покрытия.

Фазовый состав покрытия

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, ат. %	Параметры решетки, Å
TiNiZrCuCr	$\text{Cu}_{1,5}\text{ZrNi}_{3,5}$	10,0	$a = 6,7671$
	Cu	7,8	$a = 3,6178$
	$\text{Zr}_{0,02}\text{Ni}_{0,98}$	19,8	$a = 3,5406$
	TiCr_2	29,5	$a = 4,9076$ $c = 15,9700$
	NiTi	33,0	$a = 2,8007$ $b = 4,6192$ $c = 4,1824$ $\beta = 97,5793$
	Возможно присутствие фаз ZrNi , Cu_3Ti		

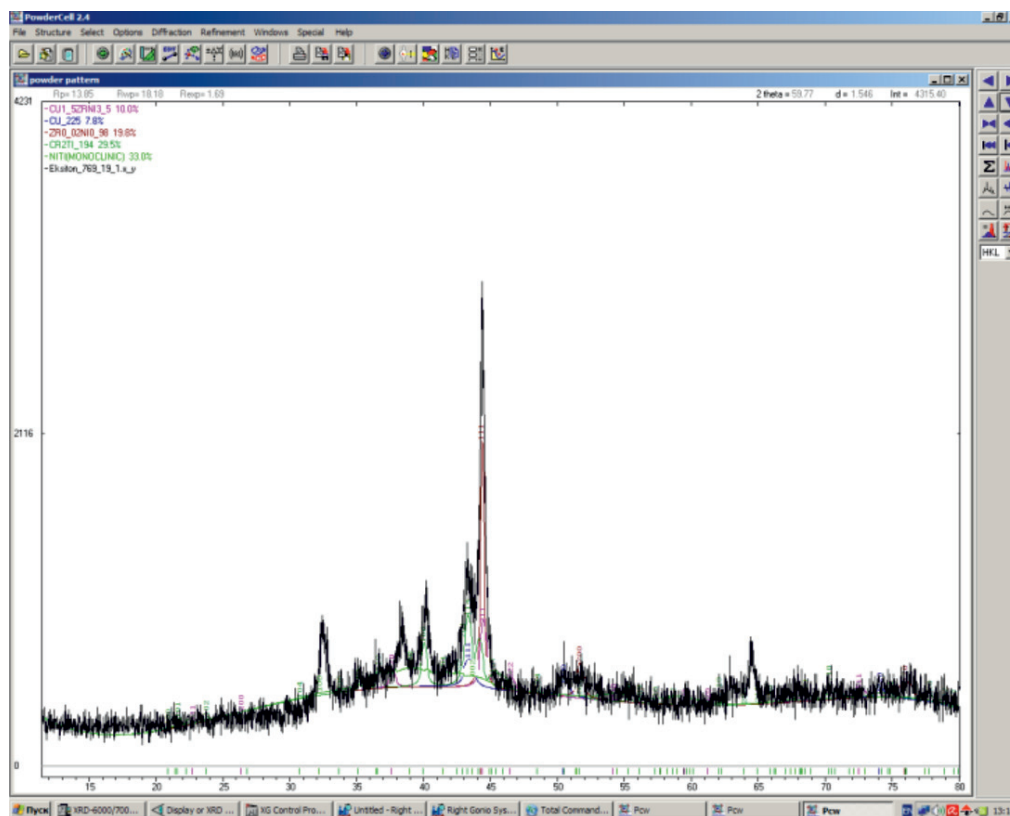


Рис. 1. Участок дифрактограммы ZrTiCrNiCu

Первым идет $\text{Cu}_{1,5}\text{ZrNi}_{3,5}$ с содержанием фаз 10 ат. % и с постоянной решетки, равной $a = 6,7671 \text{ \AA}$. Этот сплав может существовать в форме аустенитной B2 или мартенситной фазы B19' (рис. 2). Сам параметр решетки соответствует фазе B2. Согласно работам [14; 15] структура $\text{Cu}_{1,5}\text{ZrNi}_{3,5}$ представляет собой B2 – высокотемпературную аустенитную фазу, упорядоченную по типу CsCl (Pm3m-ГЦК). На втором месте стоит Cu с содержанием фаз 7,8 ат. % и постоянной решетки $a = 3,6178 \text{ \AA}$. Элементарная ячейка меди – ГЦК (рис. 3).

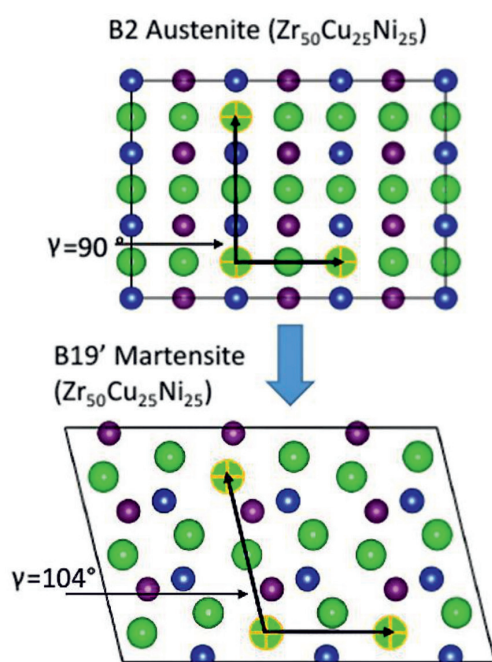


Рис. 2. Переход B2 → B19' [13]

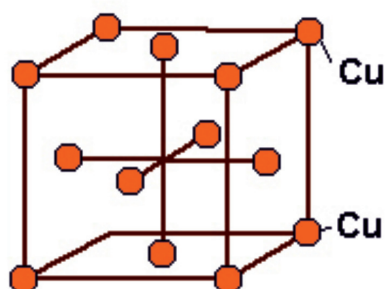


Рис. 3. Элементарная ячейка меди

На третьем месте стоит $\text{Zr}_{0,02}\text{Ni}_{0,98}$ с содержанием фаз 19,8 ат. % и постоянной решетки $a = 3,3406 \text{ \AA}$. По данным рентгеноспектрального анализа, основным компонентом эвтектики является соединение никеля и циркония. В большинстве случа-

ев компонента эвтектики зарегистрирована в форме интерметаллида – никелид циркония с ГЦК-структурой и решеткой типа сфалерита (рис. 4).

На четвертом месте стоит TiCr_2 с содержанием фаз 29,5 ат. % и постоянной решетки $a = 4,9076 \text{ \AA}$ и $c = 15,9700 \text{ \AA}$. Вблизи состава TiCr_2 образуются промежуточные со структурой фаз Лавеса [14]. Почти все двухкомпонентные интерметаллиды возникают чаще всего и наиболее часто из расплавленного состояния. Но интерметаллид хромид титана (рис. 5) возникает очень часто при расщеплении твердого раствора по конгруэнтному типу реакции [15].

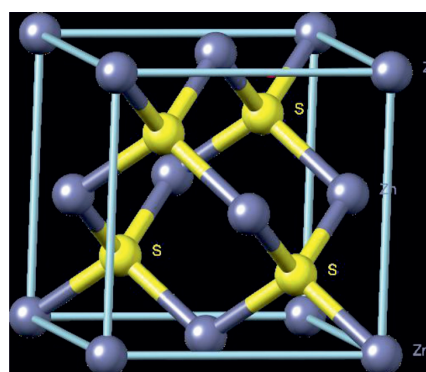


Рис. 4. Решетка типа сфалерита

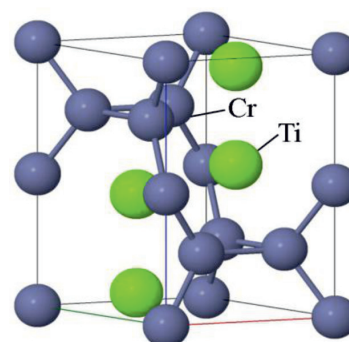


Рис. 5. Интерметаллид TiCr_2

Электронная концентрация интерметаллида TiCr_2 рассчитывалась из среднего значения валентных электронов всех элементов хромид титана. Для TiCr_2 электронная концентрация равна $C_{sd} = 5,34 \text{ эл./ат.}$, что соответствует фазам Лавеса [16].

Для интерметаллида TiCr_2 считалось среднее значение атомных радиусов. Большой атомный радиус обозначался R_1 (Ti), а малый атомный радиус обозначался R_2 (Cr). Определялось их отношение $R_1/R_2 = 1,147$, которое также соответствует фазе Лавеса.

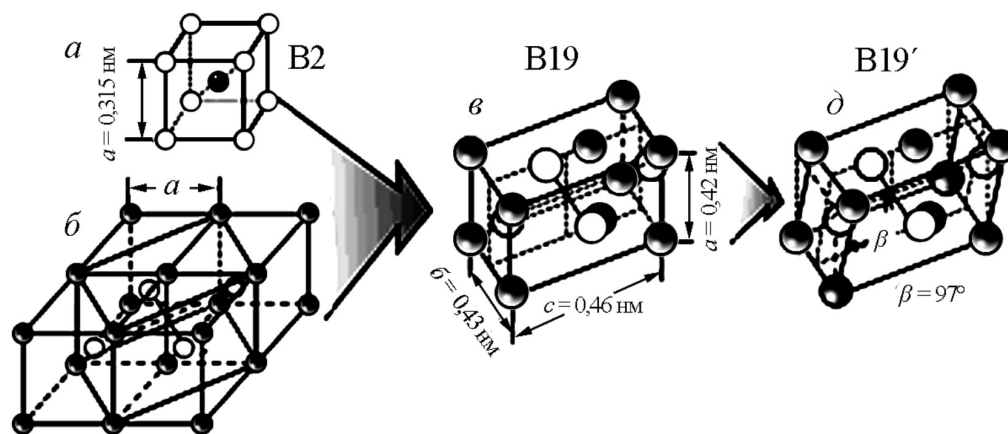


Рис. 6. Кристаллические решетки Ti-Ni [16]

На пятом месте стоит NiTi с содержанием фаз 33 ат.% и построной решетки $a = 2,8007 \text{ \AA}$, $b = 4,6192 \text{ \AA}$, $c = 4,1824 \text{ \AA}$, $\beta = 97,5793$. Согласно работе [17] нейтронный анализ тщательно исследованных сплавов в закаленном состоянии свидетельствует о том, что соединение $\text{Ti}_{49,5}\text{Ni}_{50,5}$ при температуре около 25°C обнаруживается в аустенитной модификации. Ее кристаллическая решетка B2 (a) и средний уровень атомного порядка (η) оказались в действительности равными $a = 0,30125 \text{ нм}$ и $\eta = 1,00 \pm 0,05$. Однако соединение $\text{Ti}_{50,5}\text{Ni}_{49,5}$ при температуре около 25°C обнаруживается в модификации B19' – мартенсита, на что прямо указывает нейтронный анализ и дает соответственно $a = 0,2903$, $b = 0,4112$, $c = 0,4636 \text{ нм}$, $\beta = 97,25$. Наблюдаемый нами NiTi оказывается мартенситом со структурой B19' (рис. 6).

Таким образом, из пяти ВЭСов ZrTiCrNiCu три имеют ГКЦ-структуру, TiCr₂ дает фазу Лавеса и NiTi дает мартенсит со структурой B19'.

Выводы

Микротвердость в сочетании с низким коэффициентом трения приводит к хорошей износостойкости покрытия ZrTiCrNiCu. Нанесение такого покрытия на детали локомотивов подвижного состава показало увеличение срока службы в четыре раза. Покрытия делались на детали из стали DTRKZ4AC00446. Очень хорошие характеристики покрытий из мишени ZrTiCrNiCu, скорее всего, связаны с никелидами титана и циркония. Эти соединения обладают свойством памяти формы [18]. Прикладное использование материалов с памятью заключается в следующем: создаются активные устройства, которые совершают

механическую работу за счет тепла. Таки-ми устройствами могут служить привода. Сплав с памятью в таких устройствах испытывает различные термомеханические нагрузки и может восстанавливаться за счет обратимого мартенситного превращения.

Работа выполнена по программе МОН РК. Гранты № 0118PK000063 и № Ф.0781.

Список литературы

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // Materials Science Forum. 2007. Vol. 560. P. 1–9.
2. Азаренков Н.А., Соболев О.В., Береснев В.М., Погребняк А.Д., Колесников Д.А., Турбин П.В., Торьяник И.Н. Вакуумно-плазменные покрытия на основе многоэлементных нитридов // Металлофизика и новейшие технологии / Metallofiz. Noveishie Tekhnol. 2013. Т. 35. № 8. С. 1061–1084.
3. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Печковский Э.П. Новый класс материалов – высокоэнтروпийные сплавы и покрытия // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18. № 4. С. 1938–1940.
4. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Андреев А.О., Крапивка Н.А. Сверхтвердые покрытия из высокоэнтропийных сплавов // Наука и инновации. 2013. Т. 9. № 5. С. 32–39.
5. Погребняк А.Д., Багдасарян А.А., Якущенко И.И., Береснев В.М. Структура и свойства высокоэнтропийных сплавов и нитридных покрытий на их основе // Успехи химии. 2014. Т. 83. № 11. С. 1027–1061.
6. Максимчук И.Н., Ткаченко В.Г., Вовчок А.С., Медолович Н.П., Макаренко Е.С. Кинетика распада и термическая стабилизация литого сплава системы Mg-Al-Ca-Mn-Ti // Металлофизика и новейшие технологии. 2014. Т. 36. № 1. С. 1–15.
7. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Печковский Э.П., Карпец М.В. Связь соотношения σ -фазы и ГКЦ-фазы с электронной концентрацией литых двухфазных высокоэнтропийных сплавов // Композиты и наноструктуры. 2015. Т. 7. № 2. С. 72–84.
8. Табачникова Е.Д., Лактионова М.А., Семеренко Ю.А., Шумилин С.Э., Подольский А.В. Механические свойства высокоэнтропийного сплава $\text{Al}_{0,5}\text{CoCrCuFeNi}$ в разных структурных состояниях в интервале температур 0,5–300 К // Физика низких температур. 2017. Т. 43. № 9. С. 1381–1395.

9. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Даниленко Н.И., Копылов В.И. Влияние пластической деформации на фазовый состав и свойства высокоэнтропийных сплавов // Научные заметки. 2016. № 54. С. 326–338.
10. Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Фирстов С.А. Высокоэнтропийные сплавы – электронная концентрация – фазовый состав – параметр решетки – свойства // Физика металлов и металловедение. 2017. Т. 118. № 10. С. 1017–1029.
11. Юров В.М., Гученко С.А. Антифрикционные свойства высокоэнтропийного покрытия TiNiZrCuCr // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10. С. 97–101.
12. Юркова А.И., Чернявский В.В., Кравченко А.И. Формирование структуры и фазового состава нанокристаллического сплава CuNiAlFeCr методом механического легирования // Металлофизика и новейшие технологии. 2014. Т. 36. № 4. С. 477–490.
13. Юров В.М., Гученко С.А. Толщина поверхностного слоя высокоэнтропийных покрытий CrNiTiZrCu // Национальная ассоциация ученых (НАУ). 2019. № 44. Часть 1. С. 40–44.
14. Wang Q., Ding N., Cui Y.Y., Dai Y., Liu B.X. An intermediate fcc Zr state observed in the Cu–Zr–Ni system upon ion beam mixing. Materials Letters. 2012. V. 89. P. 90–92.
15. Лякишева Н.П. (ред.). Диаграммы состояния двойных металлических систем. М.: Машиностроение, 2000. 832 с.
16. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Печковский Э.П., Карпец М.В. Влияние характеристик литых многокомпонентных эквивалентных двухфазных сплавов на количественное соотношение содержащихся в них поликомпонентной фазы Лавеса C14 и ОЦК-твердого раствора замещения // Композиты и наноструктуры. 2015. Т. 7. № 3. С. 127–144.
17. Комаров В.С. Диаграммы деформации, структурообразование и свойства объемных сплавов Ti–Ni, деформированных в изотермических условиях: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2018. 153 с.
18. Петров А.А. Функциональные свойства никелида титана при термомеханических воздействиях, характерных для активных устройств: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2004. 114 с.

УДК 519.7

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ ДОСТАВКИ ОДНОРОДНОГО ПРОДУКТА РАЗЛИЧНЫМ КЛИЕНТАМ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Юсупова Н.И., Валеев Р.С.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа,
e-mail: Yussupova@ugatu.ac.ru, ruslan_valeev@inbox.ru

В статье рассматривается задача VP_M поиска квазиоптимальных маршрутов для доставки заказов различным клиентам автомобильным транспортом, выполненная по заказу российской компании, занимающейся производством и доставкой некоторой химической продукции. Была разработана математическая модель для поиска квазиоптимальных маршрутов, в основу которой легли модели известных задач: задача с учетом вместимости транспортного средства маршрутизации ($CVRP$), задача маршрутизации с учетом вместимости и размещения трехмерного груза в транспортное средство ($3DBPCG$), задача маршрутизации с временными интервалами ($VRPTW$), задача маршрутизации с множеством депо ($MDVRP$), задача маршрутизации с раздельной доставкой ($SDVRP$), задача маршрутизации с возвратом заказов ($VRPPD$); задача маршрутизации $EVRP$. При этом учитывались такие практические ограничения, как вместимость транспортных средств, временные интервалы, раздельная доставка заказов клиентам, различная вместимость транспортных средств, возможность возврата заказа клиентами. Кроме того, в модели вошли такие параметры, как возможность проезда по платным дорогам, стоимость бензина и арендная плата за транспорт. Одновременно при поиске маршрутов решалась задача поиска квазиоптимальной трехмерной упаковки заказов внутри автомобильного транспорта. Известно, что задачи маршрутизации и задачи трехмерной упаковки относятся к трудным задачам дискретной оптимизации. Для задачи VP_M разработан метаэвристический алгоритм ACP_VP_M , в основу которого легли модифицированный алгоритм муравьиной колонии, основанный на популяции, и эволюционный алгоритм (1,4)-EA, базирующийся на эволюционной стратегии (μ, λ)-EA.

Ключевые слова: модель задачи маршрутизации, квазиоптимальный алгоритм муравьиной колонии, основанный на популяции, эволюционный алгоритм (1,4)-EA, эволюционная стратегия (μ, λ)-EA, задача трехмерной упаковки с учетом практических ограничений

A ROUTING PROBLEM FOR THE DELIVERY OF A HOMOGENEOUS PRODUCT TO VARIOUS CLIENTS BY MOTOR VEHICLES

Yusupova N.I., Valeev R.S.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: Yussupova@ugatu.ac.ru, ruslan_valeev@inbox.ru

The article considers the VP_M problem of searching for quasi-optimal routes for delivering orders to various customers by vehicles, that is commissioned by the Russian company which is engaged in the production and delivery of certain chemical products. The mathematical model of searching for quasi-optimal routes is developed, that is based on models of well-known problems: the Capacitated Vehicle Routing Problem ($CVRP$), the 3-D Capacitated Vehicle Routing Problem ($3D-CVRP$), the Vehicle Routing Problem with Time Windows ($VRPTW$), the Multiple Depot Vehicle Routing Problem ($MDVRP$), the Split Delivery Vehicle Routing Problem ($SDVRP$), the Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery with return of orders ($VRPPD$), the routing problem $EVRP$ is presented. At the same time, the practical restrictions such as vehicle capacity, time windows, split delivery of orders to customers, various vehicle capacities, and the possibility of customers to return an order are taken into account. In addition, the model includes such parameters as the ability to travel on toll roads, the cost of gasoline and the rent of vehicles. Simultaneously, when searching for routes, the problem of finding the quasi-optimal three-dimensional packing of orders inside the road transport is solved. The routing problems and the three-dimensional packing problems are known to fall into the class of NP-hard combinatorial discrete optimization problems. For the VP_M problem, the ACP_VP_M metaheuristic algorithm is developed, which basis is on the modified ant colony algorithm based on the population and the evolutionary algorithm (1,4)-EA based on an evolutionary strategy.

Keywords: routing problem model, quasi-optimal ant colony population based algorithm, evolutionary algorithm (1,4)-EA, evolutionary strategy (μ, λ)-EA, three-dimensional packaging problem accounting practical limitations

Доставка заказов клиентам в определенные сроки предполагает решение двух задач: поиск оптимального маршрута доставки и оптимальное размещение заказов ($3DBPCG$) в имеющемся транспорте. Первая задача позволяет сэкономить транспортные расходы компании, занимающейся перевозками, вторая – экономить ресурсы, в частности число единиц используемого транспорта для осуществления перевозок. Поскольку задачи маршрутизации и зада-

чи трехмерной упаковки являются трудными задачами дискретной оптимизации, для их практической реализации используются различные эвристики. Предлагается рассмотреть задачу VP_M , возникающая в компании, занимающейся доставкой заказов химической продукции в различные регионы России. Компания арендует автомобильные транспортные средства различной вместимости, имеет ряд депо. Перед отправкой заказ размещается в ем-

кости, имеющей форму параллелепипеда, все автомобильные транспортные средства, загруженные заказом различных клиентов, выезжают из депо, а после обслуживания клиентов возвращаются обратно в депо, при этом по пути следования допускается остановка в определенные часы. Требуется определить наилучшие маршруты доставки заказов различным клиентам с наименьшими расходами (аренда автомобиля, платные дороги), а также организовать рациональную упаковку заказов в автомобильные транспортные средства.

Математическая модель задачи VP_M

В основу математической модели рассматриваемой задачи VP_M легли ограничения из следующих известных задач: задача маршрутизации с учетом вместимости автомобильных транспортных средств (CVRP) [1]; задача маршрутизации с учетом упаковки заказов (3L-CVRP) [2]; задача маршрутизации с временным интервалом (VRPTW) [3], задача маршрутизации с различными депо (MDVRP) [4], задача маршрутизации с возможностью доставки заказа в одном транспортном средстве различным клиентам (SDVRP) [5], задача маршрутизации с возможностью возврата заказа по требованию клиента (VRPPD) [6]; задача маршрутизации EVRP [7]. Обозначения для описания задачи VP_M, являющейся модификацией задачи EVRP, введенные в перечисленных задачах, сохраняются.

Примем в качестве модели дорог, по которым заказ будет доставлен различным клиентам, ориентированный граф, в котором вершины делятся на следующие непересекающиеся подмножества: подмножество вершин (города доставки заказа) $V_c = \{1, \dots, n\}$ и подмножество вершин (депо) $V_h = \{0, n+1, \dots, n+k\}$. Обозначим через m_u – количество автомобильных транспортных средств, находящихся в депо ($m_u \in \{1, \dots, r_u\}$); r_u – число автомобильных транспортных средств, расположенных в депо; известны характеристики кузова автомобильных транспортных средств и их вместимости: W_v – ширина кузова автомобильного транспортного средства v ; L_v – длина кузова автомобильного транспортного средства v ; H_v – высота, Q_v – вместимость. Заказ размещается в емкости, имеющие

форму параллелепипеда, известны их характеристики: lp_{kp} – длина емкости kp , wp_{kp} – ширина, hp_{kp} – высота, mp_{kp} – масса емкости kp ($Item_{par}$ – количество емкостей). Известны

потребности клиентов $q_i = \sum_{kp=1}^{|Item_{par}|} qp_{ikp}$, имеется информация о заказе, который требуют вернуть клиенты: $q_{reti} = \sum_{kp=1}^{|Item_{par}|} pp_{retikp}$

. Компания имеет затраты $cost_{petrolv}$ на бензин, $cost_{rentv}$ – затраты на арендную плату автомобильных транспортных средств. По пути следования могут встретиться платные дороги, тогда в транспортные расходы включается и величина $cost_{roadij}$. Кроме того, возможна остановка транспортного средства в определенные промежутки времени $[a_i, b_i]$. Пусть c_{ij} – время между посещением клиентов, s_i – время, в течение которого выполняется заказ для некоторого клиента. При этом вводится денежный штраф $penalty_time_i$ за обслуживание после заданного времени b_i ; w_{iv} – время, в которое начинает обслуживаться клиент с прибывшим для него заказом; t_{iv} – время, в которое автомобильное транспортное средство прибывает из депо к клиенту. Решение задачи – переменная x_{ijv} , равная 1 при условии, что транспортное средство прибывает из депо от клиента i к клиенту j , и 0 в противном случае. Количество заказа, доставляемого транспортным средством для каждого кли-

ента, – это величина $y_{iv} = \sum_{kp=1}^{|Item_{par}|} yp_{ivkp}$. Если есть заказ, который следует принять обратно от клиента, то его количество вычисляется

как $q_{iv} = \sum_{kp=1}^{|Item_{par}|} dp_{ivkp}$. Вводится денежный

штраф $penalty_pack_v$ за маршрут, в котором не удалось рационально разместить заказы клиентов в транспортное средство. Для того чтобы знать, помещается ли $fpack_v \leq 1$ заказ в транспортное средство, вводится параметр $fpack_v$: при выполнении условия заказ помещается в транспортное средство; если $fpack_v > 1$, то заказ не помещается.

Математическая модель задачи VP_M:

Найти наименьшие транспортные расходы:

$$\sum_{v=1}^{m_u} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\text{cost}_{t_v} + \text{cost}_{t_{roadij}}) c_{ij} x_{ijv} + \sum_{v=1}^{m_u} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{penalty_time}_j x_{ijv} +$$

$$+ \sum_{v=1}^{m_u} \text{penalty_pack}_v \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k$$

при выполнении следующих условий:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{m_u} x_{ijv} \geq 1, j = 1, \dots, n, u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{izv} - \sum_{v=1}^{m_u} x_{zjv} = 0, z = 0, \dots, n, v = 1, \dots, m_u, u = n + 1, \dots, n + k; \quad (3)$$

$$y_{iv} \leq \sum_{j=1}^n x_{ijv} q_i, i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (4)$$

$$d_{iv} \leq \sum_{j=1}^n x_{ijv} p_{reti}, i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (5)$$

$$\sum_{v=1}^{m_u} y_{iv} = q_i, i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (6)$$

$$\sum_{v=1}^{m_u} d_{iv} = p_{reti}, i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^l (y_{iv} - d_{iv}) \leq Q_v, l = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (8)$$

$$a_i \leq w_{iv} \leq b_i, i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijv} w_{jv} \geq \sum_{i=1}^n x_{jiv} (w_{iv} + s_i + c_{ij});$$

$$\forall i, j \in \{1, \dots, n\}; v = 1, \dots, m_u; u = 0, n + 1, \dots, n + k; \quad (10)$$

$$penalty_pack_v = \begin{cases} 0, & \text{если } fpack_v \leq 1; v = 1, \dots, m_u \\ const > 0, & \text{если } fpack_v > 1, u = 0, n + 1, \dots, n + k \end{cases} \quad (11)$$

Для реализации условия (11) решается задача трехмерной упаковки *3DBPCG*, цель которой – минимизация количества транспортных средств с укомплектованными в них палетами с емкостями:

$$N \xrightarrow{P} \min, \quad (12)$$

где P – множество всевозможных расположений емкостей. При этом выполняются следующие ограничения: емкости не находятся за границей палеты; стороны емкостей параллельны граням палеты; стороны палеты параллельны граням области загрузки

и транспортного средства; палеты в одном транспортном средстве взаимно не перекрываются; палеты не выходят за пределы транспортного средства; максимальная высота $H_{\max}$ укомплектованных на палете емкостей не превосходит максимально допустимую высоту $h_{pod\ max}$ палеты:

$$H_{\max} \leq h_{pod\ max}; \quad (13)$$

стороны емкостей параллельны граням области загрузки транспортного средства; масса укомплектованных на палете емкостей не превышает допустимой вместимо-

сти q_{pod} палеты: $\sum_{i=1}^n m_i \leq q_{pod}$, где m_i – масса i -ой емкости. Практически эффективность трехмерной упаковки принято оценивать следующим параметром – коэффициентом упаковки:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \cdot w_i \cdot h_i}{L \cdot W \cdot H} \cdot 100\%,$$

где $l_i \times w_i \times h_i, i = 1, \dots, n$ – размеры емкостей, имеющих форму параллелепипеда, W – ширина кузова размещения транспортного средства (параллелепипед), соответственно, L – длина и H – высота.

Упаковка палет с емкостями в транспортное средство осуществляется с учетом центра масс, причем при погрузке следует учитывать, что центр масс укомплектованного автомобильного транспортного средства должен быть в цилиндрической области допущения G :

$$G = (x - L / 2)^2 + (y - W / 2)^2 = R^2, \quad h_1 \leq z \leq h_2, \quad (14)$$

где x, y, z – координаты емкости в транспортном средстве, R – радиус основания цилиндра, h_1, h_2 – границы допустимой высоты области G [8].

Следует так разместить палеты с емкостями, чтобы минимизировать девиацию центра тяжести упакованного транспортного средства:

$$d = \sqrt{(X_{\text{цт}} - L / 2)^2 + (Y_{\text{цт}} - W / 2)^2 + (Z_{\text{цт}} - H / 2)^2} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где в формуле (15) используются обозначения $(X_{\text{цт}}, Y_{\text{цт}}, Z_{\text{цт}})$ для координат центра масс за-казов, упакованных в транспорт для отправки;

$$X_{\text{цт}} = \sum_{i=1}^n (x_{\text{цт}}^i \cdot m_i) / \sum_{i=1}^n m_i; Y_{\text{цт}} = \sum_{i=1}^n (y_{\text{цт}}^i \cdot m_i) / \sum_{i=1}^n m_i; \quad (16)$$

$$Z_{\text{цт}} = \sum_{i=1}^n (z_{\text{цт}}^i \cdot m_i) / \sum_{i=1}^n m_i; \quad (17)$$

$$(x - X_{\text{ц.т.}})^2 + (y - Y_{\text{ц.т.}})^2 \leq R^2; \quad (18)$$

$$h_1 \leq Z_{\text{ц.т.}} \leq h_2. \quad (19)$$

Метод решения задачи VP_M

Для решения задачи VP_M разработан алгоритм ACP_VP_M , являющийся модификацией алгоритма P_ACO_EVRP [9] и алгоритмов [10, 11], для решения задачи $3DBPCG$ – алгоритм (1,4)- EA , являющийся модификацией известного эволюционного алгоритма (μ, λ) - EA [11].

Общая схема алгоритма ACP_VP_M

Шаг 1. Преобразовать исходный ориентированный граф (модель дорог) в матрицу расстояний между клиентами.

Шаг 2. Преобразовать матрицу расстояний в матрицу стоимостей.

Шаг 3. Распределить заказы клиентов по депо и транспортным средствам.

Шаг 4. Поиск квазиоптимальных маршрутов (по критерию минимальной стоимости):

Шаг 4.1. Формировать маршруты с учетом ограничений (1)–(11).

Шаг 4.2. Сформировать популяцию квазиоптимальных маршрутов из маршрутов, полученных на шаге 4.1.

Шаг 4.3. Получить таблицу размещения заказов по транспортным средствам (алгоритм (1,4)- EA с учетом (12)–(19)).

Шаг 4.4. Преобразовать популяцию квазиоптимальных маршрутов.

Было разработано программное обеспечение на языке $C++$, реализующее алгоритм ACP_VP_M . Приведем численный эксперимент, проводимый на тестах, в которые включена следующая информация: местоположения депо и клиентов (координаты), спрос каждого клиента, вместимости арендуемого компаний автомобильного грузового транспорта. Разработанный алгоритм сравнивался с результатами алгоритма P_ACO_EVRP . Результаты экспериментов приведены в табл. 1. Для корректного сравнения результатов алгоритмов в качестве целевой функции взята длина искомого маршрута.

Таблица 1
Сравнение результатов работы алгоритмов
ACP-VP_M и *P-ACO-EVRP*

Количество клиентов	<i>P-ACO-EVRP</i> Лучшее решение (длина маршрута доставки)	<i>ACP-VP_M</i> Лучшее решение (длина маршрута доставки)
200	6471,98	6354,51
255	588,34	596,89
300	1005,12	1018,74
399	929,5	852,84
420	1833,55	1799,57
480	13807,2	13602,3

Как видно из результатов эксперимента, целевая функция – длина маршрута – при количестве клиентов 200, 399, 420, 480 оказалась лучше в модифицированном алгоритме *ACP-VP_M* по сравнению с алгоритмом *P-ACO-EVRP*.

Следующий эксперимент (табл. 2) проводился для того, чтобы оценить вычислительные возможности разработанного алгоритма *ACP-VP_M* в зависимости от количества клиентов, подавших заявки на доставку заказа. При проведении численного эксперимента использовались тесты с различным количеством клиентов из международной библиотеки тестов *OR-Library* для тестирования задач исследования (<http://people.brunel.ac.uk/~mastijb/jeb/info.html>).

Таблица 2
Среднее время выполнения алгоритма
ACP-VP_M

количество клиентов	среднее время работы алгоритма 2000 итераций (сек)
10	0,1
20	0,2
30	1,12
40	1,47
50	1,89
60	5,01
70	8,1
80	9,6
90	23,5
100	33,9
150	176,8
200	338
250	6876
300	7798
420	13876
480	1498

Заключение

Обсуждались задача поиска квазиоптимальных маршрутов для доставки заказов различным клиентам по критерию мини-

муму транспортных расходов, а также задача трехмерной упаковки, целью которой являлась экономия количества арендуемых компанией транспортных средств с учетом различных ограничений, встречающихся в реальных перевозках. Предложена модифицированная математическая модель решаемой задачи, разработан эффективный алгоритм *ACP-VP_M* на базе алгоритма муравьиной колонии, основанного на популяции и эволюционной стратегии (1,4)-*EA*, учитывающий различные ограничения, предоставленные компанией. В настоящее время алгоритм *ACP-VP_M* апробируется на реальных данных компании, занимающейся производством и доставкой химической продукции в различные регионы России, с целью сокращения общих стоимостных затрат.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-07-00193-а.

Список литературы

1. Venkatesan S.R., Logendran D., Chandramonah D. Optimization of capacitated vehicle routing problem using PSO. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). 2011. vol. 3 (10). P. 7469–7477.
2. Gendreau M., Iori M., Laporte G., S. Martello A tabu search algorithm for a routing and container loading problem. Transportation Science. 2006. vol. 40. no. 3. P. 342–350.
3. Schmid V., Doerner Karl F. Gilbert L. Rich Routing Problems Arising in Supply Chain Management. European Journal of Operational Research. 2013. vol. 224. no. 3. P. 435–448.
4. Ramalingam A., Vivekanandan K. Genetic Algorithm based Solution Model for Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2014. vol. 3 (11). P. 8433–8439.
5. Archetti C., Hertz A., Speranza M.G. A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem. Transportation Science. 2006. no. 40. P. 64–73.
6. Abraham Aby K., Bobin Cherian Jos, Georgekutty S. The Pickup And Delivery Vehicle Routing Problem For Perishable Goods In Air-Cargo Industry. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. vol. 2 (12). P. 790–794.
7. Валеева А.Ф., Гончарова Ю.А., Валеев Р.С. Об одном подходе к решению задач операционного планирования по доставке однородной продукции различным клиентам. Часть 1 // Информационные технологии. 2016. Т. 22. № 10. С. 741–746.
8. Юсупова Н.И., Валеев Р.С. Рациональное размещение грузов в контейнеры с учетом их физических характеристик с помощью роботизированного комплекса // Информационные технологии. 2011. № 5. С. 30–36.
9. Валеева А.Ф., Гончарова Ю.А., Валеев Р.С. Задачи маршрутизации при транспортировке: оптимизация доставки однородного груза различным клиентам // Логистика и управление цепями поставок. 2019. № 5 (94). Ч. 2. С. 26–40.
10. Guntch M., Middendorf M. Applying Population Based ACO to Dynamic Optimization Problems. Proc. 3rd Int. Workshop (ANTS 2002). Lecture Notes in Computer Science. 2002. vol. 2463. P. 111–122.
11. Кочетов Ю.А., Хмелев А.В. Гибридный алгоритм локального поиска для задачи маршрутизации разнородного ограниченного автопарка О сравнении некоторых эволюционных алгоритмов // Дискретный анализ и исследование операций. 2015. Т. 22. № 5. С. 5–29.

СТАТЬИ

УДК 376.3

ХАРАКТЕРИСТИКА КОММУНИКАТИВНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ РЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ

Адилъжанова М.А., Тишина Л.А.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный психолого-педагогический университет», Москва,
e-mail: adilzhanovama@mgppu.ru, tishinala@mgppu.ru*

В статье представлена попытка анализа полиморфности и вариативности речевых профилей дошкольников с расстройствами аутистического спектра. С целью изучения коммуникативных профилей дошкольников с расстройствами аутистического спектра были обследованы 58 детей в возрасте трех-шести лет. Экспрессивная речь дошкольников с расстройствами аутистического спектра была оценена на основе критериев речевого развития, разработанных Tager-Flusberg. Оценивалось развитие фонетики, лексики, грамматики, а также прагматики. Особый интерес представляло соотношение структурных компонентов речи в пределах индивидуального коммуникативного профиля. Для большей части детей из нашей выборки звукопроизношение оказалось наиболее сохранной областью развития экспрессивной речи. Лексико-грамматический строй и прагматический аспект речевой деятельности формируются со значительным темповым отставанием. Причем прагматика являлась наиболее проблематичной областью речи детей с РАС. Дети из нашей выборки преимущественно продемонстрировали асинхронные коммуникативные профили. В процессе детального анализа нам удалось выявить два основных речевых фенотипа у детей, вошедших в предлингвистическую группу. Они представляют наибольший интерес для теории и практики логопедии. Полученные результаты расширяют и углубляют представления о специфике нарушений речи у детей с аутизмом.

Ключевые слова: расстройства аутистического спектра, коммуникативные профили, развитие экспрессивной речи, речевые профили, речевая деятельность

CHARACTERISTIC OF COMMUNICATIVE PROFILES OF CHILDREN WITH AUTISTIC SPECTRUM DISORDERS USING ASSESSMENT CRITERIA OF SPEECH DEVELOPMENT

Adilzhanova M.A., Tishina L.A.

*Moscow State University of Psychology & Education, Moscow,
e-mail: adilzhanovama@mgppu.ru, tishinala@mgppu.ru*

The article presents an attempt to analyze the polymorphism and variability of speech profiles of preschool children with autism spectrum disorders. In order to study the communication profiles of preschool children with autism spectrum disorders, 58 children aged three to six years were examined. The expressive speech of preschool children with autism spectrum disorders was evaluated based on the speech development criteria developed by Tager-Flusberg. The development of phonetics, vocabulary, grammar, and pragmatics was evaluated. Of particular interest was the ratio of structural components of speech within the individual communication profile. For most of the children in our sample, sound pronunciation was the most preserved area of development of expressive speech. The lexical and grammatical structure and the pragmatic aspect of speech activity are formed with a significant time lag. Moreover, pragmatics was the most problematic area of speech for children with ASD. The children in our sample mostly demonstrated asynchronous communication profiles. In the process of detailed analysis, we were able to identify two main speech phenotypes in children included in the pre-linguistic group. They are of the greatest interest for the theory and practice of speech therapy. The results obtained expand and deepen the understanding of the specifics of speech disorders in children with autism.

Keywords: autistic spectrum disorders, communication profiles, development of expressive speech, speech profiles, speech activity

Многочисленные исследования (Е.Р. Баенская, М.М. Либлинг, С.А. Морозов [1], С.С. Морозова, Т.И. Морозова [2], О.С. Никольская [3], Л.Г. Нуриева [4], Т. Charman, R. Luyster, F. Volkmar) свидетельствуют о существенной вариативности речевого фенотипа у детей с расстройствами аутистического спектра. Широко известно, что дети, имеющие высокофункциональный аутизм, способны овладеть фонетической, лексической и грамматической сторонами речи в хронологические сроки, опережающие речевое развитие нормотипичных сверстников или соответствующие им. Од-

нако следует отметить тот факт, что более 5% детей с расстройствами аутистического спектра произносят первые слова к шести годам, что лежит далеко за пределами диапазона типичного развития.

Несмотря на то что значительные речевые нарушения касаются как импрессивной, так и экспрессивной речи, на настоящий момент не выявлены специфические, характерные именно для речевого развития детей с расстройствами аутистического спектра, нарушения структурных языковых компонентов (фонетика, лексика, грамматика).

В работах (J. Boucher [1], R. Luyster [5]) отмечается, что дети дошкольного и школьного возраста имеют асинхронные профили вербального развития и демонстрируют крайнюю изменчивость в развитии речи. Однако в каком именно соотношении находятся различные структурные компоненты речи в пределах отдельного профиля, остается неясным. Для решения этого аспекта изучаемой проблемы нами была предпринята попытка изучения типов коммуникативных профилей у детей с расстройствами аутистического спектра трех-шести лет и анализа речевых возможностей дошкольников в разных областях экспрессивной модальности.

Материалы и методы исследования

Изучение экспрессивной речи детей с расстройствами аутистического спектра проводилось на базе детских коррекционных центров и центров оказания помощи детям с аутизмом г. Астана (Казахстан). В эксперименте приняли участие 58 детей от трех до шести лет, имеющие диагноз «Расстройства аутистического спектра».

Нами была проведена оценка экспрессивной речи детей с расстройствами аутистического спектра на основе критериев, разработанных группой ученых под руководством Tager-Flusberg [6–8] (Национальный институт проблем слуха и других коммуникативных расстройств, США), для определения уровня речевого развития детей с расстройствами аутистического спектра в области фонетики, лексики, грамматики и прагматики. Авторы исследования предложили отказаться от употребления термина «функциональная речь» при описании речевой продукции детей с расстройствами аутистического спектра и ввести термин «рамки развития». Ими были предложены четкие объективные критерии, основанные на онтогенетическом принципе овладения речью. Структура предложенной оценки позволяет наблюдать непрерывный процесс развития речи от 12- до 48-месячного возраста. Критерии предусмотрены для четырех этапов речевого развития: «предлингвистическая стадия», «появление первых слов», «словосочетания» и «предложения».

Преимущество использования предложенных эталонных тестов состоит в том, что они позволяют индивидуально подойти к характеристике разговорной речи дошкольников с расстройствами аутистического спектра, учитывая полиморфность и вариативность коммуникативных нарушений у детей изучаемой группы [9].

Для каждого этапа, включенного в рамки речевого развития, были определены

минимальные критерии для оценки уровня экспрессивной речи дошкольников с расстройствами аутистического спектра. Для того чтобы считать, что ребенок достиг определенного этапа развития разговорной речи, его вербальная продукция должна соответствовать хотя бы одному из заданных минимальных критериев, определенных для каждого из структурных языковых компонентов.

Результаты исследования и их обсуждение

Обратимся к характеристике критериев достижения этапов речевого развития для детей с расстройствами аутистического спектра.

Этап I: предлингвистическая стадия. Соответствует возрастному диапазону у нормотипичных детей от 6 до 12 месяцев. Коммуникация на этом этапе осуществляется с помощью довербальных средств общения: лепета и жестов. Критерии и ориентиры для оценки довербальной коммуникации нами не анализировались, т.к. она не является непосредственным проявлением экспрессивной речи.

Этап II: первые слова, что соответствует возрастному диапазону от 12 до 18 месяцев у типично развивающихся детей. Характеризуется появлением разговорной речи. Для детей с расстройствами аутистического спектра, исходя из выбранной диагностической методики, оценочная шкала соответствует возрасту 15 месяцев при нормотипичном развитии. Все полученные результаты сопоставлялись с этапами речевого развития в онтогенезе. Если ребенок с аутизмом достигает отмеченного уровня речевого развития, то мы фиксируем наличие следующих конкретных показателей в каждой из областей:

1. Фонетика и слоговая структура слова – соответствует одному из двух критериев, полученных на основании анализа образцов естественной речи детей: наличие комбинации СГ (согласный+гласный – прямой открытый слог) и не менее 8 согласных звуков.

2. Лексика – ребенок демонстрирует наличие различных слов (5 разнокоренных лексем и 10 простых производных слов или словоформ), которое выявляется в образцах естественной речи или основывается на наблюдениях родителей.

3. Прагматика – минимальным критерием является наличие двух коммуникативных функций, включая называние (называние + просьба или называние + комментирование).

Этап III: словосочетания, охватывает возрастной диапазон при нормотипичном

развитии от 18 до 30 месяцев. Для оценки речевого развития дошкольников с расстройствами аутистического спектра используются критерии, эквивалентные развитию в 24 месяца согласно онтогенезу. Для достижения этого этапа речевого развития определяют следующие критерии:

1. Фонетика и слоговая структура слова – соответствует одному из четырех критериев: наличие закрытых слогов (гласный + согласный); двусложных слов (СГСГ); умение произносить не менее 20 согласных звуков. Следует отметить, что практически 50% речевой продукции ребенка (образцы естественной речи) полностью понятны слушателю.

2. Лексика – минимальным показателем для достижения ребенком с расстройствами аутистического спектра данного уровня речевого развития является наличие в его репертуаре 100 слов, соответствующих названиям предметов или действий.

3. Грамматика – оценивается средняя длина высказывания на основании наблюдений за ребенком в естественной среде (в среднем 1,8 слова – из 100 высказываний) на основании прямых оценочных тестов и по данным родительских отчетов (среднее количество слов в трех самых длинных высказываниях – 3,8).

4. Прагматика – оцениваются речевые проявления во время совместных коммуникативных действий, наличие диалогической речи, возможности коммуникации.

Этап IV: предложения, охватывает возрастной диапазон от 30 до 48 месяцев у типично развивающихся детей. Для оценки детей с расстройствами аутистического спектра используются критерии, эквивалентные 36-месячному возрасту нормотипичного ребенка.

1. Фонетика – наличие 75% полностью понятных (правильно произносимых) звуков в образцах естественной речи.

2. Лексика – не менее 92 слов в 65 высказываниях на основе анализа образцов естественной речи.

3. Грамматика – средняя длина высказывания равна трем различным словам, содержащим различные морфемы, на основе анализа спонтанных произвольных высказываний и материалов тестирования.

4. Прагматика – умение рассказать о событии, наличие диалогической речи, детская коммуникация.

По результатам обследования дети, принимавшие участие в экспериментальном исследовании, были сгруппированы нами в соответствии с критериями развития экспрессивной речи, определенными Taget-Flusberg (адаптированы М.А. Адильжано-

вой [10; 11], Л.А. Тишиной) в следующих языковых областях: фонетика, лексика/грамматика, прагматика. Полученные результаты позволили проанализировать коммуникативные профили детей и тенденции, которые наблюдались в выборке (таблица).

В области фонетики:

– 9 детей соответствовали критериям для *предлингвистической группы*. В их речевой продукции присутствовало менее 8 согласных звуков.

– 24 ребенка соответствовали критериям этапа «*Первые слова*» и демонстрировали использование от 8 до 20 согласных звуков в речи.

– 18 детей достигли уровня «*Словосочетания*» и могли произнести более 20 согласных звуков.

– 7 детей демонстрировали речевую продукцию, соответствующую этапу «*Предложения*», для которого не было указано минимальное количество согласных звуков, и мы использовали речевые нормативы типичного развития для 36-месячного возраста.

Оценивая развитие лексики и грамматики, мы установили, что:

– к *предлингвистической группе* относится 19 детей,

– этапа «*Первые слова*» достигли 29 детей,

– 6 детей продемонстрировали речевые образцы, соответствующие этапу «*Словосочетания*»,

– 4 ребенка – этапу «*Предложения*».

Что касается прагматики, то *предлингвистическую группу* составили 52 человека, 4 ребенка соответствовали критериям для этапа «*Первые слова*» и 2 ребенка – этапа «*Словосочетания*».

Для большей части детей из нашей выборки звукопроизношение оказалось наиболее сохранной областью развития экспрессивной речи. Лексико-грамматический строй и прагматический аспект речевой деятельности формируются со значительным темповым отставанием. Причем прагматика являлась наиболее проблемной областью речи детей с расстройствами аутистического спектра.

89,65% детей из нашей выборки попали в *предлингвистическую группу* по уровню развития прагматических навыков речи, что соответствует уровню развития нормотипичного ребенка до одного года жизни. Таким образом, необходимо отметить, что прагматические трудности являются практически унифицированными и универсальными при развитии экспрессивной речи у детей с расстройствами аутистического спектра.

Распределение дошкольников с расстройствами аутистического спектра
в группы по речевому профилю

Речевые группы	Языковые компоненты		Фонетика		Лексика и грамматика		Прагматика	
	число	%	число	%	число	%	число	%
«Предлингвистическая стадия»	9	15,51	19	32,76	52	89,65		
«Первые слова»	24	41,37	29	50	4	6,9		
«Словосочетания»	18	31,03	6	10,34	2	3,45		
«Предложения»	7	12,07	4	6,9	–	–		

Прагматика может быть определена как набор правил, регулирующих использование речи для общения в той или иной ситуации, способность своевременно высказывать правильную мысль надлежащим образом, согласно принятым социальным нормам. Эти правила включают социальные знания (соответствующее обращение к сверстникам и старшим людям), социально-когнитивное понимание (понимание намерений и желаний другого человека), знание языковых средств, необходимых для последовательного ведения диалога или повествования.

Социальные нарушения, характерные для лиц с расстройствами аутистического спектра, приводят к дефициту прагматических навыков. Хотелось бы отметить, что дети, имеющие больший объем общения (посещающие групповые занятия, детский сад, группы игровой терапии, музыкальные занятия и др.), демонстрировали более разнообразные коммуникативные функции. На наш взгляд, необходимо уточнить, что оценка прагматических навыков, проводилась во время прямого наблюдения за естественной игрой детей и возникновением ситуаций коммуникативных соблазнов. Такой подход, возможно, не совсем корректно отражает истинную картину качества формирования прагматических навыков, поскольку дети с расстройствами аутистического спектра не всегда готовы демонстрировать оцениваемое поведение (речевое, коммуникативное, социальное, учебное и т.д.) в ограниченный промежуток времени в присутствии посторонних людей. Оценка прагматики, основанная на анкетировании родителей, скорее всего, даст несколько другой прагматический профиль.

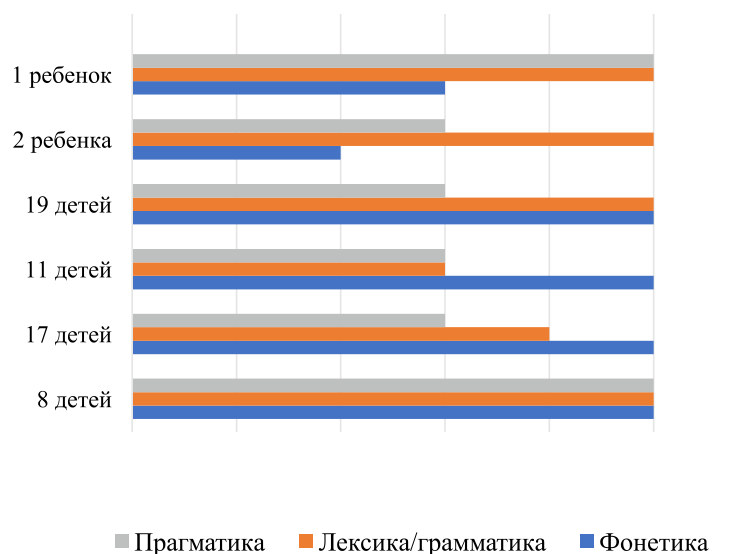
Анализируя развитие лексико-грамматического строя речи у дошкольников нашей выборки, мы установили, что только 4 ребенка достигли критериев, которые позволяют отнести их к группе «Предложения». Это составляет 6,9% от количества детей, участвующих в исследовании.

Проанализировав полученные результаты, мы составили индивидуальные речевые

профили детей с расстройствами аутистического спектра, представленные на рисунке, сгруппировав показатели в соответствии со степенью сформированности фонетики, лексики, грамматики и прагматики внутри каждого профиля.

Восемь детей (13,79% от общего числа обследуемых дошкольников) показали равномерные профили речевого развития, в которых фонетика, лексика, грамматика и прагматика достигли одного уровня. У остальных 50 детей были выявлены неравномерные речевые профили. 48,27% детей (28 человек) продемонстрировали более высокий уровень развития звукопроизношения по сравнению с качеством формирования словарного запаса, грамматики и прагматики. Около 32,76% детей (19 человек) показали равные уровни развития фонетики и лексико-грамматического строя речи в сравнении с прагматическими навыками. Только у 5,17% детей (3 человека) были выявлены речевые профили, в которых фонетика отставала от развития лексики, грамматики и прагматики, причем более чем у половины детей, имеющих такой коммуникативный профиль, уровень звукопроизношения соответствовал *предлингвистическому этапу* развития экспрессивной речи, т.е. дошкольники трех-шести лет могли произнести менее 8 согласных звуков. На наш взгляд, данный факт может свидетельствовать о наличии произносительных трудностей, которые могут выступать проявлением дизартрии или артикуляторной апраксии и указывать на наличие коморбидности в этих конкретных случаях.

На наш взгляд, наибольший интерес для теории и практики логопедии вызывают качественные характеристики проявлений речевого недоразвития у детей *предлингвистической группы*. Хотелось бы подробнее остановиться на характеристике этого профиля. В процессе детального качественного и количественного анализа нам удалось выявить два основных речевых фенотипа у детей, вошедших в эту группу.



Речевые профили дошкольников с расстройствами аутистического спектра

К первому фенотипу мы отнесли детей, которые крайне редко произносили малое количество однообразных звуков, не реагировали на обращенную речь и имели очень низкую мотивацию к какой-либо деятельности. Вариативность их вокализаций в процессе диагностического исследования расширить практически не удавалось.

Ко второму фенотипу были отнесены дошкольники, которые произносили много разнообразных звуков, вокализировали часто, могли создавать новые комбинации из произносимых звуков, но взять под контроль их вокализации и перевести их в эхо-реакции в рамках нашего исследования без специального обучения не представлялось возможным. Обращенную речь дети понимали частично на достаточно низком уровне. Мотивация к деятельности присутствовала, но сфера интересов была резко сужена.

Оценивая специфичность разновозрастной группы детей, анализ их речевого профиля, состояние мотивационной сферы, уровень понимания речи, на основе исследований Л.А. Тишиной [12–14], нами были выработаны стратегии логопедической работы, которые включали интенсивный тренинг по развитию имитационных навыков, формирование совместного внимания, реакции обозревателя, развитие визуально-когнитивного восприятия и введение системы альтернативной коммуникации для детей первого фенотипа.

Заключение

Учитывая высокую теоретическую и практическую значимость проведенного

исследования, отсутствие практико-ориентированных разработок в области рассматриваемой проблемы, противоречия между спецификой проявления речевого недоразвития и способностью к активной коммуникации дошкольников с расстройствами аутистического спектра, полученные результаты имеют несомненную научную значимость, поскольку расширяют и углубляют представления о специфике нарушений речи у детей с аутизмом.

Список литературы

1. Морозов С.А. К вопросу о коморбидности при расстройствах аутистического спектра // Аутизм и нарушения развития. 2018. Т. 16. № 2. С. 3–8.
2. Морозов С.А., Морозова С.С., Морозова Т.И. Некоторые особенности ранней помощи детям с расстройствами аутистического спектра // Аутизм и нарушения развития. 2017. Т. 15. № 2. С. 19–31.
3. Никольская О.С., Баенская Е.Р., Либлинг М.М. Аутичный ребенок. Пути помощи. 8-е изд. М.: Теревинф, 2014. 288 с.
4. Нуриева Л.Г. Развитие речи у аутичных детей. М.: Теревинф, 2017. 130 с.
5. Boucher J. Language development in autism. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology. Vol. 67. Supplement 1. 2003. P. 159–163.
6. Luyster R., Lopez K., Lord C. Characterizing communicative development in children referred for autism spectrum disorders using the MacArthur-Bates Communicative Development Inventory (CDI) Journal of Child Language. 2007. Vol. 34. P. 623–654.
7. Paul R., Chawarska K., Cicchetti D., Volkmar F. Language outcomes of toddlers with autism spectrum disorders: a two year follow-up. Autism research: official journal of the International Society for Autism Research. 2008. Vol. 1 (2). P. 97–107.
8. Tager-Flusberg H., Rogers S., Cooper J., Landa R., Lord C., Paul R., Rice M., Stoel-Gammon C., Wetherby A., Yoder P. Defining spoken language benchmarks and selecting mea-

tures of expressive language development for young children with autism spectrum disorders. *Journal of speech, language, and hearing research: JSLHR*. 2009. Vol. 52 (3). P. 643–652.

9. Костюк А.В. Изучение механизма нарушения речевого развития у детей с расстройствами аутистического спектра // Педагогическое образование в России. 2017. № 11. С. 145–148.

10. Адильжанова М.А. Влияние имитационных способностей на развитие речи детей с аутизмом // Актуальные проблемы обучения и воспитания лиц с ограниченными возможностями здоровья: материалы IV Международной научно-практической конференции / Под ред. И.В. Евтушенко, В.В. Ткачевой. 2014. С. 18–20.

11. Адильжанова М.А. Критерии оценки речевого развития у детей с расстройствами аутистического спектра. // Специфические расстройства у детей: вопросы диагностики

и коррекционно-развивающего воздействия. Методический сборник по материалам Международного симпозиума / Под общ. ред. А.А. Алмазовой, А.В. Лагутиной, Л.А. Набоковой, Е.Л. Черкасовой. 2018. С. 18–20.

12. Тишина Л.А., Денисова И.А. Системный анализ проблемы понимания речи у детей с расстройствами аутистического спектра // Мир специальной педагогики и психологии. Научно-практический альманах. М., 2018. С. 138–142.

13. Тишина Л.А., Ермолова Д.П. Особенности развития мимики и интонации у детей младшего школьного возраста с расстройствами аутистического спектра // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 9. С. 163–169.

14. Глухоедова О.С., Тишина Л.А. Формирование речи неговорящих детей на ранних этапах коррекционного воздействия // Педагогика. 2014. № 10. С. 53–58.

УДК 796.011.3:378.6

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ**¹Борисов А.В., ¹Игнашин Е.А., ²Бугаев А.В.**¹*ФГКВООУ ВО «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны», Ярославль, e-mail: burikov2001@mail.ru;*²*ФГКВООУ ВО ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Калининград*

В статье рассматриваются пути совершенствования процесса организационно-методических основ и процесса управления физической подготовкой руководителей тренировочных занятий в высшем военном учебном заведении. Отмечается, что непосредственно подготовка и взаимодействие руководителей занятий и исполнителей является одним из важнейших элементов организации физической подготовки в высшем военном учебном заведении, а уровень требований, предъявляемых к руководителям, в первую очередь офицерам – специалистам в области физической культуры, проводящим занятия с постоянным составом высшего военного учебного заведения, должен соответствовать не менее чем второму уровню. Вместе с тем дополнительно руководителям занятий указанных категорий необходимы специальные знания и методические навыки в проведении практических тренировочных занятий с оздоровительной направленностью. В результате проведенного исследования установлено, что ключевые направления процесса организации и управления физической подготовкой руководителей занятий совершенствуются путем включения нового содержания в сложившиеся механизмы организации физической подготовки. Обучение руководителей занятий физической подготовкой перспективному проектированию учебно-тренировочных программ, формированию знаний, умений и навыков оперативно вносить изменения в структуру занятия в зависимости от физиологической и психологической реакции занимающихся в настоящее время является одним из актуальных направлений в теории организации физической подготовки военнослужащих. Делается вывод о том, что основные направления совершенствования организации физической подготовки руководителей практических занятий по физической подготовке в высшем военном учебном заведении должны дополняться новыми элементами к содержанию традиционно существующих частей организации с включением приоритетности взаимодействия.

Ключевые слова: физическая подготовка, военнослужащие, проектирование, руководитель занятия, высшее военное учебное заведение, тренировка

DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATION OF PHYSICAL TRAINING IN THE HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTION**¹Borisov A.V., ¹Ignashin E.A., ¹Bugaev A.V.**¹*Yaroslavl Higher Military School of Air Defense, Yaroslavl, e-mail: burikov2001@mail.ru;*²*VUNS Navy «Naval Academy», Kaliningrad*

The article discusses ways of improving the organizational-methodical bases and process of management physical training leaders training in higher military school. It is noted that direct training and interaction of teachers and performers is one of the most important elements of the organization of physical training in higher military school, and the level of requirements to heads, first officers, experts in the field of physical culture, conducting classes with the permanent composition of the high military educational institution shall be not less than the second level. However, in addition to the heads of training of these categories requires special knowledge and methodological skills in conducting practical training sessions with a Wellness focus. In the result of the study established that key areas of process organization and administration physical education teachers improved through the inclusion of new content in the existing mechanisms of organization of physical preparation. Leadership training physical training session, the prospective design of training programs to develop knowledge and skills to quickly make changes to the structure classes depending on the physiological and psychological reactions involved, currently, is one of the important directions in the theory of the organization of physical training of servicemen. It is concluded that the main directions of improving the organization of physical training of a practical training in physical training in higher military school must be complemented by new elements to the content traditionally available parts of the organization, enabling the prioritization of interaction.

Keywords: physical training, military, engineering, head of the class, the higher military educational institution training

Существующая в последнее время проблемная ситуация по обеспечению физической подготовленности офицеров-преподавателей высшего военного учебного заведения в большинстве своем зависит от вопросов организации управления, оказывающих влияние на системность и последовательность занятий физической подготовкой, методический уровень проведения

практических занятий, объективность контроля физической подготовленности, основанной на соответствующем состоянии физиологической и психологической подготовки военнослужащих. В литературе мы нашли немногочисленные исследования по данной теме, решающие в большинстве своем отдельные задачи направления содержания и путей оптимизации существующих

методик развития и совершенствования физической подготовки военнослужащих [1].

Анализ литературных источников, раскрывающих организационные процессы физической подготовки военнослужащих, позволил выделить наиболее распространенные формы и методы построения технологического процесса физической подготовки, базирующиеся на основе различных подходов для его организации, что позволило использовать некоторые из них для решения проблемы настоящего исследования.

Следовательно, существующие в настоящее время системные вопросы обоснования необходимости совершенствования организационных и управленческих основ мероприятий физической подготовки руководителей занятий по физической подготовке в высшем военном учебном заведении имеют достаточно важное значение.

Проблема проведенного исследования состоит в существующем противоречии между необходимостью модернизации процесса организации и управления физической подготовкой военнослужащих высшего военного учебного заведения и недостаточным объемом научных разработок в данной области и, как следствие – отсутствием современных методических материалов по подготовке руководителей и методическому обеспечению учебно-тренировочного процесса.

Гипотеза исследования заключается в предположении о том, что должный уровень в функционировании процесса организации физической подготовки постоянного состава в высшем военном учебном заведении возможен при условии тщательно разработанных системных организационных и управленческих основ.

Цель исследования – теоретико-экспериментальное обоснование необходимости совершенствования организации физической подготовки военнослужащих в высшем военном учебном заведении.

Научная новизна. Определены возможности совершенствования процесса физической подготовки офицеров по системным организационным и управленческим аспектам и осуществлена их апробация в реальных условиях образовательного процесса высшего военного учебного заведения.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования организации физической подготовки в высших военных учебных заведениях.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования анализировались нормативные документы и резуль-

таты исследований по организации физической подготовки в высших военных учебных заведениях, а также факторы, оказывающие влияние на организацию процесса физической подготовки военнослужащих.

Результаты исследования и их обсуждение

Каждый элемент организации физической подготовки военнослужащих в высшем военном учебном заведении может быть рассмотрен в двух аспектах:

– во-первых, как общий компонент, пронизывающий формы, методы и содержание физической подготовки;

– во-вторых, рассматривая каждую форму физической подготовки, раскрыть все элементы организации.

Необходимо отметить, что в первых учебниках по теоретическим основам физической подготовки военнослужащих элементы организации рассматривались как мероприятия, способствующие повышению эффективности процесса физической подготовки. Следовательно, относительно невысокий уровень физической подготовленности постоянного и переменного состава высших военных учебных заведений является следствием слабой организации курса физической подготовки, при этом тематическое планирование физической подготовки военнослужащих является одним из центральных элементов организации, что также отмечает в своих работах Ахмаев О.В. с соавторами [2, с. 41].

Эффективное тематическое планирование учебно-тренировочного задания по физической подготовке военнослужащих основано на мышечной памяти выполнении этого задания или отдельных его составляющих. Планирование, как элемент организации, направлено на обеспечение согласования всех составляющих системного процесса физической подготовки военнослужащих.

При тематическом планировании физической подготовки выделяются: план-конспект занятия, планирование какой-либо формы физической подготовки (план утренней физической зарядки, план учебно-тренировочного занятия, план спортивно-массовой работы), планирование физической подготовки в целом. Совокупность данных планов, как отмечает в своих работах Ахмаев О.В. с соавторами, составляет подсистему тематического планирования системы физической подготовки военнослужащих [3, с. 10]. Формальную структуру любого плана в общем виде характеризуют следующие элементы: содержание мероприятия (работы), сроки выполнения, ис-

полнители. «Внутреннее» их расположение может видоизменяться.

В частности, возможна такая последовательность мероприятий, когда очередная работа выполняется только после достижения предыдущей. Причем процесс планирования существенно усложняется при взаимодействии различных исполнителей в последовательной смене видов работ. Поэтому внутренне присущим «свойством» плана является согласованность как мероприятий, так и сроков выполнения. Вместе с тем излишнее увлечение согласованностью мероприятий в определенной степени не позволяет использовать в качестве критерия эффективности планирования уровень физической подготовки.

Вместе с этим при разработке тематического плана физической подготовки военнослужащих, по мнению Васина В.Н., обычно устанавливается количество учебных занятий, утренних физических зарядок, физкультурно-спортивных соревнований, отдельных мероприятий по подготовке руководителей, контролю за учебный год или период обучения [4, с. 57]. Однако все мероприятия по организации физической подготовки военнослужащих должны быть так или иначе нацелены на реализацию заданного уровня физической подготовленности. В свою очередь, при организации физической подготовки обобщенно ставится задача увеличения числа спортсменов-разрядников, количества военнослужащих, имеющих «отличную» и «хорошую» оценки по физической подготовке.

Поэтому вполне очевидной является ориентация планирования на обеспечение должного уровня физической подготовленности военнослужащих. Подготовка руководителей и исполнителей является одним из ключевых элементов организации физической подготовки. Отметим, что подготовка руководителей, ведущих занятия по физической подготовке с военнослужащими, характеризуется некоторыми особенностями.

В частности, достаточно продолжительное время обучаемыми являются офицеры, имеющие опыт занятия физической подготовкой. Методика проведения с ними занятий должна быть разнообразной и учитывать их физическое состояние, направленность тренировок должна носить оздоровительный характер.

Указанные особенности обуславливают и соответствующие требования к уровню методической подготовленности руководителей занятий. Подготовка руководителей и исполнителей, как отмечает Елькин Ю.Г., – это действия, связанные с их

подбором, расстановкой, обучением и воспитанием военнослужащих [5, с. 217].

По мнению Воронова Н.А. содержание подготовки руководителей практических занятий по физической подготовке в высшем военном учебном заведении включает в себя повышение уровня теоретических знаний, методических умений и навыков, реализуемое на плановых занятиях по организации физической подготовки, инструктажах, а также и в процессе самостоятельной подготовки по повышению уровня физической подготовленности военнослужащих [6, с. 21].

Вместе с тем, по мнению Бурикова А.В. с соавторами, требования к организационно-методической подготовленности руководителей следует классифицировать на ряд уровней [7, с. 8]. Так, первый уровень составляют требования, предъявляемые к специалистам физической подготовки.

К ним можно отнести:

- осуществлять систематический контроль над проведением учебных занятий по физической подготовке в подразделениях и знать уровень методической подготовленности командиров;

- предъявлять данные о включении в планы боевой (командирской) подготовки высшего военного учебного заведения мероприятий по повышению методического мастерства офицерского и сержантского состава;

- регулярно организовывать и проводить открытые показательные и инструкторско-методические занятия по физической подготовке с командирами взводов и рот;

- контролировать организацию и проведение в подразделениях инструкторско-методических занятий с сержантским составом;

- организовывать различные мероприятия по повышению методической подготовленности офицерского и сержантского состава (учебно-методические сборы, учебно-методические конференции и совещания, взаимное посещение занятий) и принимать активное участие в их организации и проведении;

- участвовать в агитационно-пропагандистской работе по физической культуре и спорту и популяризации технологий здорового образа жизни;

- постоянно повышать личный уровень педагогического мастерства, изыскивать наиболее эффективные методы и методические приемы обучения личного состава по физической подготовке и спорту.

Второй уровень составляют требования, предъявляемые к командирам взводов, рот, курсов, факультетов и курсантам 3-го

и старших курсов высшего военного учебного заведения.

Необходимо отметить, что уровень требований, предъявляемых к руководителям, проводящим занятия с постоянным составом высшего военного учебного заведения, на наш взгляд, должен соответствовать второму уровню. Вместе с тем дополнительно руководителям занятий указанных категорий необходимы специальные занятия и методические навыки в проведении занятий с оздоровительной направленностью.

Это обстоятельство предполагает некоторый опыт личных занятий оздоровительной физической тренировкой. Заметим, что содержание оздоровительной физической тренировки несколько ограничено и организационно требует достаточно продолжительных занятий конкретными видами двигательной активности.

Следовательно, руководитель занятий должен иметь опыт организации оздоровительной физической тренировки с офицерами постоянного состава высшего военного учебного заведения. При этом необходимо учитывать, что при подобных занятиях первостепенное значение имеет, условно названный нами, принцип личностного приоритета, как принцип ориентации на человека. Основными путями реализации данного принципа являются:

- расставление приоритетов в планируемых тренировочных программах в соответствии с потребностями, интересами и возможностями занимающихся;
- возможность мобильной перестройки в выполнении тренировочных заданий;
- возможность импровизации занимающихся и руководителя в процессе построения и выполнения тренировочной программы.

При проектировании занятий руководителю необходимо систематически ставить себя на место занимающегося и мысленно экспериментировать его состояние, возникающее под влиянием создаваемой для него системы оздоровительной физической тренировки. Такой подход позволяет руководителю занятий по физической подготовке на стадии проектирования вносить коррективы в планы-конспекты и учебно-тренировочные задания.

Следовательно, руководителя практического учебно-тренировочного занятия необходимо научить проектировать тренировочное занятие и тренировку в целом. Вместе с тем здесь большую роль играет возможность руководителя изменить содержание занятий в зависимости от возможного изменения ситуации и реакции занимающихся.

Одним из наиболее существенных элементов организации физической подготовки является контроль. Как отмечает Васин В.Н. с соавторами, значение контроля состоит в том, что он позволяет глубоко и всесторонне изучить фактическое состояние физической подготовки, обобщить передовой опыт обучения и воспитания, вскрыть имеющиеся недостатки и спланировать конкретные действия, направленные на повышение физической подготовленности [8, с. 43].

Традиционно в руководящих документах по физической подготовке выделяют: проверку качества организации и методики физической подготовки в подразделении и воинской части; проверку физической подготовленности военнослужащих и подразделений. Результаты контроля, как правило, находят свое отражение в документах учета физической подготовки. Необходимо отметить, что выделенный нами второй аспект проверки и оценки имеет достаточно продолжительную реализацию на практике и всесторонне обоснован, что также согласуется с результатами исследований других авторов [9, с. 147]. Однако следует заметить, что превалирование в системе проверки и оценки «наказания» за неудовлетворительные оценки ориентирует командиров и начальников акцентировать свое внимание на получении только удовлетворительной оценки подразделения.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что существенное отличие физической подготовки от других видов боевой подготовки связано с тем, что в процессе физической подготовки добиваются положительных изменений в физическом состоянии военнослужащих, совершенствуются качественные особенности двигательной деятельности, обусловленные структурными и функциональными изменениями в организме.

Проведенный анализ позволил определить базовые критерии, характеризующие необходимые условия для применений современных педагогических технологий в физической подготовке военнослужащих.

Этими критериями являются: высокий уровень функционального состояния организма военнослужащих; соответствие уровня выбранной физической нагрузки физиологическому состоянию и уровню физической подготовленности военнослужащих; высокая степень физкультурно-спортивной активности военнослужащих; необходимый уровень образованности военнослужащих в вопросах проведения самостоятельных тренировочных занятий, направленных на физическое самосовершенствование.

Выводы

Проведенный анализ существующего противоречия между потребностью модернизации процесса организации и управления физической подготовкой военнослужащих высшего военного учебного заведения и отсутствием современных методических материалов по подготовке руководителей и методическому обеспечению учебно-тренировочного процесса свидетельствует, что основные направления совершенствования организации физической подготовки руководителей практических занятий по физической подготовке в высшем военном учебном заведении должны дополняться новыми элементами к содержанию традиционно существующих частей организации с включением приоритетности взаимодействия. Дальнейшее совершенствование организационно-методического проектирования учебно-тренировочных занятий по физической подготовке следует рассматривать в направлении детальной обработки и анализа методик моделирования и конструирования различных частей процесса физической подготовки военнослужащих с учетом личностных потребностей и интересов самих занимающихся.

Список литературы

1. Борисов А.В., Буриков А.В., Елькин Ю.Г. Особенности организации занятий по физической подготовке с военнослужащими противовоздушной обороны и противоракетной обороны в режиме служебного времени // *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 12. С. 144–148.
2. Ахмаев О.В., Круглова Е.В. Организационные аспекты физической подготовки военнослужащих // *Colloquium-journal*. 2018. № 11–4 (22). С. 39–41.
3. Ахмаев О.В., Ершов С.А., Круглова Е.В. Общая характеристика организации и управления физической подготовкой военнослужащих // *Studia Humanitatis*. 2019. № 1. С. 10.
4. Васин В.Н. Формирование у курсантов вузов навыков мониторинга образовательного процесса по физической подготовке // *Colloquium-journal*. 2018. № 10–8 (21). С. 56–59.
5. Елькин Ю.Г. Методологическое обоснование средств и методов физического воспитания военнослужащих // *Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны*. 2019. № 12 (4). С. 156–160.
6. Воронов Н.А. Государственная политика в вопросах физического воспитания и реализации государственных стандартов. *Центральный научный вестник*. 2018. Т. 3. № 18 (59). С. 20–21.
7. Буриков А.В., Васин В.Н., Ершов С.А. Опытная модель организации физической подготовки офицеров-преподавателей высшего военного учебного заведения // *Studia Humanitatis*. 2018. № 4. С. 8.
8. Васин В.Н., Круглова Е.В. Психологическая подготовка военнослужащих к условиям военно-профессиональной деятельности // *Colloquium-journal*. 2018. № 6–4 (17). С. 41–43.
9. Борисов А.В., Буриков А.В., Ершов С.А. Результаты эксперимента по совершенствованию физической подготовки военнослужащих Воздушно-космических сил / *Современные проблемы науки и образования*. 2019. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=29481> (дата обращения: 25.02.2020).

УДК 378.147.88

РОЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ПРЕДМЕТУ «МУЗЫКАЛЬНАЯ ТЕРАПИЯ В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ»

Волкова П.С., Скрипник Е.О.

*ФГОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,
Институт музыки, театра и хореографии РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург,
e-mail: galkax@mail.ru, galkax@mail.ru*

Статья посвящена роли педагогической практики при обучении студентов предмету «Музыкальная терапия в педагогическом процессе». Речь идет о необходимости ее введения как сопровождение образовательной деятельности по обозначенной учебной дисциплине. Отталкиваясь от теоретических и практических наработок в области арт-терапии, в первую очередь музыкальной терапии, авторы предлагают проект педагогической практики. Рассматривается многоаспектность решаемых задач в процессе ее внедрения. Подчеркивается, что в результате включения практики произойдет более глубокое усвоение материала по предмету, развитие творческого потенциала студентов, привлечение их к активной социально-общественной деятельности и благотворительности. Организация практики явится стимулом к созданию научного сообщества, волонтерского движения. Ставится вопрос об актуальности внедрения полученных знаний по предмету в дальнейшую педагогическую деятельность студентов. Педагогическая практика рассматривается как условие формирования эмоциональной вовлеченности в предмет, что, по нашему мнению, должно привести к активному использованию студентами здоровьесберегающих технологий в их будущей работе. Принимая во внимание имеющийся в стране и за ее пределами опыт проведения подобных мероприятий, авторы рекомендуют знакомить учащуюся молодежь с видеобзором прошедшего на удмуртской земле проекта «Васнецовские символы вечности», актуализирующего такие формы, как арт-терапия, театр-антреприза, создание арт-объектов и арт-зон.

Ключевые слова: арт-терапия, музыкальная терапия, учебная дисциплина, проект педагогической практики, волонтерское движение

THE ROLE OF TEACHING PRACTICE IN THE EDUCATION OF STUDENTS SUBJECT «MUSIC THERAPY IN PEDAGOGICAL PROCESS»

Volkova P.S., Skripnik E.O.

*The Herzen State Pedagogical University of Russian, Institute of music, theater and choreography,
St. Petersburg, e-mail: galkax@mail.ru, galkax@mail.ru*

The article is devoted to the role of pedagogical practice in teaching students the subject «Music therapy in the pedagogical process.» It was necessary to introduce it as a combination of educational activities in the designated subject matter. Based on the technical and practical experience in the field of artotherapy, first of all, music therapy, the authors propose a project of pedagogical practice. The complexity of the tasks to be solved in the process of its implementation is considered. It is stressed that as a result of the inclusion of practice there will be a deeper learning of material on the subject, development of creative potential of students, involvement of them in active social and social activities and charity. The organization of the practice will be an incentive to create a scientific community, a volunteer movement. Raises the question of the relevance of introducing the acquired knowledge on the subject into the further pedagogical activities of students. Pedagogical practice is seen as a condition of forming emotional involvement in the subject, which, in our opinion, should lead to active use of healthy technologies by students in their future work. Taking into account the experience of such events in the country and abroad, the authors recommend to introduce the student youth to the video review of the pro-project «Vasnetov Symbols of Eternity,» which took place on the Udmurt land, updating such forms as art therapy, theater-antireprize, creation of art objects and art zones.

Keywords: art therapy, music therapy, training discipline, project of pedagogical practice, volunteer movement

В настоящее время дисциплина «Музыкальная терапия в педагогическом процессе» (или «Музыкальная терапия») все активнее вводится в учебные планы на факультетах музыки педагогических университетов Российской Федерации и других государств. Об этом, в частности, свидетельствует педагогический опыт учебных заведений КНР – страны с древнейшей историей врачевания при помощи звуков и музыки [1–3]. «Начинай образование с поэзии, укрепляй его церемониями и за-

вершай музыкой» [4, с. 137], – советовал Конфуций. Не случайно в трудах философа музыка позиционируется в качестве закона, определяющего государственное устройство Поднебесной. Универсальный характер музыки опознается и в установке, согласно которой философия, математика и музыка сущностно являют собой некое единое целое (А.Ф. Лосев). Сегодня «в Китае существует 17 вузов, ведущих подготовку специалистов по данной области. Среди самых первых, открывших у себя эту

специальность, – Центральная, Китайская, Сычуаньская консерватории, Цзянсийский университет китайской медицины, Шэньянская, Шанхайская, Чунцинская консерватории <...> По данным на июль 2017 г., в Китае имеют профессиональное музыкально-терапевтическое образование 1700 человек, около 30 магистров прошли обучение за рубежом и вернулись на родину, есть доктор наук» [5, с. 179]. В разработках китайских коллег возможности музыкальной терапии изучаются в разных аспектах.

Цель настоящей статьи заключается в обращении к мало разработанному методико-педагогическому аспекту, в выявлении в нем роли практических занятий. Материалом статьи послужили теоретические источники по музыкальной терапии отечественных и зарубежных авторов и опыт по преподаванию дисциплины в Институте музыки, театра и хореографии Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена (РГПУ) у магистрантов 1 курса. Основные методы исследования: рефлексия научных первоисточников, беседы с коллегами и студентами и осмысление этих бесед, обобщение результатов личных наблюдений по преподаванию дисциплины в РГПУ им. А.И. Герцена.

Значимость музыки в жизнедеятельности человека не подвергается сомнению. Не секрет, что современные учащиеся в процессе получения образования подвергаются большим нагрузкам и, как следствие, переутомлению, так как «...сам процесс получения и усвоения знаний является напряженным и сложным. Он связан с активизацией всех функций организма, отвечающих за усвоение любой информации: от искусства танца, спорта, рисования до сложных математических формул и физических законов. Вся эта усваиваемая информация требует от человека значительных физических и психоэмоциональных затрат. Сделать организм обучающегося более стойким к такого рода нагрузкам также призваны инновационные здоровьесберегающие технологии» [6, с. 173–174].

Прежде чем перейти к раскрытию заявленной проблемы, следует обратиться к структуре музыкальной терапии как дисциплины. По мнению Г.П. Овсянкиной, разработавшей ее классификацию, она включает восемь самостоятельных аспектов:

- историко-теоретический,
- профилактический,
- психоразвивающий,
- психокоррекционный,
- лечебный,
- нравственно-познавательный,

– экологический,

– методико-педагогический [7].

Причем автор справедливо рассматривает предложенную классификацию как открытую систему, которая «может быть расширена. Более того, по мере развития научного знания, выявления новых направлений, возможна дифференциация и внутри аспектов» [7, с. 38]. В рамках заявленной проблемы нас интересует прежде всего методико-педагогический аспект. «Суть его заключается в развитии методики преподавания предмета «музыкальная терапия» в различных ракурсах: в обучении студентов использованию полученных знаний в педагогической практике. Важен выбор проблематики, верное соотношение теоретического материала и практических навыков. Методико-педагогический аспект должен делиться минимум на два раздела: 1) организацию занятий со здоровыми детьми; 2) организацию занятий с больными» [7, с. 38].

В характеристике методико-педагогического аспекта автор справедливо исходит из выстроенной им классификации дисциплины. То есть в первом случае «музыкальная терапия в педагогическом процессе носит развивающий, профилактический или коррекционный характер. Методика применения психоразвивающих и психокоррекционных возможностей музыки в педагогической практике основывается на изучении психического состояния ученика и его художественных потребностей. Во втором случае методика ориентирована на умение включать приемы музыкальной терапии в занятия с больными детьми, для которых уроки музыки являются важным лечебным процессом» [7, с. 38]. Здесь в первую очередь необходимо изучать мировой научный опыт. В частности, в обращении к музыкотерапии для исцеления больных аутизмом (Дж. Альвин, Э. Уорик, ЧжанХайтао и др.), слабослышащих (Т. Румер, Э. Леонард, И. Белик и др.), «особенных» детей (П. Нордофф и К. Роббинс), а также к музыкотерапевтическим методикам лечения речевых расстройств и других болезней.

Как показала наша практика, в обучении студентов предмету существует два главных направления. Первый предполагает использование *музыкальных здоровьесберегающих технологий* непосредственно в процессе обучения. Причем в это направление заделана не только студенческая молодежь, но и все обучающиеся начальных и средних учебных заведений. Нами уже неоднократно было заявлено, что «инновационные здоровьесберегающие технологии необходимо внедрять непосредственно в сам

учебный процесс. Причем это касается учащихся всех возрастов <...> Такие программы смогут выполнить задачу психофизиологической реабилитации в процессе освоения учениками/студентами учебного плана» [6, с. 173]. И от того, что получают молодые люди в результате изучения дисциплины, будет полноценно реализовываться это направление в их будущей работе.

Поэтому второе направление связано непосредственно с преподаванием предмета «Музыкальная терапия в педагогическом процессе» в вузе. В настоящее время в этой области существует немало проблем. Сегодня накоплен большой теоретический материал, который интересен и нужен студентам. Он рассматривается в лекциях, на семинарских занятиях, часто дается в качестве самостоятельной работы. К тому же на семинарах происходит апробация различных музыкально-терапевтических техник, изучаются профильные сайты и т.д. Но тем не менее, по нашим сведениям, ни в одном вузе страны *полученные знания не закрепляются на практике*. В результате не формируется столь важная при получении любых знаний *эмоциональная вовлеченность в предмет*. И, как результат, после сдачи зачета по дисциплине интерес к ней быстро теряется, забывается материал. Впоследствии молодой специалист мало применяет полученные знания в своей педагогической деятельности.

Чтобы привлечь студента к внедрению в образовательный процесс музыкальных здоровьесберегающих технологий, нужно создать для него *условия вовлеченности*. Здесь мы хотим предложить проект педагогической практики для студентов, изучающих «Музыкальную терапию в педагогическом процессе»: ввести ее как сопровождение образовательной деятельности по предмету.

В основу проекта положены теоретические и практические материалы данного курса.

Цель проекта заключается, во-первых, в закреплении теоретического материала по предмету «Музыкальная терапия в педагогическом процессе», во-вторых, в приобщении студентов к общественной деятельности в форме благотворительности, так как современная молодежь зачастую проявляет активную социальную позицию. Также в рамках указанного проекта можно создать студенческое научное сообщество или волонтерское движение.

Приведем примерный план осуществления проекта.

Организационная часть. В зависимости от целей и задач выбираются учреждения,

в которых будут проходить занятия: это могут быть детские сады, школы, вузы, районные комплексные центры социального обслуживания населения. Предлагается вписать занятия в их календарь мероприятий.

Определяется контингент слушателей. Если занятия проходят в центрах комплексного социального обслуживания населения, это может быть группа или несколько групп пожилых людей, если детский сад или школа, – выделенная группа или класс, если занятия проходят в вузе, – группа студентов.

По договоренности с учреждениями составляется расписание занятий. Например, довольно оптимальными представляются встречи один раз в неделю в течение трех месяцев. Для студентов предлагается составить следующий график занятий: дважды в течение учебного года по три месяца: сентябрь – ноябрь или февраль – апрель соответственно.

Следует распределить студентов по группам и утвердить расписание.

Безусловно, студенты должны предварительно ознакомиться с возрастными и физиологическими особенностями своей группы. Ребятам рекомендуется проведение коррекционно-оздоровительных занятий со здоровой аудиторией слушателей, поскольку сеансы с «особенными» детьми или взрослыми требуют своей специфики в каждом конкретном случае и особой подготовки. Необходим определенный опыт работы и знания терапевтических практик и методик для каждого конкретного заболевания пациента. Поэтому мы не советуем студентам самостоятельно работать с больными людьми. Но очень полезно в таких случаях привлекать молодежь в качестве ассистентов у опытных специалистов.

Далее в зависимости от целей и задач выбирается тематический план групповых или индивидуальных коррекционно-оздоровительных занятий. Он должен создаваться с ориентацией на определенный контингент занимающихся и включать различные формы проведения музыкальной терапии: пассивную, активную и интегративную. План составляется заранее: требуется распределить роли между всеми студентами, участвующими в проведении занятия. Также можно поддержать творческий поиск студентов и воплотить самостоятельно разработанный ими тематический план после его соответствующего обсуждения и утверждения. И здесь, безусловно, надо обратиться к богатейшему опыту отечественной науки и музыкально-терапевтической практики в лице Л.С. Брусиловского, С.В. Шущарджана, В.И. Петрушина, В.М. Элькина, А.Г. Юсфина и других авторов.

Реализация проекта должна зависеть от возраста слушателей, возможности аудитории, в которой будут проводиться занятия, и ее технического оснащения. Например, для детей дошкольного и школьного возраста занятия могут проводиться в форме факультатива по психофизиологической разгрузке. Проект может быть средством релаксации детей, музыкально-педагогической коррекции поведения, а также способствовать их личностному развитию и творческому самовыражению. В тематический план проведения музыкальной терапии для детей рекомендуется включать музыкально-двигательные игры и упражнения, игру на детских музыкальных инструментах, музыкорисование, двигательную драматизацию под музыку, пантомиму, ритмическую декламацию, музыкальные рассказы.

Для более взрослой аудитории, если позволяют условия, помимо основных, можно подобрать интересные методики, связанные с терапией определенными музыкальными инструментами, звуками.

Осуществление проекта рассчитано, как уже отмечалось, в среднем на три месяца: по одному занятию в неделю. Количество занятий и продолжительность курса могут быть изменены.

Специально подчеркнем, что весьма важным для успешного становления обозначенного проекта по педагогической практике видится знакомство с имеющимся на сегодняшний день опытом по реализации подобных мероприятий. С этой точки зрения показательными являются видеообзоры, любезно предоставленные Е.Н. Щербаковой, чей род связан с известными русскими художниками Виктором Михайловичем и Аполлинарием Михайловичем Васнецовыми. При непосредственном участии Е.Н. Щербаковой в с. Чумой Игринского района (Удмуртия) – месте служения ее прадеда Николая Федоровича Васнецова в качестве псаломщика чумойской церкви, а позднее – и учителя организованной им в с. Чумой церковно-приходской школы – был разработан проект «Васнецовские символы вечности», получивший грант международного конкурса «Православная инициатива – 2017–2018» по благословению Святейшего Патриарха Московского и всея Руси Кирилла. В рамках проекта проводилась реабилитация детей и взрослых с ограниченными возможностями здоровья средствами культуры и искусства в опоре на инновационные формы, в числе которых арт-терапия, театр-антреприза, создание арт-объектов и арт-зон. Как свидетельствуют организаторы проекта, опираясь на взаимодействие изобразительного искусства,

музыки и слова, профессиональные художники, музыканты и театральные деятели, учителя и преподаватели осуществляли работу с такими категориями жителей, как:

- учащиеся школы-интерната;
- дети, находящиеся на домашнем обучении;
- взрослое население с ОВЗ, представляющее общество инвалидов и общество слепых;
- пациенты психоневрологического интерната (п. Факел);
- люди с ОВЗ, проживающие в спецдоме для пожилых (п. Малягурт).

Вне всяких сомнений, знакомство с конкретными примерами, а также результатами подобных мероприятий не может не мотивировать студенческую молодежь на участие в педагогической практике как сопровождение образовательной деятельности по предмету «Музыкальная терапия в педагогическом процессе».

Заключение

В заключение подчеркнем, что педагогическая практика студентов по предмету «Музыкальная терапия в педагогическом процессе» насущно необходима. Это неоценимый опыт практической деятельности по дисциплине.

В процессе такой практики происходит закрепление теоретического материала. Полученные знания, перейдя в область подзнания, соединяясь с определенными двигательными-речевыми практиками, становятся неотъемлемой составляющей профессионализма выпускника музыкально-педагогического вуза.

Участие в таких проектах играет исключительно важную нравственно-воспитательную роль. Ребята проходят школу приобщения к благотворительности, общественной деятельности.

Проект является стимулом к творческому поиску учащихся, что приводит к самостоятельной разработке ими планов проведения занятий по коррекционно-оздоровительным методикам, а также служит импульсом к научным изысканиям и составлению своих авторских программ. Проект также может послужить основой создания научного студенческого сообщества по данному направлению, организации волонтерского движения.

В течение прохождения педагогической практики по предмету «Музыкальная терапия в педагогическом процессе» у студентов формируется эмоциональная вовлеченность в сам процесс музыкальной терапии, вследствие чего вероятность внедрения изученных ими музыкальных здоровьесбе-

регающих технологий в их дальнейшей педагогической деятельности, как ожидается, существенно возрастет.

Очень важен и тот факт, что такая практика будет способствовать всестороннему раскрепощению самих студентов.

Занятия будут способствовать более глубокому пониманию студентами музыки, усиливать любовь к ней. А это сегодня – одна из первоочередных задач музыкального образования всех уровней. Нельзя не согласиться с актуальным выводом: «Музыкальная педагогика, а следовательно, и научные исследования в этой области должны быть нацелены на воспитание любви к музыке, что неизменно ведет к сильному переживанию, стимулирующему ее понимание. А стремление к поиску смысловой глубины неизбежно приведет молодежь к смене эстетического вектора в сторону академического искусства и музыкального фольклора» [8].

Поддержка и охрана здоровья обучающихся различных возрастов в процессе освоения ими образовательных программ являются насущно необходимыми. Не последнюю, здоровьесберегающую роль в этом должны играть внедренные техники музыкальной терапии. При этом от компетентности студента в этой области (будущего педагога) напрямую зависит эффективность снятия психофизических перегрузок у обучающихся. Именно поэтому роль пе-

дагогической практики у студентов по предмету «Музыкальная терапия в педагогическом процессе» нельзя недооценивать.

Список литературы

1. Смит Р.Д., Патей Х.М. Лечение музыкой / Перевод с англ. ЧэньСяоли. Чунци: Изд-во Чунцинского университета, 2016. 213 с.
2. Чэнь Пин, Ма Сяолян. Лечение музыкой в древнекитайской мысли. Краткий анализ // Ганьсу. Китайская медицина. 2011. № 24. С. 75–76.
3. Чжан Чжэньжу. Музыкальная терапия. Пекин: Изд-во «Машиностроительная промышленность», 2015. 269 с.
4. Мудрость Конфуция: афоризмы и поучения / под ред. В.П. Бутромеева, В.В. Бутромеева. М.: ОЛМА Медиа Групп, 2010. 304 с.
5. Сюй Сунцз. Формирование музыкальной терапии как научной отрасли в КНР // Музыкальная культура глазами молодых ученых: Сборник научных трудов ред.-сост Н.И. Верба, научн. ред. Р.Г. Шитикова. СПб.: Астерион, 2019. Вып. 14. С. 175–181.
6. Скрипник Е.О. К проблеме инновационных здоровьесберегающих технологий в музыкальном образовательном процессе // Музыкальная культура глазами молодых ученых: сборник научных трудов ред.-сост Н.И. Верба, научн. ред. Р.Г. Шитикова. СПб.: Астерион, 2018. № 13. С. 172–182.
7. Овсянкина Г.П. Структура музыкальной терапии // Музыкальная терапия в музыкальном образовании. Материалы Первой Всероссийской научно-практической конференции 5 мая 2008 г. Санкт-Петербург / ред. проф. А.С. Клюева. СПб.: Астерион, 2008. С. 33–39.
8. Овсянкина Г.П. Современные методы исследования в области педагогики музыкального образования // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=28478> (дата обращения: 18.02.2020).

УДК 37.02

УЧЕБНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТ – СИНЕРГИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ШКОЛЫ

¹Воскрекасенко О.А., ²Кривенкова Н.Г.¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: voskr99@rambler.ru;²МБОУ «Лингвистическая гимназия № 6», Пенза, e-mail: natkrivenkova@yandex.ru

Проектная и исследовательская технологии в настоящее время широко используются в образовании, являясь объектом многочисленных педагогических исследований. На сегодняшний день по вопросу их соотношения и взаимодействия среди исследователей и педагогов-практиков нет единого мнения: от полного противопоставления до попыток объединить их единым педагогическим подходом. Авторы статьи придерживаются второй точки зрения, приводя систему доказательств на основе синергетического подхода. Центральными методами исследования в работе выступили: сравнительно-сопоставительный анализ научно-методической литературы; анализ и обобщение педагогического опыта, в том числе собственного, реализации проектно-исследовательских технологий в образовательном процессе; методы экстраполяции и аналогии. В процессе исследования выявлено, что педагогическая система проектно-исследовательской деятельности обладает синергетическими свойствами, что позволяет перевести её в плоскость синергетического моделирования, найти новые подходы к организации самообразования и саморазвития как ученика, так и педагога. Таким образом, проектная и исследовательская деятельность с точки зрения синергетического подхода не противопоставляются друг другу, напротив, рассматриваются как единая система, усиливающая эффекты каждой из составных её частей. В связи с этим результаты статьи могут быть положены в основу разработки образовательных программ формирования опыта проектно-исследовательской деятельности учащихся.

Ключевые слова: проектно-исследовательская деятельность, учебный проект, учебно-исследовательская деятельность, синергетический подход, образовательный процесс школы

EDUCATIONAL RESEARCH AND PROJECT – SYNERGY OF PEDAGOGICAL INTERACTION IN THE SCHOOL EDUCATIONAL PROCESS

¹Voskrekasenko O.A., ²Krivenkova N.G.¹Penza State University, Penza, e-mail: voskr99@rambler.ru;²Municipal Budgetary General Education Institution Linguistic School 6, Penza,
e-mail: natkrivenkova@yandex.ru

Design and research technologies are currently widely used in education and are the subject of numerous pedagogical research. However, there is no consensus among researchers and educational practitioners on the issue of their relationship and interaction – from complete opposition to attempts to unite them with a single pedagogical approach. The authors of the article adhere to the second point of view, citing a system of evidence based on a synergistic approach. The central research methods in the work were: a comparative analysis of scientific and methodological literature; analysis and generalization of pedagogical experience, including their own, the implementation of design and research technologies in the educational process; extrapolation methods and analogies. In the process of research, it was revealed that the pedagogical system of design and research activity has synergetic properties, which allows it to be transferred to the sphere of synergetic modelling, to find new approaches to the organization of self-education and self-development of both the student and the teacher. Thus, design and research activities from the point of view of the synergetic approach are not opposed to each other, on the contrary, they are considered as a single system that enhances the effects of each of its constituent parts. In this regard, the results of the article can be the basis for the development of educational programmes for the formation of experience in design and research activities of students.

Keywords: design and research activity, educational project, educational research activity, synergetic approach, educational process of the school

Учебные исследования и проекты стали неотъемлемой частью образовательного процесса современной школы. Они применяются на уроках и во внеурочной деятельности, находя отражение в общественной жизни и индивидуальных учебных траекториях обучающихся. Их результаты представляются на многочисленных конкурсах и конференциях. Причём зачастую проектная и исследовательская деятельность чётко разграничиваются как в педагогических исследованиях, так и на практике, в образовательном процессе.

Вклад в развитие представлений об исследовательской деятельности учащихся внесли многие учёные (С.П. Аржанов, А.В. Леонтович, Л.В. Монахов, А.С. Обухов, А.И. Савенков, М.Н. Скаткин и др.) [1, с. 28]. В свою очередь, теоретические основы проектной деятельности нашли своё отражение в работах С.В. Абрамовой, Н.Н. Гориной, Л.А. Дорошиной, О.А. Зайцевой, И.И. Ильасова, Л.В. Кабановой, Е.А. Линевой, В.М. Монахова, М.В. Петровой, О.В. Степанова, И.Д. Чечель и других. Основное свойство, объединяющее позиции

этих ученых, – это понимание комплексного характера проектной деятельности, базирующейся на идее конструирования, познания, исследования и многостороннего оценивания результатов завершенного проекта. Многие исследователи разделяют позицию, сформулированную А.И. Савенковым, о том, что «проектирование и исследование – изначально принципиально разные по направленности, смыслу и содержанию виды деятельности» [2, с. 27]. В свою очередь, в диссертации О.А. Валеевой, посвященной учебно-исследовательской деятельности, сформулировано следующее её определение: «это самостоятельная поисковая форма учебной работы, основанная на взаимодействии субъектов образовательного процесса, предполагающая активное освоение и использование обучающимися теоретических и эмпирических методов научного познания» [3, с. 31]. В приведённом определении отчётливо прослеживаются и признаки проектной учебной технологии. К ним А.А. Есенжанова, обобщая мнения многих исследователей, относит: самостоятельный, поисковый характер; активное взаимодействие субъектов; освоение исследовательских, поисковых, проблемных методов познания, к которым обращаются субъекты в учебном процессе в ходе решения задач творческого характера, предполагающих использование исследовательской методики и интеграции знаний из различных областей научного знания [4].

В качестве тенденции последних лет следует отметить появление работ, посвящённых комплексной организации проектно-исследовательской деятельности. Так, например, И.Г. Булан не отрицает, что исследование и проектирование представляют собой виды мыследеятельности, различающиеся по таким показателям, как отношение к категории времени, отличие по конечному продукту деятельности, а также результативности и направленности [5, с. 26]. Он приходит к выводу о том, что желание педагогов объединить эти виды деятельности оправдано и рационально для увеличения успешности образовательного процесса и формирования комплекса проектных и исследовательских умений и навыков [5, с. 31].

Особое внимание учебно-исследовательской и проектной деятельности уделяется в нормативных документах. Так, одним из основных условий формирования у обучающихся в образовательном процессе школы универсальных учебных действий ФГОСы называют формирование опыта учебно-исследовательской и проектной де-

ятельности, предъявляя требования к их организации и результатам. Причём как проектная, так и учебно-исследовательская деятельность упоминаются в связи с этим в смысловой неразрывной связи.

Общепринятой точки зрения по вопросу взаимодействия проектной и исследовательской деятельности нет, что, по нашему мнению, обедняет учебный процесс методически и содержательно, снижает его образовательный потенциал. Разделение рассматриваемых видов деятельности не просто вопрос терминологии, а стоящая за ним глубокая проблема противопоставления и, следовательно, искусственного разобщения педагогических эффектов. Разрешению данной проблемы может помочь синергетический подход. «Синергетика – наука, которая изучает процессы перехода сложных систем из случайного состояния в упорядоченное и показывает связь между элементами этой системы, где совместное их действие имеет более чем простое дополнение эффектов действия каждого элемента отдельно» [6, с. 241]. Если противоположности находятся в состоянии противоборства, то все их силы и энергия уходят на эту борьбу. В свою очередь, ситуация взаимодополнения и взаимодействия порождает энергию сотрудничества, со-творчества и синергии.

Цель исследования: на основе синергетического подхода доказать эффективность проектно-исследовательской деятельности обучающихся в образовательном процессе школы при условии комплексного применения учебного исследования и проекта.

Материалы и методы исследования

В работе использовались следующие методы исследования: сравнительно-сопоставительный анализ нормативной, научной, научно-методической литературы по проблеме применения синергетического подхода в образовании; экстраполяция и аналогия. В исследовании авторами проведено обобщение собственного методического опыта организации проектно-исследовательской деятельности в условиях детской общественной организации лингвистической гимназии (МБОУ «Лингвистическая гимназия № 6» г. Пензы).

Результаты исследования и их обсуждение

Синергетический подход позволяет рассматривать проектно-исследовательскую деятельность как процесс самоорганизации сложной структуры. В.М. Курейчик и В.И. Писаренко, рассматривая педагогическую систему, применяют к её описанию

такие основные принципы синергетики, как принципы Бытия, определяющие фазу «порядка» и характеризующие этап стабильного функционирования системы; а также принципы Становления, которые представляют «фазу трансформации, обновления системы, прохождение её последовательно всех стадий путём гибели старого порядка, хаоса испытаний альтернатив и рождение нового порядка» [7, с. 18]. Данные принципы можно экстраполировать и на проектно-исследовательскую деятельность, так как её можно рассматривать как самостоятельную систему, включающую в себя все компоненты педагогической системы во взаимосвязи: иерархию целей, педагога, обучаемого, информационно-технологическое обеспечение [7, с. 17]. Остановимся подробнее на характеристике конкретных принципов.

Принцип гомеостатичности в синергетике позволяет поддерживать функционирование системы в неких рамках, помогающих ей следовать к своей цели. В проектно-исследовательской деятельности такими постоянными параметрами являются законы развития личности и общества, а также необходимость учёта половозрастных особенностей школьников.

Принцип нелинейности с позиции синергетики в педагогических системах выражается в признании множества путей развития. Сущность рассматриваемой нами системы «учебное исследование – проект» базируется на свободе выбора обучающегося и педагога в определении сферы и проблемы творческой работы, путей и средств достижения цели. Процесс накопления опыта проектно-исследовательской деятельности так же нелинеен и подвижен, как и сама мыслительная деятельность его участников.

Неустойчивость – принцип, долгое время считавшийся дефектом системы. Однако в точке неустойчивости – бифуркации – система становится открытой для воздействия извне, что является триггером её дальнейшего развития. Проектно-исследовательская деятельность постоянно увеличивает информационное поле вокруг себя, выводя систему из равновесия, заставляя осмысливать новые факты, менять траектории дальнейшего движения, подниматься на следующий уровень. Невозможно представить педагогическую систему изолированно от окружающей среды. Она не просто черпает информацию и другие ресурсы извне, но и активно взаимодействует со средой, происходит взаимовлияние. Это определяет необходимость принципа открытости (незамкнутости). Проиллюстрируем его на примере исследуемой системы. Во-первых, она основана на постоянном взаи-

модействии и обмене информацией между педагогом и обучающимся, а вместе они собирают и транслируют информацию в окружающую среду. Педагог использует самые разнообразные педагогические подходы, методики и технологии, откликаясь на неупорядоченную и хаотизированную систему, обладающую бесконечным числом степеней свободы – обучающегося. Он, поглощая информацию и энергию извне (в данном случае, например, от педагога), уменьшает количество степеней свободы, что выражается в развитии саморегуляции, самоорганизации, а педагог «мягко» управляет процессом обучения. То же самое можем сказать и о педагоге и его самоорганизации: деятельность преобразует поведение и личность, корректирует траекторию реализации исследования и проекта.

В свою очередь, динамическая иерархичность как один из основополагающих синергетических принципов, представляет собой прохождение системой точек бифуркации от этапа рождения до гибели и становления нового её качества. В проектно-исследовательской деятельности происходит постоянное и закономерное чередование проектной и исследовательской компоненты. Обдумывая продукт проекта, необходимо обращаться к результатам исследования его востребованности, качественных характеристик и других показателей. Исследование всегда предполагает первоначальный замысел и способы его достижения, открытие нового знания – продукт исследовательской деятельности.

Принцип наблюдаемости с позиции синергетики представляет собой понимание ограниченности и относительности наших представлений о системе (в том числе педагогической). Данный принцип обосновывает неповторимость педагогических процессов, в отличие от природных явлений. В случае повторения эксперимента педагог-исследователь имеет дело с другими объектами, другими условиями протекания процессов и взаимодействия субъектов педагогического процесса. Это определяет тот факт, что педагогические системы, в том числе и проектно-исследовательская деятельность, имеют свойства неравновесности, нелинейности и открытости.

Помимо вышеназванных, существуют и иные синергетические явления в системе проектно-исследовательской деятельности, позволяющие смоделировать её на практике в эффективном виде. Так, самоорганизацию можно рассматривать как взаимодействие между педагогом и обучающимся, что проистекает из объективных предпосылок самодвижения педагогической систе-

мы (в нашем случае проектно-исследовательской деятельности) и позволяет понять механизмы её развития. В свою очередь, хаос в педагогической системе проникает во все её структурные компоненты. Он связан с колоссальным информационным полем, в котором обучающемуся необходимо научиться ориентироваться. Для педагога хаос – это многочисленные методики, методы, подходы, приёмы, из разнообразия которых необходимо выбрать адекватные конкретной ситуации и не противоречащие образовательным стандартам; спонтанные устремления и интересы обучающегося и т.д. Случайность как синергетическая категория объясняет важность импровизации, интуиции, а также возможность поменять сценарий вследствие случайного «малого» события.

Важной для понимания синергетического эффекта взаимодействия проектной и исследовательской деятельности является категория бифуркации. Именно здесь, в зоне бифуркации, происходит выбор новой структуры из множества альтернатив. В синергии эту ситуацию называют «выходом на аттрактор» – новое относительно устойчивое состояние системы, окружённое бесконечным множеством хаотических траекторий. В проектно-исследовательской деятельности бифуркация (полифуркация) представляет собой веер возможностей в выборе информационно-технологического обеспечения – вариативность содержания и технологий. Момент бифуркации наступает тогда, когда педагог в результате неизбежно возникающих в процессе своей профессиональной деятельности проблем, начинает испытывать чувство неудовлетворённости и приходит к пониманию необходимости дальнейшего саморазвития и самосовершенствования. Аналогичная ситуация возникает и у обучающегося. Восприимчивость системы возрастает до такого уровня, что случайное, на первый взгляд, незаметное воздействие может привести к бурной необратимой реакции. На языке синергетики – «катастрофе». Таким пусковым фактором может стать всё, что угодно. В результате этого разобщённые представления сводятся в новую упорядоченную систему, достигая аттрактора. Проектанты-исследователи находят нужные объяснения собранным фактам, складывают их в стройную систему, оформляют в готовый продукт. Педагогическим аттрактором становится и совокупность компетенций, сформированных у обучающегося. Они, в свою очередь, станут отправной точкой дальнейшего развития.

Проанализировав наличие синергетических явлений в системе «учебное исследо-

вание – проект», предложим модель процесса её изменения и развития. Оттолкнёмся от модели педагогического процесса, предложенной В.М. Курейчиком и В.И. Писаренко [7, с. 17].

Стадия закрытости. На этой стадии система характеризуется относительной закрытостью. Педагог и обучающегося характеризует наличие упорядоченной системы знаний в сочетании с уверенностью в истинности своих взглядов. Однако эта система в некий момент времени попадает под действие «аттрактора-1». В качестве аттрактора может выступать потребность в формировании проектно-исследовательской компетенции, запрос обучающегося или проблемная ситуация в окружающей действительности. Аттрактор становится целью системы и запускает сложный процесс её достижения. Рассмотрим в качестве примера экологический проект «Пластик – призрачное благо цивилизации», реализованный участниками детской общественной организации лингвистической гимназии № 6 г. Пензы. Аттрактором в этом проекте стал внешний по отношению к системе фактор – конкурс экологических проектов на немецком языке «Школа за экологию: думать, исследовать, действовать», объявленный Гёте-институтом (Германия). Члены гимназического клуба «Экоград» задумались, какая острая экологическая проблема может быть под силу гимназическому сообществу. Такой проблемой стало потребление и утилизация изделий из пластика.

Стадия открытости. Процесс трансформации начинается с перехода всех структурных элементов системы в «открытое» состояние. Участники проекта начинают сбор информации по данной проблеме, ставятся цели, рождаются различные точки зрения на подходы к решению поставленных экологических задач.

Состояние неравновесности. Система переходит в состояние нарастающего дисбаланса между огромным информационным полем и малым объемом собственных мыслей и решений, что может отразиться на эмоциональном компоненте участников.

Стадия нелинейности – многовариантность путей эволюции, выбор из альтернативных вариантов. Элементы педагогической системы приобретают возможность для разнонаправленных изменений. В её цели вносятся коррективы в соответствии с новыми обстоятельствами. Информационно-технологическая составляющая системы обогащается новыми приёмами и способами реализации. Сами субъекты взаимодействия изменяются в профессиональном (педагог) и интеллектуальном (обучающийся)

плане. Логическим продолжением стадии нелинейности становится переход к «детерминированному хаосу», с характерным для этой стадии лавинообразным рождением новых структурных элементов как основы для дальнейшей трансформации всей системы. В нашем примере у участников возникают идеи действия в различных направлениях по решению проблемы пластика: исследовать свойства и возможности утилизации, вторичного употребления в изделиях, снижение потребления одноразового пластика.

На стадии стохастичности система становится переполненной достаточно разрозненными не проработанными идеями с разной вероятностью их реализации. В исследовательском проекте участники приступают к систематизации и оформлению накопленного материала и подведению итогов. На стадии неустойчивости опять-таки нарастают количественные характеристики, но степень её упорядоченности повышается медленно. Это приводит к стадии «катастрофы», характеризующейся принятием по-новому организованной системы окружающим сообществом, но самоочевидностью для её носителей. На завершающей стадии «аттрактора-2» сама система, полностью оформленная, становится аттрактором, становится доступной для понимания социуму и начинает влиять на него. Это этап презентации выполненной работы, представление её на конференции, внешняя оценка и рефлексия.

Приведённый в качестве примера проект «Пластик – прозрачное благо цивилизации» прошёл путь от инициации до рефлексии, не противоречащий принципам и модели синергетической системы. Проектная и исследовательская компоненты взаимно дополняли друг друга, и обусловили результаты – победу в международном экологическом конкурсе, приращение опыта и метапредметных компетентностей участников.

Заключение

Вследствие многоаспектности проектно-исследовательской деятельности, её сущность можно рассматривать с позиций технологического, ресурсного, аксиологического, эвристического, акмеологического, компетентностного и др. подходов. Однако только синергетический подход раскрывает целостность педагогического влияния и со-существования в педагогическом процессе школы проектно-исследовательской деятельности. Проектная и исследовательская деятельность с точки зрения синергетического подхода не противопоставляются друг другу, напротив, рассматриваются как единая система, усиливающая эффекты каждой из составных её частей. Рассмотрение системы с помощью синергетического подхода позволяет найти инновационные подходы к стимулированию у обучающихся процессов саморазвития и самореализации, формированию у них готовности действовать в ситуации неопределённости и вариативности развития событий.

Список литературы

1. Фирсова Е.А. Формирование исследовательской культуры у старшеклассников в условиях научного общества учащихся: дис. ... канд. пед. наук. Волгоград, 2017. 216 с.
2. Савенков А.И. Исследовательское обучение и проектирование в современном образовании // Исследовательская работа школьников. 2004. № 1. С. 22–32.
3. Валеева О.А. Технологическое обеспечение организации учебно-исследовательской деятельности обучающихся: дис. ... канд. пед. наук. Саратов, 2017. 167 с.
4. Есенжанова А.А. Проектная деятельность как средство развития продуктивного мышления подростка: дис. ... канд. пед. наук. Оренбург, 2015. 171 с.
5. Булан И.Г. Учебно-методическое обеспечение как средство формирования проектно-исследовательских умений студентов среднего профессионального образования: дис. ... канд. пед. наук. Калининград, 2018. 232 с.
6. Коджаспирова Г.М., Коджаспиров А.Ю. Педагогический словарь: для студ. высш. и сред. пед. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2015. 405 с.
7. Курейчик В.М., Писаренко В.И. Синергетические принципы в моделировании педагогических систем // Открытое образование. 2013. № 6. С. 16–23.

УДК 378.14:004.6

МЕТОД ГРУППОВОГО ПРОЕКТНОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Глухарева С.В., Немирович-Данченко М.М., Давыдова Е.М., Буинцев Д.Н.

*ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»,
Томск, e-mail: office@tusur.ru*

После ряда реформ отечественная система образования претерпела изменения: от традиционного образования переходит к практико-ориентированному обучению по индивидуальной траектории. Это позволяет образовательным учреждениям быстрее реагировать на вариации потребностей у потребителей образовательных услуг, тем самым формируя новые модели учебных программ. А это, в свою очередь, приводит к появлению новых возможностей при выборе формы обучения и уровня образования. В ряду новых, в том числе по форме, образовательных услуг, предоставляемых в последние годы высшими учебными заведениями страны, значительное место занимает методология проектов. В Томском университете систем управления и радиоэлектроники с 2006 г. широко внедряется инновационный подход группового проектного обучения (ГПО). Немаловажным фактором, определяющим успешность в достижении целей ГПО, является готовность студента к погружению в необычную, творческо-производственную среду групповой работы в проекте. В статье эта готовность исследуется как качественный показатель уровня мотивации студента. Рассмотрены предварительные результаты комбинированного исследования мотивационной составляющей учебного процесса применительно к групповому проектному обучению. В качестве методов были использованы анонимное анкетирование и метод мотивационного интервью.

Ключевые слова: образование, метод проектов, групповое проектное обучение, информация, мотивационное интервью, анкетирование

GROUP DESIGN TRAINING IN THE SYSTEM OF HUMAN RESOURCES PREPARATION

Glukhareva S.V., Nemirovich-Danchenko M.M., Davydova E.M., Buintsev D.N.

*Federal State-Funded Institution of Higher Education Tomsk State University of Control Systems
and Radioelectronics, Tomsk, e-mail: office@tusur.ru*

After of some reforms the domestic education system has received some amounts of freedom. It allows educational establishments to respond more quickly to variations of demands at consumers of educational services, that shaping new models of curriculums. And it, in turn, brings to existence new possibilities at a choice of the form of training and an educational level. In a number new, including under the form, the educational services provided in recent years by higher educational institutions of the country, the significant seat is borrowed with methodology of projects. As progress of this methodology in recent years at Tomsk university of control systems and radio electronics widely takes root the innovative approach of group project-based learning (PBL). The important factor defining success in achievement of objectives PBL, readiness of the student for immersing in the unusual, creative-industrial environment of group work on the project is. In article this readiness is investigated as a quality indicator of a level of motivation of the student. Preliminary results of the combined research of a motivational component of educational process with reference to group design training are considered. As methods usual anonymous questioning and a method of motivational interview has been used.

Keywords: education, project method, project-based learning, information, motivational interview, questioning

После ряда реформ отечественная система образования претерпела изменения: образовательные учреждения от традиционного образования постепенно переходят к практико-ориентированному обучению по индивидуальной траектории. Методики программ такого обучения должны быть направлены на развитие как личностной исследовательской культуры, так и умения работать в коллективе.

Сегодня бизнес и производство заинтересованы в кадрах нового поколения, способных решать задачи в условиях неопределенности, ориентированных на успех, гибких, практико-ориентированных, способных приносить прибыль, предлагать и разрабатывать идеи, находить нетрадиционные решения и реализовывать эконо-

мически выгодные проекты. Профессиональное становление студентов в рамках проектной деятельности как раз и решает эту проблему. Без применения практико-ориентированных технологий обучения в образовательном процессе невозможно подготовить кадры нового поколения. К 2022 г. в систему образования РФ планируется внедрить метод проектной подготовки с целью повышения качества образования. Не в последнюю очередь это связано с тем, что Россия уже с 1995 г. входит в Международное общество по инженерной педагогике (IGIP).

Теория проектов возникла во второй половине XIX века в США. В основу подхода легли идеи американского философа и педагога Д. Дьюи (1859–1952). Далее амери-

канский ученый У.Х. Килпатрик разработал основы теории метода проектов [1]. В России идеи проектного обучения возникли параллельно с разработкой американских педагогов. В 1905 г. под руководством русского педагога С.Т. Шацкого была организована небольшая группа сотрудников, пытавшаяся активно использовать проектные методы в практике преподавания.

Поэтому вполне естественным представляется, что в ряду новых, в том числе и по форме, образовательных услуг, предоставляемых в последние годы высшими учебными заведениями страны, значительное место занимает методология проектов. Как развитие этой методологии в последние годы в Томском университете систем управления и радиоэлектроники с 2006 г. широко внедряется инновационный подход группового проектного обучения (ГПО). Особенностью образования в ТУСУРе является ориентированность на подготовку специалистов-практиков по направлениям, определяющим развитие современной экономики. Основной проблемой низкой профессиональной компетентности выпускников и их неконкурентоспособности на рынке труда является отсутствие практики решения практических задач в профессиональной деятельности.

Немаловажным фактором, определяющим успешность в достижении целей ГПО, является готовность студента к погружению в необычную, творческо-производственную среду групповой работы в проекте. Чем раньше начинают использовать метод проектов в системе обучения, тем более успешным становится выпускник. В ТУСУРе в систему группового проектного обучения привлекаются не только студенты, но и школьники. В статье готовность к погружению в необычную, творческо-производственную среду групповой работы в проекте исследуется как качественный показатель уровня мотивации студента. Рассмотрены предварительные результаты комбинированного исследования мотивационной составляющей учебного процесса применительно к групповому проектному обучению. В качестве методов были использованы обычное анонимное анкетирование и метод мотивационного интервью.

В ряду новых образовательных услуг, предоставляемых в последние годы высшими учебными заведениями страны, значительное место занимает методология проектов и (как развитие этой методологии) развивающийся активно в последние годы в Томском университете систем управления и радиоэлектроники инновационный подход группового проектного обучения

(ГПО) [2; 3]. Целью работы стало изучение готовности студентов к практической деятельности в рамках обучения по программам ГПО.

Материалы и методы исследования

Уникальная образовательная технология группового проектного обучения (ГПО) создана в ТУСУРе в 2006 г. Она позволяет студентам погружаться в практическую деятельность, работая над реализацией реальных проектов. Студенческие проектные группы в течение всего срока обучения работают над проектами самой разной направленности: научными, образовательными, социально-гуманитарными, экономическими, экологическими. Направления в рамках группового проектного обучения в ТУСУРе следующие:

- алгоритмы и автоматизированные системы обработки информации и управления;
- биомедицинские технологии и приборостроение;
- гуманитарные и социальные проекты;
- информационные технологии и информационная безопасность;
- кадровая безопасность;
- технологии интернета вещей (IoT);
- радиосвязь и СВЧ;
- радиотехника и радиоэлектроника;
- управление в социальных и экономических системах;
- энергетика и силовая электроника;
- материаловедение и нанотехнологии.

Технология ГПО способствует повышению уровня компетенций студентов, наработке дополнительных компетенций, в том числе личных и профессиональных.

Проектная деятельность позволяет студентам также и научиться определять свои роли в проекте, а также работать в разных ролях в разных проектах. «Работа в проектах ГПО, проектная организация учебного процесса приводят к более четкому осознанию студентами собственной роли в постановке и решении задач, повышению самостоятельности и ответственности за результаты выполнения проекта» [4]. Учебный процесс при этом становится творчески более насыщенным, увлекательным, а самое главное, эффективным.

В том случае, если студенческий проект имеет серьезный коммерческий потенциал, работа над ним продолжается в студенческом бизнес-инкубаторе ТУСУРа, где проект «дорастает» до стадии предприятия, готового к самостоятельной работе в условиях рынка.

ГПО – это инновационная форма организации учебного процесса, при которой студенты группируются в творческие кол-

лективы по 5–7 человек. Для выполнения проектов на каждой кафедре существуют специализированные лаборатории. По тематикам ГПО студентами выполняются и дипломные проекты. Лучшие проекты участвуют в конкурсах разной направленности и продолжают свое существование в виде малого предприятия или стартапа. Именно в университетской среде рождаются идеи, которые вырастают в успешные стартапы не только в стране, но и во всем мире.

Групповое проектное обучение – это составная часть образовательного процесса подготовки специалистов, бакалавров, магистров в ТУСУР. На примере разработки реального проекта происходит практическое закрепление знаний и навыков проектной, научно-исследовательской и организационно-управленческой деятельности.

ГПО требует от студентов глубоких знаний, умений и навыков владения многими дисциплинами. Немаловажным фактором, определяющим успешность в достижении целей ГПО, является готовность студента к погружению в необычную, творческо-производственную среду групповой работы в проекте. Наличие собственно готовности исследуется как качественный показатель уровня мотивации студента. Рассмотрены предварительные результаты комбинированного исследования мотивационной составляющей учебного процесса применительно к групповому проектному обучению. В качестве методов были использованы обычное анонимное анкетирование и метод мотивационного интервью.

ГПО требует от студентов глубоких знаний, умений и навыков владения многими дисциплинами, готовности к погружению в творческо-производственную среду, характерную для проектных работ в целом. Этим определяется выбор нами материала и методов исследований, а именно – мы рассматриваем готовность студентов как качественный показатель уровня мотивации студента и вследствие этого используем именно аппарат мотивационного интервью как основной метод в работе. Рассмотрены предварительные результаты комбинированного исследования мотивационной составляющей учебного процесса применительно к групповому проектному обучению.

В качестве методов были использованы анонимное анкетирование и метод мотивационного интервью [5]. Обычное интервью преследует следующие основные цели:

- определение компетенций кандидата;
- дать характеристику кандидату, в том числе и психологическую, с особенностями проявления характера;
- определить цели кандидата.

По результатам мотивационного интервью можно дать социальную характеристику кандидата, а также выявить его личностные особенности, мотиваторы и ценности. Мотивационное интервью имеет и ряд недостатков: высокая квалификация того, кто проводит интервью, знание психологических техник и технологий. Исследователь задает вопросы, а испытуемый на них отвечает. Второй проблемой является установление психологического контакта между исследователем и испытуемым, в ином случае ответ будет неточным, ложным, и результаты проверки недостоверными. Следует сказать, что исследователи обладали всеми необходимыми компетенциями для проведения интервью.

Метод анкетирования используется для опроса группы людей для получения эмпирической информации. В анкете присутствовали как закрытые, так и открытые вопросы. Недостатком анкетирования является зависимость как от способа составления выборки (при частичном обследовании), так и от правдивости ответов, субъективности испытуемого и его желании/нежелании отвечать на вопросы анкеты.

Первоначально было проведено мотивационное интервью для студентов 4-го курса факультета безопасности ТУСУР, причем опрошены были все студенты.

Анонимное анкетирование проводилось выборочно, выборка случайная бесповторная. Вопросы носили закрытый характер. Объем выборки – это число случаев, включенных в выборочную совокупность. Исходя из опыта социологических исследований рекомендуется [6], чтобы число случаев составляло не менее 30–35 единиц, в нашем случае было выбрано 34 студента. Этот объем относится к так называемым средним выборкам.

Для одноступенчатой случайной выборки репрезентативность характеризуется двумя взаимосвязанными параметрами: уровнем ошибки и вероятностью отсутствия ошибки данного уровня [7]. Корректно следующее утверждение: ошибка репрезентативности данной выборки с вероятностью P не превышает Δ . Если известны объемы генеральной совокупности N и выборки n , то, задавшись уровнем вероятности, можно определить ошибку Δ . Нами же при планировании исследования решалась обратная задача: мы задаёмся некоторым уровнем точности результатов и доверительной вероятностью, а затем вычисляем (или оцениваем) необходимый объем выборки.

Для конечных генеральных совокупностей в работе [7] приводится следующая за-

зависимость между объемом выборки n , объемом всей совокупности N , уровнем доверия t и предельной ошибкой Δ :

$$n = \frac{t^2 * s}{\Delta^2 + \frac{t^2 * s}{N}}. \quad (1)$$

В формуле (1) параметр s – это дисперсия. Её значение для качественных опросов рекомендуется принимать максимальным, как показано в [7], имеет смысл брать значение $s = 0,5^2 = 0,25$. В виде (1) формула легко проверяется – при N больших она преобразуется к известному [8] виду $n = \frac{t^2 * s}{\Delta^2}$.

Всего участников мотивационного интервью было 52 человека – все студенты 4-го курса, работающие по темам ГПО. Таким образом, по признаку принадлежности к ГПО генеральная совокупность составляет 52 единицы ($N = 52$). Выборка составила $n = 34$ студента.

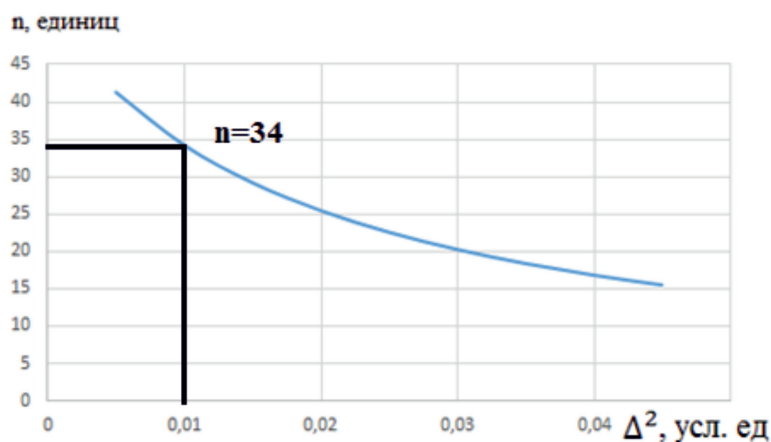
График зависимости (1) как функции от Δ^2 при $N = 52$ приводится на рисунке. По оси ординат отложен объем выборки (n). По значению выборки можно определить значение ошибки. Как видно из графика, в нашем случае предельная ошибка составляет 10 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Возможность количественной оценки качественного показателя уровня мотивации («мотивированности») студентов достигается как с использованием уже давно известных и апробированных методик (анкетирование), так и с использованием современного подхода – мотивационного

интервью [5]. Мотивационное интервью – вид интервью, основанный на выявлении мотивов и причин поведения человека. В настоящее время данный вид интервью применяется для выявления структуры мотивов, что позволяет более точно определить направления развития человека, т.к. интересы, поведение, ценности лежат в основе мотивации.

Данный метод применяется в ТУСУР на практических занятиях студентов направлений подготовки «Информационная безопасность» и «Экономическая безопасность» в рамках дисциплин «Основы управленческой деятельности», «Управление организацией (предприятием)» применительно к кадровой безопасности предприятия, которая определяется как система предприятия, связанная с эффективной работой персонала и функционированием организации (предприятия) в условиях безопасности и направленной на развитие самой организации в целом и каждого сотрудника в отдельности [9]. В текущем году было принято решение о применении данной методики в качестве изучения мотивов студентов, посещающих и не посещающих ГПО. В качестве экспертов выступали сотрудники кафедр КИБЭВС и БИС, которые имеют практический опыт проведения аттестационных испытаний при оценке персонала. Интервьюирование занимало с каждым из участников 10 мин. Вначале предлагалось испытуемому в течение 3–4 мин кратко рассказать о себе. Вопросы строились на основе рассказа студента о себе. В ходе интервью оценивались не только ответы, но и поведение студента, что позволило представить более полную картину. В исследовании принимало участие: 52 студента 4 курсов.



Зависимость объема выборки n от квадрата предельной ошибки Δ^2

Исследование показало, что студенты с высоким уровнем мотивации более успешны. Все они уже имеют практический опыт работы, что позволяет говорить о том, что студенты наряду с *hardskills* и *softskills* развивают такие компетенции, как *selfskills* (способности к самомотивации и саморазвитию). Это позволяет говорить о востребованности данных студентов с точки зрения подготовки III-специалистов, имеющих базовую подготовку; постоянно обучаясь, они получают новые виды образования, что говорит об их мультикомпетентности и успешности на рынке труда. С точки зрения кадровой безопасности такие сотрудники готовы работать на развитие компании, лояльны к ней, разделяют ее ценности и успешны в своем развитии.

Независимо от интервьюирования было проведено анонимное анкетирование другой группы студентов, при этом один из вопросов был: «Начав работу по теме ГПО, испытываете ли вы чувство неудовлетворенности?». Естественным при этом представляется сопоставить тех студентов, кто однозначно не испытывает неудовлетворенности (35,89%) с теми студентами, кто в ходе мотивационного интервью точно убедил эксперта в своей мотивированности (19 из 52 = 36,54%). В соответствии с формулой (1) можно сделать вывод о схожести результатов использования двух методик по выявлению степени мотивации студентов с уровнем доверия $t = 2$ и предельной ошибкой $\Delta = 10\%$.

Выводы

Таким образом, в условиях изменяющейся образовательной среды метод проектов является важным этапом в становлении будущего специалиста. В ходе реализации студенты приобретают проектные компетенции, практические знания и навыки, навыки самоорганизации, личностные компетенции. Результаты работы показывают, что метод проектов позволяет студентам развивать современные профессиональные компетенции в рамках образовательной деятельности. Проектная деятельность явля-

ется также и образовательной активностью студентов для освоения основной образовательной программы в ТУСУР. Студенты, посещающие ГПО, более самостоятельны в выборе решения, с высоким уровнем мотивации и успешности. Результаты настоящей работы имеют оценочный и предварительный характер. В дальнейшем планируется распространить методику на более обширный контингент обучающихся, что позволит повысить точность оценок и определенность выводов.

Авторы работы искренне благодарны доценту факультета безопасности ТУСУР Кручинину Д.В. за предоставленную информацию и постоянный интерес к работе.

Список литературы

1. Kilpatrick W.H. Project method in teaching. Teacher-college. Columbia university. 1918. 18 p.
2. Антипин М.Е., Афанасьева М.А., Шандаров Е.С. Опыт интеграции стандартов всемирной инициативы CDIO в ОПП ТУСУРА // Инженерное образование. 2014. № 16. С. 151–157.
3. Давыдова Е.М. Групповое проектное обучение: Методические указания по изучению дисциплин ГПО. [Электронный ресурс]. URL: <https://edu.tusur.ru/publications/7405> (дата обращения: 10.02.2020).
4. Боков Л.А., Катаев М.Ю., Поздеева А.Ф. Технология группового проектного обучения в вузе как составляющая методики подготовки инновационно-активных специалистов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11762> (дата обращения: 10.02.2020).
5. Miller W.R. Motivational interviewing with problem drinkers. Behavioural Psychotherapy. 1983. P. 147–172.
6. Могильчак Е.Л. Выборочный метод в эмпирическом социологическом исследовании: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 120 с.
7. Антонов Г.В. Выборочный метод в социологических исследованиях // Научный диалог. 2013 № 11 (23): История. Социология. Философия. С. 96–109.
8. Тихонова Е.В. Методология и методы социологического исследования: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 368 с.
9. Глухарева С.В. Методика подбора персонала на должности, связанные с обработкой конфиденциальной информации // Безопасность информационного пространства. 2017: XVI Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых. (Екатеринбург, 12 декабря 2017 года). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. С. 154–158. [Электронный ресурс]. URL: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/65616> (дата обращения: 10.02.2020).

УДК 37.013.46

РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ НА ОСНОВЕ УЧЕБНЫХ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ, ПОВЫШАЮЩИХ МОТИВАЦИЮ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Исамулаева Ю.А.

*Астраханский филиал ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия»,
Астрахань, e-mail: balahontsevajulia@rambler.ru*

Проблемой исследования являются разработка и применение на аудиторных занятиях по иностранному языку тематических заданий, основанных на учебных видеоматериалах, посредством групповой и индивидуальной работы обучающихся. Теоретическая и практическая значимость проблемы, ее актуальность, непосредственный интерес автора дают основание для выбора темы статьи. Предметом статьи являются разработка и использование на аудиторных занятиях тематических заданий, основанных на просмотренных обучающимися учебных видеоматериалах. На основании личного педагогического опыта автора установлено, что разработанные задания содействуют повышению мотивации обучения иностранному языку, что в свою очередь помогает формированию коммуникативных умений иноязычного общения. В своем исследовании мы использовали теоретические, эмпирические, статические и объяснительно-иллюстративный методы. Достоверность полученных результатов исследования выявлена посредством предложенных методов исследования, их логики и практического подтверждения. В результате исследования сделаны выводы, что разработанные тематические задания увеличат эффективность как групповой, так и индивидуальной работы и, таким образом, будут способствовать повышению мотивации изучения иностранного языка и развитию коммуникативных умений иноязычного общения обучающихся. Проведенное исследование носит общепедагогический характер, его данные могут быть использованы в практике организации учебного процесса в высших учебных заведениях, при разработке образовательных программ и проведении аудиторных занятий со студентами.

Ключевые слова: учебные видеоматериалы, мотивация, мотивационный компонент, иноязычное общение, видеофильмы, коммуникативные умения, коммуникативные навыки, объяснительно-иллюстративный метод

WORKING OUT OF SUBJECT TASKS BASED ON TRAINING STREAMING INCREASING MOTIVATION OF FOREIGN LANGUAGE STUDY

Isamulaeva Ya.A.

*Astrakhan branch of FGBOU VO «Saratov State Law Academy», Astrakhan,
e-mail: balahontsevajulia@rambler.ru*

The study problem is the working out and using of subject tasks based on training streaming in students group and individual work in foreign language classrooms. The theoretical and practical significance of the problem, its relevance, the author personal interest is a reason to choose the article topic. The article subject is the working out of subject tasks based on training streaming viewed by student in class. Based on the author personal pedagogical experience, it was found that the working out tasks promote to motivation increasing for foreign language study, what promotes to the communicative skills formation of foreign communication. We used theoretical, empirical, static and explanatory – illustrative methods in the study. The validity of obtained research results was revealed through the proposed research methods, their logic and practical confirmation. As a result of the study it was concluded that the working out subject tasks will increase the efficacy both group and individual work, and thus, they will promote the increasing of motivation for foreign language study, and the development of communicative skills of students speaking foreign languages. This research is of a general pedagogical nature, and its data can be used in the practice of organizing the educational process in higher educational institutions, in working out of educational programs and holding of classrooms with students.

Keywords: training streaming, motivation, motivational component, foreign communication, videos, communicative abilities, communicative skills, explanatory – illustrative method

Использование видеоматериалов в методике обучения иностранным языкам способствует индивидуализации обучения и повышению мотивации речевой деятельности обучающихся. Звуковой материал развивает навыки говорения и аудирования, необходимые для осуществления иноязычного общения обучающихся. Как правило, у студентов первого курса отсутствуют потребность и желание изучения иностранного языка. Этот факт объясняется низкой мотивацией и отсутствием базовой языковой подготовки. В связи с этим наша основная задача заключается в том, чтобы преподаватель разрабатывал и использовал на своих занятиях аутентичные задания для работы с видеоматериалами, чтобы мотивировать обучающихся на успешную иноязычную деятельность. Актуальность данного исследования обусловлена образовательными потребностями общества, недостаточно разработанной теоретической базой по данной проблеме. Теоретический анализ литературы, а также

Использование видеоматериалов в методике обучения иностранным языкам способствует индивидуализации обучения и повышению мотивации речевой деятельности обучающихся. Звуковой материал развивает навыки говорения и аудирования, необходимые для осуществления иноязычного общения обучающихся. Как правило, у студентов первого курса отсутствуют потребность и желание изучения иностранного языка. Этот факт объясняется низкой мотивацией и отсутствием базовой языковой подготовки. В связи с этим наша основная задача заключается в том, чтобы преподаватель разрабатывал и использовал на своих занятиях аутентичные задания для работы с видеоматериалами, чтобы мотивировать обучающихся на успешную иноязычную деятельность. Актуальность данного исследования обусловлена образовательными потребностями общества, недостаточно разработанной теоретической базой по данной проблеме. Теоретический анализ литературы, а также

собственный теоретический и практический опыт позволяют нам констатировать, что учебные видеоматериалы представляют процесс овладения языком как постижение живой иноязычной действительности. Главная задача автора заключается в том, чтобы, опираясь на данный метод, использовать его на практике; экспериментально проверить эффективность предложенного метода для повышения мотивации студентов к изучению иностранного языка в неязыковых вузах.

Целью данного научного исследования является описание аутентичных заданий, разработанных на основе видеоматериалов, с целью повышения мотивации обучения иностранному языку.

Материалы и методы исследования

В период с 2017 по 2019 гг. нами был проведен констатирующий эксперимент, позволяющий диагностировать стартовый уровень умений и навыков иноязычного общения обучающихся. В исследовании участвовали 84 студента Астраханского филиала «Саратовская государственная юридическая академия». В результате данного эксперимента были получены конкретные результаты и проведен первичный анализ результатов исследования. Достижения исследовательской работы докладывались на научных конференциях разного уровня и отражались в публикациях автора.

Для решения поставленной цели нами были использованы следующие методы исследования на разных этапах опытно-экспериментальной работы:

1) теоретические методы (анализ психологической, педагогической, методической литературы, диссертационных работ);

2) эмпирические (опрос, анализ занятий, самооценка, наблюдение за учебной деятельностью обучающихся), психодиагностические (беседы, тесты) методы;

3) статистические методы (определение ошибок в проверочных работах контрольной и экспериментальной групп).

Научная новизна данного исследования состоит в определении целесообразности применения объяснительно-иллюстративного метода на занятиях по иностранному языку; в применении разработанных и реализованных в учреждении высшего образования тематических заданий, основанных на учебных видеоматериалах; в успешной организации коммуникативного взаимодействия студентов и преподавателя посредством такого способа. Практика показывает, что данный метод способствует обогащению содержания теории и методики высшего образования.

Практическая значимость исследования заключается в разработке и подборке авторских учебных видеоматериалов и тематических заданий, которые реализованы в практической деятельности учебного заведения высшего образования Астраханского филиала ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия».

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанные автором, апробированные и внедренные в педагогический процесс учебные задания и видеоматериалы, направленные на повышение мотивации изучения иностранного языка в неязыковых вузах, могут быть включены в содержание учебных программ.

Как правило, обучение иностранному языку носит искусственно-учебную направленность в силу отсутствия у обучающихся естественной потребности в коммуникации на иностранном языке. В связи с этим перед преподавателем стоит задача создания условий иноязычного речевого общения в процессе овладения иностранным языком, максимально приближенных к естественным; разработки и применения на аудиторных занятиях нетрадиционных методов обучения иноязычному общению [1, с. 35]. В результате многочисленных исследований, наблюдений автора доказано, что одним из важнейших факторов, активизирующих процесс иноязычной речевой коммуникации, следует считать мотивацию овладения иностранным языком. На протяжении последних лет эта проблема исследуется в концепции деятельностного подхода к обучению, разработанного С.Л. Рубинштейном, А.Н. Леонтьевым и др. [2, 3]. В первую очередь для соответствующей организации учебного процесса требуется глубокое знание мотивов учения обучающегося [4, с. 30]. Вследствие этого возникла необходимость обратиться к теоретическим исследованиям по данной проблеме, а также обозначить ее связь с содержанием обучения иностранному языку. В аспекте проблематики нашего исследования привлекают внимание работы А.А. Алхазидзе, И.А. Зимней, А.А. Леонтьева, Н.М. Симоновой и др. Мы понимаем мотивацию как систему активизирующих импульсов, направляющих учебную деятельность на более глубокое познание иностранного языка при положительной направленности преподавателя. Как показывает практика, мы можем наблюдать положительную тенденцию по отношению студентов к различным видам речевой деятельности на занятиях по истечении одного семестра. В первую очередь это зависит

от индивидуального стиля деятельности преподавателя (использование на занятиях нетрадиционных методов обучения иностранному языку). Весьма полезным для нас оказались результаты исследований Г.В. Роговой и З.Н. Никитенко, которые утверждают, что интерес к процессу обучения иностранному языку строится на внутренних мотивах, которые опираются на иноязычную деятельность [5, с. 28–32]. В результате этого для того, чтобы развить и сохранить интерес к дисциплине, преподаватель должен сформировать у обучающихся внутренние мотивы. Большое внимание данной проблеме уделяется как в психологии, так и в методике обучения иностранному языку. Опираясь на труды методистов, психологов, дидактиков, а также на собственные теоретические поиски, мы предлагаем новые подходы к ее решению:

1) использование на занятиях аудиовизуальных средств;

2) создание специально разработанной системы упражнений, при выполнении которых студенты ощущали бы результат своей деятельности;

3) разработку и использование тематических заданий, усиливающих мотивационную сторону изучения иностранного языка;

4) вовлечение эмоциональной сферы в процесс обучения.

Важное место принадлежало использованию на занятиях объяснительно-иллюстративного метода обучения для повышения мотивации изучения иностранного языка. Данный способ является репродуктивным и отображает деятельность обучающихся и преподавателя, который сообщает информацию посредством объяснения, рассказа, учебника, видеоматериалов [6, с. 16].

Аудиторные занятия по иностранному языку проводятся в лингафонном кабинете, где студенты работают с тематическими видеоматериалами в программе Линко V 8.0. Необходимо отметить, что использование новых технологий оказало положительное влияние на изучение иностранного языка [7, с. 19]. Обучающиеся постоянно находятся в контакте с преподавателем, прослушивают учебную информацию, решают тесты, просматривают видеофильмы. Контроль понимания текста является важным моментом при работе над развитием навыков аудирования. Выбор метода контроля зависит от задач, которые ставит перед собой преподаватель. При работе с юридическими текстами основным критерием степени понимания являются ответы на вопросы. Собственные наблюдения показали, что посредством работы с видеоматериалами раскрываются способности менее активных

студентов: они решают вопросы в диалоге, не обращаясь ко всей аудитории. Для повышения мотивации студентов в процессе обучения нам было необходимо осуществить работу по следующим направлениям:

1) подбор видеоматериалов, проблематика которых должна соотноситься с социокультурной сферой общения, будущей профессией обучающихся;

2) возрастание степени сложности видеоматериалов за счет увеличения объема и глубины сюжета;

3) использование разных типов упражнений на каждом этапе работы с видеоматериалами (преддемонстрационный, демонстрационный и последедемонстрационный).

Это требуется для снятия языкового барьера у обучающихся во время просмотра видеороликов [8].

Для выявления стартового уровня умений и навыков иноязычного общения студентам было предложено посмотреть и воспроизвести видеоролик «Великобритания». На преддемонстрационном этапе мы рекомендовали обучающимся познакомиться с новым вокабуляром по данной теме и проработать каждое слово и выражение, составляя предложения. Далее каждому студенту была предоставлена возможность представить содержание урока по ключевым словам. На втором этапе студенты смотрели видеоматериал без прослушивания и определяли дальнейший ход событий. На последедемонстрационном этапе работы посредством предварительно загруженных тематических тестов мы использовали интерактивный метод в виде вопросов и ответов для разработки навыков аудирования, чтения и накопления словарного запаса. Проведенный анализ показал следующие результаты: 40% студентов выполнили задание осмысленно, 35% показали поверхностный интерес и 25% безразлично отнеслись к заданию. Вместе с тем следует подчеркнуть, что, несмотря на то, что не все студенты были увлечены предложенным заданием, обучающиеся по достоинству оценили данный метод. Его применение предполагает развитие речевой активности обучения и повышение мотивационного компонента в изучении иностранного языка. Преимуществом метода является сила впечатления и эмоционального воздействия на обучающихся. Более того, видеоматериалы – это эффективный способ для приобретения социокультурной компетенции и развития коммуникативных навыков. Собственные исследования показали, что только систематическая работа с видеоматериалами и методически организованная демонстрация обеспечивают успешное достижение этой цели.

На следующем этапе обучающиеся работали с учебными видеоуроками «Моя будущая профессия», «Суд в Великобритании», «Королевский суд». Выбор тем уроков неслучаен. Они соотносятся с будущей профессией обучающихся; кроме того, следует отметить, что студенты, работая с предложенными видеоматериалами, смогли сравнить судебные системы в России и Великобритании. На преддемонстрационном этапе работы обучающимся предоставлялись задания на поиск языковой информации (подстановочные, трансформационные упражнения, упражнения на дополнения). При демонстрации возможно использование репродуктивных заданий. На данном этапе упражнения направлены на работу с содержанием текста: формулирование основной идеи; работа в парах «вопрос – ответ»; подготовка плана пересказа; обозначение базовых проблем, затронутых в тексте; выражение личного мнения. Пересказ определяется в методике как сознательная коммуникативная деятельность, позволяющая обучающимся свободно выражать их мысли и чувства. На последнем этапе работы использовались дискуссионные упражнения. На наш взгляд, дискуссионное общение мотивирует обучающихся на успешную иноязычную деятельность. Характерным компонентом процесса обучения иностранному языку, без которого урок теряет значительную часть своей эффективности, считается привлечение обучающихся в проблемное обсуждение. Студенты подготовили и провели дискуссионную площадку, включая работу с вопросами и кроссвордами. Во время проведения дискуссии необходимо отметить активное участие каждого обучающегося.

Таким образом, мы утверждаем, что первоочередным условием повышения интереса к предмету является формирование коммуникативной мотивации. Важно отметить, что эффективность применения на занятиях учебных видеоматериалов зависит от того, как согласованы учебные возможности видеоматериалов с задачами обучения и насколько рационально организована структура видеозанятия [9]. Итак, мы выделяем следующие этапы в структуре видеозанятия:

- 1) подготовительный – этап предварительного устранения языковых и лингвострановедческих барьеров;
- 2) оценка видеоматериала – развитие умений восприятия информации;
- 3) контроль понимания основного содержания видеоурока;
- 4) формирование и развитие языковых навыков и умений устной речи;

- 5) повторный просмотр материала.

Для проведения экспериментального исследования нами было организовано и проведено занятие с просмотром видеофильма «Работа полицейских в Великобритании». Автором была разработана структура видеоурока, в которой можно выделить следующие этапы:

- 1) преддемонстрационная работа – перед просмотром фильма студенты работали с текстами по теме видеофильма, выполнили лексические и грамматические упражнения;
- 2) демонстрация фильма;
- 3) проверка усвоения содержания фильма с помощью вопросов.

Обучающимся было предложено разделиться на две команды. Одна команда играла роль иностранцев, а вторая – роль переводчиков. Одна группа студентов задавала вопросы на английском языке, а другая готовила ответы на русском. Соответственно, первая команда пыталась перевести ответы второй команды. Выполнение задания предусматривало:

- 1) активизацию языкового материала с помощью заданий (деление фильма на основные эпизоды; повторение реплик героев; определение, каким героям принадлежат произносимые преподавателем реплики);
- 2) пересказ содержания в письменной, а затем и в устной форме.

Для более полного понимания просмотренного видеофильма студентам было рекомендовано подготовить пересказ содержания. Сначала обучающиеся составили план пересказа фильма. В каждом фрагменте фильма были выделены опорные предложения, в которых заключалась главная мысль. При подготовке устного пересказа студенты работали с каждым пунктом плана отдельно. Результаты проведенного исследования помогают нам отметить значительное увеличение мотивации студентов при выполнении задания. Далее была проведена ролевая игра. Студенты распределили роли, просмотрели эпизоды фильма с целью проговаривания реплик синхронно со своим героем. Задачей обучающихся было максимально понять просмотренный видеофильм. Для достижения этого студенты тщательно отработывали каждый отрезок фильма. Такие упражнения были рассчитаны как на закрепление, так и на расширение понимания материала [10, с. 144–146].

В итоге хотелось бы подчеркнуть, что разработанные тематические задания воздействовали созданию устойчивого интереса к изучению иностранного языка и совершенствованию умений обучающихся. Нельзя не заметить, что видеофильм способствовал формированию у студентов такого

качества, как общительность. При выполнении задания у обучающихся сформировалась ответственность за своих партнеров по коммуникации. Собственные наблюдения и специальные исследования в этом плане показали, что данный метод является эффективным. Использование на занятиях тематических заданий на основе просмотренных видеоматериалов упрощает учебный процесс, делает его более интересным и увлекательным; способствует успешному овладению материала; влияет на прочность закрепления страноведческого и языкового материала; формирует умения иноязычного общения студентов. Анализ проведенного исследования дал следующие результаты: 78% студентов показали высокий уровень овладения языком; мы наблюдали познавательный интерес к данному виду деятельности; обучающиеся осмысленно подходили к планированию и выполнению заданий, пытались активировать свою деятельность и сделать ее продуктивной. 22% студентов проявляли познавательную активность при выполнении задания, хотя осознавали свои индивидуальные трудности, но тем не менее были мотивированы на их преодоление.

Выводы

Обобщая все вышесказанное, можно сделать следующие выводы: разработанные и используемые в учебном процессе тематические задания, основанные на учебных видеоматериалах, являются эффективным методом повышения мотивации при изучении иностранного языка в неязыковых вузах. Личные наблюдения автора показали, что этот нетрадиционный метод выявляет безграничные возможности для динамичной работы в процессе формирования и развития навыков и умений иноязычного общения студентов, делает образовательный процесс овладения иностранным языком увлекательным на всех этапах обучения. Необходимо помнить, что эффективность использования разработанных заданий зависит не только от целесообразной организации аудиторных занятий, но и от того, насколько компетентно поставлена речевая задача при просмотре видеоуроков. Вы-

шеназванные исследования заслуживают внимания прежде всего в области применяемых методов и могут внести существенный вклад в теорию и методику высшего образования. Однако все еще актуальной является проблема использования на занятиях нетрадиционных методов обучения иностранному языку. Главной задачей преподавателя иностранного языка является формирование положительной мотивации. В итоге можно сказать, что преподавателю необходимо активизировать интерес обучающихся к изучению иностранного языка и повышать качество обучения предмету, принимая во внимание современные методические направления, результативность которых обоснована практикой.

Список литературы

1. Маркова А.К. Формирование мотивации учения в школьном возрасте. М.: Просвещение, 2011. 158 с.
2. Исамулаева Ю.А. Формирование презентационных умений и навыков на практических занятиях по иностранному языку в высшей школе: учебно-методическое пособие. Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. 74 с.
3. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Инфрo, 2007. 276 с.
4. Губарева Т.А. Повышение мотивации студентов к изучению иностранного языка в неязыковом вузе // Пути повышения мотивации к изучению иностранного языка в неязыковом вузе: материалы межвузовского круглого стола (Оренбург, 3 февраля, 2017 г.). Оренбург: Оренбургский институт (филиал) Московского государственного юридического университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА), 2017. 102 с.
5. Рогова Г.В., Никитенко З.Н. О некоторых причинах снижения интереса к предмету «Иностранный язык» у школьников // Иностранные языки в школе. 1982. № 2. С. 28–32.
6. Сущность профессионального образования [Электронный ресурс]. URL: <https://studopedia.ru/4166068sushchnostprofessionalnogoobrazovaniya.html> (дата обращения: 24.02.2020).
7. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. СПб.: Арка, 2009. 379 с.
8. Панина Е.Ю., Левченко С.М. Использование видеоматериалов в обучении аудированию на уроках немецкого языка // Проблемы романо-германской филологии, педагогики и методики преподавания иностранных языков. 2018. № 14. С. 187–191.
9. Дьяконова А.А. Использование видео на уроках английского языка [Электронный ресурс]. URL: <https://nsportal.ru/shkola/inostrannyeyazyki/angliiskiyazyk/library/2014/03/08/ispolzovanie-video-na-urokakh> (дата обращения: 14.03.2020).
10. Бурмакина Л.В. Ролевые игры на уроках английского языка. СПб.: Карo, 2014. 144 с.

УДК 378.14

ОБОГАЩЕНИЕ ПРАКТИК БУДУЩИХ БАКАЛАВРОВ-ПЕДАГОГОВ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ НОКСОЛОГИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ

¹Куликовская М.А., ^{2,3}Безрукова Н.П., ¹Махрова М.Л.¹ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова»,
Абакан, e-mail: mariya4353@rambler.ru;²ФГБОУ «Красноярский государственный педагогический университет
им. В.П. Астафьева», Красноярск;³ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: bezrukova@kspu.ru

Необходимость обеспечения качественного ноксологического образования сегодня не вызывает сомнений. Задача его реализации в системе общего образования возлагалась на учителя основ безопасности жизнедеятельности. Учитывая, однако, возрастающее количество опасностей в современном мире, а также интегративный характер самого ноксологического знания, включающего элементы химических, биологических, физических, медицинских и других наук, значимая роль в формировании компонентов ноксологической компетенции подрастающего поколения принадлежит учителям предметов естественно-научного цикла. В контексте значения различного вида практик в системе подготовки бакалавра педагогического образования целью данной статьи является обсуждение подходов к их обогащению ноксологическим содержанием при подготовке бакалавров естественно-научных профилей в рамках двойного бакалавриата. На основе анализа литературы уточнено понятие «ноксологическая компетенция бакалавра естественно-научного профиля педагогического направления подготовки». Показано, что для ее результативного формирования целесообразно обогащение различного вида практик, предусмотренных образовательными программами подготовки, ноксологической составляющей на основе междисциплинарных связей, что обеспечивает как углубление системы знаний и умений будущего учителя в области обеспечения безопасности в условиях современного социума, так и развитие практических умений в области подготовки обучающихся в школе к безопасному поведению в различных условиях среды в процессе освоения предметов естественно-научного цикла. Приводятся конкретные примеры для подготовки бакалавра педагогического образования, профили «Безопасность жизнедеятельности; Биология».

Ключевые слова: ноксологический подход, ноксологическое образование, ноксологическая компетенция бакалавров естественно-научного профиля, учебные и производственные практики

ENRICHMENT OF PRACTICES OF THE FUTURE BACHELORS-TEACHERS OF NATURALSCIENCE PROFILES BY NOXOLOGICAL CONTENT

¹Kulikovskaya M.A., ^{2,3}Bezrukova N.P., ¹Makhrova M.L.¹Khakass State University n.a. N.F. Katanov, Abakan, e-mail: mariya4353@rambler.ru;²Krasnoyarsk State Pedagogical University n.a. V.P. Astafiev, Krasnoyarsk,³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: bezrukova@kspu.ru

The need to provide quality noxological education today is not in doubt. The task of its implementation in the system of general education was entrusted to teachers of the Life safety. Considering, however, the increasing number of dangers in the modern world, as well as the integrative nature of noxological knowledge itself, including elements of the chemical, biological, physical, medical, and other sciences, a significant role in the formation of the components of the noxological competence of the younger generation belongs to teachers in natural sciences. In the context of the importance of different types of practices in the bachelor of the pedagogical direction of training, the purpose of this article is to discuss approaches to enriching them by noxological content in the training bachelors in natural sciences within the framework of a double bachelor's degree. Based on the analysis of the literature, the concept «noxological competence of a bachelor of natural sciences profile of the pedagogical direction of training» is clarified. Its effective formation is shown to be advisable to enrich the content of various types of practices provided by educational training programs, with noxological component on the basis of interdisciplinary connections. It provides both a deepening of the knowledge and skills of the future teacher in the field of security in modern society, and the development of practical skills in preparing students at school for safe behavior in various environmental conditions in the process of mastering the subjects of the natural science cycle. The examples are given for the bachelor of the pedagogical direction of training, profiles «Life Safety; Biology».

Keywords: noxological approach, noxological education, noxological competence of bachelors in the natural sciences, training and production practices

Для современного этапа человеческого сообщества характерны такие глобальные проблемы, как экономический спад, экстремизм и рост преступности, резкое обострение экологических проблем, обусловленное возрастающими техногенными и антропо-

генными нагрузками на природную среду, рост количества техногенных катастроф, и как результат, существенное расширение круга и уровня опасностей современного мира. В связи с этим одна из фундаментальных задач, которую должна решать на дан-

ном этапе система образования, заключается в развитии у подрастающего поколения нового понимания изменяющегося мира, в котором они живут, и это актуализирует значение ноксологического подхода в образовании. Ответом российской системы образования на указанные выше тенденции явилось введение в системе общего образования нового предмета «Основы безопасности жизнедеятельности»; согласно новым ФГОС учебная дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» является обязательной по всем направлениям подготовки бакалавриата в высшей школе.

В последние десятилетия российскими учеными выполнен широкий спектр исследований, связанных с понятиями «ноксология», «ноксологическое образование», «ноксологическая компетенция» и способами ее формирования (С.В. Абрамова, Е.Н. Бояров, В.А. Девисилов, П.Ф. Кубрушко, С.А. Лежава, Е.И. Нургатина, А.П. Шкляренко, В.И. Яхимович и др.). При этом функции формирования ноксологической компетенции у порастающего поколения в системе общего образования возлагались, главным образом, на учителя основ безопасности жизнедеятельности. Учитывая, однако, интегративный характер самого ноксологического знания, включающего элементы химических, биологических, экологических, физических, технических, медицинских и других наук [1], мы полагаем, что значимая роль в формировании компонентов ноксологической компетенции подрастающего поколения принадлежит не только учителям по ОБЖ, но и учителям предметов естественно-научного цикла.

Вместе с тем реалиями сегодняшнего дня в системе высшего педагогического образования является такая форма подготовки, как бакалавриат с двумя профилями, например «Физическая культура; Безопасность жизнедеятельности», «Технология и безопасность жизнедеятельности», «Безопасность жизнедеятельности; Биология» и др.

Целью данного исследования является выявление подходов к обогащению ноксологическим содержанием различного вида практик, предусмотренных основными профессиональными образовательными программами подготовки бакалавров естественно-научных профилей педагогического образования в рамках двойного бакалавриата.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовались анализ нормативно-правовых документов, специализированной литературы, образовательной практики подготовки бакалавров естественно-научных профилей.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ подходов к выявлению сущности ноксологического образования позволяет заключить, что в целом исследователи едины во мнении: ноксологическое образование – это процесс воспитания, обучения и саморазвития личности, направленный на формирование норм поведения человека, его мировоззрения и приобретение компетенций по обеспечению безопасности жизнедеятельности отдельной личности и общества в целом [1–3]. П.Ф. Кубрушко, В.А. Девисилов и другие предлагают рассматривать ноксологическую компетенцию на уровне знаний и навыков в области идентификации опасностей, снижения рисков и обеспечения безопасности, а также готовность и способность их применения в повседневной жизни и профессиональной деятельности [2]. В контексте будущей профессиональной деятельности под ноксологической компетенцией бакалавра естественно-научного профиля педагогического направления подготовки мы понимаем интегративное качество личности, отражающее способность и готовность к проектированию и разработке образовательного пространства (среды) для формирования у обучающихся знаний о специфических особенностях различных видов опасных ситуаций, умений распознавать, оценивать и прогнозировать различные виды опасностей, выстраивать траекторию безопасного поведения, а также владеть опытом безопасного поведения в ситуациях различного уровня сложности.

Поскольку, как уже упоминалось, на начальном этапе становления ноксологического образования в России задача его реализации в системе общего образования возлагалась на учителя основ безопасности жизнедеятельности, отечественными учеными, в том числе и авторами данной статьи, исследовались различные аспекты его подготовки в вузе. Так, авторы работы [2] полагают, что реализация содержания дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» с использованием модульной, контекстной, проблемных технологий позволит устранить разрыв между теорией и практикой, учебной деятельностью студента в области безопасности и будущей профессиональной деятельностью. Исследовались место в учебном процессе и особенности проведения практик специалистов в области безопасности жизнедеятельности [4; 5], значение учебно-творческих заданий в повышении уровня профессионально-педагогической компетентности будущих учителей.

лей безопасности жизнедеятельности [6], вопросы организации рефлексивной деятельности будущих бакалавров в процессе прохождения учебной и производственной практик в школе [7], проблемы интеграции задач специальной и психолого-педагогической подготовки в содержании учебных практик будущих учителей безопасности жизнедеятельности [8], рассматривались вопросы концептуального моделирования подготовки будущих бакалавров педагогического образования в области безопасности жизнедеятельности на основе практико-ориентированного подхода в условиях перехода на ФГОС ВО 3++ [9] и др.

В работе [1] среди закономерностей ноксологического образования выделены взаимосвязь психологической, социальной, культурологической и профессиональной сущности личности и ее безопасной жизнедеятельности, а также единство интегративной целостности и комплексности высшего педагогического образования в области безопасности жизнедеятельности. Авторы совершенно справедливо отмечают, что интеграция в процессе подготовки специалиста образования в области безопасности жизнедеятельности обусловлена интегративным характером самого ноксологического знания.

Как известно, учебные практики, как организационная форма подготовки педагога в системе высшего образования, направлены на углубление теоретических знаний, практическое познание закономерностей и принципов профессиональной деятельности. Именно в процессе практик создаются условия для интеграции знаний по психологическим, педагогическим, естественно-научным, специальным дисциплинам, «перевода» их на язык практических действий, необходимых для решения конкретных профессиональных задач [10]. Деятельность будущих бакалавров в период практики должна носить «квазипрофессиональный» характер, то есть должна быть адекватна по содержанию и структуре реальной практической деятельности.

Следует отметить, что при подготовке бакалавра педагогического образования по двум профилям конкретная учебная практика, как правило, состоит из двух частей, соответствующих профилям. Так, например, в соответствии с ФГОС ВО 3+ будущие бакалавры, обучающиеся по профилям «Безопасность жизнедеятельности» и «Биология», в 4 семестре (2 курс) проходят практику по получению первичных профессиональных умений и навыков (по опасным ситуациям природного характера и защите от них и по ботанике), которая рассчитана

на 3 недели, по 1,5 недели на каждую часть. Необходимо также отметить, что вопросы модернизации учебных практик, связанных с профилем «Безопасность жизнедеятельности», исследовались нами ранее [6; 8; 10], и в частности было доказано, что обогащение учебных практик по дисциплинам, связанным с безопасностью жизнедеятельности, педагогическим содержанием в виде блоков учебно-творческих заданий, направленных на углубление и осмысление студентами теоретического и методического учебного материала, составляющего содержание психолого-педагогических дисциплин, способствует развитию устойчивого интереса к педагогической профессии, повышению уровня сформированности профессиональных компетенций будущего учителя.

В контексте изложенного выше нами, при организации первой части упомянутой выше практики, в нее были включены задания по разработке методических рекомендаций к освоению школьниками 7-го класса раздела «Основы комплексной безопасности». Разрабатывая методические рекомендации, бакалавры должны предложить инновационные методы и технологии, которые они освоили в процессе изучения дисциплины «Педагогика», для изучения конкретного природного явления. Например, на практике изучаются такие явления, как преодоление лавиноопасных участков, действия населения при землетрясении, наводнении и природных пожарах. Бакалавры разрабатывают по каждому явлению фрагмент технологической карты урока с применением активных методов обучения, а также кейсы различных видов (обучающие, практические, исследовательские). Защищая отчет по практике, они демонстрируют фрагмент урока с применением данных методов.

На практике по ботанике бакалаврам предлагается, наряду со сбором гербария и отработкой умений по определению тех или иных видов растений, разработать экскурсию школьников на природу, учитывая все требования безопасности (организация инструктажа, правил поведения на водном объекте, в лесном массиве или степной местности и т.п.). Бакалавры разрабатывают картотеки по лекарственным и ядовитым растениям и фрагмент технологической карты урока для обучающихся 6-х классов по теме «Состав походной аптечки. Лекарственные растения и их использование».

В 5-м семестре образовательной программой предусмотрена трехнедельная производственная практика «по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности: психолого-педагогическая». В период прохождения

данной практики в общеобразовательных организациях будущими бакалаврами выполняются задания по изучению коллектива закрепленного за ними класса с использованием теста оценки агрессивности в отношении (А. Асингер), психометрического теста К.Э. Сизора на определение индекса групповой сплоченности, диагностической шкалы – опросника Ф. Фидлера (в адаптации Ю.Л. Ханина) для характеристики психологической атмосферы, сложившейся в классе, цветового теста М. Люшера и др. Обогащение данной практики ноксологическим содержанием реализуется через включение в нее заданий по разработке и проведению урока или внеклассного мероприятия для обучающихся разных возрастных групп в форме деловой игры с привлечением сотрудников структурных подразделений и служб МЧС, родителей, учителей-предметников (химии, физики, географии и т.п.).

В рамках учебной практики по получению первичных профессиональных умений и навыков по зоологии (1 неделя в 6 семестре) бакалавры не только изучают видовое разнообразие животных Республики Хакасия и юга Красноярского края, составляют инструкции по защите населения от диких животных в условиях вынужденной автономии, а также по оказанию первой помощи при укусах разнообразных видов насекомых, змей, пауков и т.д., свойственных нашему региону, но и разрабатывают фрагмент технологической карты урока по ОБЖ для изучения темы «Первая помощь при укусах насекомых и змей» для 5-го класса.

В 7-м семестре организуется производственная практика длительностью 6 недель – «практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (в детских оздоровительных лагерях)». В период данной практики студенты работают вожатыми. Практика предполагает развитие умений коммуникативной, конструктивной, проектировочной, познавательной и организаторской деятельности, умений рефлексивной деятельности (коллективного анализа, самооценки овладения студентами технологией формирования временного детского коллектива, технологией педагогического взаимодействия и т.д.). В качестве заданий для организации данной практики студентам предлагалось разработать комплекс тренинговых занятий по темам: безопасное поведение на воде, при возникновении пожара, по правилам оказания первой помощи в различных ситуациях и т.д. Также предлагалось разработать игры по ОБЖ разного типа для разных возрастных категорий (сюжетно-ролевые, подвижные, театрализованные (ролевые),

развивающие и т.п.), способствующие приобретению знаний, отработке уже имеющихся умений в области безопасности.

В период трехнедельной учебной практики по получению первичных профессиональных умений и навыков по опасным ситуациям техногенного характера и генетике и общей экологии в 8-м семестре будущие бакалавры изучают техногенные объекты г. Абакана, особенности их технологического процесса, составляют карты местности «Техногенные объекты г. Абакана», правила эвакуации населения в случае возникновения аварии на одном из техногенных объектов, а также памятки по правилам поведения при выбросе различных категорий веществ (хлор, аммиак и т.д.). На данной практике в качестве педагогической составляющей студентам предлагалось разработать фрагменты уроков с использованием проектно-исследовательской деятельности по ОБЖ для обучающихся 8-го класса, для освоения раздела «Защита населения РФ от ЧС», а также создать банк проблемных ситуаций по теме «Опасности техногенного характера и правила поведения при их возникновении», для организации практической деятельности на уроках ОБЖ. Студентами разрабатывались задания для организации разного рода проектов в школе: исследовательского, практико-ориентированного, творческого, информационного (данные знания получены студентами при прохождении дисциплины «Проектная деятельность на уроках ОБЖ и биологии» в 5-м семестре, а также дисциплины «Методика обучения БЖ и биологии» в 7-м и 8-м семестрах).

Во второй части практики – практике по генетике и общей экологии, студентам предлагалось разработать памятки по защите населения в местах с неблагоприятной экологической обстановкой, а также фрагмент технологической карты урока (любой из этапов) с использованием активных методов обучения, для изучения раздела по ОБЖ «Экология и безопасность» для учащихся 8-х классов.

В 8-м и 9-м семестре организуется производственная практика: педагогическая, 6 и 5 недель по длительности. В период данной практики студенты выступают в роли активных участников учебно-воспитательного процесса, проводят уроки и организуют внеурочную деятельность школьников. Данная практика направлена на отработку педагогических умений, развитие профессиональных компетенций учителя. Студенты составляют технологические карты к урокам, проекты воспитательных мероприятий, разрабатывают методическое со-

провожение к урокам по ОБЖ и биологии (составляют банк ситуационных заданий для школьников разных возрастных групп, для организации разных этапов урока), ведут дневник практики, в котором осуществляют анализы уроков учителей школы по предложенным схемам, составляют самоанализы своих проведенных уроков и воспитательных мероприятий.

Для оценки ноксологической компетенции, в 10-м семестре на экзамене по дисциплине «Методика обучения безопасности жизнедеятельности и биологии», в каждый билет третьим вопросом включена ситуационная задача, которая оценивается посредством компонентного анализа ответа студента. При этом оцениваются умения определить вид опасности, установить причины возникновения опасности, умения указать последствия опасной ситуации (первичные и вторичные факторы) и спланировать алгоритм выхода из сложившейся ситуации с учетом условий ее протекания, умения связать ситуацию с конкретным разделом курса ОБЖ и с конкретным разделом курса биологии, умение определить, какому типу результатов в соответствии с ФГОС будет способствовать использование данной ситуации на уроке, а также в рамках какой технологии можно использовать данную ситуационную задачу, умение использования конкретной ситуационной задачи на разных этапах урока. Ситуационные задачи охватывают различные виды опасностей, и в процессе их решения будущие бакалавры-педагоги показывают не только сформированность знаний в области безопасности, но и профессиональные умения отбора методов, средств, технологий для эффективной организации уроков по ОБЖ и биологии.

Заключение

Таким образом, для результативного формирования ноксологической компетенции бакалавров естественно-научных профилей педагогического направления подготовки целесообразно обогащение учебных и производственных практик, предусмотренных образовательными программами подготовки, ноксологической составляющей на основе междисциплинарных связей, что обеспечивает как углубление системы

знаний и умений будущего учителя в области обеспечения безопасности в условиях современного социума, так и развитие практических умений в области подготовки обучающихся в школе к безопасному поведению в различных условиях среды в процессе освоения предметов естественно-научного цикла.

Список литературы

1. Абрамова С.В., Бояров Е.Н. Методологические основы подготовки специалиста образования в области безопасности жизнедеятельности // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5133> (дата обращения: 19.02.2020).
2. Кубрушко П.Ф., Девисилов В.А. Концептуально-дидактические основания национальной системы ноксологического образования // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Теория и методика профессионального образования. 2010. № 3(42). С. 11–15.
3. Лежава С.А. Проблемы формирования ноксологической культуры при преподавании безопасности жизнедеятельности в условиях реформирования высшей школы // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 2 (12). С. 100–102.
4. Шибалова Г.В., Насонов С.Н. Место производственной практики в учебном процессе профессионально-практической подготовки бакалавров по направлению «Техносферная безопасность» // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2019. № 13 (13). С. 92–95.
5. Матвеева О.М., Матвеев В.С., Рева В.А. Особенности проведения практики по направлению подготовки 44.03.01 «Педагогическое образование», профиль «Безопасность жизнедеятельности» // Вестник педагогических инноваций. 2014. № 4 (36). С. 40–43.
6. Куликовская М.А. Учебно-творческие задания как средство повышения уровня профессионально-педагогической компетентности будущих учителей безопасности жизнедеятельности // Сибирский педагогический журнал. 2014. № 1. С. 101–104.
7. Абазовик Е.В., Малышева Е.В. Методика организации рефлексивной деятельности студентов-бакалавров в процессе прохождения учебной и производственной практик в школе // Письма в Эмиссия. Офлайн: электронный научный журнал. 2018. № 1. С. 2569.
8. Куликовская М.А., Евсюк О.В. Интеграция задач специальной и психолого-педагогической подготовки в содержании учебных практик будущих учителей безопасности жизнедеятельности // Вестник Томского педагогического государственного университета. 2010. № 12 (102). С. 131–135.
9. Кропотова Н.В., Ибрагимова Э.Э. Практико-ориентированный подход в подготовке будущих бакалавров педагогического образования в области безопасности жизнедеятельности // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. 2019. Т. 5 (71). № 3. С. 44–53.
10. Куликовская М.А. Особенности организации учебных практик будущих учителей безопасности жизнедеятельности // Совет ректоров. 2010. № 1. С. 80–89.

УДК 374.7:316.74:80

РОДНОЙ ЯЗЫК КАК ФАКТОР КОНСОЛИДАЦИИ ОБЩЕСТВЕННОСТИ МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА (НА ПРИМЕРЕ ТАТТИНСКОГО КУЛЬТУРНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА)

^{1,4}Местникова А.Е., ²Сивцева И.А., ³Андросова О.П.¹МКУ «Улусное управление образования МР «Таттинский улус», Ытык-Кюель,
e-mail: linamestnikova@gmail.com;²Администрация муниципального района «Таттинский улус», Ытык-Кюель,
e-mail: isa_oktem@mail.ru;³Таттинский лицей имени А.Е. Мординова, Ытык-Кюель, e-mail: oksana_androsova@list.ru;⁴ФГБОУ ВО «Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта»,
Чурапча, e-mail: linamestnikova@gmail.com

В данной статье представлен опыт создания культурно-образовательного кластера в целях консолидации общественности муниципального района «Таттинский улус» Республики Саха (Якутия) для сохранения и развития родного якутского языка, популяризации ценностей традиционной народной культуры, формирования ценностного отношения к духовному наследию народа саха. Рассмотрены преимущества, цели, задачи, структура и основные направления деятельности, предложены перспективы дальнейшего развития кластера. Сделан вывод, что кластерный подход, предполагающий интеграцию традиционного и инновационного, в сочетании с теорией самоорганизации, а также с принципами, основанными на традиционных ценностях и идеях якутского национального эпоса олонхо, создает условия для функционального развития языка как социокультурного фактора, способствующего консолидации, интеграции и формированию этноязыковой идентичности. Успешный опыт деятельности Таттинского культурно-образовательного кластера «Таатта сайдар эйгэтэ», признанный в 2019 г. лучшей практикой совместной работы с общественностью по сохранению и развитию языков народов России по итогам Всероссийского конкурса лучших практик «Языки и культура народов России: сохранение и развитие», может быть использован в муниципальных образованиях Республики Саха (Якутия), а также других субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: родной язык, культурно-образовательный кластер, социальное партнерство, консолидация, Таттинский улус

NATIVE LANGUAGE AS A FACTOR OF PUBLIC CONSOLIDATION OF THE MUNICIPALITY (ON THE EXAMPLE OF THE TATTA CULTURAL AND EDUCATIONAL CLUSTER)

^{1,4}Mestnikova A.E., ²Sivtseva I.A., ³Androsova O.P.¹Department of Education of the Municipal District «Tattinskiy ulus», Ytyk-Kyuyol,
e-mail: linamestnikova@gmail.com;²Administration of the Municipal District «Tattinskiy ulus», Ytyk-Kyuyol, e-mail: isa_oktem@mail.ru;³Tattinskiy Lyceum, Ytyk-Kyuyol, e-mail: oksana_androsova@list.ru;⁴Churapchinsky State Institute of Physical Education and Sports, Churapcha,
e-mail: linamestnikova@gmail.com

This article presents the experience of creating a cultural and educational cluster in order to consolidate the public of the municipal district «Tattinskiy ulus» of the Republic of Sakha (Yakutia) to preserve and develop the native Yakut language, popularize the values of traditional folk culture, and form a value attitude to the spiritual heritage of the Sakha people. The advantages, goals, objectives, structure and main directions of activity are considered, the prospects of further cluster development are proposed. It is concluded that the cluster approach, which involves the integration of the traditional and the innovative, in combination with the theory of self-organization, as well as with principles based on traditional values and ideas of the Yakut national epos olonkho, creates conditions for the functional development of the language as a sociocultural factor that contributes to consolidation, integration and the formation of ethnic language identity. Successful experience of the Tatta Saidar Eigete Tatta cultural and educational cluster, recognized in 2019 as the best practice of working with the public to preserve and develop the languages of the peoples of Russia according to the results of the All-Russian contest of best practices «Languages and Culture of the Peoples of Russia: Preservation and Development», may be used in municipalities of the Republic of Sakha (Yakutia) and other constituent entities of the Russian Federation.

Keywords: native language, cultural and educational cluster, social partnership, consolidation, Tattinsky ulus

Якутский язык, являющийся государственным языком Республики Саха (Якутия), в 2009 г. был включен в Атлас языков мира, находящихся под угрозой исчезновения ЮНЕСКО. По данным Всероссий-

ской переписи населения 2010 г., число владеющих якутским языком насчитывало 450 140 человек, при этом социолингвистические исследования 2019 г. выявили снижение уровня владения якутским язы-

ком [1; 2]. Основная проблема заключается в отсутствии якутской языковой среды, сфер использования родного языка у представителей нового поколения и в снижении социокультурных функций родного языка.

Культуротворческая деятельность (в особенности фольклор, устное народное творчество) и сфера духовного общения (традиции, обычаи, обряды, ритуалы) на сегодняшний день являются теми сферами, в которых сохранились родные языки, традиционное использование которых обусловлено самой функциональной спецификой, однако локальный характер данных сфер не в состоянии инициировать языковую динамику.

Для решения данной проблемы необходима совокупность мер сознательного воздействия на функционирование языка в обществе, создание условий для функционального развития языка как социокультурного фактора, способствующего консолидации, интеграции и формированию этноязыковой идентичности.

Таттинский улус, благодаря исторически обусловленной социокультурной и демографической ситуации, является одним из наиболее благополучных районов Якутии в плане сохранения общественных функций якутского языка по всем сферам использования. Однако для сохранения и устойчивого развития родного якутского языка в Таттинском районе необходимо было объединение усилий органов государственной власти, местного самоуправления и институтов гражданского общества, включая общественные объединения.

Решение культурно-образовательных, социально-экономических проблем сохранения и развития родного языка и ценностей традиционной народной культуры инициировало в 2015 г. разработку и внедрение проекта Культурно-образовательного кластера «Таатта сайдар эйгэтэ» в муниципальном районе «Таттинский улус».

Цель исследования: изучение опыта создания культурно-образовательного кластера в целях консолидации общественности муниципального района «Таттинский улус» Республики Саха (Якутия) для сохранения и развития родного якутского языка, популяризации ценностей традиционной народной культуры, формирования ценностного отношения к духовному наследию народа саха.

Материалы и методы исследования

В работе использовались исторический, социокультурный и системный методологические подходы; методами исследования являются изучение и анализ научно-методических литературных источников, уставных

документов и отчетов о деятельности культурно-образовательного кластера.

При разработке и внедрении проекта были избраны кластерный подход (М. Портер) в сочетании с теорией самоорганизации, а также с принципами, основанными на традиционных ценностях и идеях олонхо [3]: системность и целостность; единство и разнообразие, свобода и социальная ответственность; социокультурная интеграция и индивидуализация; синхронизация «прошлого и будущего» народа саха.

Результаты исследования и их обсуждение

Преимущество создания культурно-образовательного кластера заключается в возможностях использования интеллектуальных, кадровых ресурсов, материально-технической базы, системы информационных технологий всех социальных партнеров для реализации Единого комплексного плана работы улуса по сохранению, развитию и популяризации родного языка и национальной культуры. Кластер с адекватной материальной базой, развитой системой информационных технологий и серьезным ресурсным потенциалом обеспечивает возможность консолидации и интеграции всех социальных институтов для разработки и реализации Единого комплексного плана работы улуса по сохранению, развитию и популяризации родного языка и национальной культуры.

Цель культурно-образовательного кластера: консолидация всей общественности муниципального района «Таттинский улус» для сохранения и развития родного языка, популяризации ценностей традиционной народной культуры, формирования ценностного отношения к духовному наследию народа саха.

Задачи:

- создание условий для максимального развития способностей и творческого потенциала всего населения МР «Таттинский улус» и их самореализации в различных видах деятельности на родном языке, на основе традиционных ценностей народа саха;

- привлечение финансовых и интеллектуальных инвестиций в образовательную систему для подготовки школьников с высоким уровнем языковой компетенции владения родным языком;

- повышение качества самообразования для воспроизводства образовательной системы;

- повышение уровня жизни населения и качества услуг, предоставляемых на родном языке в культурно-образовательной сфере;

- этнокультурное и педагогическое взаимодействие семьи – детского сада – школы –

социума в воспитании традиционных духовно-нравственных ценностей народа саха детей дошкольного и школьного возрастов;

– разработка основных образовательных программ детских организаций на принципах деятельностного подхода, практико-ориентированности и природосообразности;

– сочетание воспитательных методов народной и научной педагогик с наследственными (генетическими) факторами семьи, способствующих выявлению неявных форм знаний, которые тесно связаны с традиционной системой обучения и воспитания на родном языке, на основе традиционных ценностей народа саха;

– выявление и развитие одаренности детей, создание благоприятных условий, способствующих развитию задатков и способностей, раскрытию таланта каждого ребенка с малых лет, одним из важнейших условий которых является сохранение родной языковой среды.

Основой самоорганизации коренных народов, выражающейся в актуализации гражданских инициатив, должны стать осознание социальной ответственности за будущее родного языка, за судьбу своего народа, повышение личностной мотивации к изучению родных языков и культуры [4]. Социальные партнеры – участники объединены в восемь центров кластера:

1. Мандаркыһата (общеобразовательные организации, общественные объединения народных мастеров, учреждения культуры, Харбалахский образовательный центр).

2. Экоситим (Станция юных натуралистов, экологическое объединение «ЭКО-Таатта СИТИМ», общеобразовательные организации, общественные объединения, экологические клубы, лесхоз).

3. Агроситим (общеобразовательные организации, Управление сельского хозяйства, крестьянско-фермерские хозяйства, Якутская государственная сельскохозяйственная академия).

4. Педагогика олонхо (общеобразовательные организации, дошкольные образовательные организации, общественные объединения, Дом народного творчества, территориальные общественные объединения (түөлбэ)).

4. Спорт и здоровье (ОО, ДОУ, ДЮСШ, Центральная районная больница, общественные организации и объединения).

5. Историко-гуманитарный центр (ОО, МБОУ, ДОУ, ДШИ, музеи, Таттинский центральная библиотечная система, Управление социальной защиты, общеобразовательные организации, общественные объединения).

6. Техноцентр (ОО, СПО, Таттинский дом творчества «Сатабыл», Центр занятости населения).

7. Администрация МР «Таттинский улус», Совет народных депутатов МР «Таттинский улус», Улусное управление образования, Улусное управление культуры и духовного развития.

Таким образом, на сегодня Таттинский культурно-образовательный кластер «Таатта сайдар эйгэтэ» («Пространство возможностей») объединяет все общественные организации улуса по различным направлениям: мастеров народного творчества, кузнецов, объединения старейшин, мужчин, женщин, отцов, бабушек, молодых матерей, молодежи; микрообъединения по скандинавской ходьбе; объединения олонхосутов; микро-социумы наслегов; сетевое объединение «Арылы Кустук», объединяющее коллективы детских садов и школ, работающих по педагогике олонхо; сетевое объединение агрошкол; все музеи улуса; все бюджетные учреждения образования и дополнительного образования. В работу кластера вовлечены администрации муниципальных образований и производственные коллективы.

Синхронизация деятельности участников кластера в один темп мир достигается в процессе реализации комплексного плана работы, который включает 12 направлений, представленных в долгосрочных конкретных проектах:

– *образовательное*: проект «Пять китов образования» / «Үөрэҕириибэстирэҕэ»;

– *культуротворческое*: проект «Цвети и процветай, моя Таатта» / «Үүнэ, чэчирии тур, мин Тааттам»;

– *инновационное*: проект «Инновации: устойчивое развитие сельских территорий» / «Тыасирэ – санасыһыан – тирэхтээхсайдыы»;

– *консолидирующее*: проект «В единстве – сила» / «Түмсүү – төлкөтөрдө»;

– *интеграционное*: проект «В единой культурной семье» / «Аан дойдуга – биир иллээх дьиэ кэргэнинэн»;

– *здоровьесберегающее*: проект «Мое здоровье в моих руках» / «Мин доруобуйам – мин илиибэр»;

– *семейное*: проект «Семья – зеркало наслег» / «Ыалтуруга – нэһилиэксийэркилэтэ» и проект «Мужчина сотворен Творцом будущего» / «Эр киһи – олохуйгутунтутаркүүһэ»;

– *историко-биографическое*: проект «Выдающиеся личности народа саха» / «Саха саарыннара»;

– *краеведческое*: проект «Родной край – источник силы» / «Дойдубун билиим – ураты күүс»;

– *профессионально ориентированное*: проект «Человек XXI века – творец мира» / «21 үйэкиһитинүлэкиэргэттин»;

– *благотворительно-добровольческое*: проект «Человек Айыы – творит добрые дела» / «Айыыкиһитэһыныгас, күнкиһитэкөмүскэс».

Каждый из этих проектов реализуется на якутском языке, широкий спектр направлений охватывает практически все сферы деятельности сельского социума, позволяя комплексно решать проблемы расширения сфер использования родного языка, популяризации ценностей традиционной народной культуры, формирования ценностного отношения к духовному наследию народа саха.

В целях сохранения и развития родного языка, популяризации ценностей традиционной народной культуры, формирования ценностного отношения к духовному наследию народов Якутии в Таттинском районе разработаны следующие меры:

1. Организация и функционирование Школы и Ассоциации «Олонхо», проведение ряда мероприятий и мастер-классов республиканского, всероссийского и международного уровней.

2. Создание интернет-библиотеки и виртуальных музеев Черкехского историко-мемориального музея и Ытык-Кюельского литературно-художественного музея-заповедника музея «Хадаайы».

3. Создание Виртуального музея Таттинского лица имени А.Е. Мординова на якутском и русском языках.

4. Метод проектов позволяет организовать действия обучающихся в их определенной последовательности для достижения поставленной цели, личностно значимой и оформленной в виде конечного продукта.

5. Эффективное использование ИКТ, «облачных технологий» и различных интернет-площадок в процессе преподавания родного языка и литературы, способствующее формированию у обучающихся учебно-познавательных, информационных компетенций.

6. Проектные, исследовательские, дистанционные технологии способствуют созданию открытой языковой среды при изучении родной литературы, в условиях глобализации играют огромную роль в осознании детьми причастности к своему народу, в воспитании гордости за свой народ, родную культуру, традиции, обычаи [5].

7. Значимые достижения на научно-практических конференциях различного уровня доказывают эффективность кластерной работы, приоритетными факторами которой являются формирование предметных компетенций, повышение мотивации к изучению предмета и развитие личностных качеств, таких как целеустремленность, интеллект, эрудиция, коммуникабельность, мобильность.

8. Изучение произведений якутских писателей-классиков, истории и этнографии народа Саха повышает интерес к духовной

культуре и способствует формированию общекультурных, информационных и коммуникативных компетенций.

9. Результативное участие в олимпиадах по якутскому языку и литературе связано с систематической, кропотливой работой по индивидуальной программе работы с одаренными детьми. В последнее время увеличилось число участников, призеров региональной олимпиады школ президентской сети округа Заречье и 3 тура Всероссийской олимпиады школьников (республиканский суперфинал).

Перспективы развития кластера:

1. Консолидирующая кластерная политика дает новый стимул к развитию языковой и социокультурной среды и расширению спектра участников, нацеленных на единую цель сохранения и развития родного языка и ценностей традиционной культуры.

2. Интеграция традиционного и инновационного открывает новые пути профессионального роста и выхода в мир высокообразованных, креативных Личностей, воспитанных на ценностях традиционной народной культуры и духовном наследии народа саха [6].

3. Сохранение целостности, устойчивости и открытости моделирования и конструирования опережающей жизненной программы подрастающего поколения, нацеленной на созидательные деяния во благо Родины.

4. Повышение уровня проводимых мероприятий до республиканского, всероссийского, международного уровней.

5. Развитие этнокультурного туризма в МР «Таттинский улус». В 2019 г. был проведен социологический опрос (метод: анкетирование, объем выборочной совокупности: 611 респондентов) с целью выявления основных направлений развития туризма в Татте.

6. Формирование неинституциональных форм образования. Создание творческих групп («воспитательных сообществ») в дошкольных учреждениях, не только из числа родителей и воспитателей, но и из числа бабушек и дедушек, создают наиболее комфортные условия для повседневной жизнедеятельности детей. Самоорганизация родителей вокруг возможности влиять на образование детей стала одной из заметных черт общественной активности вокруг языковой ситуации в национальных республиках РФ [7]. Есть вероятность предположения, что в дальнейшем такая форма деятельности будет способствовать зарождению и формированию неинституциональной формы образования, обеспечивая

преемственность поколений, нацеленных на созидательные деяния во благо Родины.

Выводы

В 2019 г. по итогам Всероссийского конкурса лучших практик «Языки и культура народов России: сохранение и развитие» деятельность Таттинского культурно-образовательного кластера «Таатта сайдар эйгэтэ» признана лучшей практикой совместной работы с общественностью по сохранению и развитию языков народов России [8]. Таким образом, успешный опыт использования кластерного подхода в сочетании с принципами, основанными на традиционных ценностях и идеях олонхо в сохранении и развитии родного языка и ценностей традиционной культуры, реализованный в Таттинском улусе, может быть использован в муниципальных образованиях Республики Саха (Якутия) и других субъектов Российской Федерации.

Список литературы

1. Иванова Н.И. Социоллингвистические аспекты функционирования якутского языка в г. Якутске: цифры и факты: монография / отв. ред. П.А. Слепцов. М.: Языки народов мира, 2017. 260 с.
2. Иванова Н.И. Функциональный статус якутского языка в Республике Саха (Якутия) // Филологические науки. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2019. № 12. С. 182–187.
3. Чехордуна Е.П. Этнокультурные основы педагогики олонхо: монография. Киров: МЦНИП, 2013. 118 с.
4. Местникова А.Е. Общественные организации коренных народов как субъект языковой политики региона // Общество: социология, психология, педагогика. 2017. № 11. С. 55–57.
5. Гарипов Я.З. Проектное управление функциональным развитием языков: пример развития Республики Татарстан // Вестник экономики, права и социологии. 2016. № 2. С. 246–251.
6. Сивцева И.А. Модель системы образования народа саха в учении кузнеца МандарУус // Этнокультурное образование в Дальневосточном федеральном округе Российской Федерации: коллективная монография / М-во образования Респ. Саха (Якутия), ФГБНУ «Ин-т нац. шк. респ. Саха (Якутия)»; [сост.: д.соц.н., к.псих.н., проф. У.А. Винокурова]. Якутск: Медиа-холдинг «Якутия», 2015. С. 267–276.
7. Арутюнова Е.М. Этнолингвистические противоречия в школьном образовании в российских республиках // Социологическая наука и социальная практика. 2018. Т. 6. № 4. С. 64–71. DOI: 10.19181/snsp.2018.6.4.6084.
8. Сборник лучших практик по итогам конкурса лучших практик в рамках цикла общероссийских и межрегиональных информационных и практических мероприятий «Языки и культура народов России: сохранение и развитие». [Электронный ресурс]. URL: http://языкинародов.рф/docs/documents/Best_Practices_Collection.pdf (дата обращения: 17.03.2020).

УДК 378.147.31

ГЕНДЕРНЫЙ ПОДХОД В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ АРХИТЕКТОРОВ

¹Столярчук Л.И., ²Самойлова Н.В., ¹Бочарникова Н.В.

¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет»,
Волгоград, e-mail: lisgender-vspu@mail.ru, bocharnikoff@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: n0013@mail.ru

Статья посвящена изучению возможностей и целесообразности применения гендерного подхода в профессиональном архитектурном образовании. Описаны результаты проведенного педагогического исследования по реализации гендерного подхода в профессиональной подготовке будущих архитекторов в ходе изучения дисциплин учебных курсов направления подготовки 07.03.01 «Архитектура». Авторами поставлена цель – теоретически обосновать и экспериментально проверить целесообразность гендерной ориентированности содержания подготовки будущих архитекторов. Для достижения поставленной цели решались задачи: выявить уровни гендерной просвещенности будущих архитекторов (поисково-диагностический этап); спроектировать и реализовать гендерно ориентированные курсы профессиональной подготовки будущих архитекторов (проектно-процессуальный этап); провести анализ и оценку полученных результатов экспериментальной работы по усилению гендерного аспекта в программах учебных дисциплин архитектурного образования (рефлексивно-оценочный этап). Первый – поисково-диагностический этап позволил выявить уровни гендерной просвещенности (шаблонный, нормативный, творческий). На втором, проектно-процессуальном этапе произошло повышение уровней гендерной просвещенности будущих архитекторов благодаря авторским гендерно ориентированным курсам «История пространственных искусств (градостроительство)» и «Методология градостроительного проектирования». На третьем, рефлексивно-оценочном этапе студенты закрепили полученные гендерные знания, рефлексировали гендерные стереотипы окружающих и свои собственные гендерные предрассудки, стремились к их преодолению. Оценка и анализ полученных результатов исследования позволяют вносить коррективы в проектирование и реализацию гендерного подхода в профессиональной подготовке будущих архитекторов в системе высшего архитектурного образования.

Ключевые слова: гендерный подход, профессиональная подготовка, будущие архитекторы, гендерные стереотипы, гендерное равенство

GENDER APPROACH IN TRAINING FUTURE ARCHITECT

¹Stolyarchuk L.I., ²Samoilova N.V., ¹Bocharnikova N.V.

¹Volgograd State Socio-Pedagogical University, Volgograd,
e-mail: lisgender-vspu@mail.ru, bocharnikoff@mail.ru;

²Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: n0013@mail.ru

The Article is devoted to the study of opportunities and expediency of gender approach application in professional architectural education. The article describes the results of the pedagogical research on the implementation of gender approach in the professional training of future architects in the course of studying the disciplines of training courses of the direction of training 07.03.01 «Architecture». The authors set a goal-to theoretically justify and experimentally verify the feasibility of gender orientation of the content of training of future architects. To achieve this goal, the tasks were solved: to identify the levels of gender education of future architects (search and diagnostic stage); to design and implement gender-oriented training courses for future architects (design and procedural stage); to analyze and evaluate the results of experimental work to strengthen the gender aspect in the programs of educational disciplines of architectural education (reflexive evaluation stage). The first search and diagnostic stage allowed to reveal the levels of gender education (formulaic, normative, creative). At the second design-procedural stage, there was an increase in the level of gender education of future architects thanks to the author's gender-oriented courses «History of spatial arts (urban planning)» and «Methodology of urban design». At the third reflexive evaluation stage, students consolidated their gender knowledge, reflected the gender stereotypes of others and their own gender biases, and sought to overcome them. Evaluation and analysis of the results of the study allow to make adjustments in the design and implementation of the gender approach in the professional training of future architects in the system of higher architectural education.

Keywords: gender approach, professional training, future architects, gender stereotypes, gender equality

Современное образование не может существовать изолированно, вне контекста социальных изменений, происходящих в обществе. Политика гендерного равенства, направленная на демократические преобразования, проводится сегодня в европейских странах и России. Она разрушает традиционный гендерный порядок, отличавшийся строгой иерархией власти

мужчин над женщинами на протяжении веков, который являлся ориентиром в воспитании у молодежи норм отношений полов. Однако жизнь современных мужчин и женщин стала динамичнее и разнообразнее, расширился диапазон индивидуального выбора профессий, стратегий поведения в производственной гендерной коммуникации [1].

Анализ научной литературы и практики в архитектурном образовании и сфере архитектуры позволил нам выдвинуть предположение о том, что гендерно ориентированное содержание подготовки будущих архитекторов позволит повысить уровень гендерной просвещенности студентов и создаст предпосылки для их дальнейших профессиональных успехов посредством преодоления гендерных стереотипов. В этой связи в нашем исследовании была выдвинута *цель* – теоретически обосновать и экспериментально проверить целесообразность гендерной ориентированности содержания подготовки будущих архитекторов. Для достижения выдвинутой цели были поставлены следующие *задачи*: 1 – выявить уровни гендерной просвещенности будущих архитекторов (поисково-диагностический этап); 2 – спроектировать и реализовать гендерно ориентированные курсы профессиональной подготовки будущих архитекторов, способствующие повышению их гендерной просвещенности, расширяющие возможности самореализации в профессиональной деятельности (проектно-процессуальный этап); 3 – провести анализ и оценку полученных результатов экспериментальной работы по усилению гендерного аспекта в программах учебных дисциплин архитектурного образования (рефлексивно-оценочный этап).

Материалы и методы исследования

Гендерный подход, появившийся как альтернатива традиционным патриархальным установкам, направлен на осуществление политики гендерного равенства. В системе образования предполагается создание равных условий как для мужчин, так и женщин, обеспечивающих самореализацию обучающихся независимо от их половой принадлежности, привлечение к различным видам деятельности, овладению современными профессиями, в том числе и профессией архитектор, пока еще непривычной для женщин, недостаточно одобряемой обыденным сознанием общества. Гендерный подход в системе высшего образования сегодня исследуют (Е.Н. Каменская, И.С. Клецина, О.И. Ключко, Л.И. Столярчук, Л.В. Штылева и др.). Их работы посвящены разработке психологического инструментария в подготовке студентов к реализации гендерного подхода в вузе [2], методологии подготовки к реализации гендерного подхода: «Гендерный подход помогает будущим педагогам проектировать целостный образовательный процесс... учитывая гендерные трансформации в обществе и образовании, развивать способность к критическому осмыслению педагогической реальности, преодолению

гендерных стереотипов в общении, ориентироваться на реализацию индивидуальных способностей» [3, с. 24]. Исследователи под гендерно ориентированным образованием понимают «специально организованное взаимодействие субъектов образовательного процесса», «наполняемость его гендерным содержанием», «соблюдение принципа эгалитаризма, культивирование ценностей гендерного равенства» [4, с. 166]. Однако работ, посвященных специфике подготовки будущих архитекторов на основе гендерного подхода, в отечественных исследованиях мы не обнаружили. Зарубежными авторами поднята данная проблема [5; 6], однако она требует дальнейшего изучения, уточнения возможностей в различных образовательных условиях, на что и обращены наши научные поиски.

В ходе предварительных опросов студентов 1–3 курсов Института архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «ВолгТУ» в ходе случайной выборки была выявлена низкая гендерная просвещенность будущих архитекторов, как женщин, так и мужчин, которая сопровождается отсутствием веры мужчин в успех женщин-архитекторов, а у женщин – будущих архитекторов – веры в себя, традиционным тиражированием гендерных стереотипов, препятствующих достижению женщинами успехов в избранной профессии.

Анализ полового состава в сфере архитектуры показал динамику изменений, произошедших в течение последних 50 лет при выборе абитуриентами профессии архитектор. Если 25 лет назад такое соотношение составляло около 75% мужчин к 25% женщин, то в настоящее время соотношение в исследуемых группах составило: 68% женщин к 32% мужчин. Но, несмотря на получение архитектурно-строительного образования, только десятки остаются в профессии и лишь единицы самых смелых, талантливых и решительных женщин впоследствии возглавляют архитектурные фирмы, «пробиваются к профессиональным вершинам» наравне с мужчинами.

В нашей экспериментальной работе приняли участие студенты 3-х курсов (средний возраст 21 год) Института архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», по направлению 07.03.01 «Архитектура»: 2016 г. набора – 54 женщины и 26 мужчин (80 человек) – экспериментальная группа; 2015 г. набора – 49 женщин и 30 мужчин (79 человек) – контрольная группа. Общее количество студентов в экспериментальной и контрольной группах составило 159 человек.

Таблица 1

Оценка студентами различных типов неравенства в отношениях преподавателей

Тип неравенства	Результат, %	женщины/мужчины
Сталкивались ли вы с неравенством отношения, связанным с половой принадлежностью?	47	женщин
Сталкивались ли вы с неравенством отношения по национальной принадлежности?	20	женщин и мужчин
Сталкивались ли вы с неравенством отношения по другим причинам?	11	женщин и мужчин

Таблица 2

Предпочтения студентов по половой принадлежности преподавателей

Направление подготовки	Не имеет значения, %	Предпочли бы преподавателя женского пола, %	Предпочли бы преподавателя мужского пола, %
Композиция	80	18	2
Математический блок подготовки (предметы, связанные с расчетами)	82	5	13
Лекционные курсы теоретической подготовки	82	15	3
Архитектурное проектирование	78	7	15

На *первом, поисково-диагностическом этапе* исследования проводилось тестирование по опроснику С. Бем, адаптированному к нашему исследованию, в котором студентам задавались вопросы об их отношении к маскулинности, фемининности. Предлагалось из 60 предложенных качеств выбрать наиболее значимые, которыми должны обладать современные женщины и мужчины. Повторяющиеся в равной степени ответы по шкале маскулинности и фемининности позволяли выявить отношение студентов к андрогинности, как универсальной характеристике, важной сегодня как для мужчин, так и для женщин. Студентам также был предложен опросник Л.Н. Ожиговой, позволивший выявить неосознаваемые и осознаваемые гендерные установки и стереотипные предубеждения. Анализ авторского анкетирования «Я – будущий архитектор», включенного наблюдения, бесед и корреляций полученных данных способствовал выявлению исходных уровней гендерной просвещенности студентов.

Выполняя самостоятельное задание «Любимые архитекторы», студенты выбрали 24 архитектора, среди которых 23 мужчины и 1 женщина (Заха Хадид). Это подтверждало тот факт, что сегодня мир архитекторов глазами студентов имеет мужское лицо. Эта проблема существует не только в конкретном, исследуемом университете, но и во многих университетах мира. Как показывают различные опросы, основные проблемы связаны с неравенством оплаты труда мужчин и женщин и сексуальной дискриминацией [7].

В ходе исследования было установлено, что преподаватели мужского пола негативно относятся к студентам женского пола. Степень негативного отношения варьируется от легкой до достаточно жесткой формы – например, «место женщины на кухне, а не в архитектуре» (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, 78% опрошенных студентов сталкивались с различными типами неравенства. Лидирующее место (47%) занимает неравенство отношения к студентам, связанное с половой принадлежностью. Такая позиция преподавателей усиливает негативное отношение студентов мужского пола к будущей профессии – архитектор в лице женщины. Несмотря на то что женщины, выбравшие эту профессию, проявляют к ней интерес, негативное отношение со стороны мужской группы внутренне подавляет их, подрывает веру в их возможности.

Изучались предпочтения студентов к полу преподавателей. Наряду с толерантным отношением, наблюдались также и предпочтения относительно пола в зависимости от направления подготовки (табл. 2).

Следует дополнить данные последней строки табл. 2 тем, что в исследуемой группе студентов за 3 года обучения по дисциплине «Архитектурное проектирование» у 45% опрошенных преподавали дисциплину исключительно мужчины. Общее соотношение преподавателей по дисциплине по исследуемому курсу составило 64% мужчин к 36% женщин. Дискриминационное отношение к преподавателю-женщине обнаружилось в том, что студенты сомне-

ваются в профессионализме преподавателя-женщины, не доверяют ей так, как мужчины. Когда студенты видят в преподавателе не просто человека, а мужчину или женщину, таким образом, проявляются традиционные гендерные предубеждения.

Анализ гендерной просвещенности студентов – будущих архитекторов показал, что низкий уровень наблюдается не только у мужской части группы, но и у женской. Низкий уровень – шаблонный (38%), характеризовался общими «житейскими» представлениями, гендерными стереотипами, поверхностными шаблонными гендерными знаниями или их отсутствием. Студенты со средним – нормативным уровнем гендерной просвещенности составили 62%. Они обладали определенными научно-теоретическими гендерными знаниями, познавательной активностью, но недостаточными умениями по реализации гендерного подхода в образовании, в разрешении гендерных конфликтов. Студентов с высоким уровнем гендерной просвещенности не было обнаружено. Выявленные уровни гендерной просвещенности (шаблонный, нормативный и творческий) явились основанием для проектирования гендерно ориентированных курсов профессиональной подготовки будущих архитекторов, которые осуществлялись на аудиторных, внеаудиторных занятиях в вузе и в периоды производственных практик.

В этой связи на *втором, проектно-процессуальном этапе* исследования осуществлялось проектирование и реализация гендерно ориентированного процесса профессиональной подготовки будущих архитекторов, в центре которого стояло гендерное просвещение студентов. Под гендерным просвещением исследователи понимают передачу обучающимся основ гендерных знаний, информирование их о существующих проблемах в сфере гендерных отношений, средствах преодоления возникающих гендерных проблем и конфликтов, направленных на достижение гендерного равенства (О.И. Ключко, Л.И. Столярчук, Л.В. Штылева).

Мы знакомили студентов – будущих архитекторов с тенденциями, происходящими в мире, характеризующимися все большим признанием женщин во всех сферах жизни, включая архитектуру. Мы подчеркиваем, что начиная с 2010 г. не менее одной из пяти наград в области архитектуры в США получили женщины. На основании данных Национального центра статистики образования (NCES), 41 % (10 893 степени) от общего числа архитектурных степеней в 2012–2013 гг. были присуждены женщинам. Это доказывает, что, несмотря на существующие сложности, отдельные женщины активно стре-

мятся к освоению профессии архитектор и успешной в ней карьере. Однако данная информация недостаточно широко популяризируется, поэтому и была включена нами в содержание гендерного просвещения.

На втором этапе исследовательской работы нами был разработан курс «История пространственных искусств (градо-строительство)» и «Методология градо-строительного проектирования» на основе гендерного подхода. Задачами проектируемых курсов, наряду с основными профессиональными задачами, предполагалось гендерное просвещение, включающее: информирование студентов о достижениях женщин-архитекторов, добившихся вершин мировой известности; знакомство с понятием «гендер»; формирование ценностного отношения к идее гендерного равенства в профессиональной деятельности будущих архитекторов. В рамках разработанных курсов в 5–6 семестрах происходило информирование студентов о достижениях женщин-архитекторов, включающее дополнительные сведения о Захе Хадид, имя которой в переводе с арабского означает «блистательная» (араб. *حديدها* англ. Dame Zaha Mohammad Hadid, 1950–2016), призере Притцкеровской премии (2004) – аналоге Нобелевской премии в архитектуре. Уточняем, что она представляет параметрическую архитектуру, нарушающую традиционные пропорции и, казалось бы, законы геометрии своими необычными сооружениями. Мы также знакомим студентов с другими известными именами: Франсиной Хубен (Francine Houben, 1955 г. рожд.); спроектированные ею сооружения гармонично вписываются в объекты окружающей среды; она активно работает сегодня над незавершенными проектами (Нью-Йоркская публичная библиотека, Северная станция городского дизайна, Шэньчжэнь, Тайнаньская публичная библиотека). Студенты в ходе самостоятельных заданий находят интересную для них информацию о неординарной француженке Одиль Декк (Odile Decq, 1955 г. рожд.), зарекомендовавшей себя в профессии необычными формами и высокими технологиями, создавшей собственную архитектурную школу, спроектировавшей Музей современного искусства (Италия), фонд архитектуры современного искусства (Франция), ресторан «Фантом» в здании парижского «Гранд-Опера», отличающиеся современным ярким интерьером, который гармонично сочетается с традиционной классической архитектурой. Студенты обнаруживают информацию о своих будущих коллегах: Винке Дубблдам (Winka Dubbeldam, 1966 г. рожд.), сооружения по проектам которой выглядят причуд-

ливыми и кажутся неустойчивыми; Элизабет Диллер (Elizabeth Diller, 1954 г. рожд.), знакомой москвичам по столичному парку «Зарядье» (архитектор с художественным видением в сотрудничестве с партнером и мужем архитектором Рикардо Скофидио, балансирующих на грани архитектуры и заволаживающего арт-шоу). После награждения в 2018 г. журналом Time Элизабет Диллер, входящая в 100 самых влиятельных людей мира, с радостью отметила, что индустрия архитектуры, наконец, начинает делать шаги в направлении гендерного равенства [8]. Студенты – будущие архитекторы с удовольствием презентуют собранную информацию своим сокурсникам в ходе лекций и практических занятий.

Формирование ценностного отношения к идее гендерного равенства, ее реализации в профессиональной деятельности будущих архитекторов осуществляется в ходе осмысления ими информации о мировых достижениях женщин в архитектуре наряду с мужчинами, анализа международного опыта по внедрению гендерного подхода в образовании, различных сферах исследовательской и художественно-творческой деятельности [9]. В процессе изучения курса «История пространственных искусств (градостроительство)» и «Методология градостроительного проектирования» на протяжении 5–6 семестров обучения студенты 3 курсов Института архитектуры строительства ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» используют следующие средства реализации гендерного подхода: ретроспективный анализ развития архитектурного образования для женщин наравне с мужчинами в контексте выполняемого архитектурного проекта; рассмотрение профессиональных проблем в русле изучаемой темы с учетом гендерного аспекта (например, сооружения Древнего мира – особенности планировки помещений для проведения досуга мужчин; ставятся во-

просы: были ли объекты для досуга женщин, каковы были предназначение помещений и декор для женщин?); дискуссии о роли каждого пола в развитии архитектуры и градостроительства (например, роль княгини Ольги (X век) и Елены Глинской (XVI век) в развитии градостроительной деятельности русского государства); презентации заданий самостоятельной работы, направленные на гендерное измерение дисциплины (например, с помощью сравнительного анализа при изучении планировки архитектурного объекта сопоставляются потребности каждого пола: как они проектировались в различные исторические периоды и как трансформированы в настоящее время); достижение гендерного баланса предлагалось обеспечить студентами при самостоятельном поиске научной литературы (подбор авторов трудов по истории архитектуры и градостроительству требовался в равном соотношении полов: один автор – мужчина, другой автор – женщина); использование понятия «гендер» не как изолированной категории, а реализуемой в контекстах современных реалий: мужской и женской социальных групп, универсальных профессий, важных как для женщин, так и мужчин, и др.

На *третьем, рефлексивно-результативном этапе* исследования студенты ИАиС ВолгГТУ рефлексировали полученные гендерные знания, осуществляли критический анализ гендерных предубеждений, проявляемых окружающими людьми, выявляют также свои собственные гендерные стереотипы и стремятся к их преодолению. Выйдя на производственную практику в институт «Волгоградгражданпроект», научно-исследовательский и проектный институт «Русстройпроект», Архитектурное бюро Александра Бузова и др., студенты приходят к выводу, что в период обучения в вузе гендерные стереотипы присутствуют, но в производственной деятельности они еще более сильны и устойчивы (табл. 3).

Таблица 3

Факторы влияния на рейтинговую оценку студента и карьерный рост в предстоящей профессиональной деятельности

Вопрос	Результат
Какие факторы влияют на рейтинговую оценку студента?	Посещение 28,6% Работа на занятии 28,9% Качество, выполненных заданий 32,8% Пол 5,4% Национальность 4,4%
Какие факторы влияют на карьерный рост?	Профессионализм 29,5% Коммуникабельность 28,5% Услужливость 20,8% Пол 12,3% Национальность 8,9%

На третьем этапе исследования в образовательном процессе вуза в период прохождения профессионального гендерно ориентированного курса продолжали создаваться условия гендерно чувствительной образовательной среды к любым дискриминационным проявлениям, касающимся признаков пола, ситуации востребованности и накопления личностного опыта эгалитарных равноценных гендерных профессиональных взаимоотношений – взаимоуважения, партнерства и сотрудничества.

Результаты исследования и их обсуждение

В заключение эксперимента анализировались результаты с помощью повторной диагностики: тестирования, анкетирования, наблюдения, бесед и сравнения результатов с данными, полученными на первом, поисково-диагностическом этапе исследования. В конце 6 семестра была проведена диагностика контрольной группы, в которой профессиональный курс проводился без гендерной ориентации, затем в экспериментальной группе, где проводились занятия по гендерно ориентированному профессиональным курсам. Сравнение результатов итогового контроля в экспериментальной и контрольной группах показало, что в контрольной группе отсутствовали студенты с *высоким и средним уровнем гендерной просвещенности*. В экспериментальной группе в начале эксперимента студентов с *высоким уровнем гендерной просвещенности* не было обнаружено, но после прохождения гендерно ориентированных профессиональных курсов их стало 14% (11% женщин и 3% мужчин). Студенты вы-

сокого (творческого) уровня могли развести понятия «пол» биологический и «гендер» – социальный пол. Они понимали их принципиальное различие, могли анализировать исследовательские позиции, суть теоретических положений и аргументировать – к какой парадигме они относятся: биолого-эволюционной – патриархальной, традиционной или социально-конструктивистской – современной, перспективной; были готовы к эгалитарным гендерным взаимоотношениям в будущей профессиональной деятельности, творчеству, вариативности, диалогу в решении гендерных проблем. Студентов *со средним (нормативным) уровнем* гендерной просвещенности стало 77% (51% женщин и 26% мужчин). Студенты данной группы уже обладали определенными научно-теоретическими гендерными знаниями, познавательной активностью, но пока не могли достаточно адекватно применять понятие «гендер» в образовательной практике, разрешать конфликтные гендерные ситуации. Студентов *низкого (шаблонного) уровня* осталось 9% (из них 7% мужчин и 2% женщин). Они характеризовались поверхностными шаблонными гендерными знаниями, ограниченными в понимании термина «гендер» стереотипными представлениями о взаимозависимости биологических различий мужчины и женщины и объяснениями этой зависимости их «природным предназначением» в обществе, профессии; некоторые женщины дополнили ответы сомнением о гендерном равноправии в современной семье «мужчина все-таки должен быть чуть главнее» и т.п.; в гендерном самосознании студентов еще были сильны и устойчивы гендерные предрассудки (табл. 4).

Таблица 4

Обобщенные показатели по уровням гендерной просвещенности студентов после гендерно ориентированного курса

Вопросы	Ответы		
Какой смысл Вы вкладываете в понятие «гендер»?	9% – низкий (шаблонный) уровень. Стереотипные представления о взаимообусловленности биологических различий м. и ж. и их «природном предназначении» в обществе, профессии	77% – средний (нормативный) уровень. Определенные научно-теоретические гендерные знания есть, но недостаточно опыта в применении понятия «гендер» в образовательной практике	14% – высокий (творческий) уровень. Понятие «гендер» – социальный пол – радикальный переход к социально-конструктивистской парадигме, отделяющей биологический «пол» в русле биолого-эволюционной парадигмы
Что Вы понимаете под гендерным равенством в профессиональной деятельности?	Студенты данной группы затруднились с ответом	Студенты данной группы признают, что в архитектурной и градостроительной деятельности в России пока доминируют мужчины, и относят это к проблеме гендерного неравенства. И понимают, что для достижения гендерного равенства ж. нужно стремиться состоять в профессии, а м. не препятствовать ж.; тем и другим преодолевать гендерные стереотипы	Студенты данной группы ориентированы на самореализацию в профессии, творчество, вариативность, диалог независимо от половой принадлежности будущих коллег, исходя из потенциала их индивидуальности; нацелены на гендерное равенство в архитектурном образовании, достижение успеха в будущей профессии

Окончание табл. 4			
Вопросы	Ответы		
Замечали ли Вы у себя гендерные стереотипы?	Студенты данной группы затруднились с ответом	Студенты приводят примеры обнаруженных у себя гендерных предубеждений	Студенты рефлексируют, выявляя у себя гендерные предубеждения и намечают пути их преодоления

Выводы

Подводя итог проведенного исследования, мы не испытываем иллюзий относительно того, что будущие архитекторы сразу стали гендерно просвещенными, патриархальные взгляды поменяли на эгалитарные. Однако будущие архитекторы узнали и задумались о существующей в обществе проблеме гендерного неравенства в области архитектуры, признали ее существование и перестали быть отстраненными от нее. Большая часть студентов, 91 % (представители групп среднего и высокого уровней), ориентированы на дальнейшее осмысление гендерных проблем в сфере архитектуры и поиск новых средств к их разрешению.

В заключение отметим, что в ходе первого, поисково-диагностического этапа подобранный, адаптированный к нашему исследованию и частично разработанный диагностический инструментарий (тестирование по опроснику С. Бем, опроснику Л.Н. Ожиговой, авторское анкетирование «Я – будущий архитектор», беседы и др.) позволили выявить уровни гендерной просвещенности будущих архитекторов (шаблонный, нормативный и творческий). На втором, проектно-процессуальном этапе спроектированные и реализованные гендерно ориентированные курсы профессиональной подготовки будущих архитекторов способствовали повышению уровней гендерной просвещенности студентов (низкий – было 38 %, стало 9 %; средний – было 62 %, стало 77 %; высокий – было 0 %, стало 14 %). Благодаря обогащению гендерным содержанием курсов «История пространственных искусств (градоостроительство)» и «Методология градоостроительного проектирования», реализованному в сотрудничестве со студентами, была создана гендерно чувствительная образовательная среда на занятиях, способствовавшая культивированию ценностей гендерного равенства, эгалитарных гендерных взаимоотношений. На третьем, рефлексивно-оценочном этапе, когда закреплялись, осмысливались, полученные гендерные знания, проводился анализ, оценка полученных результатов, осуществлялась корректировка проекта, стимулировалось

самостоятельное критичное мышление студентов по отношению к гендерным стереотипам в архитектурном образовании и предстоящей профессиональной деятельности. В качестве главного профессионально-личностного результата мы определили – стремление будущих архитекторов к саморефлексии собственных гендерных предубеждений и их преодолению.

Таким образом, архитектурная и градостроительная деятельность в России действительно сегодня относится к сфере, в которой пока доминируют мужчины, проблема гендерного неравенства существует и в системе архитектурного образования. Проведенное исследование подтвердило целесообразность гендерной ориентированности содержания подготовки будущих архитекторов, способствующего повышению гендерного самосознания, расширяющего возможности самореализации в профессиональной деятельности на основе идеи гендерного равенства. Предложенный и примененный инструментарий диагностирования, разработанные показатели уровней (шаблонного, нормативного, творческого) гендерной просвещенности студентов, подобранные и структурированные гендерно ориентированные содержание профессиональных курсов могут использоваться в формировании содержательного наполнения программ других учебных дисциплин для реализации гендерного подхода в профессиональной подготовке будущих архитекторов в системе высшего архитектурного образования.

Список литературы

1. Stolyarchuk L.I., Stolyarchuk I.A., Chumakov V.I. Gender-related specifics of communication in the work place. IOP Conference Series Materials Science and Engineering (1st International Scientific Practical Conference on Breakthrough Technologies and Communications in Industry, BTCI 2018, Volgograd State University Volgograd, Russian Federation, 20–21 November 2018). 2019. Vol. 483. P. 012063.
2. Гендерная психология. Практикум. 2-е изд. / Под ред. И.С. Клециной. СПб.: Питер, 2009. 496 с.
3. Столярчук Л.И. Методология целостности в понимании и реализации гендерного подхода в образовании // Известия Волгогр. гос. пед. ун-та. Сер. «Педагогические науки». 2017. № 3 (116). С. 23–27.
4. Сухорукова Н.А. Педагогические условия организации гендерно ориентированного образовательного процесса: дис. ... канд. пед. наук. Ростов-на-Дону, 2013. 220 с.

5. Chang L.C. Where Are the Women? Measuring Progress on Gender in Architecture. Association of Collegiate Schools of Architecture (ACSA), October 2014. [Electronic resource]. URL: <https://www.acsa-arch.org/resources/data-resources/where-are-the-women-measuring-progress-on-gender-in-architecture/> (date of access: 17.03.2020).
6. Tether B. Results of the 2016 Women in Architecture Survey revealed. The Architectural Review, 26 february, 2016. [Electronic resource]. URL: <https://www.architectural-review.com/essays/results-of-the-2016-women-in-architecture-survey-revealed/10003314.article> (date of access: 17.03.2020).
7. Murgia A., Poggio B. Il progetto GARCIA – Università e Ricerca in ottica di Genere: superare le asimmetrie e l'instabilità lavorativa // S. Avveduto, M.L. Paciello, T. Arrigoni, C. Mangia, L. Martinelli eds. Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve, CNR-IRPPS: e-Publishing, 2015. P. 247–252.
8. Архитектор Лиз Диллер получила Jane Drew 2019. Интерьер + Дизайн [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interior.ru/architecture/5526-arkhitektor-liz-diller-poluchila-jane-drew-prize-2019.html> (дата обращения: 17.03.2020).
9. Hofman A., Trbovc J.M. Gender Dimension in Research and Curriculum: 12 SSH and STEM test institutions, 2013–2014. Gendering the Academy and Research: combating Career Instability and Asymmetries. University of Trento. 2015. P. 194.

УДК 372.862

СОЦИАЛЬНЫЕ, ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ТРУДНОСТЕЙ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ СТУДЕНТАМИ

Фокин Р.Р.

ФГКБОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,
Санкт-Петербург, e-mail: rrfokin@yandex.ru

По тематике данная статья является продолжением предыдущих статей того же автора, где в качестве ведущих причин трудностей преподавания и изучения математики и программирования в настоящее время рассматривались причины психологические во взаимосвязи с социальными. В окружающем нас социуме (в частности, в России) люди с преобладающей способностью мгновенно оценивать ситуацию в целом на невербальном интуитивном уровне (художественный, правополушарный тип) имеют ведущие социальные преимущества перед людьми с преобладающей способностью к вербальному анализу ситуации, например в виде формальных логических выводов (мыслительный, левополушарный тип). Это характерно для последних 3 десятилетий. В 1960-е гг. было иначе. Сейчас в результате эволюции доля первых растет, а доля вторых падает. Но способностями к математике и программированию обладают преимущественно вторые, а не первые! Заметим, что и существующие методики обучения ориентированы именно на вторых. Привнесение образности в методику обучения математике и программированию помогло бы снизить остроту отмеченных проблем. Рассматриваются некоторые характерные особенности мышления правополушарных людей, такие как фрагментарность и ассоциативность. Также обсуждаются и причины указанных выше трудностей, высказываемые другими авторами. Среди них введение Единого государственного экзамена, других научно не обоснованных новаций, как, например, преподавание высшей математики в средней школе, внедрение в высшей и средней школе дисциплин, адекватность содержания которых сомнительна.

Ключевые слова: методика обучения, математика, информатика, программирование, виды мышления, образность обучения, асимметрия мозга

SOCIAL, PSYCHOLOGICAL AND METHODOLOGICAL REASONS FOR THE DIFFICULTIES OF STUDYING MATHEMATICS AND PROGRAMMING BY MODERN STUDENTS

Fokin R.R.

*Federal State Public Military Institution of Higher Education
«Military space Academy named after Mozhaisky», Saint-Petersburg, e-mail: rrfokin@yandex.ru*

This article is a continuation of previous articles by the same author, where the leading causes of difficulties in teaching and learning mathematics and programming are currently considered psychological reasons in relation to social ones. In the society around us (in particular, in Russia), people with the predominant ability to instantly assess the situation as a whole on a nonverbal intuitive level (artistic, right-hemisphere type) have leading social advantages over people with the predominant ability to verbally analyze the situation, for example, in the form of formal logical conclusions (mental, left-hemisphere type). This is typical for the last 3 decades. In the 60 years of the XX century, it was different. Now, as a result of evolution, the share of the former is growing, while the share of the latter is falling. But the ability to math and programming have mainly the second, not the first! Note that the existing training methods are focused on the latter. Adding imagery to the methodology of teaching mathematics and programming would help reduce the severity of these problems. Some characteristic features of right-brain thinking, such as fragmentation and associativity, are considered. The reasons for the above difficulties expressed by other authors are also discussed. Among them, the introduction of a Unified State Exam, and other scientifically unsubstantiated innovations, such as the teaching of higher mathematics in secondary schools, and the introduction of disciplines in higher and secondary schools whose adequacy is questionable.

Keywords: teaching methods, mathematics, computer science, programming, types of thinking, learning imagery, brain asymmetry

Актуальность рассматриваемой тематики обусловлена очень большими трудностями обучения студентов (и школьников тоже) различным дисциплинам из области математики, а также программированию. Несмотря на внедрение многочисленных новаций в последние 2–3 десятилетия, результаты обучения математике и программированию становятся все хуже. Изучение других негуманитарных дисциплин, например физики, компьютерной графики и других, с такими значительными трудностями не связано.

Цель исследования: выяснить причины отмеченного выше явления. Зная их, можно предлагать пути решения соответствующих проблем. Эти причины многочисленны и разнообразны.

Материалы и методы исследования

В настоящее время указанное выше явление широко обсуждается [1–3] вместе с другими проблемами современного российского образования. Данная статья является продолжением других [4, 5] наших ста-

тей. Также она развивает некоторые идеи [6] наших коллег по преподаванию математики и информатики. Используются материалы по психологическим исследованиям [7, 8] межполушарной асимметрии мозга (МАМ) и типологии мышления В.М. Теплова [5] и Л.М. Веккера [9].

Некоторые наши выводы сделаны на основе анкетирования за последние 30 лет сотен студентов различных специальностей и направлений нескольких вузов Санкт-Петербурга. Для математической обработки исследований использовались непараметрические методы математической статистики. Математические расчеты велись с помощью статистических пакетов прикладных программ IBM SPSS&Statistica, а также с помощью приложений Microsoft Excel и VBA. Учитывая значительное количество (сотни) проанкетированных студентов, вероятность того, что наши выводы ошибочны, не превосходит 10^{-16} .

Метод индукции (путь от частных примеров к общим выводам) в данной и в указанных выше [4, 5] наших статьях существенно преобладает над дедукцией (путем от общих выводов к частным примерам), что объясняется исследовательским и гуманитарным характером этих статей. Только в точных науках может преобладать дедукция. Указанные ниже частные примеры являются необходимым для индукции научным материалом. Иначе откуда возьмутся наши теоретические выводы?

Результаты исследования и их обсуждение

Современный студент чаще всего имеет плохую школьную базовую подготовку [1, 2] по математике и по другим предметам, причем она ухудшается год от года. В это можно поверить, приводится [3] соответствующая статистика. В качестве причин называют непродуманную реализацию многочисленных «новаций». Веками сложилось так, что в вузе изучали высшую математику, а в школе – элементарную, под это была «заточена» методика преподавания. Сегодня школьников заставляют брать производные и интегралы, решать дифференциальные уравнения. Автор лично писал отзыв на автореферат диссертации о введении элементов высшей математики в младшей школе, также видел авторефераты диссертаций о введении в общеобразовательной средней школе обучения экономики, изучения приемов «правильного секса» и т.п. Современный школьник перегружен! В результате большинство выпускников средней школы не умеют считать устно, не умеют преобразовать простейшие алгебраические выраже-

ния, не знают основ геометрии на плоскости, не говоря о решении дифференциальных уравнений. Актуальны были бы диссертации об исключении из школьной программы некоторых предметов. «Лучше меньше, да лучше», – говорил наш вождь начала XX в. В.И. Ульянов (Ленин).

Введение обязательного Единого государственного экзамена (ЕГЭ) по окончании средней школы принято считать важнейшей причиной ухудшения качества образования в современной России. Мы согласны с мнением С.Е. Рукшина [2] – внедрение ЕГЭ несколько лет назад было ошибкой, но отмена его сейчас тоже была бы ошибкой. К этому мы добавили бы 2 замечания. Замечание 1: в настоящее время ЕГЭ принимает компьютер, если тест проводится по закрытой (жесткой) форме; если необходима открытая (мягкая) форма теста, то ЕГЭ принимает преподаватель, в этом случае не могут быть исключены субъективность оценки и даже коррупция. Всякая личность имеет и объективную, и субъективную стороны. Не может быть личности, полностью свободной от законов психологии. Нужен компьютер (точнее, программное обеспечение), способный проводить тесты в открытой форме, а в идеале – и в адаптивной форме, когда следующий вопрос зависит от ответа на предыдущий. Это было бы эквивалентно по степени эффективности контроля знаний обычному экзамену и исключало бы субъективность экзаменатора. Искусственный интеллект в настоящее время на это не способен, но он развивается. Думается, в настоящее время актуальным было бы разработать теорию тестов по промежуточным полукрытым-полузакрытым полуадаптивным формам, которыми был бы способен управлять современный искусственный интеллект. Замечание 2: вопросы теста составляет педагог-предметник, как исключить при этом его субъективность? Имеются в виду такие вопросы, на которые не может адекватно ответить человек, отлично знающий данный предмет, но не знакомый с лекциями конкретного составителя вопросов. Никаких реальных путей решения мы здесь предложить не можем.

Автору в процессе преподавания информатики в вузах будущим специалистам в области информатики приходилось читать «спущенные сверху» обязательные курсы с непродуманными названиями, например курс «Информационные системы управления оформлением документооборота» (таких систем не существует, на рынке программных средств существуют СЭД – системы электронного документооборота), курсы «Информационные системы» и «Ин-

формационные технологии» – одно и то же как учебные курсы, хотя термины эти, очевидно, различные, а если их объединить, то получится эквивалент информатики вообще, как, например, вузовский курс «Высшая математика» – такие курсы можно читать будущим филологам или историкам, но не будущим специалистам в областях математики и информатики. Какая может быть альтернатива курсу «Информационные системы и технологии» – «Нетехнологизируемая информатика»? Практические педагоги, вынужденные годами читать указанные выше обязательные «псевдокурсы», должны были вопреки логике самих себя постепенно убедить в наличии у них содержания. Они теперь мучают себя и учеников, вынужденных «понимать» эту чушь под угрозой неудовлетворительной оценки. В условиях информационного взрыва студент перегружен. Столь дорогое учебное время можно было бы использовать эффективнее.

В современных вузах массово читаются курсы «Современные технологии программирования» – лучше было бы их назвать «Современные технологии разработки программных продуктов», поскольку для этого в настоящее время используется не только программирование. Часто вуз не является владельцем никакой современной системы программирования, и преподавателям под угрозой уголовного наказания запрещено использовать на занятиях контрафактное программное обеспечение, а указанный выше курс тем не менее читается! Как? Используются морально устаревшие системы программирования 1980–1990-х гг., обычно это Borland и Turbo Pascal в лучшем случае, в худшем – Borland и Turbo C++. Как инструмент прикладного программирования C++ неудобен, это инструмент системного программирования. Образно выражаясь, студентов учат шилом, а не молотком забивать гвозди!

Иногда вуз является владельцем (зарегистрированным пользователем) некоторой современной системы программирования, обычно это Microsoft Visual Studio Professional, куда входят 1) Visual Basic (прикладное программирование), 2) Visual C++ (системное программирование), 3) Visual C# (рационализированный C++, аналог Java, универсальное программирование), 3) Visual FoxPro (программирование баз данных), 4) Visual F# (программирование систем искусственного интеллекта). Дело в том, что Microsoft Visual Studio Professional предоставляется бесплатно по программе Microsoft Dreams Park вузам, школам, студентам, школьникам, преподавателям. А реально используется при этом для рабо-

ты со студентами только консольный режим Visual C++ или Visual Basic (режим черного экрана). Профессионального программиста обстоятельства заставили бы осваивать новые, более эффективные инструменты и технологии, например визуальное программирование. Оно и современным студентам давалось бы значительно легче [5, 6] из-за визуальности, образности методик программирования. А преподавателю программирования проще ничего не менять по сравнению с 1980–1990-ми гг. Вероятно, он вам скажет, что визуальные технологии портят будущего программиста.

Вузовская математика более статична, чем вузовская информатика, в частности программирование. Там не встречается курсов вроде «Математический анализ линейной алгебры». Но все же нельзя сказать, что в вузовских учебниках математики нет принципиальных ошибок. Вот их примеры. Почти во всех учебниках аналитической геометрии и линейной алгебры при рассказе о комплексных числах доказывается как «теорема» формула Эйлера (1):

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi. \quad (1)$$

Почти никому не приходит в голову, что это определение того, что такое $e^{i\varphi}$. Доказательство странное, если его прочитать, понять его невозможно. Ранее в учебнике нигде о $e^{i\varphi}$ ничего не говорится. Какое здесь может быть доказательство?

Аналогичная история с «теоремой» о том, что всякая прямая на плоскости задается одним из уравнений семейства (2), задаваемого параметрами A и B:

$$Ax + By + C = 0, \text{ где } A^2 + B^2 > 0. \quad (2)$$

Фактически это определение прямой на плоскости, и доказывать тут нечего. Прямая – это фигура, задаваемая одним из уравнений семейства (2).

Почему-то в учебниках аналитической геометрии при «доказательстве» теорем используются аксиомы Евклида из школьных учебников. Но методология Декарта отличается от методологии Евклида, поэтому в аналитической геометрии есть только аксиомы действительных чисел R.

Почти во всех учебниках математической статистики при проверке гипотез часто вместо мажоранты вероятности ошибки 2-го рода (вычислить ее обычно невозможно) считают уровень значимости – мажоранту вероятности ошибки 1-го рода. Допустим, мы некоторую гипотезу приняли. Как мы при этом могли ошибиться? А так, что мы эту гипотезу приняли, а она оказалась не верна. Это ошибка 2-го рода. Нам в нашей ситуации нужна оценка вероятности

ошибки 2-го рода. Ошибка 1-го рода случается, когда гипотеза нами была отвергнута, а реально оказалась верной. Но если мы гипотезу приняли, то нам не нужна оценка вероятности ошибки 1-го рода, даже если ее легко вычислить!

Это лишь 4 примера принципиальных математических ошибок в вузовских учебниках математики. Автору известно значительно больше таких примеров. Вот из-за таких обстоятельств студент, принципиально способный к усвоению методологии математики, реально не имеет возможности это сделать. Думается, что задача, не веря до конца ни учебникам, ни преподавателям, самому построить интуитивно методологию математики, слишком сложна даже для очень способного студента. Что же ему тогда остается? Рассматривать формулы и теоремы как «заклинания» для получения хороших оценок, поскольку по-настоящему понять их невозможно. Более того, он обычно считает себя недостаточно способным, чтобы «понять математику».

Мы ранее [4, 5] говорили об иных, социально-психологических причинах нынешнего катастрофического положения с обучением математики и программирования, связанных с быстрым ростом доли правополушарных студентов. В настоящее время их около 70 % либо даже более. Отсюда и современные трудности с изучением математики и программирования. Так было не всегда, имеется [8] статистика 1960-х гг. Там среди обучающихся различных специальностей советских вузов (классического университета, технического и медицинского институтов) более половины студентов составляет доля левополушарных. Проблемы обучения математике и программированию тогда не стояли так остро.

Интересно, что Л.М. Веккер [3, 9] несколько десятилетий назад пришел к выводам, похожим на наши. Он говорил о том, что большинство выпускников вузов не обладают понятийным мышлением. Это те, кто никогда не вел научные исследования. Во-первых, никакой подтверждающей данный вывод статистики у Л.М. Веккера мы не нашли. Во-вторых, термин «понятийное мышление» у Л.М. Веккера по смыслу отличается от аналогичного общепринятого в психологической науке термина В.М. Теплова. У Л.М. Веккера понятийное мышление предполагает значительно большее, чем жонглирование понятиями, причем строгие четкие формулировки у него отсутствуют. Неудивительно, что понятийным мышлением в смысле Л.М. Веккера обладают немногие.

Мышление правополушарных людей в большей степени фрагментарно и ассоциативно, чем мышление левополушарных, но оно лучше дополняет неполную информацию интуитивно.

Пример 1 из [5] показывает ассоциативность и фрагментарность мышления правополушарного студента. Он не помнит, что такое инкапсуляция, но ему пришел на ум фрагмент мысли, что она как-то связана с компьютером, с обработкой информации. Что это связано с объектно-ориентированным программированием – такой фрагмент ему в голову не пришел. Он адекватен и понимает, что такими своими словами преподавателя не обманет, и он не пытается этого сделать.

Пример 3 из [5] показывает, что правополушарный программист при написании программы управления турникетом держал в голове только фрагмент по остановке безбилетника и поэтому проверял только условие на равенство. То, что через турникет может не пройти законопослушный гражданин с билетом – этого фрагмента у него в голове не было.

Пример 5 из [5] показывает, что правополушарный студент способен освоить и программирование, и математику.

Пример 6 из [5] показывает, что правополушарный студент обладает сильной памятью и способен запоминать большие объемы не связанной никак для него информации. Он помнит, что такое верхняя грань, точная верхняя грань. Но он не способен строить даже не очень длинные цепочки логического вывода. В данном примере он с трудом строит однозвенные цепочки $A \Rightarrow B$, но двухзвенную цепочку $A \Rightarrow B \Rightarrow C$ ему с первого раза не построить, но раза с 5-го или с 6-го это у него, вероятно, получится.

Практика не показывает социальной ущербности правополушарных людей в современной России, скорее наоборот. Распространенная ныне методика обучения математике (и аналогичная программированию) сложилась давно, когда в этих областях преобладали левополушарные люди. Эта формальная вербальная методика обучения создана левополушарными для левополушарных. Если разработать новую методику обучения – полуформальную, полувербальную, с элементами образности и интуитивности, то, вероятно, и результаты в математике (программировании) у правополушарных будут иными?

В начале XX в. у математики «сложилась» 2 основания – общепринятый «формализм» Давида Гильберта и ныне забытый, но не побежденный «интуиционизм» Лейтзена Брауэра. Эти 2 течения существовали

и в античности. Аксиоматический метод Евклида и логика Аристотеля поддерживали древний «формализм», метод катарсиса (прозрения) Пифагора – «интуиционизм». Возможно, мы будем свидетелями нового прогресса новой математики?

Выводы

1. Рассмотрен более широкий круг причин трудностей, возникающих у современных студентов при изучении математики и программирования, чем в наших предыдущих статьях.

2. Преобладание доли студентов правополушарного типа в настоящее время вызвано эволюцией и их лучшей приспособляемостью к существующим социальным условиям.

3. Научные основания математики (и программирования) исторически всегда имели как формальные вербальные корни, так и интуитивные образные.

4. Правополушарные студенты способны успешно изучать математику и программирование при наличии новой методики – полупормальной, полувербальной, с элементами образности и интуитивности.

Список литературы

1. Рукшин С.Е. О путях развития математического образования (видео). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=heXrWVf5bgM> (дата обращения: 01.03.2020).
2. Рукшин С.Е. О крахе образования в РФ (видео). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=77TPz2q6voE> (дата обращения: 01.03.2020).
3. Ясюкова Л.А. Умные больше не нужны. К чему ведёт реформа школьного образования? (видео). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=YSXgpMVR9Y0> (дата обращения: 01.03.2020).
4. Фокин Р.Р. Некоторые психологические и статистические аспекты преподавания дисциплин из областей математики и информатики в современной высшей школе // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 9. С. 175–179.
5. Фокин Р.Р. Основные проблемы изучения программирования в современной высшей школе // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10. С. 186–190.
6. Абиссова М.А., Атоян А.А. Сервисы обучения RAD-программированию для активизации познавательной деятельности студентов при обучении информатике и математике. // Письма в Эмиссия. Оффлайн. 2013. № 12. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.emissia.org/offline/2013/2118.htm> (дата обращения: 01.03.2020).
7. Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг. Правый мозг. М.: Книга по требованию, 2013. 254 с.
8. Москвина Н.В., Москвин В.А. Межполушарные асимметрии и индивидуальные различия человека. М.: Смысл, 2011. 368 с.
9. Веккер Л.М. Психика и реальность. М.: Смысл, 1998. 685 с.

УДК 378.37

МЕТОД МУЗЫКАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В ОБУЧЕНИИ БАКАЛАВРОВ-ХОРЕОГРАФОВ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Фэн Юйди, Санжеева Л.В.

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, e-mail: LVSangeeva@yandex.ru, 404420614@qq.com

В статье дается обоснование применения метода музыкальных ассоциаций в педагогическом образовании бакалавров-хореографов. В современной педагогике метод ассоциаций широко используется в образовании как эффективное средство обучения во всех возрастных категориях. Ассоциация представляет собой соединение разночастотных единиц во времени и в пространстве, соединяя феномены окружающего мира, в совокупности отличных друг от друга характеристик. Отличие музыкальных ассоциаций от других форм ассоциаций заключается в идентификации звуков и конкретных музыкальных произведений с реальными феноменами, предметами, объектами, явлениями. В данном случае рассматриваются музыкальные ассоциации с искусством хореографии, передающиеся в соотношении пластики движения и звуков музыки. Музыкальные ассоциации в интонациях и ритмах создают эмоционально-чувственное восприятие хореографического художественного образа. Сочетание ассоциативных признаков музыкального произведения и хореографической пластики создает условия психического восприятия для активизации мыслительной деятельности, что в свою очередь развивает творческое воображение, укрепляет внимание, влияет на память. Подсознание, фиксируя ассоциацию, закрепляет представленные образы, интонации, ритмы музыкального произведения и соотносит их с реальностью, что в итоге создает музыкальную ассоциацию, сохраняющуюся в течение всей жизни. В результате музыкальные ассоциации формируют профессиональные педагогические компетенции бакалавра-хореографа.

Ключевые слова: ассоциация, музыкальная ассоциация, хореография, психические процессы, воображение

MUSIC ASSOCIATION METHOD IN TEACHING BACHELORS-CHOREOGRAPHERS OF PEDAGOGICAL UNIVERSITIES

Feng Yudi, Sanzheeva L.V.

The Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg,
e-mail: LVSangeeva@yandex.ru, 404420614@qq.com

The article substantiates the application of the method of musical associations in the pedagogical education of bachelor-choreographers. In modern pedagogy, the method of association is widely used in education as an effective means of learning in all age categories. An association is a combination of different frequency units in time and space, combining the phenomena of the surrounding world in the aggregate of distinct from each other characteristics. The difference between musical associations and other forms of associations is the identification of sounds and specific musical works with real phenomena, objects, objects, phenomena. In this case, we consider musical associations with the art of choreography, transmitted in the ratio of the plastics of movement and the sounds of music. Musical associations in intonations and rhythms create an emotional-sensory perception of the choreographic art image. The combination of associative features of a piece of music and choreographic plastic creates the conditions for mental perception to activate mental activity, which in turn develops creative imagination, strengthens attention, and affects memory. The subconscious, fixing the association, fixes the presented images, intonations, rhythms of the musical work and correlates them with reality, which ultimately creates a musical association that lasts throughout life. As a result, musical associations form the professional pedagogical competencies of the bachelor-choreographer.

Keywords: association, musical association, choreography, mental processes, imagination

В современном специальном педагогическом образовании студенты-бакалавры должны владеть профессиональными навыками в музыкальной и хореографической деятельности. Хореография в гармоничной взаимосвязи музыки и танца обеспечивает образовательные и воспитательные функции профессионального обучения в музыкальном, художественно-эстетическом, духовно-нравственном и физическом становлении личности студента. Непрерывность хореографического образования регламентируется нормативными актами, что дает возможность обеспечивать профессиональную подготовку хореографов для всех уровней: от дошкольных до высших учеб-

ных учреждений. Обучение хореографов состоит из междисциплинарных взаимосвязей разных наук, так как студент должен владеть знаниями в области музыки, танца, физиологии, должен обладать чувством прекрасного и безобразного, должен профессионально владеть телом, должен уметь выражать эмоции в телесной пластике движения. Совокупность полученных педагогических знаний, умений и навыков создает условия для профессиональной деятельности студента-бакалавра, обучающегося хореографическому искусству.

Цель исследования заключается в обосновании метода музыкальных ассоциаций и его применения в обучении бакалавров-

хореографов для формирования профессиональных компетенций и высокого уровня владения эмоциональной пластикой движения тела.

Материалы и методы исследования

Э.Б. Абдуллин, Б.В. Асафьев, В.Г. Ражников и многие другие создали методологическую базу музыкального образования, необходимую для использования в обучении бакалавров-хореографов в системе непрерывного образования. Взаимодействие музыки и хореографии подробно описано А.В. Занковой и другими учеными. Необходимо отметить исследование ассоциативности в музыкальной психологии восприятия, рассмотренное Д.К. Кирнарской и В.В. Медушевским. В обучении школьников ассоциативность музыки применяли в своих работах Д.Б. Кабалевский, Л.В. Школяр и др. Ученые-педагоги неоднократно подчеркивали практическую значимость освоения профессиональных навыков педагогической деятельности на практике для освоения профессионального мастерства [1, с. 121].

В высшем образовании базовые методологические основы классического танца в обучении студентов-хореографов были разработаны в трудах А.Я. Вагановой [2], Н.П. Базаровой, В.П. Мей [3] и т.д. В современном образовании методологические основы хореографического обучения были изложены в многочисленных трудах педагогов-хореографов: В.П. Давыдова (метод групповой импровизации) [4], М.Р. Черной, А.Г. Манукяна, П.С. Евдокимова-Есенского (метод импровизаций) [5], Е.Б. Овчаренко, Н.П. Сингач (метод комбинаций) [6], Л.В. Манжелиса (методика преподавания классического танца) [7]. В учебных пособиях предлагаются разные методы обучения танцу: метод погружения, метод сравнительной оценки, игровые методы обучения, метод иллюстрирования; метод повторности упражнений является базовым в хореографии и постоянно применяется в обучении. Например, Г.А. Безуглая обозначила методологию музыкальной профилизации в обучении хореографии, как взаимосвязь выразительных средств музыки и танца [8]. Перечень научных трудов разнообразен, при этом отдельной работы по методу музыкальных ассоциаций не встречается.

Результаты исследования и их обсуждение

В педагогическом образовании разработаны многочисленные методы обучения музыке для всех возрастных категорий. Д.Б. Кабалевский обосновал метод размышления о музыке, А.Б. Абдуллин создал метод

эмоциональной драматургии, Л.В. Школяр предложил метод осознания интонационного и личностного смысла, Л.В. Горюнова обосновала метод художественного контекста, Е.А. Бодина применила метод сопоставления музыкальных произведений и т.д. В качестве универсального метода во всех программах обучения используется метод сравнения, метод обобщения и метод ассоциаций. Метод ассоциаций встречается практически у всех педагогов-музыкантов, и в практике метод используется на всех уровнях педагогического образования.

Проблемы, связанные с применением метода ассоциаций в обучении студентов-хореографов, пока не получили научного обоснования. В связи с этим ставятся вопросы использования метода ассоциаций как механизма создания художественного образа, раскрывающего влияние ассоциативного музыкального мышления на развитие интеллекта, развивающего способности ассоциативной интерпретации и усиливающего восприятие музыки и танца. По нашему мнению, ассоциативное восприятие является эффективным способом формирования творческой активности обучающихся, начиная с дошкольного образования, и продолжающегося на протяжении всей жизни.

На сегодняшний день нет общепринятой дефиниции «ассоциация», все понятия связаны с ее основой «ассоциация – это «объединять в общее»» [9, с. 259]. Понятие «ассоциация» связано с соединением элементов психики, возникающих в процессе мыслительной деятельности, когда ассоциации произвольно возникают в воображении. Например, ученые к элементам ассоциаций относят эмоции, запахи, являющиеся «принципами ассоциативного обучения» [9, с. 263]. В процессе формирования ассоциаций у субъекта сочетание элементов создает образы реальные и ирреальные, закрепляемые в памяти гедонистического восприятия [9, с. 264]. Над выявлением элементов психики и механизмов психического «соединения» элементов ассоциаций работают многочисленные ученые [9], изучающие, какие именно «элементы психики» соединяются в ассоциации, как и почему «элементы психики» «возникают» в процессе мыслительной деятельности. Поэтому эти вопросы требуют отдельного исследования, вне рамок данной статьи.

Вследствие имеющихся данных психические элементы в процессе восприятия рождают ассоциации с воображаемыми или конкретными объектами в субъективном сознании. Элементы ассоциаций создают ассоциации и соответственно формируют представления в сознании и подсознании

у реципиента об окружающем мире. Опытным путем ассоциации либо подтверждаются, либо отрицаются, таким образом, человек приобретает знания, умения и навыки.

Ассоциативные механизмы мышления становятся основой формирования музыкальных образов, закрепляемых в сознании в процессе обучения. Особый интерес представляют взаимосвязи ассоциативных процессов с представлениями в области музыкального исполнительства и педагогики. Так, в статье В.Л. Живовой и Е.В. Аликиной рассматриваются ассоциативные представления во взаимосвязи с различными психическими процессами, в том числе воображения и мышления [10]. Классификация ассоциаций многообразна, исследователи определяют множество видов ассоциаций в зависимости от получаемой информации и уровня восприятия. Так, выделяют ассоциации по сходству, ассоциации по контрасту, ассоциации по происхождению и многие другие ассоциации, имеющие разнообразные признаки, в том числе от пространственных, цветовых до эмоциональных [10].

Психологические свойства ассоциаций, описанные в статье И.Н. Власенковой, позволяют эффективно использовать метод ассоциаций в обучении на основе общей основы, связанной с эмотивной сферой [9, с. 259–263], вызывающей чувственный рефлекс у субъекта. «В ощущениях создаются ассоциации зрительные, слуховые и осязательные» [11], в результате рефлекс формируют воображение у обучающихся и вызывают появление художественных образов, влияющих на творческую активность, что особенно важно в педагогическом образовании.

Ассоциации, рожденные в музыке, расширяют диапазон воображения реципиента, в сочетании с образным мышлением они влияют на активизацию психических процессов. На основе музыкальных ассоциаций рождаются представления о мире в звуках, а «некоторые части конкретных представлений из всех сфер чувств могут ассоциироваться между собою» [11]. В психических взаимодействиях звуки, интонации, ритмы формируют музыкальные образы с конкретными ассоциациями – реальными предметами, явлениями, субъектами и другими формами деятельности. Эффект музыкальных ассоциаций достаточно часто используется в современной рекламе, телевидении, Интернете. В педагогическом образовании метод музыкальных ассоциаций используется в обучении для формирования профессиональных компетенций, направленных на развитие духовной и нравственной основы музыкальной культуры студента.

В обучении психические процессы формирования музыкальных ассоциаций связаны с воображением, вниманием и памятью. Воображение при звуках музыки создает образы. Задача преподавателя – помогать обучающимся в создании образов, применяя различные способы идентификации с реальными феноменами деятельности человека. К феноменам относятся любые предметы, субъекты, сюжеты, явления и другие формы, связанные с эмоциональной, чувственной реакцией субъекта. В воображении рождается художественный образ, в свою очередь, образ, сталкиваясь с психическими реакциями, фиксируется в памяти, создавая ассоциации.

Преподаватель в обучении должен привлекать внимание обучающихся, чтобы музыкальные образы стали идентифицироваться с конкретными реальными феноменами. Значит, память создает базу для создания образов, воображение формирует ассоциации, внимание закрепляет в памяти музыкальные образы, взаимосвязанные с конкретным объектом. Студент должен учиться различать ассоциации по эмоциональным характеристикам восприятия, в частности в эмоциональном восприятии звуковых ассоциаций, представляющих собой соединение разноточных единиц во времени, в пространстве, в интонациях [11].

В подсознании у обучающихся в процессе мыслительной деятельности уже накоплен багаж образов, которые при реакции на внешние звуковые и ритмические раздражители извлекаются из памяти и формируют новые воображаемые образы. В детском возрасте у ребенка мышление соединяет фантазии, воображение и реальность в единое целое; у детей старшего возраста мышление начинает классифицировать информацию, разделяя фантазию и реальность. Несмотря на зрелый возраст человека, его воображение сохраняет образы в памяти, что создает преференции в восприятии музыкальных произведений.

Активизация мыслительной деятельности в развитии музыкального воображения будущего педагога-хореографа является приоритетной задачей в преподавательской деятельности. Д.А. Леонтьев писал, что сознание в восприятии художественного произведения находится в состоянии эстетического эмоционального переживания, связывая художественный образ с реальностью [12, с. 423–429]. В связи с этим метод музыкальных ассоциаций дает возможность расширять диапазон использования музыкальных произведений и направленность активизации воображения, внимания и памяти в музыкальном восприятии субъекта.

В отличие от высшего образования в общеобразовательной школе процесс обучения отличается и зависит от многих факторов, в том числе от психических возможностей обучающихся, что достаточно подробно описано в трудах ученых. У детей младшего школьного возраста эмоционально-образное мышление доминирует, у взрослого человека начинает доминировать абстрактно-логическое мышление. Дети мыслят ощущениями в красках, звуках, словах, эмоционально воображая мир в фантазиях. У студентов эмоциональные ощущения сохраняются, приобретая реальные смыслы и образы. В процессе применения метода ассоциаций создаются музыкальные образы, идентифицируемые с конкретными событиями, фактами, звуками, интонациями и другими формами реальности.

В высшем образовании «...перед студентами-хореографами ставится задача формирования способности мыслить пластическими категориями, распознавать и улавливать ощущения и ассоциации, сообщаемые конкретным движением» [4, с. 66]. Таким образом, преподаватель, создавая конкретные ассоциации, воздействуя на психику обучающихся, формирует субъективный мир музыкальных образов, закрепляя полученные музыкальные ассоциации в хореографических образах.

В методе музыкальных ассоциаций необходимо применять соотношение звуков, ритмов, интонаций и других знаков для формирования профессиональных компетенций студентов-хореографов. В.В. Медушевский выделял знаки, состоящие из сторон, таких как фактура, тембр, громкость, регистр [13, с. 12]. Фактура – масса тела, темп и ритм – скорость движения, регистр и громкость – организованность движений. Соотношение движения в штрихах и артикуляции с легато и стакато, связывающим звуки в движении. Резкие звуки – с решительными движениями, мягкие звуки – с неумелыми движениями. Применение музыкальных знаков и знаков движения тела развивает хореографические и музыкальные данные студента, в том числе физические способности.

В хореографии большое значение имеют физические характеристики, такие как танцевальный шаг, пластика тела, пластика рук и ног, гибкость, легкие прыжки, координация, выносливость, выворотность ног, шаговое движение, гибкость тела, натянута стопы ноги, осанка и другие данные [14, с. 161]. Танец требует физического напряжения с духовным осмыслением движения, только тогда достигается гармонич-

ное сочетание пространственного телесного чувства с эмоциональным ощущением прекрасного в движении. Только в сочетании с музыкальным сопровождением можно передать остроту эмоционального напряжения, поэтому музыкальность необходима хореографу.

В профессиональной характеристике студента обязательна музыкальность восприятия. Музыкальность формируется на основе использования различных методов. Метод музыкальных ассоциаций для развития творчества у обучающихся применяется с методом подражания, методом аналогий и другими методами. Метод музыкальных ассоциаций дает возможность активизации образного мышления, когда при подражании появляются телесные практики и аналогии с музыкальными образами. В итоге прослеживаются эмоции в тоне танцевальной пластики тела, возникает единство музыки и танца в физиологическом и психологическом взаимодействии и взаимосвязи.

Вопрос воспитания музыкального восприятия связан с проблемой развития ассоциаций. Чем выше уровень ассоциативных образов, тем выше интеллектуальность, так как процесс эмоционального восприятия зависит от сенсорно-интеллектуального познания, и они взаимосвязаны. Ученые в области музыкознания раскрыли проблемы восприятия музыки, которые необходимо учитывать в обучении бакалавров-хореографов. Результаты профессиональной подготовки хореографа должны подтверждаться на практике, так как методологическая основа педагогической практики направлена на закрепление профессиональных компетенций студента-хореографа.

Также обучение хореографическому искусству в высшем педагогическом образовании связано с внедрением инновационных технологий. Несомненно, что информационные технологии в современном образовании активно применяются в обучении и используются в контексте личностно ориентированной подготовки бакалавра-хореографа в зависимости от способностей и возможностей студента [15, с. 233]. Технологии визуализации расширяют познавательную активность студента и влияют на ассоциативное мышление для формирования воображения во всех видах искусства, также в танцевальном и музыкальном искусствах.

Ассоциативное мышление соединяет звуки, тона, движение, эмоции в едином образном соотношении взаимосвязей музыки и танца. Применение ассоциативного мышления в обучении пробуждает

воображение и формирует взаимосвязи между аудиальными и визуальными образами, создаваемыми в других видах искусства. «Выявлению интегративных связей... между музыкой и литературой, музыкой и изобразительным искусством, также уделяется немало внимания» [16, с. 85]. Г.М. Цыпин выделял ассоциативные взаимосвязи и образно-эмоциональную форму как особенность музыкального мышления, проявляющуюся в процессе анализа, сравнения, обобщения. В воображении у студента создаются музыкально-пластические образы посредством музыкальных, двигательных, зрительных и других ассоциаций, воплощаемые в хореографических постановках.

Чтобы понять сущность музыки, необходимо обучение музыкальному восприятию в звуках и интонациях, передающих аудиальные представления о художественных образах, создаваемых в пластическом движении. В результате применения музыкальных ассоциаций у студента развивается воображение, образное мышление, позволяющие сопоставлять предметы, объекты, явления на основе художественных представлений.

Педагоги-музыканты подчеркивают, что особенности хореографического искусства заключаются в синестетическом сочетании звука и движения, ритма и пластики, так как синестезия основана на музыкальном восприятии и выразительности движения тела человека, формирующихся на «межчувственных ассоциациях и ощущениях» [17, с. 93], передаваемых в композиционном единстве музыки и танца. Музыка подчеркивает выразительность пластики, придавая эмоциональность танцевальному художественному образу. В гармоничном сочетании рождаются чувства сопричастности к созданному. Радость, страх, скорбь, стыд, любовь – все чувства отражаются в движении танца с характерной легкостью, тяжестью, скованностью, открытостью в движении шагов, жестикуляций и т.д. Звуки и ритмы музыки создают симфонию танцевальных движений в эмоциональном восприятии. Тело и звук должны быть единым целым, только тогда достигается высшая форма эмоционального напряжения в восторге художественно-эстетического наслаждения. Ассоциации рожают чувства, «благодаря ассоциациям, психическая деятельность человека становится многообразнее, полнее, богаче, ярче» [10, с. 128]. Сочетание искусства звука и пластики движения создает художественный образ в эмоционально-чувственном восприятии, формирующий духовные основы социализации личности в приобщении к гуманистической культуре.

зации личности в приобщении к гуманистической культуре.

Заключение

Метод музыкальных ассоциаций необходимо применять наряду с другими методами для эффективного обучения. В обучении музыкальные ассоциации важно сопоставлять с вербальными и невербальными примерами, с визуальным рядом, с пластическими движениями, реальными образами, т.е. разнообразными формами жизнедеятельности человека. Систематическое использование метода музыкальных ассоциаций в хореографии позволит развивать активность ассоциативного мышления для создания эмоционального пластического движения в воплощении художественного образа. Музыкальные ассоциации, связанные с эмоциями, закрепляются на уровне подсознания и формируют профессиональные компетенции обучающегося. Поэтому метод музыкальных ассоциаций необходимо применять в обучении хореографов, так как звуки музыки создают превентивные меры рождения сензитивных ощущений и в процессе переработки информации формируют художественное воображение субъекта, что создает базу для развития высокого профессионализма хореографа в педагогическом образовании.

Список литературы

1. Рачина Б.С. Организация педагогической практики в контексте педагогики искусства // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2017. № 185. С. 114–122.
2. Ваганова А.Я. Основы классического танца. М.: Лань, Планета музыки, 2007. 192 с.
3. Базарова Н.П., Мей В.П. Азбука классического танца. Л.: Искусство. 1983. 239 с.
4. Давыдов В.П. Базовые принципы и методические подходы к обучению хореографической композиции в процессе подготовки хореографов в вузах культуры и искусств // Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств. 2018. С. 66–74.
5. Черная М.Р., Манукян А.Г., Евдокимов-Есенский П.С. Профессионализм в обучении танцора хореографии и танцевальной импровизации // Научное мнение. 2019. № 1–2. С. 49–55.
6. Овчаренко Е.Б., Сингач Н.П. Народно-сценический танец: методы и приемы обучения на кафедре хореографии Алтайского государственного института культуры и искусств // Мир науки, культуры, образования. 2018. № 5 (72). С. 50–51.
7. Манжелес Л.В. Методика преподавания классического танца в системе подготовки студентов хореографических направлений вузов культуры // Педагогическое образование в России. 2019. № 2. С. 66–75.
8. Безуглая Г.А. Музыкальный анализ в работе педагога-хореографа: учебное пособие. СПб.: Лань, Планета музыки, 2015. 272 с.
9. Власенкова И.Н. Принцип ассоциации в психодиагностических исследованиях XIX–XXI веков // Известия Российского государственного педагогического университета

им. А.И. Герцена. Серия Психолого-педагогические науки. 2009. № 94. С. 258–268.

10. Живов В.Л., Аликина Е.В. Ассоциативные представления в музыкальном исполнительстве и педагогике // Музыкальное искусство и образование. 2016. № 2. С. 128–136.

11. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. М., 1863. [Электронный ресурс]. URL: http://psychist.ru/library/sechenov_refleksi_golovnogo_mozga.pdf (дата обращения: 12.02.2020).

12. Леонтьев Д.А. Психология смысла. М.: Смысл, 2007. 173 с.

13. Медушевский В.В. Интонационная форма музыки: исследование. М.: Композитор, 1993. 262 с.

14. Палилей А.В., Мелентьева Л.Д. Совершенствование системы обучения классическому танцу студентов-хореографов в вузах культуры // Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств. 2018. № 45. С. 156–161.

15. Никитин В.Ю. Инновационные формы обучения в хореографическом искусстве // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2016. № 1 (69). С. 233–238.

16. Явгильдина З.М. Интеграция искусств в школьном образовании // Интеграция образования. 2006. № 1 (42). С. 84–91.

17. Лосева С.Н. Синестезия как междисциплинарный феномен // Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств. 2018. № 44. С. 91–93.

УДК 378:001.891

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЕКТНОСТИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ**Чарикова И.Н.***Оренбургский государственный университет, Оренбург, e-mail: irnic@bk.ru*

В современных условиях подготовка высокопрофессиональных кадров возможна только в тесном переплетении процесса обучения с научно-исследовательской деятельностью. Такой подход вызывает необходимость внедрения в систему подготовки будущих инженеров современных проектных технологий. В статье рассмотрены особенности образовательной проектности, направленной на проектирование современной личности, способной к постоянному самообучению и самосовершенствованию. Показано, что при помощи научно-исследовательской деятельности можно достичь результата, когда будущий инженер будет испытывать потребность к самосовершенствованию не только во время обучения в вузе, но и на протяжении всей своей профессиональной деятельности. Приведены причины низкой активности участия в научных разработках как самих студентов, так и основной массы преподавателей. Обоснована целесообразность развития образовательной проектности на базе научных исследований. Отражено, что такого развития можно достичь только при условии реализации ряда положений, к которым относится участие в научно-исследовательской деятельности студентов с первого курса обучения, организация междисциплинарных научных исследований на старших курсах в составе исследовательских групп, проведение научно-исследовательской деятельности на основе современных информационных технологий. Подчеркнута особая важность участия реального сектора экономики во внедрении полученных научных результатов и необходимости стимулирования студентов, занимающихся научной работой.

Ключевые слова: научно-исследовательская деятельность, проектное обучение, междисциплинарные проекты, образовательная проектность, самообразование, профессиональное образование

RESEARCH ACTIVITIES AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL DESIGN OF FUTURE ENGINEERS**Charikova I.N.***Orenburg State University, Orenburg, e-mail: irnic@bk.ru*

In modern conditions, the training of highly professional personnel is possible only in the close intertwining of the training process with research activities. This approach makes it necessary to introduce modern design technologies into the training system for future engineers. The article deals with the features of educational design aimed at designing a modern personality capable of continuous self-learning and self-improvement. It is shown that with the help of research activities, it is possible to achieve a result when a future engineer will experience a craving for self-improvement not only during his studies at the University, but also throughout his professional career. The reasons for the low level of participation in scientific research by both students and the majority of teachers are given. The expediency of developing educational design based on scientific research is justified. It is reflected that such development can be achieved only if a number of provisions are implemented, which include participation in research activities of students starting from the first year of study, the organization of interdisciplinary research at senior courses as part of research groups, conducting research activities based on modern information technologies. The special importance of the participation of the real sector of the economy in the implementation of the obtained scientific results and the need to stimulate students engaged in scientific work is emphasized.

Keywords: research activities, project training, interdisciplinary projects, educational design, self-education, professional education

Ранее существовавшая советская система высшего технического образования ориентировалась на подготовку высокопрофессиональных инженерных кадров. Непосредственно под определением «инженер» понимался специалист с высшим образованием как участник технической деятельности, который на основе своих теоретических знаний способен разрабатывать, реализовывать и сопровождать весь период жизненного цикла сделанные им изобретения, всевозможные проекты, технические системы, материальную продукцию, а также руководить технологическими процессами в соответствии со своим профессиональным направлением и т.п. [1–4]. При всех плюсах существовавшей системы подготовки инженеров в настоящее время про-

исходят существенные интенсивные изменения в обществе, касающиеся практически всех отраслей экономики. Огромный объем информации, постоянное развитие и совершенствование технологических процессов, компьютеризация производства предопределяют новые вызовы к подготовке будущих инженеров. В современных условиях подготовка высокопрофессиональных кадров возможна только в тесном переплетении процесса обучения с научно-исследовательской деятельностью [5, с. 443]. Такой подход вызывает необходимость внедрения в систему подготовки будущих инженеров современных проектных технологий, на базе которых удачно реализуется компетентностный подход в образовании, обеспечивающий выпускника университета

не только определенным уровнем знаний, умений, навыков, но и способностью реализовать их в своей практической работе, расширяя при этом свой профессиональный кругозор. С этой точки зрения проектную деятельность в процессе подготовки будущего инженера целесообразно рассматривать как составную часть образовательной проектности, направленной не на реализацию конкретного проекта, а на проектирование современной личности, способной к постоянному самообучению и самосовершенствованию. И именно при помощи научно-исследовательской деятельности можно достичь результата, когда будущий инженер будет испытывать тягу к такому самосовершенствованию не только во время обучения в вузе, но и на протяжении всей своей профессиональной деятельности.

Целью исследования является обоснование целесообразности использования научно-исследовательской деятельности студентов с анализом ее эффективных форм проведения для развития образовательной проектности будущих инженеров.

Материалы и методы исследования

В рамках проведенного исследования образовательная проектность будущих инженеров рассматривается как интегративное качество эпистемологического развития проектного ресурса личности в плоскости содержательно-смысловых и ценностных преломлений производить изменения во внешнем мире и себе самом. Образовательный процесс в университете должен давать импульс развития образовательной проектности, обеспечивать ресурс профессионального личностного развития будущего инженера [6]. При этом научно-исследовательская деятельность студентов рассматривается как один из главных факторов развития образовательной проектности.

При рассмотрении образовательной проектности как интегративного качества эпистемологического развития проектного ресурса личности базовой платформой являются научные труды Л.С. Выготского, В.В. Давыдова, А.Н. Леонтьева, Б.Ф. Ломова, С.Л. Рубинштейна, Г.И. Щукиной по теории деятельности, фундаментальные работы В.Г. Ананьева, В.И. Андреева, Д.Б. Богоявленской, И.Я. Лернер, В.Г. Рындак по теории развития личности в учебно-познавательной деятельности, монографии и научные статьи В.И. Андреева, И.П. Волкова, С.О. Граузенберг, Л.И. Новиковой, Я.А. Пономарева, В.А. Сухомлинского, А.П. Тряпицыной по теории творческой деятельности, а также комплексные исследования С.И. Архангельского, С.Я. Батышева,

В.П. Беспалько, Э.Ф. Зеер по специфике профессионального инженерного образования. В.Р. Аронов, Дж.К. Джонс, Я. Дитрих, М.С. Коган и ряд других авторов в своих научных изысканиях детально рассмотрели теоретические, методические и практические основы проектной деятельности. Непосредственно ориентация проектного обучения на развитие технического творчества молодежи изучена в трудах ученых-педагогов П.Н. Андрианова, Ю.К. Бабанского, В.И. Качнева, В.Д. Путилина, В.Г. Разумовского и др.

Анализируя научные труды вышеперечисленных ученых-педагогов в комплексе, можно отметить, что все они применительно к техническому образованию отражают необходимость подготовки будущих инженеров с точки зрения их способности решать задачи проектного характера, развития способности сознательно отбирать и творчески упорядочивать информацию, обобщать результаты исследований с целью получения нового знания, опыта решения сложных профессионально-жизненных проблем, непосредственно связанных с фактом личностного саморазвития. Они рассматривают техническое творчество инженеров как взаимосвязь составляющих его этапов: обучение, научно-техническое творчество, проектирование, изобретательство, участие во внедрении разработанных технических проектов, конструкторских решений, инновационных технологий. Практически все эти этапы неразрывно связаны с научно-исследовательской и проектной деятельностью студентов. Ее можно рассматривать как совместную учебно-познавательную, исследовательскую, творческую совместную работу студентов и преподавателей, которая направлена на достижение определенной цели, получение реального результата по решению какой-либо задачи, которая является весьма значимой и приоритетной для всего коллектива исполнителей проекта.

При всей очевидности широкого использования научно-исследовательской деятельности в подготовке будущих инженеров в настоящее время в высших учебных заведениях РФ, как правило, наблюдается низкая активность участия в научных разработках как самих студентов, так и основной массы преподавателей. Этот факт обусловлен рядом объективных и субъективных причин. К ним относятся: недостаточная финансовая поддержка научных исследований со стороны вузов; слабая материально-техническая база, в частности отсутствие или недостаточное оснащение специализированных лабораторий; малое количество

заявок от работодателей на выполнение актуальных исследований с последующим их внедрением в производственные процессы; отсутствие системы стимулирования студентов, активно занимающихся научно-исследовательской работой; отсутствие регулярных научных контактов с российскими и зарубежными вузами, стажировок в российских и зарубежных вузах; низкая степень стремления студента к самообразованию, к приобретению новых профессиональных знаний для реализации инновационных проектов и т.д. Несомненно, что для активизации научной деятельности необходимы анализ этих причин и поиск оптимальных путей их устранения. Изучению таких путей с точки зрения развития образовательной проектности будущих инженеров и посвящено настоящее исследование.

Результаты исследования и их обсуждение

Необходимость развития образовательной проектности и участия студентов в научно-исследовательской деятельности отражена в Федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) и является обязательной составной частью модели специалиста высшего профессионального образования. Так, во ФГОС 3++ бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» универсальная компетенция УК-6 предусматривает способность студента управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни. Действующий ФГОС магистратуры по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», также отражая необходимость самоорганизации и саморазвития обучающихся, включает компетенцию по способности студента осуществлять исследования объектов и процессов в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства и, кроме этого, необходимость реализации научно-исследовательской работы при прохождении учебной и производственной практик.

Всесторонний анализ опыта использования научно-исследовательской деятельности в образовательных процессах на технических специальностях в Оренбургском государственном университете (ОГУ), а также возможных путей ее совершенствования показал, что главные направления развития образовательной проектности на базе научных исследований должны основываться на следующих основных положениях.

1. Научная работа студентов должна начинаться с младших курсов. Прививать студентам тягу к научно-исследовательской

деятельности необходимо с первого курса обучения, а в идеале – и со школьной скамьи. Целесообразно на первых-вторых курсах включать в учебные дисциплины выполнение студентами обзорно-поисковых рефератов, предусматривать участие обучающихся в научных кружках с поручением им работ, связанных с научным поиском, включать элементы исследований в практические и особенно в лабораторные занятия. При выполнении таких работ студент знакомится с методикой научных исследований, делает обзор научно-технической и нормативной литературы по теме работы, под руководством преподавателя разрабатывает алгоритм достижения поставленной цели, применяет методы математической обработки результатов при их анализе, готовит презентационные материалы для представления своей работы на научных семинарах или студенческих конференциях. Опыт привлечения студентов младших курсов на архитектурно-строительном факультете ОГУ показал, что наибольший интерес у них вызывают краткосрочные проекты, когда за относительно небольшой промежуток времени можно увидеть результаты своего труда, оценить их, в том числе в объеме всей решаемой задачи. Полученный опыт на следующих курсах студенты будут использовать уже при работе над более обширными проектами, выполняемыми в том числе группой студентов. Главная цель этого первого этапа – привить обучающемуся навыки определения цели своей научной работы, научить его самостоятельно искать пути ее достижения. Именно самостоятельная исследовательская и познавательная активная деятельность поможет студентам сформировать у них активацию и стремление к самообразованию. Несомненно, что уже даже на этом этапе необходимо привлекать студентов к участию в конкретных проектах с реальными практическими результатами.

2. Организация междисциплинарных научных исследований на старших курсах в составе исследовательских групп. Междисциплинарные научные исследования обеспечивают комплексность процесса обучения. Анализ комплексных проблем способствует формированию новых знаний в процессе научного поиска путей решения поставленных задач. Как правило, выполнение исследований на хозяйственной основе, когда решается вопрос о материальном вознаграждении за выполненные работы, связано с междисциплинарными знаниями. Участие в группе нескольких студентов различных курсов обеспечивает преемственность, непрерывность и четкую организацию их работы. В такой командной

работе единомышленников удачно внедряются принципы образовательной проективности, когда реализуется принцип «Обучаясь сам, учу других». Именно междисциплинарный подход и создание научных команд из студентов разных курсов могут существенно повысить активность обучающихся в научной работе, обеспечить не только получение студентами научно-теоретических знаний, но и их органичное вхождение в организационный процесс исследований для получения разнообразных новых знаний.

3. *Организация научно-исследовательской деятельности на основе современных информационных технологий.* В настоящее время аксиомой стал факт, что без информационных технологий плодотворная научно-исследовательская деятельность в принципе невозможна. Такие технологии постоянно развиваются и служат огромным подспорьем как опытным, так и молодым ученым. Например, в ОГУ разработана и используется в научной работе студентов информационная система «Эпистемотека проектных знаний», существенно расширившая пространство сетевой коммуникации за счет возможности доступа студентов к самым различным литературным источникам и представления знаний на основе прямых и обратных связей, обеспечивающих взаимодействие информационной образовательной среды с встроенной технологией управления знаниями, направленной на интеграцию, накопление, поддержку и организацию доступа к проектным знаниям [7]. Результаты анкетирования будущих инженеров-строителей, на которых в настоящее время ориентирована эпистемотека, показали, что использование информационной образовательной среды в большей степени способствует активации научной работы студентов и созданию команды единомышленников, нацеленной на разработку и реализацию научно-исследовательских проектов.

4. *Участие реального сектора экономики во внедрении полученных научных результатов.* Студенческие научные проекты могут быть посвящены решению проблем региональных предприятий. Практическая реализация полученных результатов поможет студентам получить опыт работы в реальном секторе экономики, а предприятиям – решить стоящие перед ними производственные задачи. В дальнейшем студенты, принимающие участие в научных исследованиях, могут стать эффективными сотрудниками этих предприятий. В случае взаимного интереса к решаемым проблемам университета и предприятия результаты сотрудничества могут превзойти даже

самые смелые ожидания. Например, в результате научных исследований ученых-строителей ОГУ был разработан новый способ усиления деревянных конструкций при помощи стальных витых стержней с крестообразной формой поперечного сечения. Внедрение этой разработки на территории только Оренбургской области обеспечило сокращение финансовых затрат на восстановление объектов культурного наследия на 32% в сравнении с традиционными строительными технологиями проведения ремонтных работ. С заявкой на передачу результатов исследований к администрации ОГУ обратились организации Красноярского края, Иркутской и Томской областей, где развито деревянное домостроение. Немаловажным является и тот факт, что активная научная деятельность студентов и педагогов повышает научно-исследовательский статус учебного заведения. Благодаря практическим научным проектам можно готовить высокопрофессиональных специалистов, способных к самостоятельной работе в условиях инновационного развития общества.

5. *Научно-исследовательская деятельность студентов должна стимулироваться.* Участие студентов в научной деятельности, несомненно, должно стимулироваться как со стороны вуза, так и предприятиями и органами власти. В настоящее время в Оренбургском государственном университете материальное поощрение молодых ученых осуществляется за счет хозяйственной деятельности и предоставления научных грантов, ориентированных на решение актуальных региональных проблем. К сожалению, как правило, объем финансовой поддержки недостаточен как для проведения полного цикла исследований, так и для внедрения в практику полученных результатов. Редкое исключение представляют хозяйственные работы, когда предприятие – заказчик научных разработок непосредственно заинтересовано в конкретном практическом результате. В этом аспекте можно перенять зарубежный опыт, когда в университетах создаются научные фонды, финансово поддерживающие молодых исследователей и занимающиеся определением актуальных научных задач, интересных и необходимых региональным отраслям промышленности. В функции таких фондов должна входить и оплата молодым ученым их командировок в ведущие вузы и НИИ, в том числе для участия в научно-технических конференциях различных уровней.

Проведенные в Оренбургском государственном университете пионерные научно-организационные мероприятия и ис-

следования, базирующиеся на основных вышеизложенных положениях, дают надежду, что их полноценная реализация обеспечит подготовку высокопрофессиональных инженеров, готовых к самостоятельной работе в условиях инновационного развития общества.

Заключение

В качестве обобщающего вывода обозначим следующие позиции по теме исследования.

1. Педагогическое содержание понятия «образовательная проектность будущих инженеров» определяет направленность когнитивных устремлений личности на самопроектирование профессиональной жизнедеятельности и перспективность развития профессионально значимых качеств; обеспечивает конкурентное профессиональное преимущество в освоении универсальных и инженерных компетенций; проявляется в профессиональном развитии и саморазвитии, в активно-преобразующем отношении к научным исследованиям.

2. Обоснована необходимость научно-исследовательской деятельности как фактора развития образовательной проектности в концептуальном доказательстве двух методологических подходов – эпистемологического и деятельностного. Эпистемологический подход важен для реализации концепции данного исследования, поскольку формирование у будущих инженеров проектных знаний в значительной мере согласуется с тенденциями развития современных научных представлений, где все большее значение приобретают обобщающие идеи, выполняющие функции уплотнения и пере-структурирования знания.

Деятельностный подход служит процессуальной основой в развитии образовательной проектности, задавая ориентир включения будущих инженеров в научно-исследовательскую деятельность, которая, с одной стороны, подчеркивает роль деятельности в процессе овладения будущими инженерами проектным знанием и проектными умениями, а с другой – указывает на востребованность их личностного жизнепроявления. Деятельностный подход в исследовании предполагает, что проектное знание

необходимо анализировать под углом зрения порождающих его структур и особенностей научно-исследовательской деятельности, т.е. перевода знания из процессуальной формы деятельности в материальную форму объекта, что предполагает акт погружения в исследовательскую реальность как меру осмысления объективного знания.

3. Учебный процесс, построенный на основе студенческих научных исследований, позволяет готовить будущих высокопрофессиональных инженеров, ориентированных на реализацию своих профессиональных, творческих, исследовательских и других способностей. Научно-исследовательская деятельность развивает у студентов потребность к новым знаниям, формирует у них активность и стремление к самообразованию, самосовершенствованию и саморазвитию. Участие будущих инженеров в научных исследованиях должно представлять собой непрерывный процесс с первого курса обучения.

Дискуссионным за рамками данного исследования остается вопрос о возможности реализации сетевой научно-исследовательской работы над проектом в коммуникативном взаимодействии обучающихся различных курсов и направлений подготовки.

Список литературы

1. Иванов В.Г., Зиятдинова Ю.Н., Сангер Ф.А. Современное инженерное образование: единство в многообразии // Высшее образование в России. 2015. № 8–9. С. 54–60.
2. Ефремова Т.Ф. Толковый словарь словообразовательных единиц русского языка. М.: Астрель: АСТ, 2005. 636 с.
3. Будущее инженерного образования. Сборник научных статей / Под ред. Александрова А.А., Балтяна В.К. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 268 с.
4. Ажибекова К.Ж., Ермаханов М.Н. Проблемы инженерного образования в контексте реализации компетентностного подхода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 1. С. 391–394.
5. Батраченко Е.А., Бражник О.Ю., Дорохина Н.В., Павлова Л.Е. Особенности организации исследовательской работы студентов в системе высшего образования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5(2). С. 443–446.
6. Чарикова И.Н., Каргапольцев С.М. Эпистемологические ракурсы проектной деятельности студентов университета // Вестник ОГУ. 2016. № 9. С. 15–19.
7. Charikova I., Zhadanov V. Teacher to Student Epistemological Interaction in the Contemporary Paradigm of University Education. Journal of Social Studies Education Research. 2017. Iss. 8 (Special Issue). P. 117–129.

УДК 372.881.161.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МУЗЕЙНОЙ ПЕДАГОГИКИ КАК ЭФФЕКТИВНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ

Чевела О.В., Федотова С.И.

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет»**Министерства здравоохранения РФ, Казань, e-mail: olga-chevela@mail.ru, smerechina@mail.ru*

Статья посвящена вопросам использования элементов музейной педагогики на занятиях по русскому языку как иностранному. В современной методике преподавания русского языка особое внимание в последнее время уделяется поиску новых форм работы с аудиторией с целью формирования у обучающихся коммуникативной, лингвострановедческой и межкультурной компетенций. Обращение к музейной педагогике в сфере преподавания иностранного (русского) языка представляется весьма актуальным и в связи с возросшей популярностью визуализации форм подачи учебного материала. В статье описываются основные формы работы в этой сфере: пешеходная экскурсия по городу, виртуальная экскурсия, музейный проект, ролевая игра, игра-квест. Подчеркивается мировоззренческое и воспитательное значение экскурсионной деятельности, способствующей расширению кругозора студентов и воспитанию толерантного отношения к другим религиям. Авторами предложена модель проведения виртуальной экскурсии «Музей Л.Н. Толстого», организации приключенческого квеста «Легенды и тайны Казани». Большое место в статье занимает описание методики проведения цикла занятий по теме «Изобразительное искусство». Приводятся основные типы заданий и лексико-грамматических упражнений, направленных на развитие всех основных форм речевой деятельности – чтения, говорения, аудирования и письма.

Ключевые слова: музейная педагогика, коммуникативная компетенция, межкультурная компетенция, лингвострановедение, лингвокультурология, визуализация, музейный проект, ролевая игра, квест

USING OF ELEMENTS OF MUSEUM PEDAGOGY AS AN EFFECTIVE FORM OF TEACHING THE RUSSIAN LANGUAGE AS A FOREIGN

Chevela O.V., Fedotova S.I.

*The Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kazan State Medical University»
of the Ministry of Health of Russian Federation, Kazan, e-mail: olga-chevela@mail.ru, smerechina@mail.ru*

The article is devoted to the issues of using elements of museum pedagogy in the classes on Russian as a foreign language. In the modern methodology of teaching the Russian language, special attention has recently been given to the search for new forms of working with the audience with the aim of forming students' communicative, linguistic and regional and intercultural competencies. Appeal to museum pedagogy in the field of teaching a foreign (Russian) language seems to be very relevant in connection with the increased popularity of visualization's forms for teaching material. In the article describes the main forms of work in this area: a walking tour of the city, a virtual excursion, a museum project, a role-playing game, a quest game. The worldview and educational significance of excursion activity, which contributes to broadening the horizons of students and fostering a tolerant attitude towards other religions, is emphasized. The authors proposed a model of a virtual tour «Museum of L.N. Tolstoy», the organization of the adventure quest «Legends and Secrets of Kazan». A large place in the article is occupied by the methodology of conducting a cycle of classes on the topic «Visual Arts». The main types of tasks and lexical and grammatical exercises are presented, which are aimed at the development of all the main forms of speech activity – reading, speaking, listening and writing.

Keywords: museum pedagogy, communicative competence, intercultural competence, linguistic studies, linguoculturology, visualization, museum project, role-playing game, quest

В современной методике преподавания русского языка как иностранного особое внимание в последнее время уделяется поиску новых форм работы с аудиторией с целью формирования у обучающихся коммуникативной, лингвострановедческой и межкультурной компетенций. Данные компетенции взаимосвязаны, т.к. полноценное развитие речевых навыков невозможно без постижения духовных и культурных ценностей русского народа [1–3].

В мире компьютерных технологий все большую популярность представляет визуализация форм подачи изучаемого материала [4, с. 402]. В связи с этим одним

из эффективных методов нам представляется обращение к музейной педагогике [1; 2; 5].

Цель исследования заключается в приобщении студентов к музейным ценностям, в развитии у обучающихся навыков восприятия музейной информации и понимания языка музейной экспозиции, в формировании умения грамотно выражать свои мысли и чувства в устной и письменной форме.

Материалы и методы исследования

В данной статье применяются аудиовизуальный, коммуникативный, репродуктивно-креативный, суггестопедический методы исследования, а также метод про-

ектов. Важно подчеркнуть, что проведение ролевых игр, реальных и виртуальных экскурсий, квестов с использованием лингвострановедческого материала позволяет не только повысить мотивацию обучающихся, но и активизировать их интеллектуальные возможности.

Результаты исследования и их обсуждение

Существует много способов работы с иностранной аудиторией в данной сфере. Самым популярным способом здесь представляется пешеходная экскурсия по городу с целью знакомства студентов с культурным и архитектурным наследием, садово-парковым искусством и природными особенностями того региона, в котором проходит обучение. Такая городская прогулка является обязательной для студентов 1 курса. Маршруты могут быть самыми разнообразными.

Первоначальное знакомство, например с Казанью, – начинается с ее исторического центра, поэтому данный маршрут охватывает площадь Свободы, Кремль и прилегающие территории, улицу Баумана, улицу Кремлевскую, набережную реки Казанки.

Важно донести до студентов, что Казанский Кремль – это огромный комплекс, в котором гармонично и самобытно сочетаются русские и татарские культурные традиции. На его территории находятся многочисленные музеи, действующие и мирно сосуществующие мечеть Кул-Шариф и Благовещенский Собор, служащие символом двух мировых религий – христианства и мусульманства, что говорит о веротерпимости народов Татарстана. Нужные акценты, которые расставляются преподавателем во время экскурсии, служат не только расширению кругозора студентов, но и могут воспитывать толерантное отношение к другим религиям.

Безусловно, перед каждой экскурсией преподавателем должна проводиться большая подготовительная работа, включающая в себя введение новой лексики по теме, отработку необходимых для коммуникации лексико-грамматических моделей, знакомство с определенными историческими вехами или с краткой биографией поэта, писателя и т.д. Все зависит от цели и поставленных задач преподавателем перед аудиторией.

В данном случае в качестве подготовительного этапа перед реальной экскурсией можно предложить виртуальную экскурсию по городу или музею.

Например, виртуальная экскурсия «Музей Л.Н. Толстого», которая ежегодно проводится для иностранных студентов, включает в себя:

- общие сведения о музее (история создания, тематическая направленность, исторические личности, связанные с музеем);
- географию музея (его территориальное расположение);
- музейную экспозицию (подготовленные преподавателем презентация, фотографии, буклеты и т.д.).

Преподаватель на данном этапе играет роль экскурсовода, который знакомит обучающихся с учебным материалом на визуальном и вербальном уровнях.

Далее студентам предлагается подготовить рассказ об одном из экспонатов музея. В качестве объекта повествования может быть выбрано все, что так или иначе было связано с казанским периодом жизни великого писателя с 1841 по 1847 г. (портрет, фотография, личная вещь, эксклюзивная рукопись и т.д.).

Необходимо отметить, что здесь речь уже идет о самостоятельном продуцировании обучающимися монологического высказывания. Как один из способов визуализации текстовой структуры с целью упрощения восприятия рекомендуется предложить студентам составить денотативный граф (графическое построение текста). Граф можно использовать в качестве опоры как при монологическом высказывании выступающими, так и для лучшего усвоения материала «зрителями» [6, с. 612].

Следующий этап – проведение реальной экскурсии – можно разбить на несколько тематических блоков («комната братьев Толстых», «комната тетушки П.И. Юшковой», «Л.Н. Толстой в Казани», «Творчество Л.Н. Толстого, связанное с казанским периодом жизни»). Каждый из этих блоков должен будет подготовить один, максимум два студента, выступающих в роли экскурсовода.

После посещения того или иного музея или проведения пешеходной экскурсии можно предложить студентам поучаствовать в создании «музейного проекта», который включает в себя выполнение различных креативных заданий (подготовку докладов, презентаций, видеороликов, стендов, фоторепортажей и т.д.). Основные требования, которые должен озвучить преподаватель перед началом выполнения, заключаются в четкой формулировке темы проекта, определении его целей и задач, представлении интересного материала (с использованием вербальных и визуальных средств) и наличии заключительных выводов.

С целью расширения страноведческих знаний, а также развития речевых навыков и навыков работы в русскоязычном интернет-пространстве при подготовке

«музейного проекта» студентам продвинутого этапа обучения рекомендуется использовать информацию, представленную в свободной энциклопедии «Википедии» и на сайтах российских музеев и картинных галерей [4, с. 401].

Еще один из интереснейших и новейших видов работы – это проведение квестов в музейной педагогике.

Известно, что ключевым моментом квеста является решение различных головоломок и задач, требующее от игрока определенных знаний в конкретной области, сообразительности, языковой догадки, а также быстрых ответных действий.

Игры-квесты позволяют изучать историю города, биографии известных людей в игровой форме.

Так, обычную пешеходную экскурсию для старших курсов можно заменить альтернативной – квестом. Например, приключенческий квест «Легенды и тайны Казани». Первоначально преподаватель знакомит учащихся с определенными легендами и преданиями, связанными с историей города и задействованными в квесте. Далее рассказывается сюжет игры, участники получают специальный конверт с заданиями и карту местности. В конверте находятся загадки, головоломки, которые подсказывают маршрут. Также могут быть задания на смекалку или командное взаимодействие (например, собрать пазл, чтобы найти правильный ответ).

Количество этапов и заданий можно варьировать в зависимости от уровня подготовки группы. В квесте могут быть представлены следующие типы заданий.

Например: «Падающая башня – один из символов Казани. По легенде, она была построена за 7 дней мастерами Ивана Грозного для прекрасной царицы Казанского ханства, на которой он хотел жениться. Как называется эта башня? Найдите ее в Казанском Кремле».

Правильный ответ на данное задание – башня Сююмбике. Именно так звали прекрасную казанскую царицу, в честь которой и была названа башня.

Также присутствуют задания, включающие в себя указание на интересный с исторической точки зрения объект (здание, памятник) и связанный с ним вопрос. Для ответа на вопрос требуется найти этот объект, а затем вписать указанную букву или сочетание букв из названия объекта в ребус.

Например: «Назовите мифическое существо, изображенное на гербе города. Найдите аналогичную скульптуру на территории Кремля. Что украшает голову этого существа? Впишите первую букву полученного слова в ребус».

Правильный ответ – памятник царю змее Зиланту. Его голову украшает корона. В ребус пишется буква «к». В завершение квеста слово, получившееся в результате разгадывания ребуса, поможет найти тайное сокровище – приз для команды.

Большое достоинство экскурсии-квеста – это приобретение новых знаний опытным путем. Такие задания помогают лучше усвоить и надолго запомнить материал.

Еще один интересный и познавательный для студентов квест «Ключи от прошлого» по старинному барскому дому Боратынских, который был разработан сотрудниками данного музея. Задача преподавателя в данном случае заключалась в подготовке обучающихся к прохождению квеста и адаптации языкового материала, который был представлен в заданиях. В конце квеста игроки должны были найти ключи от потайной дверцы, открыть ее и взять долгожданный приз.

Большим лингвострановедческим потенциалом обладают произведения изобразительного искусства. Использование зрительной наглядности облегчает семантизацию и создает «эффект присутствия», позволяя иностранным студентам во всей полноте воспринять своеобразие русской и мировой культуры, познакомиться с особенностями быта и национальными традициями народов Татарстана. На базе экспозиции Музея изобразительных искусств Республики Татарстан, обладающего богатой коллекцией, регулярно проводятся аудиторные и экскурсионно-практические занятия по теме «Изобразительное искусство России и Татарстана».

Сначала преподаватель беседует с обучающимися и знакомит с лексикой по данной теме: названиями жанров, направлений, используемых материалов и терминов техники письма. Читаются тексты об известных художниках, картины которых представлены в музейных собраниях. Выполняются лексико-грамматические упражнения. Завершающим этапом работы становятся экскурсии в Музей изобразительного искусства РТ, национальную галерею «Хазине» и картинную галерею Константина Васильева. После посещения музея студентам предлагается написать небольшое сочинение по одной из картин и подготовить на его основе монологическое сообщение.

Приведем основные типы заданий по теме «Изобразительное искусство»:

1. Прочитайте текст. Переведите его на родной язык. Приготовьтесь к ответу на вопрос «Что такое изобразительное искусство?».

Изобразительное искусство – раздел пластического искусства, объединяющий живопись, скульптуру и графику. Изобразительное искусство отражает действительность в наглядных, зрительно воспринимаемых образах. Изобразительное искусство раскрывает временное развитие событий, духовный облик, переживания, мысли, взаимоотношения людей, воплощает общественные идеи.

2. Прочитайте диалог, выпишите словосочетания со словом музей, переведите их на родной язык.

– Какой музей Вы бы хотели посетить?

– А какие музеи есть в Вашем городе?

– В Казани есть музей Л.Н. Толстого, музей Е. Боратынского, литературно-мемориальный музей А.М. Горького и Ф.М. Шаляпина, галерея К. Васильева, дом-музей В. Аксенова, Национальный музей Республики Татарстан, Государственный музей изобразительных искусств Республики Татарстан, музей исламской культуры, музей-мемориал Великой Отечественной войны, музей истории Казанского университета, археологический музей и многие другие.

– Я недавно приехал в Казань, и еще нигде не успел побывать. В какой музей Вы посоветуете пойти?

– О, в Казани многое стоит посмотреть! Но для начала я советую Вам посетить картинную галерею нашего знаменитого земляка Константина Васильева. Особенно интересны его картины на мифологические сюжеты.

– Спасибо за совет, а где находится этот музей? Это далеко?

– Нет, он находится в самом центре Казани, на улице Баумана.

– Да, я знаю, где это. А Вы составите мне компанию?

– С удовольствием!

3. Определите значение следующих слов и словосочетаний:

Живопись, пейзаж, портрет, графика, иллюстрация, этюд, эскиз, символизм, сказка, былина, притча, эпос, сага, фэнтези, рыцарь, витязь, богатырь, мудрец, дракон, валькирия.

4. Прочитайте текст «Константин Васильев». Расскажите о творчестве Константина Васильева, используйте данные словосочетания:

Творческая биография художника, школа-интернат, художественное училище, талантливый живописец, историческое прошлое России, учитель рисования, художник-оформитель, трагически погибнуть, историческое полотно, былинно-мифологический сюжет, любовь к литературе,

творчество Вагнера, русские былины, скандинавские саги.

5. Определите жанр следующих картин Константина Васильева: «Нашествие», «Ожидание», «Русский север», «Князь Игорь», «Маршал Жуков», «Валькирия над сраженным Зигфридом», «Ель».

6. Опишите картину Константина Васильева «Русалка». Ответьте на вопросы:

– Как вы понимаете название картины? Переведите его на родной язык. Кто такие русалки?

– Как выглядит девушка и во что она одета?

– Как вы думаете, какое у нее настроение?

– Какое время суток изображено на картине?

– На фоне какого пейзажа изображена русалка? Как вы думаете, почему?

– Какие чувства вызывает у вас эта картина? Что в ней привлекло ваше внимание?

– Какие русские поэты и писатели обращались к образу русалки?

– Какие легенды и мифы о русалках есть у вашего народа?

7. В музее Константина Васильева заболел экскурсовод, попытайтесь исполнить его роль.

8. Вы побывали в разных музеях, обобщите свои впечатления, ответив на вопросы:

– Какие музеи вам больше нравятся и почему?

– Какие музеи Казани вам хорошо известны? Какие экспонаты хранятся в этих музеях?

– Какой из музеев произвел на вас наибольшее впечатление?

– Что вас больше всего удивило в этом музее?

– Расскажите об одном из музеев, которые вы посетили

9. Какие фильмы, посвященные художникам, вы смотрели?

10. Каких известных художников вашей страны вы знаете? Расскажите об одном из них.

В заключение хочется отметить, что посещение музея и описания экспонатов и картин, проведение музейных квестов, реальных и виртуальных экскурсий, подготовка и проведение экскурсий самими студентами – все это позволяет сделать процесс обучения русскому языку иностранных студентов нетрадиционным, творческим и наиболее эффективным.

Список литературы

1. Дудина Г.О. Музейная педагогика как средство обучения русскому языку как иностранному (на примере моделирования виртуальной экскурсии по музеям Санкт-Петербурга) // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27246> (дата обращения: 07.04.2020).

2. Дудина Г.О. Формы и способы организации занятий по русскому языку в иностранной аудитории на основе лингвострановедческого материала // Актуальные проблемы гуманитарного знания в техническом вузе: материалы V Межд. науч.-метод. конф. (19–20 ноября 2015 г.). СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. С. 276–279.

3. Михейкина С.Г. Музейная педагогика в практике преподавания РКИ // Автомобиль- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: материалы международной научно-технической конференции ААИ, посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ» – Московский государственный технический университет «МАМИ». 2010. С. 414–417. [Электронный ресурс]. URL: [http://mospolytech.](http://mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s12/s12_81.pdf)

[ru/science/mami145/scientific/article/s12/s12_81.pdf](http://mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s12/s12_81.pdf) (дата обращения: 07.04.2020).

4. Федотова С.И., Чевела О.В. Использование компьютерных технологий в практике преподавания РКИ: материалы I Международного симпозиума. 2017. С. 400–405.

5. Кетова Л.М. Музейная педагогика как инновационная педагогическая технология // Человек в мире культуры. 2012. № 4. С. 76–81.

6. Федотова С.И., Чевела О.В., Аликова Е.А. Особенности построения монологической речи при обучении иностранных студентов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5–3. С. 610–613.

УДК 374.71

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ**Юльметова Р.Ф., Малышева М.О., Сисюков А.Н.***Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, e-mail: liya974@mail.ru*

Внедрение информационных технологий в различные сферы жизнедеятельности человека и информатизация образования предполагает использование в учебном процессе различных видов электронного обучения, в том числе мобильного обучения. Одним из актуальных направлений экологического образования в настоящее время являются направления обучения, затрагивающие охрану окружающей среды и уменьшения воздействия на нее. К ним относятся обучение по обращению с отходами и экологической безопасности. Самым эффективным инструментом вовлечения студентов в образовательный процесс является геймификация. Геймификация не предполагает создание полноценной игры, а только использование определенных элементов, которые позволяют студентам самостоятельно изучить предложенный материал. В данной статье рассмотрены этапы разработки прототипа обучающей экологической игры на мобильную платформу, состоящей из мини-игр на экологическую тематику, которая позволила не только студентам, но и массовому потребителю получить базовые знания и навыки в области охраны окружающей среды. Игровые технологии позволяют создать ролевую модель ситуации, с которой обучающийся может столкнуться в профессиональной деятельности или в повседневной жизни. Образовательные игры способствуют успешному усвоению материала. Проведение занятий в игровой форме стимулирует обучающихся к более активной учебной деятельности. Игровые технологии не могут заменить лекционные материалы, практические и лабораторные занятия, но они могут стать эффективным дополнением к основным методикам.

Ключевые слова: информационные технологии, геймификация, экология, мобильные обучающие игры, игровые технологии

IT-TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL EDUCATION**Yulmetova R.F., Malysheva M.O., Sisukov A.N.***National research University of information technologies, mechanics and optics, Saint Petersburg, e-mail: liya974@mail.ru*

The introduction of information technologies in various spheres of human life and Informatization of education involves the use of various types of e-learning in the educational process, including mobile learning. One of the most important and relevant areas of environmental education nowadays is the area that covers protection of the environment and reduction of the impact upon it. These include training in waste management and environmental safety. The most effective tool for involving students in the educational process is gamification. Gamification does not suppose the creation of a full-fledged game, but only the use of determined elements that allow students to study the proposed material independently. This article describes the stages of development of a prototype of a training environmental game for a mobile platform, consisting of mini-games on environmental topics, which allow not only students, but also mass consumers to get basic knowledge and skills in the field of environmental protection. Game technologies allow you to create a role model of the situation that the student may encounter in professional activities or in everyday life. Educational games contribute to the successful assimilation of the material. Conducting classes in the form of the game encourages students to more active learning activities. Game technologies can not replace lecture materials, practical and laboratory classes, but they can be an effective addition to the main methods.

Keywords: information technology, gamification, ecology, mobile educational games, gaming technology

Процессы информатизации и модернизации высшего образования на сегодняшний день связаны с нравственным воспитанием личности и становлением ее экологической ответственности. Одним из актуальных направлений экологического образования в настоящее время являются направления обучения, затрагивающие охрану окружающей среды и уменьшения воздействия на нее. К ним относятся обучение по обращению с отходами и экологической безопасности. На данный момент люди разных возрастов начинают активно интересоваться вопросами экологии и осознанного образа жизни. Однако зачастую они сталкиваются с тем, что познать весь объем информации и разобраться в нем практически не представляется возможным. Например, чтобы

научиться правильно сортировать отходы, человеку приходится самостоятельно искать информацию в Интернете, разбираться в различных видах пластика и так далее. Необходимость тратить на это большое количество времени и большой объем информации ведут к тому, что человек откладывает процесс познания, а затем и вовсе теряет интерес к осознанному образу жизни.

В настоящее время ИТ-технологии затрагивают все сферы жизнедеятельности человека: образование [1; 2], технологию и производство [3–5], медицину [6], логику, транспорт, социальную сферу и т.д. В современном мире актуально внедрение в процесс обучения информационных технологий, в том числе игровых. Таким образом, в сфере образования наиболее акту-

альной «становится проблема, связанная не с усвоением максимального количества информации, а с ее преобразованием, отбором, хранением и доступностью для того, кто в ней нуждается» [1]. В настоящий момент остро стоит вопрос создания единой образовательной системы, которая позволила бы любому человеку легко разобратся в вопросах экологии и охраны окружающей среды. Для создания такой системы удобно использовать информационные технологии, а на волне интереса населения к видеоиграм в образовательный процесс могут быть внедрены технологии игрового обучения, иными словами, геймификация. «Геймификация позволяет вовлечь студента в учебу так же, как компьютерная игра вовлекает игрока. При этом подразумевается создание такой системы, в которой успешность игры участника зависит от его навыков и знаний, которые можно перенести в реальный мир» [7].

Игровые технологии позволяют создать ролевою модель ситуации, с которой обучающийся может столкнуться в профессиональной деятельности или в повседневной жизни. Образовательная игра имеет цель, а для достижения максимальных результатов необходимо проанализировать игровые итоги. Весь процесс регулируется правилами, помогающими обучающемуся быстрее сориентироваться в игровом мире.

Целью исследования является разработка прототипа обучающей экологической игры на мобильную платформу, состоящей из мини-игр на экологическую тематику, которая позволила бы массовому потребителю получить базовые знания и навыки в области охраны окружающей среды и осознанного образа жизни.

Материалы и методы исследования

Геймификация – это активная форма обучения, которая позволяет сделать образовательный процесс насыщенным и занимательным. Благодаря эмоциональной окрашенности игры у обучающегося происходит активизация ряда психологических функций, и, таким образом, применение игровых технологий позволяет усвоить большой объем информации, способствует раскрытию индивидуальных способностей и творческого потенциала обучающегося, развивает коммуникативные навыки. Установлено, что «применение игровых механик в обучении, награждение очками за успешное выполнение заданий, наличие элемента соревновательности, использование рейтингов обучающихся позволяют организовать обучение на новом уровне, подталкивая к новым успехам, интенсивно

мотивируя обучающихся» [8]. Слово «геймификация» (от англ. gamification, геймизация) означает применение для прикладного программного обеспечения и веб-сайтов подходов, характерных для компьютерных игр в не игровых процессах с целью привлечения пользователей и потребителей, повышения их вовлеченности в решение прикладных задач, использование продуктов, услуг» [9]. «Включение элементов игры позволяет увеличить вовлеченность обучаемых в образовательный процесс, влиять на их поведение и эффективность обучения» [10]. Из положительных моментов геймификации можно отметить следующее: во-первых, это помогает раскрыть способности обучающихся; во-вторых, обучение становится более приятным и эмоциональным; в-третьих, в игре можно экспериментировать и выполнять нестандартные задания, что позволяет обучающимся проявить свои способности.

В данной работе приводится разработка прототипа обучающей экологической игры. В будущем разработанный прототип может быть протестирован на различных группах населения для проверки его эффективности, доработан, а затем использован для реализации полноценной игры. Разрабатываемая игра может быть применима как для обучения в школах и университетах, так и для самостоятельного прохождения более взрослыми слоями населения, и направлена на изучение экологии и окружающего мира.

В вопросе обучения особенно важны несколько аспектов: интерес игрока к процессу обучения, его замотивированность, эмоциональная составляющая и особенности мышления человека. Следует учитывать, что максимального результата можно добиться при сочетании следующих факторов: высокий уровень интереса, положительные эмоции, которые испытывает студент в процессе обучения, наличие сильных внешних и внутренних мотивов и формирование в сознании обучающегося ассоциаций – опорных сигналов, по которым студент сможет вспомнить и воспроизвести усвоенную информацию в будущем.

Для создания успешной игры, которая будет вызывать интерес у игрока и помогать справляться с обучающими функциями, необходимо учитывать основы гейм-дизайна. Помимо глобальной познавательной цели, игра должна иметь увлекательные механики – способы взаимодействия с ней игрока. Большое количество мелких механик может отрицательно сказаться на процессе обучения и знакомства с игрой, поскольку увеличивает порог вхождения.

Любые механики, присутствующие в игре, должны быть сбалансированы. Если игра кажется слишком простой, высок риск, что студент быстро потеряет к ней интерес. Но при этом чрезмерно сложная игра вызовет у него деструктивные эмоции, и уровень его мотивации упадет. Оптимально постепенно увеличивать уровень сложности и подготавливать игрока к более трудным заданиям.

Игра должна быть динамичной, то есть обладать оптимальным количеством игровых событий на условную единицу времени. С учетом того фактора, что в основном люди играют в мобильные игры во время перерывов или поездок в общественном транспорте, задания должны быть короткими и содержать ключевую информацию. Тексты большого объема должны быть сокращены до тезисов и по возможности представлены в виде изображений.

В игре должна быть тщательно продуманная система поощрений и наказаний. Это нужно, чтобы дополнительно мотивировать игрока. В случае успешного прохождения заданий и регулярности занятий игрок получает очки опыта, достижения, внутриигровую валюту и награды. В случае если игрок не справляется с заданиями или не занимается регулярно, он теряет полученные им преимущества.

Разрабатываемая игра представляет собой набор мини-игр на экологическую тематику, которые доступны для прохождения на смартфоне. Игра реализуется в формате приложения с игровыми элементами. В приложении доступно три основных экрана: непосредственно экран с заданиями и статистикой прогресса по ним, общий рейтинг игроков и личный кабинет.

Экран с заданиями представляет собой экран с названиями заданий и их иконками. Каждое из заданий – это мини-игра или их сочетание, которое позволяет усвоить тот или иной материал или отточить определенные навыки. Рядом с каждой иконкой имеется прогресс-бар и уровень, которого достиг обучающийся в рамках данного задания.

Успешно справляясь с заданиями, игрок получает очки опыта, повышает уровень в рамках данного задания и получает доступ к более сложным испытаниям, а также специальным испытаниям, где задание нужно выполнить на время или за его выполнение начисляются дополнительные очки. Помимо очков опыта, за выполнение заданий игрок получает внутриигровую валюту, которую может потратить во внутриигровом магазине. Количество очков опыта может оставаться на одном и том же уровне или только возрастать, в то время как внутри-

игровая валюта списывается в случае совершения покупки во внутриигровом магазине. Экран рейтинга игроков представляет собой список участников, отсортированный в порядке убывания накопленных ими очков опыта. Накапливая достаточное количество очков опыта и обгоняя по достигнутым результатам остальных игроков, студент переходит в следующую лигу, более высокого уровня, что дает ему дополнительное достижение и награды. Список участников лиги обновляется еженедельно.

В личном кабинете у игрока есть доступ к собственным достижениям, списку друзей и внутриигровому магазину. За достижения игрок может получать награды в виде специальных внутриигровых бонусов, а в перспективе – скидок и подарков от партнеров. Чем выше уровень достижения, тем серьезнее и весомее будет награда. С помощью списка друзей игрок сможет ознакомиться, кто из его друзей также пользуется приложением. Если в списке контактов есть человек, который не пользуется приложением, у игрока будет возможность пригласить его с помощью реферальной ссылки. За это действие оба – и игрок, и приглашенный – получают внутриигровые награды.

Во внутриигровом магазине можно за накопленные награды приобретать внутриигровые ресурсы – особые режимы, дополнительные жизни, а в дальнейшей перспективе – награды в виде экологических товаров от партнеров.

В качестве поощрений в игре действует система наград и достижений. За выполнение заданий игрок получает очки опыта, которые позволяют ему повышать уровень. С ростом уровня открывается доступ к более сложным заданиям и специальным режимам. Чем больше в течение дня игрок выполняет заданий, тем выше становится коэффициент, увеличивающий получаемый опыт. Помимо опыта, за выполнение заданий игрок получает внутриигровую валюту, которую может обменять на внутриигровые ресурсы. Если игрок долгое время не заходит в приложение, он теряет все заработанные преимущества, но количество очков опыта и накопленной внутриигровой валюты остается на прежнем уровне.

Если игрок долго не заходит в приложение, ему предлагается для разминки пройти несколько упражнений, которые помогут ему вспомнить пройденный ранее материал и легко заново влиться в процесс обучения.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время реализован прототип первой мини-игры. Она посвящена

проблеме раздельного сбора мусора. Игроку предлагаются различные виды отходов и варианты баков для раздельного сбора. Игроку необходимо правильно выбрать, в какой бак распределить отход. Например, на рис. 1 игроку необходимо выбрать, в какой бак распределить бытовой отход – лампочку накаливания. На выбор ему предлагается три варианта: бумажные отходы, опасные отходы или органические отходы. В том случае, если игрок не знает правильного ответа, он может либо дать ответ наугад и посмотреть результат, либо ознакомиться с теоретическими материалами. Возможность ознакомиться с теоретическими материалами остается и после того, как игрок дал свой ответ, вне зависимости от того, правильным он был или нет.

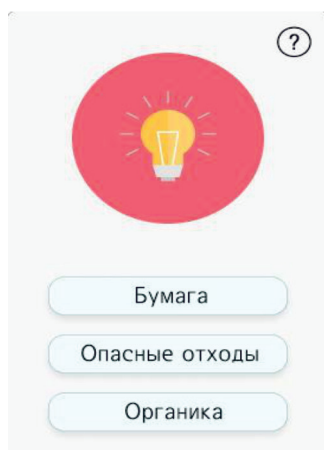


Рис. 1. Экран типового вопроса в мини-игре по раздельному сбору отходов

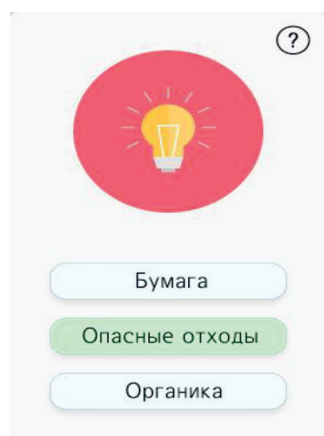


Рис. 2. Экран правильного ответа в мини-игре по раздельному сбору отходов

В том случае, если игрок делает правильный выбор, экран игры изменится в соответствии с рис. 2. Правильно выбранный вариант ответа будет подсвечен зеленым

цветом, а два других варианта, неправильных, не изменят свой цвет.

В том случае, если игрок дает неверный ответ, изображенный как на рис. 3, его выбор подсвечивается красным цветом, сигнализирующим об ошибке. Вместо этого игроку предлагается обратить внимание на ответ, подсвеченный зеленым цветом – он и является правильным. Вне зависимости от того, какой ответ дал игрок, после ознакомления с правильным вариантом ответа он продолжает мини-игру до тех пор, пока в ней не кончатся этапы. В зависимости от уровня сложности каждая мини-игра включает в себя от 5 до 15 этапов. Кроме того, с ростом уровня сложности количество предлагаемых баков для сортировки увеличивается. На максимальном уровне их число достигает пяти.

Следует отметить, что внешний вид разработанного прототипа может отличаться от финальной версии игры.

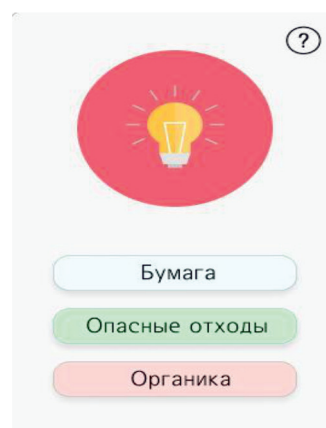


Рис. 3. Экран неправильного ответа в мини-игре по раздельному сбору отходов

В последующих исследованиях планируется реализовать еще две мини-игры. В первой игроку необходимо определить, является ли показанная ему картинка экомаркировкой или гринвошингом. Экологическим маркированием называется присвоение определенного экологического знака (маркировки) продукции, которая обладает экологическими преимуществами перед аналогами.

Гринвошинг – это процесс перевоплощения обычного продукта в экопродукт без изменения самого продукта. Потребитель покупает тот же товар, но платит при этом дороже. Слово greenwashing происходит от от английских слов green – зеленый и whitewash – отбеливание. Буквальный перевод означает «зеленое отмывание». Вторая игра – викторина, где за ограниченное

время игроку нужно ответить на как можно большее число вопросов.

Выводы

Исходя из изученных работ в области создания мобильных обучающих игр, можно отметить, что экологические обучающие игры распространены слабо и на мобильном рынке практически не представлены. Это означает, что разработка подобного проекта может быть актуальна как для образовательных программ, так и для массового потребителя. Внедрение мобильных обучающих игр в образовательный процесс расширяет рамки учебного процесса за пределы учебного заведения и позволяет студентам свободно перемещаться. Информация легче запоминается и способствует лучшему усвоению материала, повышая интерес к образовательному процессу. Наблюдается постоянная обратная связь с преподавателем. Применение мобильных обучающих игр способствует развитию навыков и способностей к непрерывному обучению в течение жизни. Образовательные игры активируют основные психологические функции, которые необходимы для успешного обучения. Они положительно сказываются на заинтересованности и мотивации студента, вызывают конструктивные эмоции, создающие благоприятный эмоциональный фон и формирующие положительное отношение к процессу обучения, а также формируют устойчивые ассоциации, которые позволяют запомнить информацию и увеличивают шансы свободно воспроизвести ее в будущем.

Игровые технологии не могут заменить лекционные материалы, практические и лабораторные занятия. Тем не менее они могут стать эффективным дополнением к основным методикам.

Список литературы

1. Носков Е.А. Технологии обучения и геймификация в образовательной деятельности // Ярославский педагогический вестник. 2018. № 6. С. 138–143.
2. Лузгина В.Б., Стаховская Ж.А. Опыт использования мобильных технологий в образовательной среде вуза // Образовательные технологии и общество. 2016. № 3. С. 463–472.
3. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Юльметова Р.Ф. Технология формирования моментов инерции сферических роторов из анизотропных материалов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. № 3. С. 218–225.
4. Yulmetova O.S., Tit M.A., Sisyukov A.N., Yulmetova R.F. Comparative Analysis of Electrochemical and Laser Marking for Gyroscopic Application. 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg and Moscow. Russia. 2020. P. 1053–1055.
5. Юльметова О.С., Послянова О.Н., Щербак А.Г., Жуков М.В. Исследование и разработка технологии лазерного конфигурирования сердечников феррозондовых инклинометров. Вопросы материаловедения. 2019. № 1(97). С. 85–93.
6. Юльметова Р.Ф., Кулагина А.Н. Экологические проблемы обращения с медицинскими отходами // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: материалы XLVI научной и учебно-методической конференции (Санкт-Петербург, 31 января – 03 февраля 2017 г.). Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, 2017. С. 335–338.
7. Колотыгина А.О., Сидоренко Е.Б. Использование геймификации в обучении студентов вузов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1. С. 124–128.
8. Корнилов Ю.В., Левин И.П. Геймификация и веб-квесты: разработка и применение в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/article/view?id=26865> (дата обращения: 19.03.2020).
9. Мазелиз А.Л. Геймификация в электронном обучении // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2013. № 3. С. 139–142.
10. Говоров А.И., Говорова М.М., Валитова Ю.О. Оценка актуальности разработки методов использования средств геймификации и игровых технологий в системах управления обучением // Компьютерные инструменты в образовании. 2018. № 2. С. 39–54.

ОБЗОРЫ

УДК 37.012.1

**МОТИВАЦИЯ КАК ЦЕННОСТНЫЙ ФЕНОМЕН
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ****Ефремова Н.Ф., Хусейнова А.А.***ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: nefremova61@donstu.ru*

Исследование проблем, связанных с личностью человека, неразрывно влечет за собой ряд вопросов методологического и теоретического характера, требует активной работы философской мысли. Одной из актуальных в этой области выступает проблема развития мотивации. В узком смысле ее содержание можно определить как круг вопросов, связанных с генезисом, спецификой и функциями побуждений и стремлений достижения успеха в человеческой деятельности. До сих пор в педагогике и философии нет однозначного понимания механизмов мотивации вообще и учебной мотивации в частности. Мотивы, стремления, желания, эмоции развивались и изменялись с течением времени в рамках эволюционных преобразований, которые повлекли изменения и в сознании людей. Философия в этом вопросе выступает не только методом познания и объяснения, но и способом решения практических проблем и изменений. В статье особое внимание уделяется моделям развития мотивационной активности в разные исторические эпохи, анализу философской мысли и ее унификации. Отмечается, что в процессе исторического развития мысли под влиянием изменяющегося общества понятие мотивации не просто приобретает личностный характер, а становится основой различных видов деятельности человека.

Ключевые слова: мотивация, философия, педагогика, образование, достижение успеха**MOTIVATION AS A VALUE PHENOMENON OF EDUCATIONAL ACTIVITY****Efremova N.F., Khuseynova A.A.***Federal State Budgetary Educational Institution Higher Education
«Don State Technical University», Rostov-on-Don, e-mail: nefremova61@donstu.ru*

The study of problems associated with a person's personality inextricably entails a number of questions of a methodological and theoretical nature, requires the active work of philosophical thought. One of the pressing problems in this area is motivation. In a narrow sense, its content can be defined as a circle of issues related to the genesis, specificity and functions of motives and aspirations to achieve success in human activity. There is still no unambiguous understanding of the mechanisms of motivation in general and educational motivation in particular in pedagogy and philosophy. Motives, aspirations, desires, emotions developed and changed over time within the framework of evolutionary transformations, which led to changes in the minds of people. Philosophy in this matter is not only a method of cognition and explanation, but a method of solving practical problems and practical changes. The article focuses on the models for the development of motivational activity in different historical eras, the analysis of philosophical thought and its unification. It is noted that in the process of historical development of thought under the influence of a changing society, the concept of motivation acquires not just a personal character, but becomes the basis of various types of activity.

Keywords: motivation, philosophy, pedagogy, education, achievement of success

Предрасположенность людей к определенным стремлениям была подмечена еще в глубоком прошлом. Мотивы и эмоции появились позже в результате эволюционных преобразований, которые повлекли изменения и в сознании людей. Стремления и мысли людей вносят ясность в их жизненное существование, позволяют воспринимать и реализовывать сами идеи [1]. В этом контексте философия выступает не только методом познания и объяснения мира, но и способом решения практических проблем и практического изменения мира к лучшему, в том числе дает развернутое решение одной из самых трудных и важных задач человечества – обоснование практических подходов к воспитанию и образованию молодого поколения [2].

Цель исследования: анализ исторической и философской мысли с целью ее

унификации и создания моделей развития мотивационной активности в разные исторические эпохи.

Научному изучению и обоснованию активности человека положили начало великие мыслители прошлого: Платон, Аристотель, Демокрит, Гераклит, Декарт, Юм, Сократ, Макиавелли, Локк, Лейбниц, Кант и др. С мотивацией они неразрывно связывали эмоциональные переживания. Их изучение человека, его потребностей и мотивов стало основой для понимания феномена мотивации, развития теории и практики ее формирования. Ум человека становился изощренным, двигающим к изменениям и изобретению все новых благ, совершенствованию языка, речи и привычек к труду [3]. В те времена мотив рассматривался как основная движущая сила. Атрибуты мотивации в античности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модель развития мотивационной активности в эпоху античности

Причина Мотивация – определяется условиями жизни и местом мотива в жизни человека. Важно знать и понимать, что он делает и для чего. Стремление человека стать как можно более мудрым	Личность Активная («огненная») душа, неутомимая в поиске и охваченная вечным беспокойством, мыслитель
Метод Развитие стремления к знаниям, познанию истины и всеобщему познанию, эмоциональные переживания человека и чувство долга. Желание проникнуть в неизведанное, сокровенное и труднодостижимое	Результат Соблюдение умеренности в удовлетворении потребностей, формирование новых благ. Минимизация потребностей и удовлетворение их только в насущный момент

Античная философия отмечала, что истиной способна овладеть душа, которая активна (более «огненна») и всегда бодрствует («горит»), а не пребывает в спячке, находится в постоянном поиске и беспокойстве со стремлением проникнуть в неизведанное, сокровенное и труднодостижимое. Стремления и мотивы определяются условиями жизни, любое желание человека покупается ценой «психеи». Считалось, что, чем чаще человек злоупотребляет различными желаниями, тем больше будет ослабляться его «психея». Соблюдая умеренность в удовлетворении потребностей, люди способствовали совершенствованию и развитию своих интеллектуальных способностей [4]. При этом главное не в том, каковы стремления человека, а в том, какое место эти стремления занимают в его жизни. Согласно их философии важно стремление к минимизации потребностей и их удовлетворению тогда, когда они становятся действительно насущными [5].

Сократ выстроил процесс мотивации на том, что вначале необходимо достичь «Благо». Оно объединяет в себе физическое здоровье и телесные силы; духовное здоровье и умственные способности; увлечение искусством и науками; согласие с окружающими; гражданственность и патриотизм. Большое значение в его трудах отводится понятию «Добродетель» (arete), опирающемуся на знание, отсутствие знания порождает невежество. Человек, обладая добродетелью, по его мнению, может достичь блага. Из добродетелей он выделил три основных вида – самообладание, храбрость, справедливость. К способам овладения добродетелью он относил не подражание внешнему (поведению богов, героев и великих мужей), а стремление разобраться с внутренним в своей душе (мотивационном поле). Именно это обеспечивает понимание достойного поведения, по определенным принципам ведет

к «моральным действиям». Основу нравственного принципа он заявил как то общее, чем руководствуется каждый в своем отношении к природе и человеку. Таким образом, Сократ выявил важный тип зависимости: полезные дела обусловлены идеальными мотивами. Правильный выбор деятельности в конечном счете приносит удовольствие, которое человек стремится повторить. По его мнению, это и есть правильный путь и те моральные (справедливые) состояния, которые обеспечивают «Счастье» и достижение желаемой цели. Под счастьем понимается не столько удовольствие, сколько возможность жить в мире с самим собой, обладать чистой совестью и самоуважением [6]. А поскольку человек стремится к счастью, как считалось во времена античности, счастлив он только тогда, когда пользуется вещами правильно. Эта правильность позволяет приобрести необходимые знания, определяющие стремление к справедливости и достижение благополучия [7].

Одна из самых ранних теорий мотивации была предложена Аристотелем, который в своих трудах развил утверждение, что мотивация является результатом функции «влечений», всегда связана с каким-то результатом или целью, стремлением человека к знанию. Доказательством этому является влечение к чувственным восприятиям. Предполагалось, что стремления человека тесно взаимосвязаны с целью, а целью умообразного знания является истина, воплощенная в дело [8].

Рационалистический период греческой философии развивают Протагор и софисты. Протагор создал самостоятельную философскую теорию становления мотивации. После максималистских требований, касающихся познания в теории греческих философов до него, он первым выступил с теорией познавательного минимализма [9]. Утверждалось, что чело-

век есть критерий всех дел. Мера – критерий, вещи – дела. Мотив, по Протагору, есть благо успешности в делах частных и общественных, делающее человека способным к обсуждению и ведению дел государственных. Умение публично защищать свои интересы и обсуждать дела общественные рассматривается как «политическое искусство». В философии Протагора это представляется конечной целью [10]. Позже, помогая государственным деятелям, адвокатам, политикам, частным лицам ярко и убедительно выступать в народных собраниях, на судебных процессах, софисты обучение специальному знанию и красноречию сделали платными услугами. Протагор и софисты впервые в центр философских исследований поставили человека и его деятельность, а главное – результаты этой деятельности (табл. 2).

Смена мировоззренческих ориентиров, философских взглядов, в том числе и понимания мотивации, произошла в рамках средневековой философии. Примечательным во времена Средневековья выступает утверждение, что не разум, а воля является основой духовной жизни, ибо разум имеет пассивный характер, а воля обуславливает активные действия, а также получение важных и нужных знаний от других людей как опосредованное познание. В это время появляется и такое понятие, как «вера» [11]. Происходит разделение понимания бытия вещей и царства мысли, возникают и абстрагируются чувственные образы, а из них выделяются так называемые умопостигаемые образы [12]. Гуго Сен-Викторский в «Дидакалоне» доказывает, что чувства и поступки, подчиняющиеся голосу разума

на основе всеобъемлющего знания, рассматриваются как способ совершенствования личности. Происходит осознание своей природы, появляется способность усваивать опыт предшествующих поколений. В сочинении монаха и наставника детей французского короля Винсента де Бове «О воспитании знатных детей» проблемы обучения и воспитания уже рассматривались в тесном единстве. Утверждается, что знания позволяют осознанно относиться к себе и в целом облагораживают человеческую природу. Особая роль в жизни общества отводится церкви, подчеркивается господство религии и церкви, Божественного замысла и провидения. В эту эпоху изменяются нормы поведения и идеалы для подражания, более четко формулируется и роль человека в средневековом мире (табл. 3). В это время также появляется представление о том, что в истории имеют место начало и конец некоего целостного процесса.

На смену Средневековью под знаком гуманистических идей Возрождения пришла новая эпоха. В это период произошел переход от религиозной философской мысли к философии рациональных целей бытия человека. Формируется идеал свободного и благородного человека, воплощающего в себе сущность мировой природной гармонии. Провозглашается высшая цель человеческого существования через разум, познание и «обожествление» человека. В это время происходят интенсивное развитие экономической жизни и производства, зарождение буржуазных отношений, интенсивное развитие науки и искусства, мощный духовный подъем общества (табл. 4).

Таблица 2

Модель развития мотивационной активности по Протагору и софистам

Причина	Личность
Непознаваемость мира или же возникновение сомнений в возможности его познания	Человек, его деятельность и результаты этой деятельности
Метод	Результат
Обучение посредством стремления к экономическому и материальному благополучию и признанию в обществе	Благо и успешность в делах частных и общественных

Таблица 3

Модель развития мотивационной активности в эпоху Средневековья

Причина	Личность
Утверждение, что человеческую сущность формирует не разум, а воля. Религиозная и педагогическая увлеченность	Человек, подчиняющийся чувства и поступки голосу разума
Метод	Результат
Обучение через формирование идеального образа, стремления к нему и веру в приобретение всеобъемлющего знания. Системное освоение опыта предшествующих поколений	Облагораживание человеческой природы. Осознанное отношение к себе и своим знаниям. Представление о мыслящем человеке

Таблица 4

Модель развития мотивационной активности в эпоху Возрождения

Причина Переход от религиозных основ мотивации к мотивации рациональных целей человека	Личность Свободный и благородный человек, сущность мировой гармонии
Метод Развитие природных задатков через разнообразие учебного процесса, систему поощрений и наказаний, наглядность	Результат «Обожествление» человека через разум, познание

Таблица 5

Модель развития мотивационной активности в эпоху Нового времени

Причина Формирование экспериментально-математического мировоззрения, развитие промышленного производства	Личность Человек – рациональная личность, ребенок – самостоятельное и разумное существо
Метод Чувственное впечатление (удовольствие или страдание) как ведущее в восприятии вещей. Благоразумие и прилежание, логически правильное мышление	Результат Люди дорожат доброй репутацией и страшатся стыда и позора. Формирование норм поведения в обществе

Следующий период развития философии в Западной Европе получил название философии Нового времени. Он определялся становлением капитализма, бурным развитием науки и техники, формированием экспериментально-математического мировоззрения. Согласно этому учению стремления появляются у человека после получения первого чувственного впечатления. Полученные впечатления развивают ум человека, позволяя ему размышлять о своей собственной деятельности, обращенной на данные ощущение идеи. Благодаря способности воспроизводить идеи и осуществлять их, сравнивать и соединять в бесконечно разнообразные сочетания человек создает новое. Новые сложные идеи, мотивы и стремления приводят к технологическому прогрессу. Передовыми в Новом времени были идеи Дж. Локка, который выдвинул чувственное удовольствие и страдание как главные мотивы обучения и любой иной деятельности. Обретают смысл понятия добра и зла, а награда и наказание становятся важными мотивами [13]. Самыми сильными стимулами души становятся честь и позор; если человек способен ценить их, то его удастся научить дорожить доброй репутацией и страшиться стыда и позора, а в человеке проявляется правильное начало [14]. В эпоху Нового времени идет особенно интенсивное развитие мотивационной активности человека (табл. 5).

Философские идеи Дж. Локка были подхвачены и развиты передовыми мыслителями многих западноевропейских стран. В педагогической концепции Ж.-Ж. Руссо и в педагогической теории и практике швейцарского педагога И. Песталоцци ото-

бражены идеи о заботе и оказании помощи при обучении граждан, а детство рассматривалось как самоценный и качественный этап развития человека, впервые поставлен вопрос о половом воспитании. Мощным направлением философии стал французский материализм XVIII в. Французскую философию XVIII в. называют философией Просвещения и романтизма, она разрушила устоявшиеся представления о Боге, окружающем мире и человеке. Указанные философы проявили новаторство в своих исследованиях, открыто пропагандировали идеи нарождающейся буржуазии и в конечном итоге идеологически подготовили Великую французскую революцию 1789–1794 гг.

Важный вклад в развитие философии внесли разработки русских просветителей XVIII в., в частности М.В. Ломоносова. В этот период особая роль отводилась познанию. Познать предмет значит почувствовать его; почувствовать его значит испытать воздействие. Мотивация предстает как необходимый результат сущности и качеств человека, вложенных в него природой и видоизменяемых под действием обстоятельств [15, с. 672, 668]. Среди философов того времени доминировала мысль, что человек многогранен в силу различных задатков, поэтому задача обучения – обеспечить его рост и развитие. Гармонически развивая природные возможности, можно добиться, чтобы человек достиг своего назначения, а для этого он должен прилагать усилия, понимая цель и предназначение [16]. Расположение к чему-то в то время называлось интересом, который, по Канту, – мотив воли, проявляющийся через разум [17]. Просвещение связывается с национальным самосознанием (табл. 6).

Таблица 6

Модель мотивационной активности в эпоху Просвещения и романтизма

Причина Все во Вселенной находится в движении, и поведение и назначение человека предопределены его «эмпирическим характером»	Личность Человек – результат сущности и качеств, заданных природой и действиями обстоятельств, которые заставляют личность испытывать изменения
Метод Через разум и интеллект усилия, для того, чтобы почувствовать предмет, испытать его воздействие. Ясное понимание цели и сущности существования, всеобщее сопротивление	Результат Образование делает человека свободным, помогает достичь своего назначения, уровня реализации возможностей, понимания национального самосознания

Таблица 7

Модель развития мотивационной активности в эпоху Новейшего времени

Причина Поиски первопричины всего сущего бессмысленны, центральное место занимает опыт. Споры о том, каким должно быть образование. Наличие созданных элитами примеров громкого успеха	Личность Специалисты с качественным образованием, способные к самообразованию, самопознанию и саморазвитию. Источником мотивов продуктивной деятельности становятся знания и способности их применять для решения возникающих проблем
Метод Развитие мотивации, упорядочение результатов, более широкое и сбалансированное обучение через вовлечение обучающихся в «педагогические ситуации» и поиск знаний. Любознательность и необходимые ресурсы, дающие свободу и независимость для творчества через лучшие образовательные программы	Результат Образование, жизненный успех, самоуважение, признание в обществе, благополучие. Деятельность и эмоциональные переживания, связанные с личным успехом или примерами громкого успеха других

Впервые слово «мотивация» употребил в начале XX в. А. Шопенгауэр в статье «Четыре принципа достаточной причины» [18]. Высшая ступень причинности, по мнению мыслителя, – это мотивация, обуславливающая действия человека, которые происходят не спонтанно, а посредством понятий и представлений, опирающихся на прошлое и предвосхищающих будущее. При этом круг понятий и мотивов деятельности зависит от уровня интеллекта [19]. Эти теории способствовали дальнейшему развитию интеллекта как способности индивида к познанию, обучению и осмыслению, приобретению опыта и умения применять знания на практике [20]. Потребности человека философы Новейшего времени (XX–XXI вв.) рассматривали как основной источник мотивов деятельности и совершения тех или иных поступков (табл. 7).

Процесс обучения в Новейшем времени считается эффективным и целенаправленным в образовательной среде, выполняющей три важнейшие функции: организует цели, способности, знания, умения и навыки, а также желательные или планируемые на «выходе» результаты; проясняет и прогнозирует социальную структуру; создает комфортную и сбалансированную среду для обучающихся. Образование – это

не есть вливание в чью-то голову определенной информации, которая затем оттуда вытечет, а это возможность воздействия на процесс обучения, заложенный в самой учебной среде. Воздействие обусловлено участием обучающихся в «педагогических ситуациях», оно основывается на ценности и характере этих ситуаций. Учебная мотивация обеспечивается ситуациями, тесно связанными с настоящим, с окружающей средой, с реальностью, в которой индивиды должны жить и действовать [21].

Один из самых цитируемых ученых – Авраам Ноам Хомский, лингвист, общественный деятель, публицист и анархист по политическим воззрениям – отмечал, что необходимо создать общую структуру образования, чтобы взрослый ли, ребенок ли могли исследовать мир по-своему, сообразно своим творческим и личным склонностям [22]. Сама возможность стать успешным, творческим и независимым человеком, которого радуют моменты открытий, созидания и творчества, способствует развитию мотивации продуктивной деятельности [23].

В работе «Идеи и интеллектуалы в потоке истории» Н.С. Розов отмечал, что эмоциональное потрясение при достижении особенно яркого успеха вызывает у чело-

века психологические изменения, связанные с желанием повторить этот успех [24]. Сильным мотивирующим фактором бурной активности и энергетического подъема он называл достижения высокого статуса правителями и элитами [25].

Отметим, что к настоящему времени накоплено множество педагогических приемов формирования различных компонентов мотивации, в том числе и учебной [26]. Многие из этих компонентов в той или иной степени находят отражение в современной образовательной практике.

Заключение

Предложенные модели мотивационной активности отражают ее развитие в разные исторические эпохи. Но для всех исторических периодов имеются характерные философские концепции. Мотивация рассматривается как совокупность внутренних и внешних сил, мотивов, стремлений и желаний, побуждающих человека к познанию, ощущению и действию; мотивы, опыт и интерес в процессе эволюции общества и культуры не остаются постоянными; мотивы и мотивация меняются от поколения к поколению, передаются от человека к человеку.

Вместе с тем следует отметить, что до сих пор нет однозначного понимания механизмов мотивации вообще и учебной мотивации в частности. Наиболее общим для всех эпох является утверждение, что мотивация учебной деятельности в первую очередь связана с изменениями культуры и запросов общества на качество образования. Велико также влияние ценностных ориентиров, технического прогресса, содержания и уровня сложности знаний, возможности их применения в будущей профессиональной деятельности. В определении причин учебной мотивации затрагивается личностный компонент, зависящий от стремлений и возможностей обучающихся, а также от выбора средств достижения значимых целей. Под влиянием изменяющегося общества мотивация не просто приобретает личностный характер, а становится источником различных видов деятельности. Поэтому проблема повышения уровня учебной мотивации обучающихся и в настоящее время остается значимой для педагогической науки.

Список литературы

- Дьюи Д. Общество и его проблемы / Пер. с англ. яз. И.И. Мюрберг, А.Б. Толстова, Е.Н. Косиловой. М.: Идея-Пресс, 2002. 160 с.
- Корнетов Г.Б. Прогрессивная педагогика Джона Дьюи // Школьные технологии. 2007. № 6. С. 54–63.
- Виц Б.Б. Демокрит. М.: Мысль, 1979. 212 с.
- Кессиди Ф.Х. Гераклит. М.: Мысль, 1982. 200 с.
- Ильин Е.П. Мотивация и мотивы. СПб.: Питер, 2002. 512 с.
- Лифшиц Е.А. Истоки трудовой мотивации // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rypravlenie.ru/?p=615> (дата обращения: 21.03.2020).
- Платон. Диалоги. М.: Мысль, 1986. 607 с.
- Аристотель. Метафизика / Пер. с греческого языка П.Д. Перлова и В.В. Розанова. М.: Институт философии, теологии и истории, 2006. С. 29.
- Татаркевич В. История философии. Античная и средневековая философия / Пер. с польского языка Н.В. Кваскова. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2000. 482 с.
- Трубецкой С.Н. Курс истории древней философии. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС; Русский Двор, 1997. 576 с.
- Богута И.И. История философии в кратком изложении / Пер. с чешского языка И.И. Богута. М.: Мысль, 1991. 590 с.
- Спиркин А.Г. Философия. М.: Гардарики, 2004. 736 с.
- Локк Дж. Мысли о воспитании. М.: Изд-во К.И. Тихомирова, 1904. 241 с.
- Локк Дж. Сочинения в трёх томах: Т. 3. М.: Мысль, 1988. 668 с.
- Гольбах П. Система природы // Антология мировой философии. Т. 2. М.: Мысль, 1970. 776 с.
- Кант И. О педагогике // Трактаты и письма. М.: Наука, 1980. С. 9.
- Кант И. Критика практического разума // Сочинения в 8-ми томах. Т. 4. М.: Чоро, 1994. С. 468.
- Efremova N.F., Huseynova A.A., Shvedova S.V. The influence of assessment on learning motivation SHS Web Conf. Trends in the Development of Psycho-Pedagogical Education in the Conditions of Transitional Society (ICTDPP-2019), 70. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2019/11> (дата обращения: 10.03.2020).
- Гардинер П. Артур Шопенгауэр. Философ германского эллинизма / Пер. с англ. О.Б. Мазуриной. М.: ЗАО Центр полиграф, 2003. 414 с.
- Лифшиц Е. А. Истоки трудовой мотивации // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. 2009. Т. 5. С. 60–68.
- Корнетов Г.Б. Прогрессивная педагогика Джона Дьюи // Школьные технологии. 2007. № 6. С. 54–63.
- Хомский Н. Системы власти. Беседы о глобальных демократических восстаниях и новых вызовах американской империи. М.: Азбука-Аттикус, 2014. 200 с.
- Хомский Н.О. преподавательской работе. [Электронный ресурс]. URL: http://rabkor.ru/columns/analysis/2014/04/chomsky_education/. (дата обращения: 10.03.2020).
- Розов Н.С. Идеи и интеллектуалы в потоке истории: макросоциология философии, науки и образования. Новосибирск: Манускрипт, 2016. 344 с.
- Розов Н.С. Эмоциональная энергия. Историко-социологический анализ. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecsocman.hse.ru/data/2011/06/10/1267348401/Rozov.pdf>. (дата обращения: 10.03.2020).
- Ефремова Н.Ф. Мотивационный аспект независимого оценивания достижений обучающихся // Российский психологический журнал. 2017. Т. 14. № 2. С. 227–244.