СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ 2, 2022

ISSN 1812–7320

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

Журнал издается с 2003 г.
12 выпусков в год

Электронная версия журнала top-technologies.ru/ru
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.т.н., профессор, Завражнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загревский 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., доцент, Красновский А.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Крупенин В.Л. (Москва); д.т.н., профессор, Кузлякина В.В. (Владивосток); д.т.н., доцент, Кузяков О.Н. (Тюмень); д.т.н., профессор, Куликовская И.Э. (Ростов-на-Дону); д.т.н., профессор, Лавров Е.А. (Суми); д.т.н., доцент, Ландэ Д.В. (Киев); д.т.н., профессор, Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.ф.-м.н., доцент, Ломазов В.А. (Белгород); д.т.н., профессор, Ломакина Л.С. (Нижний Новгород); д.т.н., профессор, Лубенцов В.Ф. (Краснодар); д.т.н., профессор, Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., профессор, Макаров В.Ф. (Пермь); д.п.н., профессор, Марков К.К. (Иркутск); д.п.н., профессор, Матис В.И. (Барнаул); д.г.-м.н., профессор, Мельников А.И. (Иркутск); д.п.н., профессор, Микерова Г.Ж. (Краснодар); д.п.н., профессор, Моисеева Л.В. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Мурашкина Т.И. (Пенза); д.т.н., профессор, Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., профессор, Надеждин Е.Н. (Тула); д.ф.-м.н., профессор, Никонов Э.Г. (Дубна); д.т.н., профессор, Носенко В.А. (Волгоград); д.т.н., профессор, Осипов Г.С. (Южно-Сахалинск); д.т.н., профессор, Пен Р.З. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., профессор, Петрова И.Ю. (Астрахань); д.т.н., профессор, Пивень В.В. (Тюмень); д.э.н., профессор, Потышняк Е.Н. (Харьков); д.т.н., профессор, Пузряков А.Ф. (Москва); д.п.н., профессор, Рахимбаева И.Э. (Саратов); д.п.н., профессор, Резанович И.В. (Челябинск); д.т.н., профессор, Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.т.н., профессор, Рогов В.А. (Москва); д.т.н., профессор, Санинский В.А. (Волжский); д.т.н., профессор, Сердобинцев Ю.П. (Волгоградский); д.э.н., профессор, Сихимбаев М.Р. (Караганда); д.т.н., профессор, Скрыпник О.Н. (Иркутск); д.п.н., профессор, Собянин Ф.И. (Белгород); д.т.н., профессор, 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.Щ. (Казань); д.т.н., профессор, Шишков В.А. (Самара); д.т.н., профессор, Щипицын А.Г. (Челябинск); д.т.н., профессор, Яблокова М.А. (Санкт-Петербург)

«СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 63399.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,899.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,305.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

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

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

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

Подписано в печать – 28.02.2022
Дата выхода номера – 30.03.2022

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

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

Способ печати – оперативный
Распространение по свободной цене
Усл. печ. л. 30
Тираж 1000 экз.
Заказ СНТ 2022/2
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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЮЩЕГО ТЕМПЕРАМЕНТА РОБОТА
Анисимова С.И., Шестаков Е.С. 9

ПОСТРОЕНИЕ СИТУАЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
Антонов О.В., Райкова Е.Ф. 14

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПЛАТФОРМЫ ПО ПОДБОРУ ЖИЛЬЯ В НАЙМ В НОТАЦИЯХ ЯЗЫКА UML
Ахмедова З.Х., Магомедова С.Р., Агалиев Д.Д. 20

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СГЛАЖИВАНИЯ БИКУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА В ЗАДАЧАХ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. 26

ТЕХНОЛОГИЯ TIG СВАРКИ, ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
Горшкова О.О. 33

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛА В ПРИМЕМБРАННОМ СЛОЕ
Грецова Н.В., Грецов М.В., Авдеюк О.А., Чигиринская Н.В., Соловьева О.Ю., Павлова Е.С. ... 39

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОУГОЛЬНЫХ СРЕД
Капустин Д.А. 44

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ
Корчагин С.А. 50

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ АВТОПОЕЗДОВ-ЩЕПОВОЗОВ НА ТРАНСПОРТИРОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ
Кузнецов А.В. 55

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Куценко В.Н. 62

ОБЗОР JIT-КОМПИЛЯТОРА NUMBA КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА GPU
Лавринов М.И. 67

ВРЕМЯ И СТОИМОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА
Никируй А.Э., Лымарь С.В., Дроговоз П.А. 72

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА
Паранук А.А., Меретуков М.А., Величко Е.И., Кохужева Р.Б., Румянцев С.В., Субочев О.Г. 78

СПОСОБ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ НАДЁЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ
Ретюнских С.Н. 86

О НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ЛЯПУНОВУ
Ромм Я.Е. 92

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
Свиридов А.Н., Демкин В.И. 110

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ
Сигов А.Н., Старостин А.В., Кулева Н.И., Богданов Д.А. 116

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОПРОГРАММИРУЕМОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В MICROSOFT EXCEL ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УЧЕБНЫХ МИКРОПРОГРАММ
Страбыкин Д.А. 121

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ЭЛЕКТРОРАДИО ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ ИНФОРМАЦИИ
Суслов А.А., Садковская Н.Е., Котлярова Н.Ю., Анферова М.С., Кузьмич А.Ю. 130

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ РЕДЕВЕЛОПМЕНТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН
Топчий Д.В., Муря В.А., Токарский А.Я. 137

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ФИТОТРОНОМ СО СВЕТОКУЛЬТУРОЙ И ГИДРОПОННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ
Трепуз С.В., Долгих П.П., Барсуков В.А. 143

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Трушаков Р.В., Бобков В.И. 150

ОБ ОДНОМ ЭВРИСТИЧЕСКОМ КРИТЕРИИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОМОРФИЗМА ГРАФОВ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ
Хачумов М.В., Талалаев А.А., Хачумов В.М. 159

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА АУТЕНТИФИКАЦИИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ НА ОСНОВЕ КОДОВ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ
Чистоусов Н.К., Калмыков И.А., Духовный Д.В., Калмыкова Н.И., Емельянов Е.А. 164

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА СТАДИИ РЕКТИФИКАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕНЗИЛОВОГО СПИРТА
Шибитова Н.В., Луговой С.С., Мурушкин Д.В., Черикова К.В. 170

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

СТАТЬИ

В ПОИСКАХ МОТИВИРУЮЩЕГО ФОРМАТА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ИНОЯЗЫЧНЫХ ЗАНЯТИЯХ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
Абрамова Н.В., Ессина И.Ю. *176*

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ СУБЪЕКТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ИНКЛЮЗИВНЫХ КЛАССАХ
Алпатова Н.С., Федосеева Е.С., Фролова С.В. *181*

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД В ФОРМИРОВАНИИ КОММУНИКАТИВНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ДЕЙСТВИЙ У ОБУЧАЮЩИХСЯ С ЗАДЕРЖКОЙ ПСИХИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
Данилова А.М., Подвальная Е.В., Шишкова М.И. *187*

ФОРМИРОВАНИЕ ЛИДЕРСКИХ КАЧЕСТВ У ДЕТЕЙ СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА СРЕДСТВАМИ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Дубченкова Н.О., Палаткина Г.В. *196*

УРОВЕНЬ СФОРМИРОВАННОСТИ ДУХОВНО-НРАВСТВЕННЫХ КАЧЕСТВ СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СМЕШАННЫМ БОЕВЫМ ЕДИНОБОРСТВОМ
Емельяненко Ф.В., Кондаков В.Л., Кормакова В.Н., Балышева Н.В. *201*

УСПЕШНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ОБУЧАЮЩИХСЯ В ГРУППЕ КАК ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЕКТНОЙ КУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА
Коптева М.В., Веденеева Г.И., Кривотулова Е.В. *206*

БАЗОВАЯ ШКОЛА И ВУЗ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
Николаева А.Д., Неустроева А.Н. *211*

ПРЕДПОСЫЛКИ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ В РОССИИ ВОЕННО-ПРИКЛАДНОГО ВИДА СПОРТА «АРМЕЙСКИЙ РУКОПАШНЫЙ БОЙ»
Ольденбургер Р.Ф. *216*

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ МЕДИАЦИЯ АДАПТАЦИОННОГО КОНФЛИКТА КУРСАНТОВ ПЕРВОГО ГОДА ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ВОЕННОГО ВУЗА
Редун Р.Г. *221*

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
Сивцева Т.В. *226*

О СОДЕРЖАТЕЛЬНОМ АСПЕКТЕ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ ТЕОРЕМЫ КРОНЕКЕРА – КАПЕЛЛИ В КУРСЕ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ
Фокин Р.Р. *231*

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ «ДЕБАТЫ» КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА
Щеголева А.В. *236*

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

MATHEMATICAL MODEL AND SOFTWARE IMPLEMENTATION
OF THE CALCULATION OF THE PREVIOUS TEMPERAMENT OF A ROBOT
Anisimova S.I., Shestakov E.S. 9

CONSTRUCTION OF A SITUATIONAL MATHEMATICAL MODEL
ON THE BASIS OF WEAKLY FORMALIZED EXPERTS' KNOWLEDGE
FOR RECOGNITION OF PRE-ACCIDENT SITUATIONS
OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES
Antonov O.V., Raykova E.F. 14

DESIGNING A WEB PLATFORM FOR SELECTING HOUSING
FOR LEASE IN UML LANGUAGE NOTATIONS
Akhmedova Z.Kh., Magomedova S.R., Agaliev D.D. 20

THE CHOICE OF BICUBIC SPLINE SMOOTHING PARAMETERS
IN PROBLEMS OF NONPARAMETRIC IDENTIFICATION
Voskoboynikov Yu.E., Boeva V.A. 26

TIG WELDING TECHNOLOGY, APPLICATION POSSIBILITIES
Gorshkova O.O. 33

MATHEMATICAL MODELING OF ZETA-POTENTIAL
IN THE PRIMEMBRANE LAYER
Gretsova N.V., Gretsov M.V., Avdeyuk O.A., Chigirinskaya N.V.,
Soloveva O.Yu., Pavlova E.S. 39

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HYDROGEN RATE
ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER-COAL MEDIUM
Kapustin D.A. 44

MODELING OF CORROSION PROCESSES FOR INVESTIGATION
OF OBJECTS OF THE RAILWAY INDUSTRY
Korchagin S.A. 50

EVALUATION OF THE PERFORMANCE TECHNICAL
AND ECONOMIC CHARACTERISTICS AND PARAMETERS
OF CHIP TRUCKS FOR THE TRANSPORTATION OF FUEL CHIPS
Kuznetsov A.V. 55

A NEW METHOD FOR DETERMINING THE QUALITY
OF PIEZOELECTRIC SURFACES AFTER MECHANICAL TREATMENT
Kutsenko V.N. 62

AN OVERVIEW OF THE NUMBA JIT COMPILER
AS A GPU PARALLEL COMPUTING TOOL
Lavrinov M.I. 67

TIME AND COST OF MANUFACTURING PARTS
BY SELECTIVE LASERING METHOD
IN THE ORGANIZATION OF PRECISION PRODUCTION
Nikiruy A.E., Lymar S.V., Drogovoz P.A. 72

DEVELOPMENT OF VIBRODIAGNOSTICS METHODOLOGY
FOR CENTRIFUGAL PUMPING UNITS FOR THE OIL AND GAS COMPLEX
*Paranuk A.A., Meretukov M.A., Velichko E.I.,
Kokhuzheva R.B., Rumyantsev S.V., Subochev O.G.* 78

METHOD FOR ASSESSING STRUCTURAL
RELIABILITY COMPUTING COMPUTER NETWORKS
Retyunskikh S.N. 86

ON THE NECESSARY AND SUFFICIENT CONDITIONS
OF LYAPUNOV STABILITY
Romm Ya.E. 92

ANALYSIS OF INCREASING THE DATA CENTERS
ENERGY EFFICIENCY METHODS
Sviridov A.N., Demkin V.I. 110

QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL
OF PRIMARY WASTE PROCESSING PRODUCTS
Sigov A.N., Starostin A.V., Kuleva N.I., Bogdanov D.A. 116

A FUNCTIONAL MODEL OF A MICROPROGRAMMABLE
COMPUTING DEVICE IN MICROSOFT EXCEL SPREADSHEETS
FOR RUNNING TUTORIAL MICROPROGRAMMS
Strabykin D.A. 121

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR THE OPERATION
OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR SEARCHING FOR ELECTRICAL
AND RADIO PRODUCTS IN CONDITIONS OF INCOMPLETE INFORMATION
Suslov A.A., Sadkovskaya N.E., Kotlyarova N.Yu., Anferova M.S., Kuzmich A.Yu. 130

FOREIGN EXPERIENCE IN PROJECT IMPLEMENTATION
REDEVELOPMENT OF INDUSTRIAL AREAS
Topchiy D.V., Murya V.A., Tokarsky A.Ya. 137

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A PHYTOTRON
WITH ARTIFICIAL LIGHTING AND HYDROPONIC TECHNOLOGY
Trepuz S.V., Dolgikh P.P., Barsukov V.A. 143

FEATURES OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING
ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES
Trushakov R.V., Bobkov V.I. 150

ON A HEURISTIC CRITERION IN THE PROBLEM OF DETERMINING
THE ISOMORPHISM OF GRAPHS BASED ON INVARIANTS
Khachumov M.V., Talalaev A.A., Khachumov V.M. 159

MODIFICATION OF THE AUTHENTICATION METHOD
FOR LOW-ORBIT SATELLITES BASED ON THE CODES
OF THE POLYNOMIAL RESIDUE NUMBER SYSTEM
Chistousov N.K., Kalmykov I.A., Dukhovnyy D.V., Kalmykova N.I., Emelyanov E.A. 164

THE MAIN DIRECTIONS OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION
AT THE STAGE OF RECTIFICATION IN THE PRODUCTION
OF BENZYL ALCOHOL
Shibitova N.V., Lugovoy S.S., Murushkin D.V., Cherikova K.V. 170

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

ARTICLES

IN QUEST OF MOTIVATING FORMAT OF DISTANCE LEARNING IN FOREIGN LANGUAGE CLASSES IN THE CONDITIONS OF MODERN HIGHER EDUCATION
Abramova N.V., Essina I.Yu. 176

PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL CONDITIONS ARE MANIFESTED IN THE MAIN SUBJECTS OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN INCLUSIVE CLASSES
Alpatova N.S., Fedoseeva E.S., Frolova S.V. 181

INTERDISCIPLINARY APPROACH IN FORMATION OF COMMUNICATIVE UNIVERSAL LEARNING ACTIVITIES OF STUDENTS WITH MENTAL DEVELOPMENT DELAY
Danilova A.M., Podvalnaya E.V., Shishkova M.I. 187

FORMATION OF LEADERSHIP QUALITIES IN OLDER PRESCHOOL CHILDREN BY MEANS OF SOCIO-CULTURAL ACTIVITIES
Dubchenkova N.O., Palatkina G.V. 196

THE LEVEL OF FORMATION OF SPIRITUAL AND MORAL QUALITIES OF ATHLETES ENGAGED IN MIXED MARTIAL ARTS
Emelyanenko F.V., Kondakov V.L., Kormakova V.N., Balysheva N.V. 201

SUCCESSFUL COOPERATION OF STUDENTS IN A GROUP AS AN IMPORTANT COMPONENT OF PROJECT CULTURE IN THE CONDITIONS OF THE MODERN INFORMATION SOCIETY
Kopteva M.V., Vedeneeva G.I., Krivotulova E.V. 206

BASIC SCHOOL AND UNIVERSITY: NEW CHALLENGES AND PROSPECTS
Nikolaeva A.D., Neustroeva A.N. 211

PREREQUISITES FOR THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE MILITARY-APPLIED SPORT “ARMY HAND-TO-HAND COMBAT” IN RUSSIA
Oldenburger R.F. 216

PEDAGOGICAL MEDIATION OF THE ADAPTATION CONFLICT OF FIRST-YEAR CADETS IN THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF A MILITARY UNIVERSITY
Redun R.G. 221

INCREASING THE LEVEL OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC COMPETENCE OF STUDENTS BY MEANS OF THE INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT
Sivtseva T.V. 226

ON THE CONTENT ASPECT OF THE STUDY OF MATHEMATICAL PROOF BY THE EXAMPLE OF THE KRONECKER-CAPELLI THEOREM IN THE COURSE OF LINEAR ALGEBRA
Fokin R.R. 231

EDUCATIONAL TECHNOLOGY DEBATE AS A WAY OF INCREASING MOTIVATION FOR LEARNING A FOREIGN LANGUAGE
Schegoleva A.V. 236

СТАТЬИ

УДК 004.8:519.86/.87

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЮЩЕГО ТЕМПЕРАМЕНТА РОБОТА

Анисимова С.И., Шестаков Е.С.

ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: kolsve@mail.ru, esshestakov@mail.ru

В статье впервые предложена концепция возникновения комплексной эмоции робота как ответной реакции на любой стимул-раздражитель, поступающий на входные «рецепторы» робота, предложен алгоритм определения результирующей базовой эмоции робота и определения численного значения этой эмоции. На основе концепции возникающей комплексной эмоции робота в статье предложена математическая модель преобладающего темперамента робота, предложены модели преобладающего темперамента робота, основанные на амплитуде звучания «голоса» робота, описана программа вычисления преобладающего темперамента эмоционального робота, являющегося психологическим цифровым двойником человека, по звуковому сигналу при ответной гармонической комплексной эмоции робота. В качестве языка программирования был выбран Java. В статье предложены области практического применения программы, например такие, как использование моделей и программы при определении рода служебных функций при трудоустройстве человека или оценки величины психологического возбуждения человека. В статье впервые предложены диапазоны численных значений темперамента, соответствующих принятым темпераментам в бытовой психологии. Результаты верификации предложенных в статье математических моделей и численных диапазонов преобладающих темпераментов показали точность определения типа преобладающего темперамента человека, равную 85%.

Ключевые слова: эмоция робота, темперамент робота, векторная эмоция, математическая модель, программа для ЭВМ

MATHEMATICAL MODEL AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE CALCULATION OF THE PREVIOUS TEMPERAMENT OF A ROBOT

Anisimova S.I., Shestakov E.S.

Perm State National Research University, Perm, e-mail: kolsve@mail.ru, esshestakov@mail.ru

In the article, for the first time, the concept of the emergence of a complex emotion of a robot as a response to any stimulus-stimulus entering the input “receptors” of the robot is proposed, an algorithm for determining the resulting basic emotion of the robot and determining the numerical value of this emotion is proposed. Based on the concept of the emerging complex emotion of the robot, the article proposes a mathematical model of the dominant temperament of the robot, proposes models of the predominant temperament of the robot based on the amplitude of the sound of the “voice” of the robot, describes a program for calculating the predominant temperament of an emotional robot, which is a psychological digital twin of a person, from a sound signal with a response harmonic complex emotion of the robot. Java was chosen as the programming language. The article suggests areas of practical application of the program, for example, such as the use of models and programs in determining the type of service functions in the employment of a person for work or assessing the magnitude of a person’s psychological arousal. The article for the first time proposes ranges of numerical values of temperament corresponding to accepted temperaments in everyday psychology. The results of the verification of the mathematical models proposed in the article and the numerical ranges of the prevailing temperaments showed the accuracy of determining the type of the prevailing human temperament equal to 85%.

Keywords: robot emotion, robot temperament, vector emotion, mathematical model, computer program

В статье [1] рассматривается формула интегральной характеристики δ, описывающая величину достижения роботом поставленной воспитательной цели при заданном воспитании робота:

$$\delta_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i R_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} A_i^2},$$

где j – порядковый номер воспитательного такта, i – порядковый номер компонента вектора, A – цель воспитания робота, R – вектор воспитаний робота, полученных в результате возникших у него эмоций в ответ на раздражающий стимул.

Вектор воспитаний робота, полученный на такте с номером j, имеет вид

$$\overline{R}_j = \left(R_{1,j} \ldots R_{n,j}\right).$$

Цель статьи – сформулировать и построить математическую модель темперамента робота. По полученной модели выполнить программную реализацию и верификацию.

Математическая модель темперамента робота

Рассмотрим вектор воспитаний робота в отношении группы роботов. Пусть у нас имеется k роботов в группе:

$$\overline{R}_{k,j} = \left(R_{1,k,j} \ldots R_{n,k,j}\right). \quad (1)$$

В монографии [2] описывается элементарная эмоция [3] в виде гармонической функции

$$M_j(t) = P_j sin\left(\frac{\pi}{t_j - t_{j-1}}\left(t - t_{j-1}\right)\right),$$

где $t \in \left[t_{j-1}, t_j\right], P_j = const$, t – текущий момент времени, t_{j-1} – момент времени начала действия элементарной эмоции, t_j – момент времени окончания действия элементарной эмоции, j – номер такта.

Тогда, элементарное воспитание робота в виде гармонической функции будет вычисляться следующим образом:

$$R_{i,j,k}(t) = \int_{t_{j-1}}^{t} P_{i,j,k} \sin\left(\frac{\pi}{t_j - t_{j-1}}\left(x - t_{j-1}\right)\right) dx. \quad (2)$$

Преобразуем формулу интегральной характеристики δ для группы роботов:

$$\delta_{k,j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{i,k} R_{i,j,k}(t)}{\sum_{i=1}^{n}\left(A_{i,k}\right)^2}. \quad (3)$$

В работах [4, 5] предлагается формула преобладающего темперамента робота относительно группы роботов:

$$L_i = \frac{1}{a}\max_t \left|\frac{dM_i(t)}{dt}\right|,$$

где $a = \max_{i,t}\left|\frac{dM_i(t)}{dt}\right|, i \in [1, n]$.

Преобразуем формулу преобладающего темперамента робота для случая, когда робот обладает комплексными эмоциями [6].

Подставим формулу элементарного воспитания робота в виде функции (2) в формулу интегральной характеристики δ для группы роботов (3)

$$\delta_{k,j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{i,k} \int_{t_{j-1}}^{t} P_{i,j,k} \sin\left(\frac{\pi}{t_j - t_{j-1}}\left(x - t_{j-1}\right)\right) dx}{\sum_{i=1}^{n}\left(A_{i,k}\right)^2}. \quad (4)$$

Найдем первую производную формулы (4). По теореме о производной интеграла по верхнему пределу [7] – интеграл с переменным верхним пределом является первообразной для подынтегральной функции. Получим

$$\frac{d\delta_{k,j}}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{i,k} P_{i,j,k} \sin\left(\frac{\pi}{t_j - t_{j-1}}\left(t - t_{j-1}\right)\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(A_{i,k}\right)^2}.$$

Вторая производная от формулы (4) будет равна

$$\frac{d^2\delta_{k,j}}{dt^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{i,k} \frac{P_{i,j,k}\pi}{t_j - t_{j-1}} \cos\left(\frac{\pi}{t_j - t_{j-1}}\left(t - t_{j-1}\right)\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(A_{i,k}\right)^2}.$$

Получим формулу темперамента робота:

$$L_k = \max_{t,j}\left|\frac{d^2\delta_{k,j}}{dt^2}\right| = \max_{t,j} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{t_j - t_{j-1}}\left(t - t_{j-1}\right)\right)\sum_{i=1}^{n} A_{i,k} \frac{P_{i,j,k}\pi}{t_j - t_{j-1}}}{\sum_{i=1}^{n}\left(A_{i,k}\right)^2}. \quad (5)$$

В качестве величины, характеризующей темперамент группы роботов, будем рассматривать нормированный вектор темпераментов роботов:

$$\overline{L_k} = \frac{L_k}{\max_k L_k}. \quad (6)$$

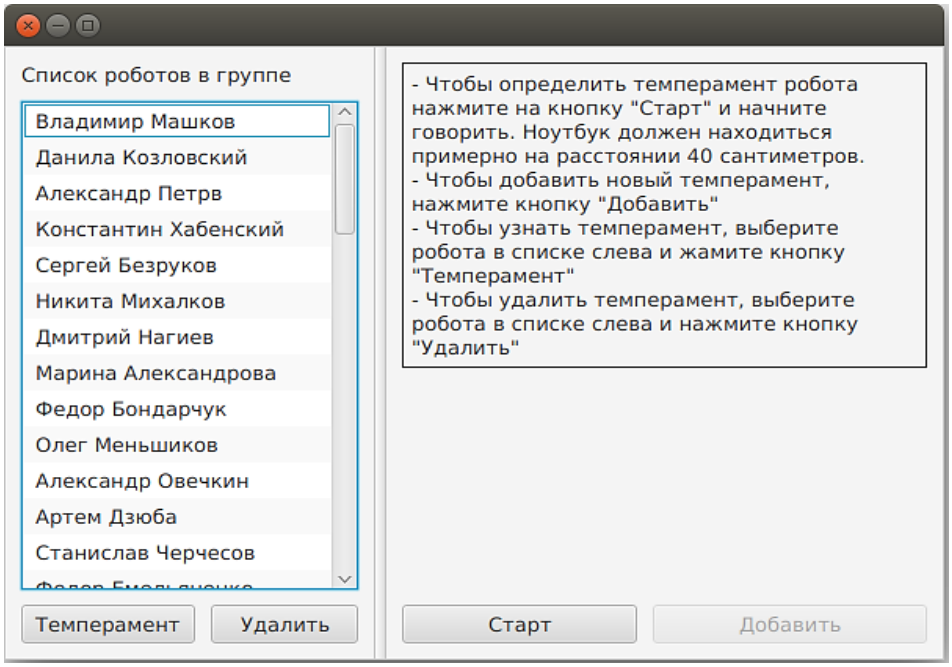


Рис. 1. Список роботов в группе

Программа вычисления преобладающего темперамента по звуковому сигналу

Введем следующее допущение: чем больше преобладающий темперамент робота, тем громче робот произносит фразы, т.е. тем больше амплитуда звуковой волны, которая исходит из динамиков робота, произносящего звуки.

Темперамент робота будем вычислять согласно соотношениям (5) и (6). В качестве группы роботов, произносящих фразы с различной амплитудой голоса, используем аудиозаписи голосов известных людей, размещенные в интернете.

Опишем программу, вычисляющую преобладающий темперамент робота по амплитуде звукового сигнала относительно этой группы.

После запуска программы открывается окно, изображенное на рис. 1.

Главный экран разделен на 2 части.

Слева выводится список роботов в группе. Это заранее записанные звуковые файлы, продолжительность звучания 5 с, всего 50 звуковых файлов. Состав группы формировался случайным образом. Так как знаменитости из группы роботов, относительно которых вычисляется темперамент, часто дают интервью, то сформировать звуковую базу данных не составило большого труда. Запись одного файла выглядела следующим образом: выбирался фрагмент интервью, где человек непрерывно говорит на протяжении 5 с, и запускался на одном ноутбуке, в это же время на другом ноутбуке запускалась запись звука. Ноутбуки были расположены экранами друг к другу и стояли вплотную. Такое расположение примерно соответствует тому, как человек будет располагаться при использовании данной программы.

Также на левой стороне главной формы программы имеются две кнопки, которые предоставляют следующие возможности. Кнопка «Темперамент» позволяет рассчитать темперамент робота, который находится в соответствующем списке. Для этого необходимо выбрать работа, кликнув на его имя в левой части экрана, и нажать на кнопку «Темперамент». В правой части экрана отобразится темперамент робота и его численное значение. Пример работы данной кнопки изображен на рис. 2.

Чтобы удалить робота из базы данных, необходимо выбрать робота в списке и нажать кнопку «Удалить». Это может понадобиться, например, если потребуется убрать робота с самым большим темпераментом или если был сохранен некорректно записанный звуковой файл.

С правой стороны описана краткая инструкция по использованию программы. Там же отображается темперамент и его численное значение. Чтобы определить тип темперамента и его численное значение, необходимо нажать кнопку «Старт». На месте формы, где отображается темперамент, появится слово «Говорите», что свидетельствует о том, что нужно начать говорить.

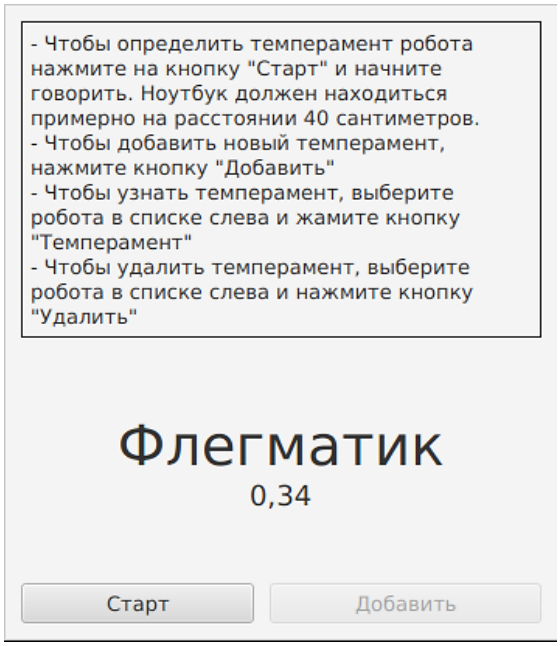


Рис. 2. Пример второй формы программы

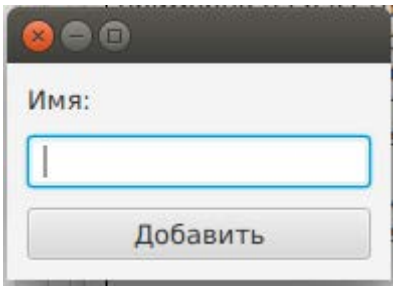


Рис. 3. Добавление темперамента в базу данных

Программа автоматически остановит запись после 5 с и выведет темперамент и его числовое значение, как изображено на рис. 2. Полученная запись не попадает сразу же в аудио базу данных. Чтобы ее сохранить, необходимо нажать кнопку «Добавить». После этого появится дополнительное окно (рис. 3). В нем предлагается ввести имя робота, чтобы при последующем использовании программы, его было проще найти.

Когда пользователь введет имя робота, то он должен нажать кнопку «Добавить» в этом же окне, и аудио файл будет сохранен, а робот появится в списке в левой части экрана. Если до сохранения повторно нажать кнопку «Старт», то начнется запись нового файла, а предыдущий будет потерян.

Опишем алгоритм работы программы вычисления преобладающего темперамента робота по амплитуде его голоса:

1. После того как пользователь нажимает кнопку «Старт», создается файл формата wav, в который записывается звуковой сигнал, поступающий на микрофон.

2. В отдельном программном потоке запускается таймер, который позволяет завершить запись звукового сигнала через 5 с после ее начала.

3. Записанный файл разделяется на отрезки по 50 мс. На этих отрезках считается среднее значение амплитуды звукового сигнала.

4. Полученный массив амплитуд используется для вычисления темперамента в группе роботов.

5. Тип преобладающего темперамента определяется согласно таблице.

Соответствие типа темперамента его численному значению

Тип преобладающего темперамента робота	Интервалы изменения робота численного значения темперамента
Меланхолик	(0; 0,3)
Флегматик	(0,3; 0,5)
Сангвиник	(0,5; 0,8)
Холерик	(0,8; 1)

Если численное значение темперамента больше 1, то роботу присваивается значение «Не определен» в качестве темперамента.

1) Полученное значение выводится на экран и при необходимости может быть сохранено в БД и использовано при следующей эксплуатации программы.

Численное значение преобладающего темперамента робота рассчитывается только один раз, после чего сохраняется в базе данных. При первом запуске приложения рассчитывается численное значение темперамента для всех звуковых файлов, которые находятся в папке ./data/audio. Изначально приложение содержит 50 аудиофайлов, как было сказано выше, с фрагментами интервью известных людей.

В качестве языка программирования был выбран Java [8], так как он обладает следующими преимуществами:

1) кроссплатформенность. Программа может быть скомпилирована под различные платформы (Linux, Windows);

2) наличие API для работы со звуком;

3) наличие инструментов для создания интерфейса десктопного приложения;

4) наличие полной документации и развитого сообщества разработчиков;

5) относительная простота разработки;

6) наличие удобной и бесплатной среды разработки.

Для хранения данных используется база h2. Так как любая база данных справится

с задачами приложения, то была выбрана база с самым низким порогом вхождения. Для внедрения зависимости применяется фреймворк spring boot, как самый популярный. Для создания графического интерфейса была использована платформа JavaFX [9].

Заключение

Соотношения для вычисления преобладающего темперамента с помощью описанной выше программы были верифицированы натурными экспериментами под контролем практикующих психологов. Результаты верификации показали точность определения типа преобладающего темперамента человека, равную 85 %. В экспериментах приняли участие 68 чел. Таким образом, предложенный алгоритм позволяет быстро определять с достаточной точностью тип преобладающего темперамента объекта по амплитуде звуковой волны его голоса. В качестве практического применения предложенных моделей преобладающего темперамента и программы вычисления темперамента можно предложить, например, их использование при определении рода служебных функций при трудоустройстве человека или оценки величины психологического возбуждения человека: если численное значение его преобладающего темперамента превосходит его темперамент при предварительном тестировании в спокойном состоянии, то это может говорить о значительном стрессовом состоянии респондента, если же вычисленный темперамент значительно превышает единицу, то можно говорить о том, что человек близок к психологическому срыву или уже находится в неадекватном состоянии.

Список литературы

1. Анисимова С.И. Математическая модель интегрального воспитания комплексных эмоций робота // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 8. С. 9–15.

2. Пенский О.Г., Шарапов Ю.А., Ощепкова Н.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью и приложения моделей. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. 310 с.

3. Пенский О.Г., Ощепкова Н.В. Математические модели гармонических эмоций роботов // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2019. № 1 (44). С. 44–47.

4. Пенский О.Г., Михайлов В.О. Способ вычисления темперамента человека и робота // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2016. № 1 (32). С. 5–9.

5. Ильин Е.П. Психология индивидуальных различий. СПб.: Питер, 2004. 701 с.

6. Пенский О.Г., Анисимова С.И. Математические модели комплексных эмоций и комплексных воспитаний робота // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12. С. 343–346.

7. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021. 648 с.

8. Что такое технология Java и каково ее применение [Электронный ресурс]. URL: https://www.java.com/ru/download/help/whatis_java.html (дата обращения: 10.01.2022).

9. JavaFX [Электронный ресурс]. URL: https://openjfx.io/ (дата обращения: 10.01.2022).

УДК 62-50:004

ПОСТРОЕНИЕ СИТУАЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Антонов О.В., Райкова Е.Ф.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, e-mail: o_antonov@mail.ru

Для снижения риска возникновения аварийных ситуаций опасных производственных объектов предложена система, способная идентифицировать предаварийные ситуации на объекте до момента их развития в аварийные, а также формировать управляющие воздействия для возврата объекта в режим нормальной эксплуатации. Идентификация предаварийных ситуаций для технологических объектов реализуется как задача распознавания технологической ситуации на основе ситуационной математической модели объекта. Рассмотрена методика построения ситуационной математической модели для идентификации предаварийных ситуаций в виде массива продукционных правил, отображающих знания экспертов об идентификации предаварийных ситуаций на объекте. Рассмотрены особенности формирования правил ситуационной математической модели при обработке слабо формализованных знаний экспертов. Предложен вычисляемый критерий общей оценки ситуации на технологическом объекте на основе частных значений лингвистических переменных описания ситуации. Практическое применение способа идентификации предаварийных ситуаций рассмотрено для процесса первичной сепарации нефти. Приведен пример анализа факторов безопасности и продукционных правил ситуационной математической модели для трёхфазного сепаратора процесса первичной сепарации нефти. Эффективность подхода оценена путем моделирования системы по архивным данным системы управления технологическим процессом первичной сепарации нефти. Показано, что использование предложенной системы позволит повысить безопасность и устойчивость функционирования опасных производственных объектов.

Ключевые слова: опасный производственный объект, ситуационная математическая модель, предаварийная ситуация, идентификация предаварийных ситуаций, метод идентификации предаварийных ситуаций

CONSTRUCTION OF A SITUATIONAL MATHEMATICAL MODEL ON THE BASIS OF WEAKLY FORMALIZED EXPERTS' KNOWLEDGE FOR RECOGNITION OF PRE-ACCIDENT SITUATIONS OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Antonov O.V., Raykova E.F.

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, e-mail: o_antonov@mail.ru

To reduce the risk of emergencies at hazardous production facilities, a system is proposed that is able to identify pre-emergency situations at the facility until they develop into emergency situations, as well as form control actions to return the facility to normal operation. Identification of pre-emergency situations for technological objects is implemented as a task of recognizing a technological situation based on a situational mathematical model of an object. A technique for constructing a situational mathematical model for identifying pre-emergency situations in the form of an array of production rules that reflect the knowledge of experts about the identification of pre-emergency situations at the facility is considered. The features of the formation of the rules of a situational mathematical model in the processing of weakly formalized expert knowledge are considered. A calculated criterion for a general assessment of the situation at a technological object based on particular values of the linguistic variables of the situation description is proposed. The practical application of the method for identifying pre-emergency situations is considered for the process of oil separation. An example of the analysis of safety factors and production rules of a situational mathematical model for a three-phase separator of the oil separation process is given. The effectiveness of the approach was evaluated by modeling the system according to the archived data of the control system for the technological process of oil separation. It is shown that the use of the proposed system will improve the safety and stability of the operation of hazardous production facilities.

Keywords: situational mathematical model, pre-emergency situation, identification of pre-emergency situations, method of identification of pre-emergency situations

Проблема обеспечения технической безопасности затрагивает практически все аспекты эксплуатации технологического оборудования. Традиционные методы обеспечения безопасности часто не соответствуют уровню потенциальной угрозы опасных производственных объектов. К их существенным недостаткам можно отнести: отсутствие системности в организации безопасной эксплуатации технологических объектов, низкий уровень информационного обеспечения задач безопасности, отсутствие научно обоснованных методов и несовершенство критериев оценки состояния технологического процесса и оборудования.

В современных системах управления технологическими процессами обеспечение безаварийности чаще всего осуществляется на основе систем предупредительной сигнализации и противоаварийной защиты, которые опираются на контроль нахождения технологических параметров в допустимых диапазонах. Данный подход не позволяет учитывать ситуации, при которых все технологические параметры находятся в допустимом диапазоне, но их сочетание указывает на развитие аварийной ситуации. Также при этом не учитывается скорость изменения параметров, которая, даже при нахождении параметра в допустимом диапазоне, может указывать на неблагоприятную динамику процесса. Вместе с тем опытные операторы могут распознавать такие ситуации и заблаговременно предпринимать необходимые действия для нормализации технологического процесса.

Целью исследования является повышение безопасности и устойчивости функционирования опасных производственных объектов путем применения ситуационной математической модели объекта с возможностью идентификации предаварийных ситуаций технологического процесса на основе слабоформализованных знаний экспертов.

Материалы и методы исследования

Состояние технологического объекта с неблагоприятным сочетанием значений или неблагоприятной динамикой изменения значений параметров процесса при отсутствии признаков аварийной ситуации можно назвать предаварийной ситуацией [1]. В ряде случаев при этом существует возможность предпринять управляющие действия, способные вернуть технологический объект в режим нормальной эксплуатации до срабатывания системы противоаварийной защиты и тем самым предотвратить его аварийную остановку [2, 3].

Идентификация предаварийных ситуаций для технологических объектов реализуется как задача распознавания технологической ситуации на основе ситуационной математической модели объекта. В общем случае ситуационная математическая модель *SMM* представляется в следующем виде:

$$SMM = \langle S, I, \{A \rightarrow B\}, Q \rangle,$$

где S – набор идентифицируемых ситуаций; I – входной набор индикаторов состояния объекта; $\{A \rightarrow B\}$ – массив продукционных правил, Q – выходной набор активаторов объекта.

Массив продукционных правил $\{A \rightarrow B\}$ идентификации предаварийных ситуаций и выбора траектории возврата объекта в режим нормальной эксплуатации формируется на основе имеющихся знаний экспертов и группируется по трем уровням безопасности:

$$\{A \rightarrow B\} = \langle \{A \rightarrow B\}_1, \{A \rightarrow B\}_2, \{A \rightarrow B\}_3 \rangle.$$

Продукционные правила первого уровня $\{A \rightarrow B\}_1$ строятся для идентификации ситуаций нарушения режима нормальной эксплуатации и соответствуют системе предупредительной сигнализации, правила третьего уровня $\{A \rightarrow B\}_3$ идентифицируют аварийные ситуации и соответствуют системе противоаварийной защиты.

В качестве антецедентной части A правил первого и третьего уровней вводятся наборы индикаторов состояния объекта I, соответствующие текущим значениям технологических параметров по отношению к установленным пороговым значениям параметров, в качестве консеквентной части В указывается описание состояния объекта S^* в классе ситуаций

$$S = \langle \text{"}\textit{нормальный режим}\text{", "}\textit{нарушение режима}\text{", «}\textit{аварийная ситуация}\text{"} \rangle$$

и активатор Q^* траекторий перевода в режим нормальной эксплуатации или отказа:

$$\textit{ЕСЛИ}(X_i\ REL_i\ Limit\{X_i\}_k,\ i \in 1 \ldots N)$$
$$\textit{ТО}\ (\textit{СитуацияS}^*,\ \textit{активаторQ}^*),$$

где X_i – технологический параметр i-го индикатора, REL_i – условие отношения i-го индикатора (>/</=), $Limit\{X_i\}_k$ – пороговое значение для параметра X_i по уровню безопасности k, N –количество индикаторов правила.

Для учета динамики технологического объекта при формировании правил второго уровня $\{A \rightarrow B\}_2$ для класса ситуаций

$$S = \langle \text{"}\textit{нормальный режим}\text{", "}\textit{предаварийная ситуация}\text{"} \rangle$$

в качестве антецедентной части A дополнительно вводятся наборы рассчитываемых индикаторов, определяющие скорость изменения значений технологических параметров:

$$\textit{ЕСЛИ}(X_i\ REL_i\ Limit\{X_i\}_2,$$
$$\textit{И}\ v(X_i)\ REL_i\ Limit\{v(X_i)\}_2,\ i \in 1 \ldots N)$$
$$\textit{ТО}\ (\textit{СитуацияS}^*,\ \textit{активаторQ}^*),$$

где $v(X_i)$ – рассчитываемая текущая скорость изменения технологического параметра i-го индикатора, $Limit\{v(X_i)\}_2$ – пороговое значение для скорости изменения параметра X_i по второму уровню безопасности.

В отличие от правил первого и третьего уровней, входные индикаторы, в составе антецедентов которых задаются требованиями технического регламента технологического объекта, при формировании правил второго уровня на основании знаний привлекаемых экспертов часто возникают затруднения, связанные с лингвистической неопределенностью качественной оценки параметров и отношений параметров на естественном языке.

Разрешение такого рода неопределенности при формализации экспертных знаний предлагается производить с помощью представления исходных лингвистических выражений как отношения значений лингвистических переменных на основе теории приближенных рассуждений и теории нечетких множеств.

Следуя принятому математическому аппарату, для описания входов ситуационной математической модели используются лингвистические переменные. На основе априорной информации для каждой входной переменной X устанавливается диапазон изменения величины $X_{min} - X_{max}$, соответствующий множеству $\{x_1 \dots x_n\}$, которое проецируется на универсальное множество $U = \{u_1 \dots u_n\}$ как

$$x_i = u_i \frac{(X_i - X_{\max})}{X_{\max} - X_{\min}} + X_{\min}.$$

Лингвистическая переменная определяется как нечеткое множество $L\{X\}$ на универсальном множестве U как

$$L\{X\} = \{\mu_1 / u_1 \dots \mu_n / u_n\},$$

где μ_i – функция принадлежности элемента u_i нечеткому множеству $L\{X\}$, $0 \le \mu_i \le 1$.

При этом каждое априорно определенное значение лингвистической переменной представляет собой нечеткое подмножество базового множества (первичный терм) $L\{X\}^k$:

$$L\{X\}^k = \{\mu_1^k / u_1 \dots \mu_n^k / u_n\}.$$

Набор ситуаций S также определяется как значения лингвистической переменной в виде первичных термов $L\{S\}^k$ на универсальном множестве U.

В качестве формализованного математического описания продукционного правила второго уровня $\{A \to B\}_2$ для ситуации S^*, заданной в виде первичного терма $L\{S\}^*$ используется матрица нечеткого отношения R, вычисление которой производится следующим образом:

$$R = \left(\sum L\{X\}^k \times L\{S\}^*, \forall L\{X\}^k \in A\right) +$$
$$+ \left(\sum HE(L\{X\}^k) \times L\{S\}^*, \forall L\{X\}^k \notin A\right).$$

На эксплуатационном этапе расчет по матрице R производится с использованием операции минимаксной композиции:

$$\{S\} = FUZZY(X) \otimes R,$$

где $FUZZY(X)$ – фаззифицированное значение входной переменной X.

Общая оценка текущей ситуации на технологическом объекте формируется путем расчета показателя Sit принадлежности состояния объекта ситуации S^* консеквента В группы правил как логической композиции элементов частных значений $\{S\}_i$ и определения интегрального значения актуальности консеквентной части правил:

$$Sit = \frac{\int_0^{U_{\max}} \left(\bigcup_{i=1}^{N} \{S\}_i \cap \{S^*\} \right) dU}{\int_0^{U_{\max}} \{S^*\}\, dU},$$

где N – количество групп антецедентов используемых правил идентификации $\{A \to B\}_2$.

Графическая интерпретация расчета показателя Sit для S ={«предаварийная ситуация»} и трех частных значений $\{S\}_i$ на универсальном множестве U={0..9} приведена на рис. 1.

В зависимости от значения показателя состояния Sit выделены следующие состояния объекта: $Sit < Sit_{гр}$ – режим нормальной эксплуатации; $Sit > Sit_{гр}$ – предаварийная ситуация. Выбранное значение $Sit_{гр}$ ($0 < Sit_{гр} < 1$) определяет чувствительность системы.

Практическое применение предложенного способа идентификации предаварийных ситуаций рассмотрено для процесса первичной сепарации нефти ледостойкой стационарной платформы месторождения им. Ю. Корчагина в Каспийском море. В ходе технологического процесса производится четырехступенчатая сепарация нефти с промежуточными подогревами для выделения пластовой воды и попутного газа. Обессоливание и окончательное обезвоживание до содержания воды не более 0,5% осуществляется с помощью электродегидраторов. Установка подготовки нефти является опасным производственным объектом в соответствии с приложением № 1 к Федеральному закону № 116-ФЗ [4], так как характеризуется образованием горючих жидкостей и газов (п. 1) и использованием оборудования, работающего под избыточным давлением более 0,07 МПа (п. 2).

В качестве примера рассмотрено построение правил ситуационной математической модели для трехфазного сепаратора третьей ступени сепарации V-2003.

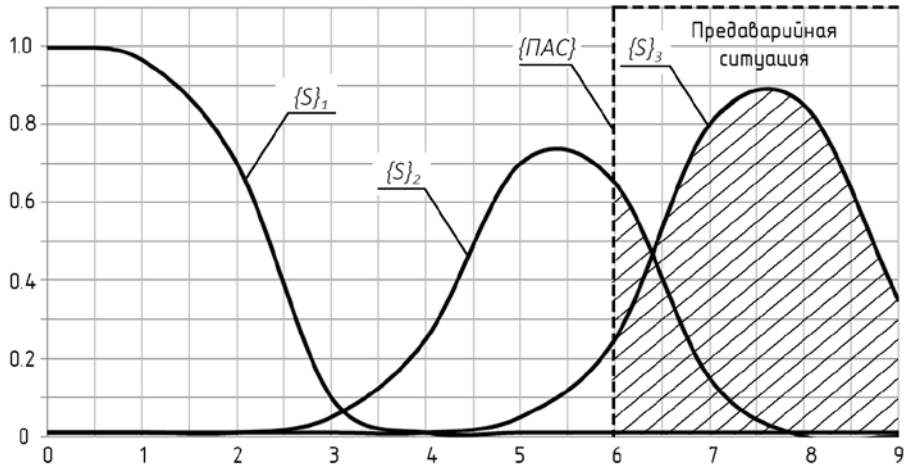


Рис. 1. Логическая композиция элементов итоговых значений функций принадлежности и определение итогового значения показателя состояния

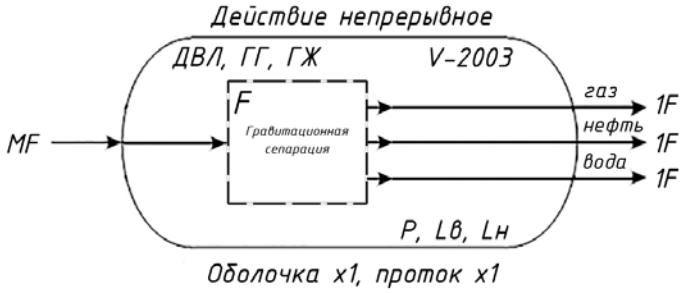


Рис. 2. Схема анализа факторов безопасности трёхфазного сепаратора нефти

Сепаратор рассматривается как конструктивно замкнутый и технологически проточный емкостный аппарат, работающий под давлением 0,6 МПа, непрерывного действия с одним мультифазным притоком и тремя монофазными стоками, с технологическим процессом на физических принципах (гравитационная сепарация) без изменения агрегатного состояния веществ, с тремя контурами регулирования (давление P^{V2003} в аппарате, уровень воды в 1-й секции фаз $L_в^{V2003}$, уровень отсепарированной нефти во 2-й секции $L_н^{V2003}$).

Схема анализа факторов безопасности трёхфазного сепаратора V-2003 [5] приведена на рис. 2.

Для правил первого уровня $\{A \rightarrow B\}_1$ использованы установленные технологическим регламентом некритичные отклонения параметров P^{V2003}, $L_в^{V2003}$, $L_н^{V2003}$ в пределах аварийных уставок («Нарушение режима»), для правил третьего уровня $\{A \rightarrow B\}_3$ отклонения параметров P^{V2003}, $L_в^{V2003}$, $L_н^{V2003}$ с выходом за пределы аварийных уставок и требующие остановки аппарата («Аварийная ситуация»).

Пример реализации правил первого и третьего уровней с прямыми условиями по значениям технологических параметров:

V2003-1/1: (ЕСЛИ $P^{V2003} > P_{1/1}^{V2003}$), ТО (Ситуация «Повышение давления V2003»)

V2003-3/1: (ЕСЛИ $P^{V2003} > P_{3/1}^{V2003}$), ТО (Ситуация «Аварийное повышение давления, остановка аппарата V2003», Активатор «Аварийный сброс газа V-2003 на факел», Активатор «Закрытие отсечных клапанов V-2003»)

Для правил второго уровня $\{A \rightarrow B\}_2$ использованы предложенные экспертами предаварийные ситуации, потенциально приводящие к аварии: изменение параметров P^{V2003}, $L_в^{V2003}$, $L_н^{V2003}$ с прогнозом выхода за пределы аварийных уставок.

Для обработки значений параметров продукционными правилами на базе процедуры нечеткого вывода значения нормируются и фаззифицируются на универсальном нечетком множестве $U=\{0\ldots9\}$. Термы для лингвистического описания ситуаций и переменной «Скорость изменения параметра» определены как нечеткие множества:

$$\{\text{«нормальный режим»}\} = \{1/0, 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9\}$$

$$\{\text{«предаварийная ситуация»}\} = \{0/0, 0/1, 0/2, 0/3, 0/4, 0/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9\}$$

$$\{\text{«НИЗКАЯ»}\} = \{1.00/0, 0.95/1, 0.75/2, 0.30/3, 0.10/4, 0.05/5, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9\}$$

$$\{\text{«СРЕДНЯЯ»}\} = \{0/0, 0/1, 0.30/2, 0.85/3, 1.00/4, 0.85/5, 0.30/6, 0/7, 0/8, 0/9\}$$

$$\{\text{«ВЫСОКАЯ»}\} = \{0/0, 0/1, 0/2, 0/3, 0/4, 0.10/5, 0.30/6, 0.75/7, 0.95/8, 1.00/9\}$$

В качестве примера приведено лингвистическое описание и формализованный вид правила V2003-2/1 идентификации предаварийной и предотвращения аварийной ситуации по возможному аварийному повышению давления в аппарате V-2003.

Если «Давление в сепараторе V-2003» ВЫШЕ НОРМАЛЬНОГО и «Скорость изменения давления в сепараторе V-2003» ВЫСОКАЯ или «Давление в сепараторе V-2003» ВЫШЕ НОРМАЛЬНОГО и «Скорость изменения давления в сепараторе V-2003» СРЕДНЯЯ, то возможна предаварийная ситуация «Аварийное повышение давления V-2003», предотвращается сбросом газа из сепаратора на факел без остановки аппарата.

V2003-2/1: (ЕСЛИ $P^{V2003} > P_{1/1}^{V2003}$ *И ЕСЛИ* $\nu(P^{V2003})$ *= «ВЫСОКАЯ»)*
ИЛИ (ЕСЛИ $P^{V2003} > P_{1/1}^{V2003}$ *И ЕСЛИ* $\nu(P^{V2003})$ *= «СРЕДНЯЯ»),*
ТО (Ситуация «Предаварийное повышение давления V-2003»)
И (Активатор «Сброс газа V-2003 на факел»).

Общее количество построенных правил ситуационной математической модели для сепаратора V-2003 – 21, в том числе с идентификацией предаварийных ситуаций – 9. Общее количество построенных правил ситуационной модели для процесса первичной сепарации нефти – 149, в том числе с идентификацией предаварийных ситуаций – 63.

Результаты исследования и их обсуждение

Моделирование системы было проведено по архивным данным системы управления технологическим процессом первичной сепарации нефти. В состав выборки были включены 207 случаев срабатывания предупредительной сигнализации с возвратом в режим нормальной эксплуатации системой управления, 54 случая срабатывания предупредительной сигнализации с возвратом в режим нормальной эксплуатации действиями оператора, 13 случаев срабатывания противоаварийной защиты. Результаты моделирования приведены в таблице.

Для первого и третьего уровней ситуации нарушения технологического режима и аварийные ситуации были распознаны в 100 % случаев. В 11 аварийных ситуациях из 13 (84 %) в интервале 30–65 с перед срабатыванием противоаварийной защиты были распознаны предаварийные ситуации с формированием активаторов возврата в режим нормальной эксплуатации (7 случаев, 63 %) и активаторов перевода в режим отказа (4 случая, 37 %).

Результаты моделирования по архивным значениям параметров

Уровень правил / количество случаев	Количество срабатываний по данным архива		Количество идентификации ситуаций при моделировании по уровням		
	предупредительной сигнализации	противоаварийной защиты	1	2	3
1/207	207	–	207	–	–
2/54	54	–	54	41	–
3/13	13	13	13	11	13

Видно, что алгоритмы на основе ситуационной математической модели полностью соответствуют работе имеющихся систем предупредительной сигнализации и противоаварийной защиты, что не снижает проектный уровень технической безопасности объекта. В значительном числе случаев ситуационная математическая модель позволяет прогнозировать развитие аварийной ситуации и предотвращать ее возникновение до срабатывания противоаварийной защиты.

Заключение

Предложена методика построения ситуационной математической модели опасных производственных объектов с возможностью идентификации предаварийных ситуаций технологического процесса на основе слабоформализованных знаний экспертов. Использование систем предотвращения аварийных ситуаций на основе ситуационной математической модели с возможностью прогнозирования аварийных режимов до их фактического возникновения позволит предотвращать аварийную остановку технологического оборудования, что повысит безопасность и устойчивость функционирования опасных производственных объектов.

Список литературы

1. Горюхин В.В. Система анализа предаварийных режимов и контроля оператора в сложных технологических процессах // Актуальные проблемы современной науки: труды 3-го международного форума (Самара, 10–12 сентября 2019 г.). Самара: Самарский государственный технический университет, 2019. С. 36–40.

2. Проталинский О.М., Немчинов Д.В. Система поддержки принятия управленческих решений по снижению рисков аварийных ситуаций на промышленных объектах // Автоматизация в промышленности. 2010. № 3. С. 13–16.

3. Немчинов Д.В., Селиверстова А.Н., Антонов О.В. Поддержка принятия решений по управлению предаварийными ситуациями на примере установки каталитического риформинга // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 2. С. 19–25.

4. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями на 8 декабря 2020 г.) [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/9046058 (дата обращения: 18.01.2022).

5. Галеев А.Д., Поникаров С.И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах. Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. 152 с.

УДК 004.4'2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПЛАТФОРМЫ ПО ПОДБОРУ ЖИЛЬЯ В НАЙМ В НОТАЦИЯХ ЯЗЫКА UML

Ахмедова З.Х., Магомедова С.Р., Агалиев Д.Д.

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Махачкала, e-mail: msabina_1990@mail.ru

В настоящей статье проведено проектирование веб-платформы, предназначенной для поиска, подбора и найма жилья, ориентированного на интересы людей пожилого возраста и адаптированного под них. Проектирование проводилось методами объектно-ориентированного моделирования унифицированного языка UML с использованием программного инструментария DIA. Процесс проектирования веб-платформы состоял из двух этапов, включающих разработку UML-диаграмм трех видов и разработку пользовательского интерфейса платформы. В рамках проведения предпроектного обследования предметной области нами были определены основные актеры веб-платформы: арендодатель и съемщик и построена диаграмма классов, отражающая графическое представление структурных элементов системы – классов. Функциональные требования к системе для двух категорий пользователей отражены с помощью диаграмм вариантов использования. Алгоритм взаимодействия пользователей с веб-платформой представлен в виде диаграммы состояний. Пользовательский интерфейс спроектирован в виде веб-страниц при помощи кросс-платформенного графического онлайн-редактора Figma. В статье представлены результаты проектирования интерфейса следующих веб-страниц: главная страница веб-платформы по поиску и подбору жилья, страница регистрации пользователей и страница личного кабинета: раздел «Объявления для вас». Представленные в статье материалы могут быть интересны студентам, магистрам и специалистам, изучающим моделирование информационных процессов и разработку веб-платформ.

Ключевые слова: UML, диаграмма классов, диаграмма состояний, диаграмма использования, веб-платформа, найм жилья, база данных

DESIGNING A WEB PLATFORM FOR SELECTING HOUSING FOR LEASE IN UML LANGUAGE NOTATIONS

Akhmedova Z.Kh., Magomedova S.R., Agaliev D.D.

Dagestan State University, Makhachkala, e-mail: msabina_1990@mail.ru

In this article, we designed a web platform designed to search, select and rent housing that is focused on the interests of the elderly and adapted to them. The design was carried out by methods of object-oriented modeling of the unified UML language using the DIA software tools. The web platform design process consisted of two stages, including the development of UML diagrams of three types and the development of the user interface of the platform. As part of the pre-project survey of the subject area, we identified the main actors of the web platform: the lessor and the tenant, and built a class diagram that reflects a graphical representation of the structural elements of the system – classes. The functional requirements for the system for the two categories of users are shown using use case diagrams. The algorithm of user interaction with the web platform is presented in the form of a state diagram. The user interface is designed in the form of web pages using the Figma cross-platform graphical online editor. The article presents the results of designing the interface of the following web pages: the main page of the web platform for the search and selection of housing, the user registration page and the personal account page: the "ads for you" section. The materials presented in the article may be of interest to students, masters and specialists studying the modeling of information processes and the development of web platforms.

Keywords: UML, class diagram, state diagram, usage diagram, web platform, housing, database

Согласно данным аналитиков с каждым годом рынок технологий для людей 60+ будет расширяться, «новые» пользователи будут требовать адаптированные онлайн площадки и будут готовы за них платить [1].

Большинство программных продуктов России ориентировано преимущественно на молодежь. В результате мы видим, что в сегменте рынка информационных систем для возрастного населения – дефицит предложений в области программных приложений и низкая конкуренция [1]. В связи с этим возникает необходимость в разработке веб-платформы для подбора и сдачи жилья молодым людям (студенты колледжей и университетов) на условиях совместного проживания. Предлагаемая веб-платформа позволит старшему поколению не только получить дополнительный доход и общение, но и параллельно повысить уровень своей цифровой грамотности благодаря работе с веб-платформой в сети Интернет.

Одним из основных отличий предлагаемой веб-платформы от представленных на рынке недвижимости («Объявления Avito», «Яндекс.Недвижимость – квартиры», «ЦИАН. Снять, купить квартиру») является подбор объявлений, учитывающих круг интересов арендодателей и съемщиков, что позволит лицам старшего возраста сдать жилье на платформе и восполнить де-

фицит общения, обмениваясь опытом и знаниями с молодежью, а также приобрести новые навыки, т.е. веб-платформа позволит объединять молодых и пожилых людей. Молодые люди во время обучения зачастую не могут позволить себе оплачивать аренду отдельного жилья, в этой ситуации найм комнаты у пожилого человека является одним из способов снять жилье недорого для молодого человека и получить доход для лиц пожилого возраста.

Целью настоящего исследования является проектирование веб-платформы, которая позволит пенсионерам сдать внаем жилье молодым людям с гарантированной выгодой для обеих сторон.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– разработать диаграмму классов;

– разработать диаграмму вариантов использования;

– разработать диаграмму состояний;

– спроектировать структуру веб-платформы.

Материалы и методы исследования

В основе проектирования веб-платформы лежит методология объектно-ориентированного моделирования языка UML (Unified Modeling Language) [2].

Методология предусматривает создание унифицированных моделей (диаграмм), описывающих объекты исследования. Технологии языка UML позволяют описывать объекты в едином синтаксисе, используя графические нотации.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках предпроектного обследования и анализа требований к разрабатываемой веб-платформе выполнено объектное моделирование, в результате которого построены три UML-диаграммы с использованием CASE-системы DIA [3].

Первоначально была построена диаграмма классов, позволяющая определить объекты исследуемой предметной области, выделить их атрибуты, методы, а также отразить связи между объектами [4]. На рис. 1 отображена разработанная диаграмма классов, где класс отображен в виде прямоугольника, в верхней части которого указано название класса, далее его атрибуты и в нижней части – методы. Диаграмма классов является основой для дальнейшей разработки структуры базы данных.

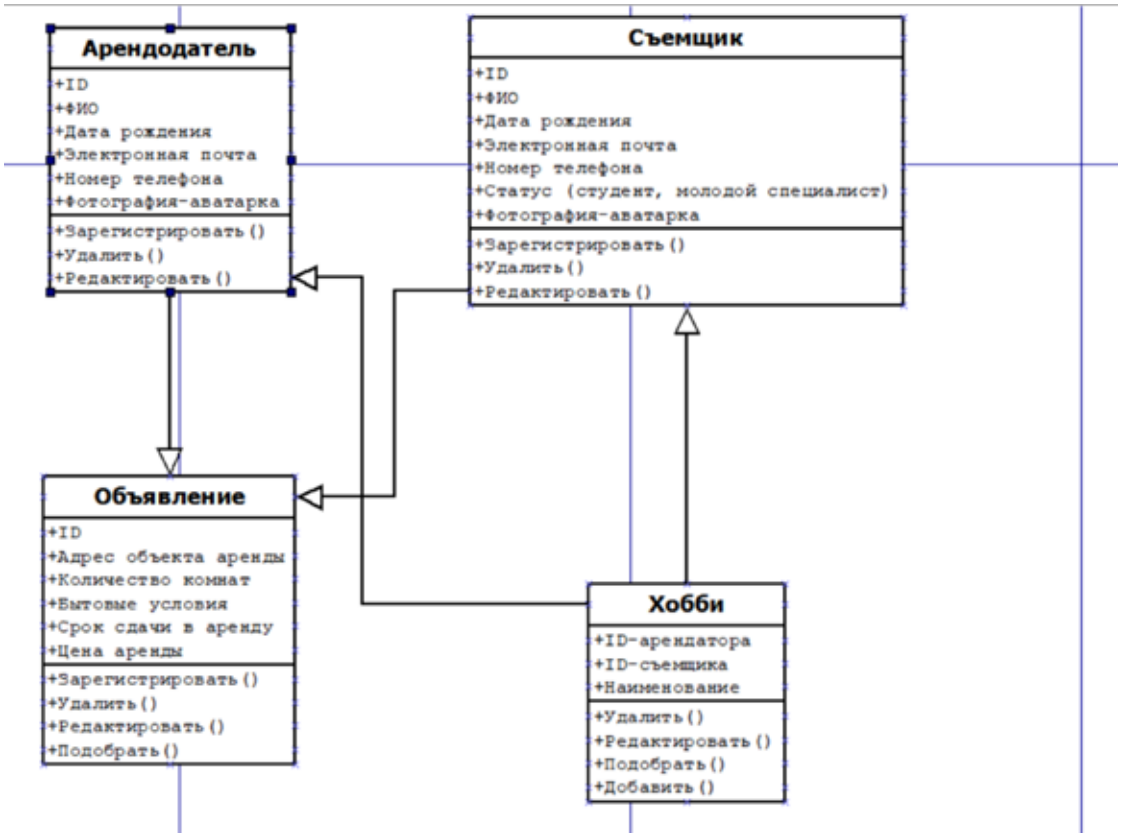


Рис. 1. Диаграмма классов веб-платформы

Классами проектируемой платформы являются:

− арендодатель – класс, предназначенный для хранения данных об арендодателях;

− съемщик – класс, содержащий сведения об арендаторах;

− объявление – класс, включает данные зарегистрированных объявлений;

− хобби – класс, хранящий сведения по увлечениям арендодателя и съемщика.

Следом нами разработана диаграмма вариантов использования, отражающая взаимодействие между пользователями и веб-платформой. Диаграмма вариантов использования – диаграмма, описывающая функциональные возможности (прецеденты) разрабатываемой платформы, доступные каждой группе пользователей или актерам – действующим лицам [4]. В нашем случае актерами являются арендодатель и съемщик, которые могут инициировать ряд вариантов использования веб-платформы.

На рис. 2 приведена разработанная диаграмма вариантов использования.

Диаграмма состояний (рис. 3) показывает, как одно состояние системы сменяется другим. Основными элементами диаграммы состояний являются «Состояние» и «Переход». «Переход» служит для изображения смены одного состояния другим [5, 6].

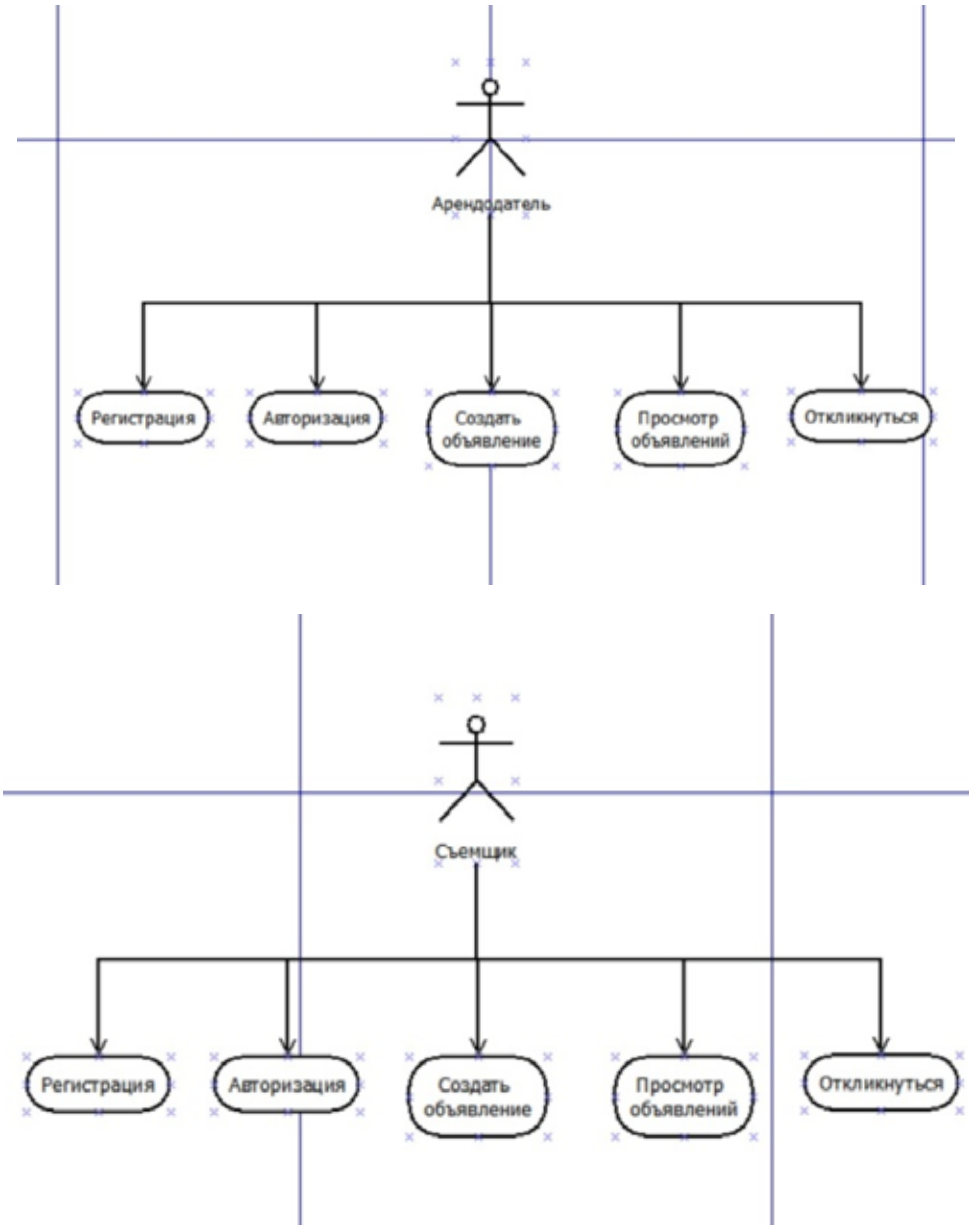


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования для двух актеров

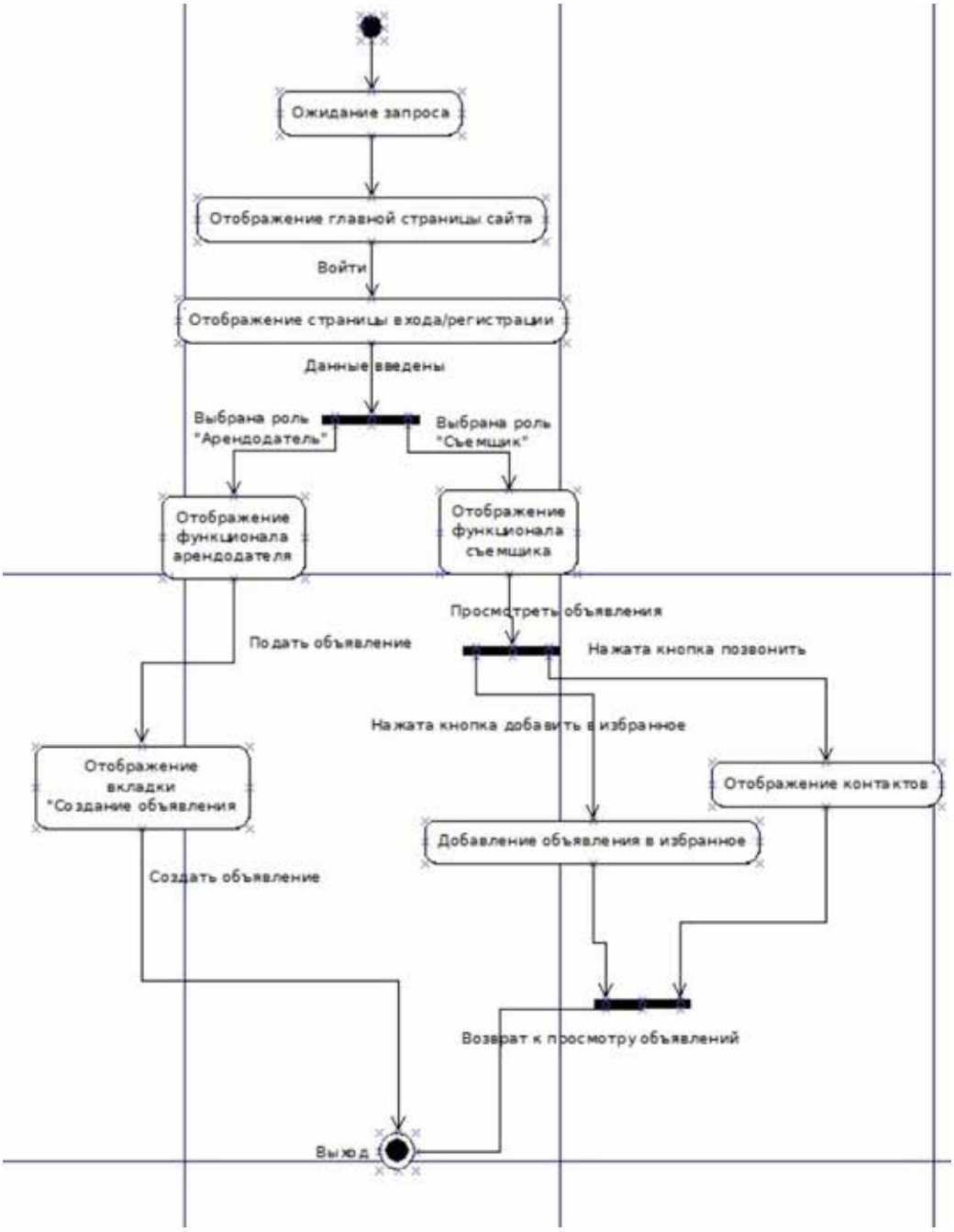


Рис. 3. Диаграмма состояний

Начальное состояние соответствует загрузке главной страницы веб-платформы. После загрузки главной страницы веб-платформа переходит в состояние ожидания запроса пользователя. При отправлении запроса, к примеру нажатии на ссылку для регистрации, система сменит текущее состояние на другое, отобразив страницу регистрации пользователей.

На основе проведенного объектно-ориентированного моделирования можно сформировать архитектуру веб-платформы и перейти к разработке пользовательского интерфейса, используя кросс-платформенный графический онлайн-редактор Figma.

При запуске веб-платформы отображается главная страница, которая содержит следующие пункты меню (рис. 4):

– «Личный кабинет» – пункт меню, необходимый для перехода пользователя в личный кабинет.

– «О нас» – страница, отражающая общие сведения о веб-платформе, ее миссию, цели и задачи.

– «Объявления».

– «Помощь» – содержит методические указания для пользователя по работе с веб-платформой.

– «Авторизация» – форма для осуществления регистрации пользователя.

При нажатии на кнопку «Авторизация» новому пользователю предлагается пройти регистрацию, в процессе которой пользователь заполняет регистрационные данные и выбирает категорию «Арендодатель» или «Съемщик» (рис. 5). Редактировать данные о себе можно в личном кабинете, а при нажатии на кнопку «Подать объявление» появится форма для добавления объявления.

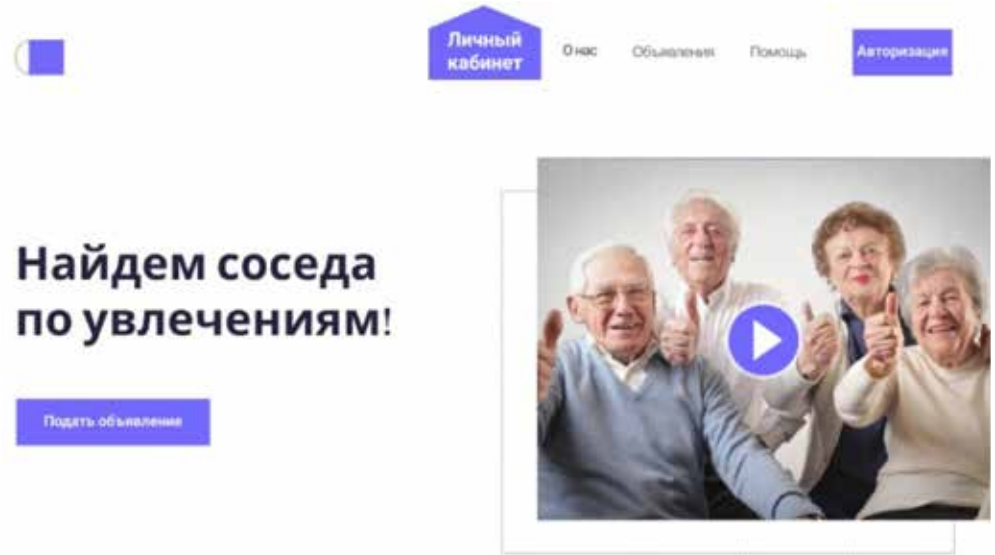


Рис. 4. Интерфейс главной страницы веб-платформы по поиску и подбору жилья

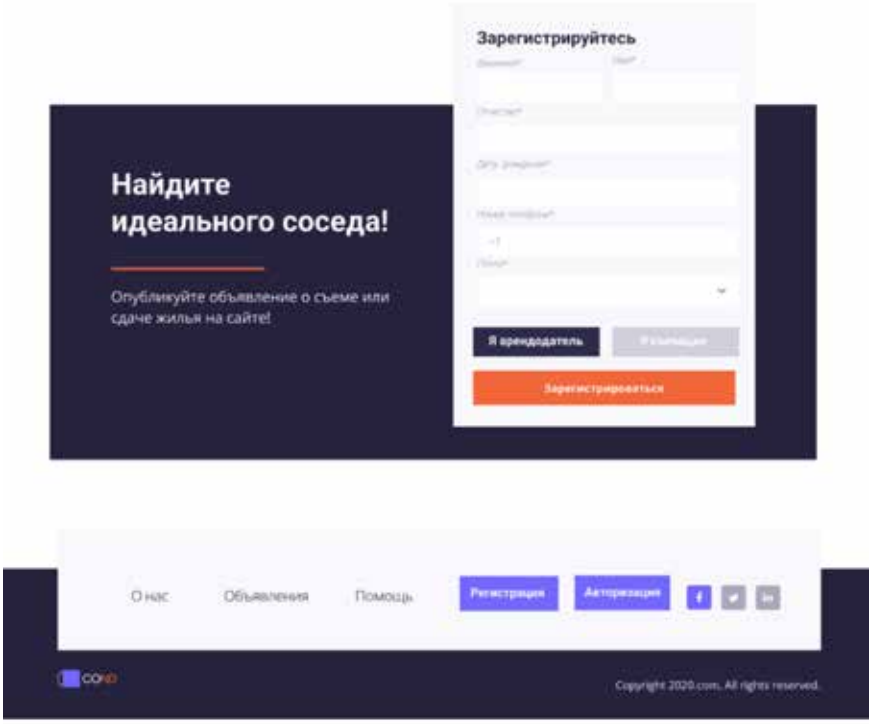


Рис. 5. Интерфейс страницы регистрации пользователей

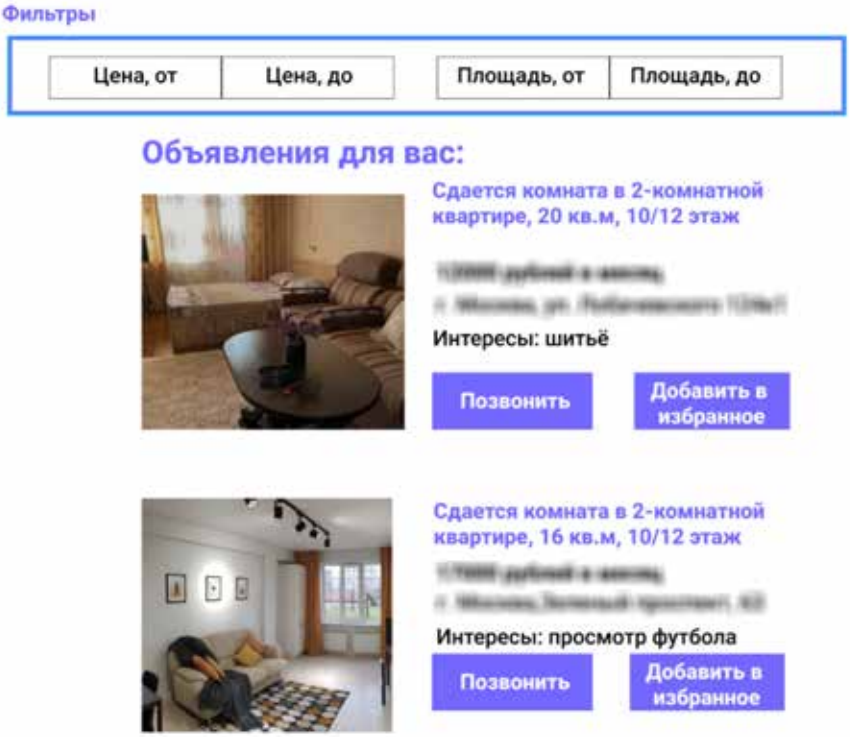


Рис. 6. Интерфейс страницы личного кабинета: раздел «Объявления для вас»

В основу разработки веб-платформы заложен алгоритм автоматического подбора объявлений по указанным пользователями параметрам: адрес желаемого объекта для снятия (город, микрорайон, улица и т.д.), возраст, статус (студент, молодой специалист), количество комнат, бытовые условия, максимальный бюджет. В личном кабинете для пользователя будут отображаться только подходящие ему объявления (рис. 6). После чего пользователь может откликнуться на предложение и договориться об условиях проживания. Нажав на кнопку «Добавить в избранное», пользователь сохранит объявление в своем личном кабинете.

Заключение

В результате исследования проведено проектирование веб-платформы для поиска жилья, ориентированного на лиц старшего возраста, соответствующее поставленной цели и задачам. Создание такой платформы позволит помогать лицам старшего поколения сдавать недвижимость с целью получения заработка, а молодым людям найти временное жильё.

Разрабатываемая веб-платформа будет обеспечивать выполнение следующих бизнес-процессов:

– регистрация и авторизация пользователей;

– создание объявлений по найму жилья;

– автоматический подбор жилья с учетом всех указанных при регистрации объявления требований.

Список литературы

1. Горюнов М. «Серебряные» стартапы: как новые проекты повышают качество жизни пожилых. [Электронный ресурс]. URL: https://vc.ru/services/230222-serebryanye-startapy-kak-novye-proekty-povyshayut-kachestvo-zhizni-pozhilyh (дата обращения: 08.01.2022).

2. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. 3-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2019. 736 с.

3. Сайт конструктора DIA [Электронный ресурс]. URL: https://dia.ru.uptodown.com/windows (дата обращения: 08.01.2022).

4. Магомедова С.Р., Касимова Т.М. Проектирование веб-портала «цифровой Дагестан» для анализа развития цифровой экономики муниципальных образований региона // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6–1. С. 50–54. DOI: 10.17513/snt.38696.

5. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд. / Буч Градди, Максимчук Роберт А., Энгл Майкл У., Янг Бобби Дж., Коналлен Джим, Хьюстон Келли А.: Пер с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. 720 с.

6. Волкова В.Н., Горелова Г.В., Козлов В.Н. Моделирование систем и процессов. М.: Изд-во Юрайт, 2015. 449 с.

УДК 681.51:519.6

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СГЛАЖИВАНИЯ БИКУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА В ЗАДАЧАХ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

[1, 2]Воскобойников Ю.Е., [1]Боева В.А.

[1]ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», Новосибирск, e-mail: voscob@mail.ru, v.boyeva@sibstrin.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск

В последние два десятилетия для описания динамики нелинейных систем в терминах «вход-выход» используются так называемые ряды Вольтерра. Наиболее часто используется квадратичный член ряда, который порождает двумерное ядро и соответствующее двумерное уравнение Вольтерра. Для идентификации двумерной импульсной переходной функции предложен подход, основанный на обращении уравнения Вольтерра и использующий частные и смешанные производные второго порядка от выходного сигнала системы. Принципиальной проблемой реализации этого подхода является устойчивое вычисление частных и смешанных производных второго порядка по зашумленным данным. Для преодоления этой проблемы можно использовать двумерный сглаживающий бикубический сплайн (сокращенно СБС). Однако построение СБС на практике сталкивается с принципиальным затруднением – выбором параметров сглаживания. В случае СБС проблема выбора параметра становится более сложной из-за построения целого ансамбля (набора) кубических (одномерных) сплайнов при сглаживании данных по одной из двух переменных исходных данных. Поэтому в работе вводятся два типа параметров сглаживания СБС: скалярный и векторный. Скалярный параметр является одинаковым для всех кубических сплайнов по заданной переменной. Векторный параметр является вектором, проекции которого определяются как параметры сглаживания для каждого кубического сплайна, т.е. каждый кубический сплайн имеет свой «персональный» параметр сглаживания. В работе предлагаются алгоритмы оценивания оптимальных значений как скалярного, так и векторного параметров при разной априорной информации о дисперсии шума измерения двумерного выходного сигнала идентифицируемой системы. Выполненный вычислительный эксперимент показал хорошую точность оценивания оптимальных параметров сглаживания предложенными алгоритмами выбора.

Ключевые слова: задача идентификации квадратичного ядра нелинейной системы, сглаживающие бикубические сплайны, скалярный и векторный параметры сглаживания, оценивание оптимальных параметров сглаживания

THE CHOICE OF BICUBIC SPLINE SMOOTHING PARAMETERS IN PROBLEMS OF NONPARAMETRIC IDENTIFICATION

[1, 2]Voskoboynikov Yu.E., [1]Boeva V.A.

[1]Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, e-mail: voscob@mail.ru, v.boyeva@sibstrin.ru;
[2]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

In the last two decades, the so-called Voltaire series have been used to describe the dynamics of nonlinear systems in terms of “input-output”. The most commonly used is the quadratic term of the series, which generates a two-dimensional kernel and the corresponding two-dimensional Volterra equation. To identify the two-dimensional impulse transition function, an approach based on the inversion of the Volterra equation and using second-order partial and mixed derivatives of the system output signal are proposed. The fundamental problem of implementing this approach is the stable calculation of second-order partial and mixed derivatives from noisy data. To solve this problem, a two-dimensional smoothing bicubic spline (abbreviated SBS) can be used. However, the construction of SBS in a practice faces a fundamental difficulty – the choice of smoothing parameters. In the case of SBS, the problem of choosing a parameter becomes more complicated due to the construction of a whole ensemble (set) of cubic (one-dimensional) splines when smoothing is performed over one of the two variables of the initial data. Therefore, two types of SBS smoothing parameters are introduced in the work: scalar and vector. The scalar parameter is the same for all cubic splines in the given variable. The vector parameter is a vector whose projections are defined as the smoothing parameters for each cubic spline. The paper proposes algorithms for estimating the optimal values of both scalar and vector parameters. The computational experiment performed showed a high accuracy in estimating the optimal smoothing parameters by the proposed algorithms.

Keywords: the problem of identifying the quadratic kernel of a nonlinear system, smoothing bicubic splines, scalar and vector smoothing parameters, estimating optimal smoothing parameters

Два последних десятилетия ведутся интенсивные научные исследования методов идентификации нелинейных динамических систем, представленных различными математическими моделями. Весьма перспективной в этом отношении является интегральная модель «вход-выход», состоящая из нескольких уравнений Вольтерра, ядра которых образованны из соответствующих слагаемых ряда Вольтерра [1, 2]. Особенно часто используется ряд, ограниченный квадратичным членом ряда Вольтерра [3].

В этом случае связь между входным сигналом $\varphi(\tau)$ моделируемой стационарной системы и ее выходным сигналом $f(t)$ можно представить следующим интегральным соотношением [3]:

$$f(t)=\int_0^t k_1(\tau)\cdot\varphi(t-\tau)d\tau+$$

$$+\int_0^t\int_0^t k_2(\tau,s)\cdot\varphi(t-\tau)\cdot\varphi(t-s)d\tau ds,\ t\in[0,T], \quad (1)$$

где $k_1(\tau)$, $k_2(\tau,s)$ – линейное и квадратичное ядра Вольтерра соответственно. Нужно идентифицировать эти ядра по измеренным значениям входного и выходного сигналов идентифицируемой системы.

Очевидно, что сигнал $f(t)$ есть сумма двух неизвестных сигналов $f_1(t)$ и $f_2(t)$ – первое и второе слагаемые в (1), которые можно интерпретировать как выходные сигналы линейной и квадратичной «подсистем». Следовательно, на первом этапе идентификации необходимо выделить из $f(t)$ сигналы $f_1(t)$, $f_2(t)$ по отдельности. Для произвольного входного сигнала такая задача неразрешима. В работах [4, 5] предложена эффективная методика такого разделения, которая подразумевает проведение активной идентификации, когда на вход системы подаются прямоугольные сигналы заданной формы и заданной амплитуды. В результате получаем следующие интегральные соотношения:

$$\int_0^t k_1(\tau)\mathrm{d}\tau=f_1(t),\ t\in[0,T] \quad (2)$$

$$\int_{t-v}^{t}\int_{t-v}^{t} k_2(\tau,s)d\tau ds=f_2(t,v),\ 0\le v\le t\le T \quad (3)$$

Из выражения (2) следует известная формула:

$$k_1(t)=f_1'(t),\ t\in[0,T] \quad (4)$$

а из (3) – формула обращения [4, 6]:

$$k_2(t-v,t)=\frac{f_{2tv}''(t,v)+f_{2v^2}''(t,v)}{2}, \quad (5)$$

$$0\le v\le t\le T$$

где используются следующие обозначения:

$$f_1'(t)=\frac{d}{dt}f_1(t),\ f_{2tv}''(t,v)=\frac{\partial^2}{\partial t\partial v}f_2(t,v),$$

$$f_{2v^2}''(t,v)=\frac{d^2}{dv^2}f_2(t,v) \quad (6)$$

К сожалению, реализация на практике полученных формул обращения сталкивается с принципиальной трудностью – некорректностью операции дифференцирования [6]. Одно из проявлений некорректности заключается в больших ошибках вычисления производной даже при очень малых погрешностях задания значений дифференцируемой функции. Таким образом, устойчивое дифференцирование зашумленных данных становится актуальной задачей для реализации формулы (5) на практике.

В работе [7] был построен алгоритм идентификации на основе формулы (4), где для устойчивого вычисления первой производной использовался сглаживающий кубический сплайн (СКС) дефекта единица с выбором параметра сглаживания из условия минимума среднеквадратической ошибки сглаживания. Алгоритм показал приемлемую точность идентификации при решении практических задач [8]. В случае идентификации квадратичного ядра $k_2(\tau,s)$ использование сглаживающих сплайнов существенно усложняется. Во-первых, для вычисления смешанной производной второго порядка $f_{2tv}''(t,v)$ нужно строить уже сглаживающий бикубический сплайн (СБС), являющийся функцией двух переменных t, v. Во-вторых, из-за разной «гладкости» функции $f_2(t, v)$ по разным переменным необходимо выбрать уже несколько параметров сглаживания из условия минимума ошибки сглаживания. В-третьих, в большинстве случаев дисперсия шума (погрешностей) измерения функции $f_2(t, v)$ неизвестна.

Эти затруднения обусловили следующие основные задачи, которые не получили своего решения в соответствующих научных публикациях и которые решаются в данной работе:

− введение нескольких типов параметров сглаживания – скалярного и векторного параметров для СБС;

− раздельный выбор параметров сглаживания (по каждой переменной сплайна) из условия минимума ошибки сглаживания при неизвестной дисперсии шума измерения на основе метода L-кривой;

− исследование эффективности предложенных алгоритмов выбора с точки зрения минимизации ошибки сглаживания.

Материалы и методы исследования

Предположим, что значения двумерной функции $f_2(t, v)$ измеряются при значениях аргументов t_i, $i = 1...N_t$, v_j, $j = 1...N_v$, т.е. в узлах прямоугольной сетки $\{t_i, v_j\}$, $i = 1...N_t$, $j = 1...N_v$. Заметим, что узлы t_i, и τ_j могут иметь неодинаковый и неравный шаг, что встречается в реальных экспериментах.

Для учета возможных погрешностей (шумов) измерений принимается следующая модель измеренных значений $\tilde{f}_2(t_i,v_j)$:

$$\tilde{f}_2(t_i, v_j) = f_2(t_i, v_j) + \eta_{i,j},$$

$$i = 1 \ldots N_t,\ j = 1 \ldots N_v \qquad (7)$$

где η_{ij} – случайный шум измерения с нулевым средним и дисперсией сетки $\{t_i, v_j\}$ (равноточные измерения). Требуется по исходным данным $\left\{\tilde{f}_2\left(t_i, v_j\right)\right\}$ вычислить значения производных $f_{2tv}''(t,v), f_{2v^2}''(t,v)$ в заданных узлах сетки $\{t_i, v_j\}, i = 1 \ldots N_t, j = 1 \ldots N_v$.

Замечание. Из вида интеграла (3) следует, что функция $f_2(t, v)$ принимает ненулевые значения для аргументов, удовлетворяющих условию $v \le t$. Для отрицательных значений v, t функция равна нулю в силу условия технической реализуемости системы, т.е.: $k_2(t, v) \equiv 0$, если $v < 0, t < 0$. Так как значения производных в (5) используются только при $v \le t$, то для устранения разрыва первого рода при значениях $v = t$ предлагается дополнить значения функции $f_2(t, v)$ для $v > t$ по правилу:

$$f_2\left(t, t + \Delta v\right) = f_2(t,t) + (f_2(t,t) - f_2(t, t - \Delta v),$$

$$\Delta v > 0 \qquad (8)$$

Дополненную таким образом функцию будем обозначать как $f_2^*\left(t, v\right)$.

Для устойчивого вычисления производных $f_{2tv}''(t,v), f_{2v^2}''(t,v)$ обратимся к сглаживающим кубическим сплайнам (СКС) [9], широко используемым при обработке экспериментальных данных [10, 11], включая задачи идентификации [8]. Алгоритм построения двумерного сглаживающего бикубического сплайна как построение ансамбля (набора) одномерных СКС был изложен в работе [12]. Поэтому здесь кратко опишем основные шаги этого алгоритма, необходимые для понимания места и способов выбора параметра сглаживания. Сделаем это для нахождения смешанной производной $f_{2tv}''(t,v)$, так как вычисление частной производной второго порядка $f_{2v^2}''(t,v)$ сводится к двукратному дифференцированию одномерного сплайна с аргументом v.

Шаг 1. Для каждого $j = 1 \ldots N_v$ формируется набор данных (фиксируется значение v_j):

$$\left\{t_i, \tilde{f}1_i^{(j)} = \tilde{f}_2^*\left(t_i, v_j\right),\ i = 1 \ldots N_t\right\} \qquad (9)$$

выбирается параметр сглаживания $\alpha 1^{(j)}$, и по исходным данным (9) строится СКС $S1^{(j)}_{N_t, \alpha 1^{(j)}}(t)$, допускающий на отрезках $[t_i, t_{i+1})$, $i = 1 \ldots N_t - 1$ представление:

$$S1^{(j)}_{i_t, \alpha 1^{(j)}}(t) = a1_i^{(j)} + b1_i^{(j)}(t - t_i) +$$

$$+ c1_i^{(j)}(t - t_i)^2 + c1_i^{(j)}(t - t_i)^3 \qquad (10)$$

и имеющий непрерывную вторую производную (по переменной t) на всем интервале $\left[t_1, t_{N_t}\right]$. По сплайну (10) вычисляются значения первой производной $\hat{f}_{2t}'(t_i, v_j) = \frac{d}{dt} S1^{(j)}_{N_t, \alpha 1^{(j)}}(t)\Big|_{t=t_i} = b1_i^{(j)}$ (оценка для производной $f_{2t}'(t_i, v_j)$). Шаг 1 повторяется для $v_j, j = 1 \ldots N_v$ и таким образом строится ансамбль (набор) из N_v одномерных СКС, каждому из которых необходимо задать параметр сглаживания $\alpha 1^{(j)}, j = 1 \ldots N_v$.

Шаг 2. Для каждого $i = 1 \ldots N_t$ формируется набор данных (фиксируется значение t_i):

$$\left\{v_j, \tilde{f}2_j^{(i)} = \hat{f}_{2t}'(t_i, v_j),\ j = 1 \ldots N_v\right\} \qquad (11)$$

выбирается параметр сглаживания $\alpha 2^{(j)}$ и строится СКС $S2^{(i)}_{N_v, \alpha 2^{(i)}}(v)$, первая производная которого является оценкой $\hat{f}_{2tv}''(t_i, v_j) = \frac{d}{dv} S2^{(i)}_{N_v, \alpha 2^{(i)}}(v)\Big|_{v=v_j} = b2_j^{(i)}$ для смешанной производной $f_{2tv}''(t_i, v_j)$, где $b2_j^{(i)}$ – коэффициент сплайна $S2^{(i)}_{N_v, \alpha 2^{(i)}}(v)$ в представлении:

$$S2_{Nv, \alpha 2^{(i)}}(v) = a2_j^{(i)} + b2_j^{(i)}(v - v_j) +$$

$$+ c2_j^{(i)}(v - v_j)^2 + c2_j^{(i)}(v - v_j)^3,\ v_j \le v < v_{j+1} \qquad (12)$$

Шаг 2 повторяется для t_i, $i = 1 \ldots N_t$, и таким образом строится ансамбль (набор) из N_t одномерных СКС, каждому из которых необходимо задать параметр сглаживания $\alpha 2^{(j)}, i = 1 \ldots N_t$.

Введем для СБС два новых понятия: скалярный и векторный параметр сглаживания. Под скалярным параметром будем понимать параметр, величина которого одинакова для всех сплайнов данного ансамбля. Так, на шаге 1 скалярный параметр определяется как

$$\alpha 1^{(j)} = \alpha 1, j = 1 \ldots N_v, \qquad (13)$$

Векторный параметр сглаживания – это вектор, каждая проекция которого задает свой параметр сглаживания соответствующему СКС из ансамбля сплайнов. Так, на шаге 2 векторный параметр $\overline{\alpha 2}$ имеет i-ю проекцию, равную

$$\overline{\alpha 2}_i = \alpha 2^{(i)}. \qquad (14)$$

Возникает главный вопрос при построении сплайнов на практике: как выбрать скалярный или векторный параметры сглаживания? При ответе на этот вопрос существенное значение играет наличие достоверной информации о дисперсии шума измерений σ_η^2 (7).

Первоначально предположим, что дисперсия σ_η^2 шума измерения известна с точностью 5–10%. В этом случае для выбора скалярного параметра сглаживания можно использовать алгоритм, основанный на проверке статистической гипотезы об оптимальности параметра сглаживания и предложенный в работе [11]. Для проверки этой гипотезы (предположим, что для шага 1) вводится критерий

$$\rho_{WS}(\alpha 1) = \frac{1}{\sigma_\eta^2}\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t} e_{N_t,\alpha 1}^{(j)}(t_i)\cdot \tilde{f}1_i^{(j)} \qquad (15)$$

где $e_{N_t,\alpha 1}^{(j)}(t_i) = \tilde{f}1_i^{(j)} - S1_{N_t,\alpha 1}^{(j)}(t_i)$ – невязка i-го измерения в j-м сплайне $S1_{N_t,\alpha 1}^{(j)}(t)$ (9). В качестве скалярного параметра сглаживания $\alpha 1$ принимается значение $\alpha 1_W$, для которого выполняется неравенство

$$\upsilon_{\frac{\beta}{2},N} \le \rho_{WS}(\alpha 1_W) \le \upsilon_{1-\frac{\beta}{2},N} \qquad (16)$$

где величины $\upsilon_{\frac{\beta}{2},N}, \upsilon_{1-\frac{\beta}{2},N}$ – квантили χ^2-распределения с $N = N_t \cdot N_v$ степенями свободы уровней $\beta/2$ и $1 - (\beta/2)$ соответственно. Величина β определяет вероятность ошибки первого рода при проверке гипотезы об оптимальности (величина среднеквадратической ошибки сглаживания) оценки $\alpha 1_W$ и, как правило, $\beta = 0.05$. Если $N > 30$, то для вычисления квантилей χ^2-распределения при $\beta = 0.05$ можно использовать простые формулы:

$$\upsilon_{0.025,N} = N - 1.96\cdot\sqrt{2N}, \qquad \upsilon_{0.975,N} = N + 1.96\cdot\sqrt{2N} \qquad (17)$$

Вычисление $\alpha 1_W$ сводится к решению нелинейного уравнения

$$\rho_{WS}(\alpha 1) = N, \qquad (18)$$

итерационными алгоритмами. В качестве $\alpha 1_W$ принимается приближённое решение уравнения (18), которое удовлетворяет неравенству (16). Вычислительный эксперимент показал [12], что рассмотренный алгоритм выбора скалярного параметра позволяет с приемлемой точностью (увеличение ошибки сглаживания по сравнению с минимальной 6–10%) оценить оптимальный скалярный параметр сглаживания $\alpha 1_{opt}$, минимизирующий среднеквадратическую ошибку (СКО) фильтрации.

Такой же алгоритм выбора можно построить для вычисления проекций векторного параметра сглаживания. В качестве j-й проекции вектора $\overline{\alpha 1}_W$ принимается значение $\alpha 1_W^{(j)}$, удовлетворяющее неравенству

$$\upsilon_{\frac{\beta}{2},N_t} \le \rho_{WV}(\alpha 1_W^{(j)}) \le \upsilon_{1-\frac{\beta}{2},N_t}, \qquad (19)$$

где

$$\rho_{WV}(\alpha 1^{(j)}) = \frac{1}{\sigma_\eta^2}\sum_{i=1}^{N_t} e_{N_t,\alpha 1}^{(j)}(t_i)\cdot \tilde{f}1_i^{(j)} \qquad (20)$$

Вычисление $\alpha 1_W^{(j)}$ сводится к решению нелинейного уравнения

$$\rho_{WV}(\alpha 1^{(j)}) = N, \qquad (21)$$

итерационными алгоритмами. В качестве $\alpha 1_W^{(j)}$ принимается приближённое решение уравнения (21), удовлетворяющее неравенству (19). Результаты сравнения ошибок сглаживания при использовании этих двух типов параметров сглаживания приводятся ниже.

Заметим, что вычисление как скалярного, так и векторного параметров сглаживания на основе проверки статистической гипотезы об оптимальности параметра требует задания достоверной величины дисперсии шума измерения. При заниженном значении дисперсии вычисляется заниженное значение (по сравнению с оптимальным) параметра сглаживания, что приводит к «недостаточной» фильтрации шума измерения – высокий уровень «остаточного» шума. При завышенной дисперсии наблюдается обратный эффект – сглаживаются «тонкие» структуры обрабатываемого сигнала. К сожалению, ситуация достоверного знания дисперсии шума измерения в реальном физическом эксперименте скорее исключение, чем правило. Кроме того, при вычислении смешанной производной на шаге 2 сплайны строятся по результатам дифференцирования на шаге 1, которые содержат «шум дифференцирования» неизвестной дисперсии. Все это говорит об актуальности разработки алгоритмов выбора параметров сглаживания для случая неизвестной дисперсии шума измерения, которые и составляют предмет дальнейших исследований.

В работе [13] был построен алгоритм выбора параметра сглаживания одномерного СКС на основе метода L-кривой, позволяющий с приемлемой точностью оценить оптимальный параметр сглаживания как в случае некоррелированного, так и для коррелированного шума измерений. Сам метод L-кривой иногда используется для выбора параметра регуляризации в алгоритмах решения некорректных задач (например, [14–15]), когда неизвестны характеристики погрешностей исходных данных. Поэтому попытаемся модифицировать алгоритм выбора параметра сглаживания работы [13] для вычисления скалярного и векторного параметров сглаживания.

В случае одномерного СКС в качестве параметра сглаживания принималась величина α_L, являющаяся решением вариационной задачи:

$$\max_{\alpha>0} k_L(\alpha) \qquad (22)$$

Кривизна $k_L(\alpha)$ L-кривой определяется по формуле

$$k_L(\alpha) = 2 \cdot \frac{\hat{\rho}'(\alpha)\cdot\hat{\gamma}''(\alpha) - \hat{\rho}''(\alpha)\cdot\hat{\gamma}'(\alpha)}{\left[\left(\hat{\rho}'(\alpha)\right)^2 + \left(\hat{\gamma}'(\alpha)\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \qquad (23)$$

где

$$\hat{\rho}(\alpha) = \ln\rho(\alpha), \hat{\gamma}(\alpha) = \ln\gamma(\alpha),$$

$$\rho(\alpha) = \sum_{i=1}^{n} p_i^{-1}(\tilde{f}_i - S_{n,\alpha}(t_i))^2;$$

$$\gamma(\alpha) = \int_{t_1}^{t_n} \left|S''_{n,\alpha}(t)\right|^2 dt.$$

Одномерный СКС $S_{n,\alpha}(t)$ строился по набору данных $\left\{t_i, \tilde{f}_i,\ i = 1\ldots n\right\}$, а весовые множители p_i в случае равноточных измерений задаются одинаковыми, например $p_i = 1$. Для эффективного вычисления функционала $\gamma(\alpha)$ (куда входит вторая производная сплайна) в работе [13] предложена формула

$$\gamma(\alpha) = \sum_{i=1}^{n-1}\left(4c_i^2 h_{ti} + 12c_i d_i h_{ti}^2 + 12d_i^2 h_{ti}^3\right) \qquad (24)$$

где $h_{ti} = t_{i+1} - t_i$, $i = 1\ldots n-1$, c_i, d_i – коэффициенты СКС, вычисленные при заданном параметре α.

Такой же алгоритм выбора можно построить для вычисления проекций векторного параметра сглаживания (для определенности на шаге 2). В качестве i-й проекции вектора $\overline{\alpha 2}_L$ принимается значение $\alpha 2_L^{(i)}$, доставляющее максимум кривизны $k_L(\alpha)$ L-кривой (23), вычисленной для сплайна $S2^{(i)}_{N_v,\alpha 2^{(i)}}(v)$. В этом случае функционалы $\rho(\alpha)$, $\gamma(\alpha)$ для этого сплайна определяются выражениями

$$\rho_{LV}^{(i)}\left(\alpha 2^{(i)}\right) = \sum_{j=1}^{N_v} p_{i,j}^{-1}(\tilde{f}2_j^{(i)} - S2^{(i)}_{N_v,\alpha 2^{(i)}}(v_j))^2;$$

$$\gamma_{LV}^{(i)}\left(\alpha 2^{(i)}\right) = \sum_{j=1}^{N_v-1}\left[4\cdot\left(c2_j^{(i)}\right)^2\cdot h_{vj} + 12\cdot c2_j^{(i)}\cdot d2_j^{(i)}\cdot h_{vj}^2 + 12\cdot\left(d2_j^{(i)}\right)^2\cdot h_{vj}^3\right],$$

где $h_{vj} = v_{j+1} - v_j$, $j = 1\ldots N_v - 1$, $c2_j^{(i)}, d2_j^{(i)}$ – коэффициенты сплайна $S2^{(i)}_{N_v,\alpha 2}(v)$.

Для вычисления скалярного параметра сглаживания (для определенности на шаге 2) определим функционалы $\rho(\alpha)$, $\gamma(\alpha)$ следующим образом:

$$\rho_{LS}(\alpha 2) = \sum_{i=1}^{N_t}\sum_{j=1}^{N_v}\frac{\left(\tilde{f}2_j^{(i)} - S2^{(i)}_{N_v,\alpha 2}(v_j)\right)^2}{p_{i,j}},$$

$$\gamma_{LS}(\alpha 2) = \sum_{i=1}^{N_t}\sum_{j=1}^{N_v-1}\left[4\cdot\left(c2_j^{(i)}\right)^2\cdot h_{vj} + 12\cdot c2_j^{(i)}\cdot d2_j^{(i)}\cdot h_{vj}^2 + 12\cdot\left(d2_j^{(i)}\right)^2\cdot h_{vj}^3\right],$$

где $p_{i,j}$ – весовые множители для i, j-го измерения (для равноточных измерений задаются одинаковыми), $c2_j^{(i)}, d2_j^{(i)}$ – коэффициенты сплайна $S2^{(i)}_{N_v,\alpha 2}(v)$, построенного при параметре $\alpha 2$, $h_{vj} = v_{j+1} - v_j$, $j = 1\ldots N_v - 1$.

Далее в соответствии с (23) находится значение кривизны и, решая вариационную задачу (22), находим значение $\alpha 2_L$, при котором кривизна L-кривой максимальна, и это значение является скалярным параметром сглаживания бикубического сплайна.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве «тестового» квадратичного ядра Вольтерра $k_2(\tau,s)$ (уравнение (1)) была принята функция, изображенная на рис. 1 и часто используемая для моделирования энергетических объектов [5]. Был выполнен обширный вычислительный эксперимент по идентификации этого ядра. В силу ограниченности объема статьи кратко рассмотрим только результаты эксперимента, связанные с вычислением смешанной производной $f_{2tv}''(t,v)$ функции $f_2(t, v)$ (уравнение (3)) по бикубическому сплайну со скалярным и векторным параметрами

сглаживания при неизвестной дисперсии шума измерения. Эта ситуация является более сложной и наиболее типичной в реальном эксперименте. При этом основное внимание уделяется исследованию эффективности скалярного и векторного параметров сглаживания, которая характеризует, насколько увеличивается ошибка сглаживания при этих параметрах по сравнению с оптимальными скалярным и векторным параметрами сглаживания. На рис. 2 показана смешанная производная $f_{2tv}''(t,v)$, имеющая достаточно сложную форму. Параметры используемой сетки $\{t_i, v_j\}$: $N_t = 80$, $N_v = 80$, $t_i = 0.03\cdot(i-1)$, $i = 1\ldots N_t$, $v_j = 0.03\cdot(j-1)$, $j = 1\ldots N_v$. В качестве краевых условий на всех четырех границах прямоугольной области задавались нулевые вторые производные.

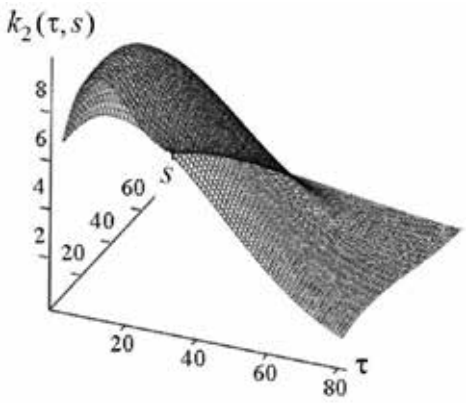


Рис. 1. Квадратичное ядро $k_2(\tau,s)$

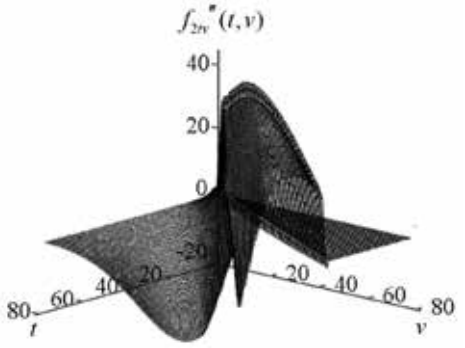


Рис. 2. Смешанная производная $f_{2tv}''(t,v)$

Точные значения «дополненной» функции $f_2^*(t,v)$ (замечание 1) в узлах сетки $\{t_i, v_j\}$ (матрица F^* с элементами $F_{i,j}^* = f_2^*(t_i, v_j)$) искажались нормально распределенным шумом с нулевым средним и дисперсией σ_η^2 (7). Относительный уровень δ_η шума измерения определялся выражением

$$\delta_\eta = \frac{\|\eta\|}{\|F^*\|},$$

где $\|\ \|$ означает евклидову норму матрицы. Сформированная таким образом матрица $\tilde{F}^*$ с элементами $\tilde{F}_{i,j}^* = F_{i,j}^* + \eta_{i,j}$, $i = 1\ldots N_t$, $j = 1\ldots N_v$ является исходной для построения СБС. Так как параметры кубических сглаживающих сплайнов задаются на шаге 1 (параметр сглаживания $\alpha 1^{(j)}$) и шаге 2 ($\alpha 2^{(i)}$), то здесь же определялись и относительные ошибки сглаживания:

• на шаге 1:

скалярная

$$\delta 1_S(\alpha 1) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f(t_i,v_j) - S1_{N_t,\alpha 1}^{(j)}(t_i)\right)^2}{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f(t_i,v_j)\right)^2}};$$

векторная

$$\delta 1_V(\overline{\alpha 1}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f(t_i,v_j) - S1_{N_t,\alpha 1^{(j)}}^{(j)}(t_i)\right)^2}{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f(t_i,v_j)\right)^2}};$$

• на шаге 2:

скалярная

$$\delta 2_S(\alpha 2) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f_{2t}'(t_i,v_j) - S2_{N_t,\alpha 2}^{(i)}(v_j)\right)^2}{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f_{2t}'(t_i,v_j)\right)^2}};$$

векторная

$$\delta 2_V(\overline{\alpha 2}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f_{2t}'(t_i,v_j) - S2_{N_t,\alpha 2^{(i)}}^{(i)}(v_j)\right)^2}{\sum_{j=1}^{N_v}\sum_{i=1}^{N_t}\left(f_{2t}'(t_i,v_j)\right)^2}}.$$

Очевидно, что на шаге 2 определяется уже относительная ошибка сглаживания первой производной. Обозначим через $\delta 1_S(\alpha 1_{opt})$, $\delta 1_V(\overline{\alpha 1_{opt}})$, $\delta 2_S(\alpha 2_{opt})$, $\delta 2_V(\overline{\alpha 2_{opt}})$ – наименьшие относительные ошибки сглаживания при использовании оптимальных параметров сглаживания. Аналогично величины $\delta 1_S(\alpha 1_L)$, $\delta 1_V(\overline{\alpha 1_L})$, $\delta 2_S(\alpha 2_L)$, $\delta 2_V(\overline{\alpha 2_L})$ определяют относительные ошибки при выборе параметров на основе метода L-кривой описанными выше алгоритмами. Для количественного сравнения относительных ошибок сглаживания введем следующие коэффициенты эффективности:

$$K1_S = \frac{\delta 1_S\left(\alpha 1_{opt}\right)}{\delta 1_S\left(\alpha 1_L\right)};\ K1_V = \frac{\delta 1_V\left(\overline{\alpha 1}_{opt}\right)}{\delta 1_V\left(\overline{\alpha 1}_L\right)};$$

$$K2_S = \frac{\delta 2_S\left(\alpha 2_{opt}\right)}{\delta 2_S\left(\alpha 2_L\right)};\ K2_V = \frac{\delta 2_V\left(\overline{\alpha 2}_{opt}\right)}{\delta 2_V\left(\overline{\alpha 2}_L\right)}.$$

Очевидно, что эти коэффициенты меняются в интервале от 0 до 1 и их значения являются случайными величинами. Поэтому по выборке объемом 30 вычислялись выборочные средние $\overline{K1}_S, \overline{K1}_V, \overline{K2}_S, \overline{K2}_V$. Чем больше эти средние отклоняются от 1 в меньшую сторону, тем больше проигрыш по точности сплайна, построенного с параметрами $\alpha 1_L$, $\overline{\alpha 1}_L$, $\alpha 2_L$, $\overline{\alpha 2}_L$. Средние значения коэффициентов эффективности приведены в таблице для трех уровней шума: 0,02; 0,04; 0,06. Анализ этой таблицы показывает, что:

– векторный параметр сглаживания имеет меньший коэффициент эффективности по сравнению со скалярным параметром при прочих равных условиях построения сглаживающих сплайнов;

– с увеличением уровня шума измерения наблюдается уменьшение значений коэффициентов эффективности;

– коэффициент эффективности при сглаживании функции больше соответствующего коэффициента эффективности при сглаживании производных.

Средние значения коэффициентов эффективности

Средние значения коэффициентов эффективности	Относительный уровень шума измерений		
	0,02	**0,04**	**0,06**
$\overline{K1}_S$	0,989	0,972	0,949
$\overline{K1}_V$	0,902	0,873	0,848
$\overline{K2}_S$	0,908	0,863	0,791
$\overline{K2}_V$	0,816	0,774	0,694

Заключение

Предложенные алгоритмы вычисления скалярного и векторного параметров сглаживания позволяют с приемлемой точностью оценить оптимальные значения этих параметров даже при неизвестных дисперсиях шума измерений. Это позволяет при построении бикубических сплайнов учитывать (за счет выбора двух параметров сглаживания) разную гладкость дифференцируемой функции по отдельным переменным, что уменьшает ошибку вычисления смешанных производных в задаче идентификации квадратичного ядра Вольтерра.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-21-00409.

Список литературы

1. Apartsyn A.S., Solodusha S.V., Spiryaev V.A. Modeling of Nonlinear Dynamic Systems with Volterra Polynomials: Elements of Theory and Applications. Int. J. Energy Optim. Eng. 2013. 2. P. 16–43. DOI: 10.4018/ijeoe.2013100102.

2. Cheng C.M. Volterra-series-based nonlinear system modeling and its engineering applications: A state-of-the-art review. Mechanical Systems and Signal Processing. 2017. Vol. 87. P. 430–364.

3. Солодуша С.В. Численное моделирование динамики теплообмена модифицированным квадратичным полиномом Вольтерры // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 2. С. 84–94.

4. Солодуша С.В. Амплитуды тестовых сигналов для построения интегральных моделей динамики объектов тепло- и электроэнергетики // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2017): материалы XVII Международной научно-практической конференции. М.: ООО «Аналитик», 2017. С. 322–326.

5. Solodusha S.V. Quadratic and cubic Volterra polynomials: Identification and application // Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Prikladnaya Matematika, Informatika, Protsessy Upravleniya. 2018. Vol. 14. No. 2. P. 131–144. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2018.205.

6. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 285 с.

7. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Новый устойчивый алгоритм непараметрической идентификации технических систем // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 5. С. 25–29.

8. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Алгоритмы непараметрической идентификации сложных технических систем // Научный вестник НГТУ. 2020. № 4 (80). С. 47–64. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-4-47-64.

9. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980. 345 с.

10. Wang Y. Smoothing Splines Methods and Applications. Ser. Monographs on Statistics and Applied Probability v. 121. A Chapman & Hall book, 2011. 347 p.

11. Воскобойников Ю.Е., Преображенский Н.Г., Седельников А.И. Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике. Новосибирск: Наука, 1984. 238 с.

12. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Устойчивый алгоритм вычисления смешанных производных в задачах непараметрической идентификации нелинейных систем // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 25–29. DOI: 10.17513/snt.38610.

13. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Метод L-кривой для оценивания оптимального параметра сглаживающего кубического сплайна // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11 (113). Ч. 1. С. 6–13. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.003.

14. Rezghi M., Hosseini S.M. A new variant of L-curve for Tikhonov regularization. J. Comput. Appl. Math. 2012. No. 231 (5). P. 914–924.

15. Cultrera A., Callegaro L. A simple algorithm to find the L-curve corner in the regularization of ill-posed inverse problems. IOP SciNotes. 2020. Vol. 1. No. 2. P. 32–39.

УДК 621.79

ТЕХНОЛОГИЯ TIG СВАРКИ, ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Горшкова О.О.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал, Сургут, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru

В статье обосновано название TIG сварки; рассмотрены особенности ее технологии; обозначены основные способы зажигания дуги: контактный и бесконтактный, определены возможности их применения в различных ситуациях. Представлены способы подачи присадочного материала в зону сварки, определены особенности применения каждого из них. Определены условия уменьшения возникновения потерь на угар присадочного металла; параметры длины дуги в зависимости от пространственного положения при сварке. Выявлена и представлена зависимость диаметра сварочного электрода от величины сварочного тока. Рассмотрены виды инертных газов и их смесей, применяемых в процессе TIG сварки для соединения различных материалов, определены особенности каждого из обозначенных газов, область их применения. На основании результатов металлографических исследований определены высокие механические характеристики металла сварного шва, что подтверждает перспективность TIG сварки. Объяснена необходимость применения поддува с обратной стороны для защиты металла корня шва, определены преимущества предварительной подачи газа до момента зажигания дуги. Обосновано применение импульсной TIG сварки импульсами различной частоты, выделены преимущества импульсов несимметричного профиля. Систематизированы достоинства и недостатки технологии TIG сварки.

Ключевые слова: TIG сварка, импульсная TIG сварка, инертный газ, присадочный материал, вольфрамовый неплавящийся электрод, инвертор

TIG WELDING TECHNOLOGY, APPLICATION POSSIBILITIES

Gorshkova O.O.

Industrial University of Tyumen, branch, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru

The article substantiates the name of TIG welding; the features of its technology are considered; the main methods of arc ignition are indicated: contact and non-contact, the possibilities of their application in various situations are determined. The methods of feeding the filler material into the welding zone are presented, the application features of each of them are determined. The conditions for reducing the occurrence of losses on the carbon monoxide of the filler metal are determined; the parameters of the arc length depending on the spatial position during welding. The dependence of the welding electrode diameter on the welding current is revealed and presented. The types of inert gases and their mixtures used in the TIG welding process for joining various materials are considered, the features of each of the designated gases and their scope of application are determined. Based on the results of metallographic studies, high mechanical characteristics of the weld metal were determined, which confirms the prospects of TIG welding. The necessity of using a blowdown on the reverse side to protect the metal of the seam root is explained, the advantages of pre-supplying gas before the arc is ignited are determined. The use of pulsed TIG welding with pulses of different frequencies is justified, the advantages of pulses of an asymmetric profile are highlighted. The advantages and disadvantages of TIG welding technology are systematized.

Keywords: TIG welding, pulse TIG welding, inert gas, filler material, tungsten non-melting electrode, inverter

В современных условиях актуальным является вопрос улучшения свариваемости стали и повышения качества сварных конструкций, разнообразных модификаций, выполняемых их различных материалов. Одним из эффективных способов сварки плавления является DC TIG. Название обусловлено сочетанием английских слов: Tungsten (Вольфрам) – Inert (Инертный) – Gas (газ). Вольфрам применяется для изготовления неплавящегося электрода, так как он является тугоплавким материалом. Инертный газ обеспечивает защиту расплавленного металла, а также способствует протеканию процесса ионизации газового промежутка при горении сварочной дуги.

Цель исследования – определение эффективного, универсального способа сварки, способствующего получению качественных сварных швов при соединении различных конструкционных материалов и сплавов, для повышения качества и надежности сварных конструкций на основе систематизации, обобщения и развития литературных источников и анализа практического опыта.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов использованы результаты исследований особенностей технологии TIG сварки (О.О. Горшковой [1], В.Я. Кононенко [2], Н.А. Юхина [3] и др.), проанализированы результаты опыта практического применения данной технологии для получения качественного сварного соединения ([4–6] и др.) проанализированы результаты металлографических исследований сварных швов. Для Технологий TIG сварки

предусмотрена защита зоны сварки посредством инертного газа, то есть от воздействия окружающей среды защищены сварочная дуга, присадочный материал, неплавящийся электрод (вольфрамовый), что способствует предотвращению попадания в зону сварки влаги и газов (кислорода и азота).

Методы исследования позволили провести анализ, систематизацию и обобщение существующих работ и исследований с целью определения технологии TIG сварки, как одного их универсальных и эффективных способов получения качественных сварных швов, а соответственно, сварных конструкций. Применены следующие методы: теоретические (изучение, анализ и синтез литературы по рассматриваемой проблеме); эмпирические (изучение, анализ документации, сравнение данных существующих исследований), практические (металлографические исследования сварных швов).

Результаты исследования и их обсуждение

Нами установлено, что технология TIG сварки обеспечивает исключение процесса окисления присадочного материала, вследствие того, что он постоянно находится в инертном газе, который его защищает от воздействия окружающей среды. При последующем зажигании дуги с целью избежания попадания загрязненного металла в зону сварки, присадочная проволока некоторое время удерживается в защитном газе после окончания процесса сварки. Для равномерного распределения тепла между свариваемым металлом и электродом применяется постоянный ток прямой полярности. Применение электродов малого диаметра обеспечивает процесс стабильного и концентрированного горения дуги, это обеспечивает формирование узкого шва с глубоким проплавлением металла шва [1]. На рис. 1 представлено схематическое изображение процесса сварки.

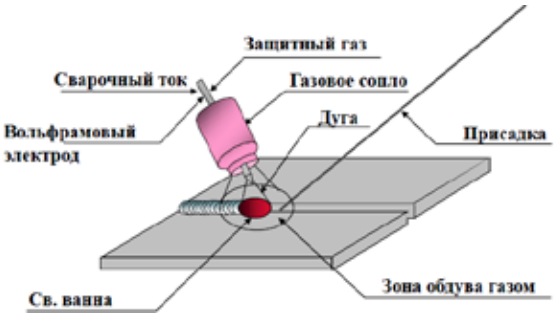


Рис. 1. Схематичное изображение процесса DC TIG сварки

Анализ практического опыта показывает, что существуют два способа зажигания дуги в процессе TIG сварки:

− бесконтактное высокочастотное искровое зажигание высоким напряжением до 10 кВ. При данном способе отсутствует механический контакт неплавящегося электрода и основного металла, в процессе зажигания сварочной дуги защитный газ ионизируется и становится проводником. Бесконтактное зажигание способствует защите неплавящегося электрода от механических повреждений, что в свою очередь исключает возможность попадания вольфрамовых включений в металл сварочной ванны, обеспечивая формирование качественного сварного шва [1]. Для бесконтактного способа применяется осциллятор, подающий высоковольтное слаботочное напряжение на заготовки.

− контактное зажигание осуществляется непосредственно при механическом взаимодействии вольфрамового электрода и поверхности основного металла. Процесс производится на токе малых значений, который увеличивается по мере зажигания дуги и достигает необходимых значений. Преимуществами данного способа являются отсутствие необходимости применения электронных устройств, компактные габариты оборудования, в сравнении с оборудованием, применяемым при бесконтактном способе [2].

Практический опыт показывает, что для получения качественных сварных соединений посредством TIG сварки необходимо предварительно осуществлять тщательную подготовку сварных кромок, металл должен быть сухим, очистку кромок свариваемого металла производят с двух сторон в месте предполагаемого шва на величину до 20 мм.

На практике определено, на качество сварного соединения оказывает влияние чистота неплавящегося вольфрамового электрода, а также угол его заточки, который должен составлять 20–90 градусов. В случае если угол заточки превышает указанные значения, то процесс горения дуги может быть неустойчивым в результате возможности возникновения блуждания катодного пятна по торцевой поверхности электрода. При меньшем значении угла заточки снижается ресурс работы вольфрамового электрода [1].

В процессе TIG сварки возможны два варианта подачи присадочного материала. Первый способ – непрерывная подача, второй – подача «капля за каплей». В процессе TIG сварки присадочный материал подается под углом 10–20 градусов, при этом угол наклона горелки составляет 60–80 градусов.

Проволока, применяемая в качестве присадочного материала в процессе TIG сварки, в своем составе содержит большее количество легирующих элементов, причем их содержание больше, чем содержится в свариваемом металле. Для избежания коррозии поверхность присадочного материала покрывают слоем меди. Угар присадочного материала минимален, это обусловлено тем, что через непосредственно через дугу присадочная проволока не проходит.

Нами определено, что при TIG сварке для обеспечения необходимой ширины шва требуется осуществлять правильный выбор длины сварочной дуги, что также способствует снижению риска возникновения короблений металла в зоне сварки за счет определения необходимой величины тепловложений. Определение длины сварочной дуги производится на основании учета типа сварного соединения и величины сварочного тока. Сварка тавровых соединений производится дугой до 5 мм, процесс сварки характеризуется задержкой газа. Угловые соединения свариваются дугой до 3 мм, что обусловлено потерей газа [3]. В табл. 1 мы представили, как зависит выбор диаметра электрода от величины сварочного тока.

Таблица 1

Зависимость диаметра электрода от сварочного тока

Диаметр TIG электрода, мм	Максимальный сварочный ток, А
0,8	45
1,2	70
1,6	145
2,4	240
3,2	380

Процесс TIG сварки предусматривает применение защитных газов. Обобщение практического опыта показывает, что на величину расхода газа влияет ряд параметров:

− место сварки (работы производятся в помещении либо на открытом воздухе),

− тип применяемой сварочной TIG горелки,

− качество подготовки металла под сварку и т.д.

Выбор инертного газа, обладающего определенными теплофизическими свойствами, влияет на свойства сварочной дуги, форму формируемого сварного шва, определяет технологические возможности TIG сварки различных металлов и сплавов по химическому составу и толщине.

Нами проанализированы возможности применения различных защитных газов, выявлены их достоинства и недостатки:

− гелий – инертный газ, имеющий высокий потенциал ионизации, дает возможность применять высокое напряжение при сварке (больше, чем при использовании аргона), вследствие того, что при температурах плазмы имеет высокую теплопроводность. Гелий используют при сварке тонколистового металла. Высокая себестоимость гелия является его недостатком;

− аргон высшей или первой степени очистки (99,99–99,995 %) – способствует легкому зажиганию дуги, обеспечивает ее стабильное горение. Аргон обеспечивает формирование сварного шва без оксидной пленки, надежно защищая сварочную ванну от воздействия окружающей среды, это объясняется тем, что аргон тяжелее воздуха. Стоимость аргона значительно ниже в сравнении с гелием. Аргон применяют при сварке низколегированных, нержавеющих сталей, сплавов цветных металлов и т.д.;

− смесь аргона (70 %) и гелия (30 %) – позволяет вести сварку на больших скоростях, обеспечивая глубокое проплавление металла. Смесь целесообразно использовать при сварке цветных металлов и сплавов с высокой теплопроводностью (медь, алюминий и др.), с также в процессе сварки тяжелых металлов;

− смесь аргона (95 %) и водорода (5 %) – способствует формированию узкого шва с большей глубиной проплавления. Добавление водорода позволяет увеличить напряжение дуги, а соответственно, повысить тепловложения и скорость сварки. Смесь используется при соединении аустенитных нержавеющих сталей, никелевых сплавов.

На основании сравнительной характеристики газов и смесей, руководствуясь результатами практического опыта, можно констатировать, что аргон является наиболее оптимальным защитным газом для применения в процессе TIG сварки.

В качестве источника тока применяют инверторы, через которые осуществляется подача инертного газа, подвод тока к горелке, подача управляющих импульсов. При сварке крупногабаритных деталей применяют орбитальные камеры объемом до 450 м^3, позволяющие производить процесс сварки в контролируемой атмосфере. Камеры могут быть стационарными и переносными [1]. Также процесс с TIG сварки с использованием выпрямителя. Нами определено, что наиболее применимы ряд выпрямителей, характеристики которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Выпрямители для TIG сварки

Выпрямитель	*P, кВт*	I_{min}, *A*	*U, B*	Размеры, мм	Страна производитель
Blue weld king TIG 280/1 AC/DC-HF/Lift 832201	10	5…250	380	960x340x820	Италия
Ресанта САИ 180 АД	5,3	10...180	220	360x135x232	Китай
Сварог TIG 300S	8,3	20…300	380	480x205x355	Китай

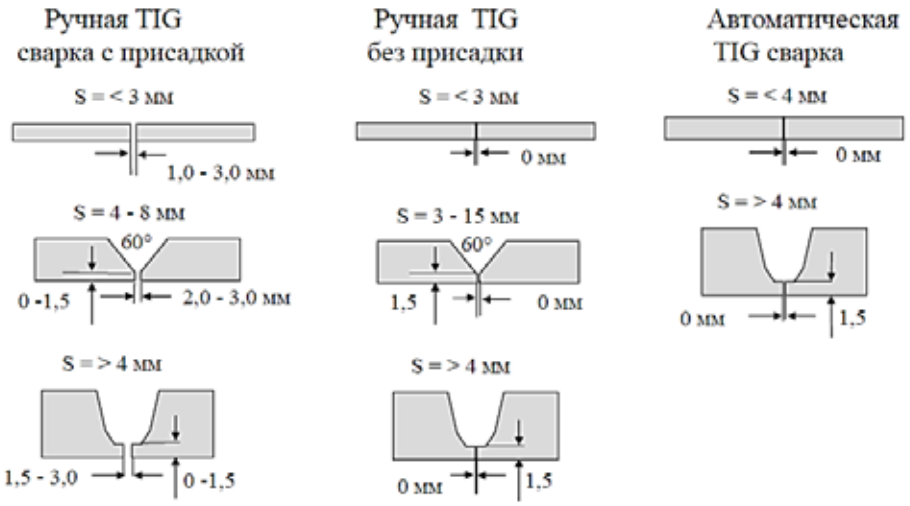


Рис. 2. Сварочные стыки в зависимости от режима TIG сварки

Для предотвращения возникновения дефектов в металле корня шва целесообразно применение поддува с обратной стороны. Анализ показывает, что наилучшие результаты при производстве поддува обеспечивает аргон [1]. Нами определено, что, поддув с обратной стороны применим для конструкций, к которым предъявляются высокие требования качества, например при сварке трубопроводов, сосудов высокого давления. Можно констатировать, что предварительная подача газа (до зажигания дуги) способствует обеспечению стабильного потока газа в момент зажигания; продувке сварочной горелки перед зажиганием; уменьшению количества воздуха в разделке шва; обеспечивает стабильное повторное зажигание.

Аргонодуговая сварка с поддувом может осуществляться в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах.

Защитный газ, по окончанию процесса сварки, еще некоторое время подается в зону сварки, что способствует: охлаждению конца электрода, защите электрода от окисления; охлаждению сварочной ванны.

В результате анализа исследований можно представить основные формы сварочных стыков (рис. 2), получаемых в зависимости от режима TIG сварки [3, 4].

В процессе систематизации существующих работ нами выявлено, что наиболее перспективна импульсная TIG сварка (сварка на переменном токе), в процессе которой высокочастотные колебания пиковых значений способствуют нагреву основного металла и металла сварочной ванны. Импульсная сварка применяется для соединения металлов любых толщин во всех пространственных положениях, позволяет получать качественные сварные соединения разнородных металлов, обеспечивает высокое качество и хороший внешний вид сварных швов [4].

Процесс импульсной TIG сварки предусматривает подачу присадочного материала в сварочную ванну способом «капля за каплей», либо присадочная проволока может находиться над сварочной ванной в неподвижном состоянии.

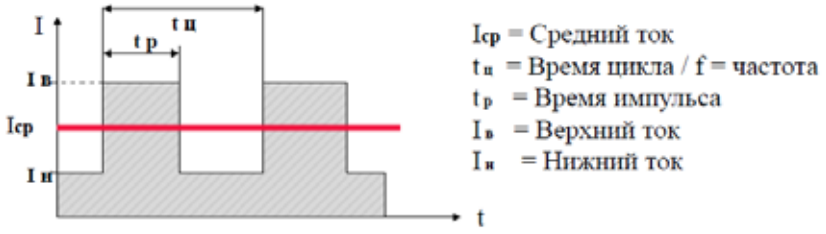


Рис. 3. Импульсная TIG сварка

Импульсная сварка дает возможность соединять металлы любой толщины во всех пространственных положениях; соединять разнородные металлы; соединять заготовки разных толщин, обеспечивая высокое качество сварного соединения и требования к внешнему виду сварного шва [4].

В процессе импульсной TIG сварки ток колеблется с заданной частотой от верхнего до нижнего импульсного уровня, как представлено на рис. 3 [5]. В момент достижения током базовых значений нагрев металла уменьшается, это предотвращает перегрев сварных кромок, но обеспечивает стабильное горение дуги.

В зависимости от частоты импульсная TIG сварка разделяется на высокочастотную и низкочастотную (частота 50–500 Гц; время импульсов 0,02–0,002 с). Анализ качества сварных соединений показывает, что в процессе высокочастотной сварки обеспечивается глубокое проплавление металла при небольших тепловложениях [6]. При этом процесс сварки ведется на высоких скоростях, что позволяет соединять металлы толщиной менее 3 мм.

В процессе работы определено, что применение импульса несимметричного профиля является наиболее оптимальным в процессе сварки сталей, так как время, отведенное на остывание металла, увеличивается, что исключает перегрев металла. Если процесс TIG сварки ведется с непрерывной подачей присадочной проволоки, то применяется редкая пульсация с частотой 0,5–1 Гц. В том случае, когда присадочный материал подается «капля за каплей», оптимальна частая пульсация с частотой более 50 Гц [1]. Толщина свариваемого металла определяет значения силы тока.

Результаты металлографических исследований сварных швов (рис. 4), полученных посредством TIG сварки показывают, что металл шва имеет мелкозернистое строение, является плотным, при этом практически отсутствует влияние нагрева на структуру металла в переходной зоне. Это обеспечивает высокие прочностные характеристики металла шва.

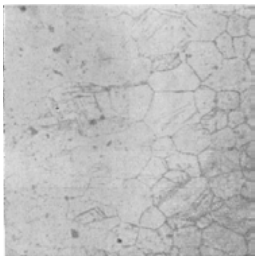


Рис. 4. Микрошлиф

При этом металлографические исследования сплавов типа магний-марганец (МА1) показали, что в переходной зоне наблюдается рост зерна, следовательно, ослабляется околошовная зона, а следовательно, уменьшаются прочностные характеристики сварного соединения, это следует учитывать при выборе способа сварки данных сплавов [1].

В процессе работы нами определены основные преимущества TIG сварки, позволяющие рассматривать ее как одну из перспективных технологий для изготовления сварных конструкций, к ним относятся: высокое качество сварных соединений; хорошие внешние характеристики сварных швов, отсутствие шлака и брызг; возможность снижения внутренних напряжений в металле шва; исключение необходимости дополнительной обработки швов по окончанию процесса сварки; универсальность процесса сварки, возможность механизации. Однако следует указать и недостатки процесса: снижение производительности по сравнению с MIG / MAG сваркой; необходимость тщательной предварительной подготовки металла перед сваркой; требования к квалификации сварщика; при выполнении работ на открытом воздухе необходимость защиты места сварки для избежания воздействия на поток инертного газа; высокие требования к защитным газам, снижение прочности при сварке сплавов типа магний-марганец.

Заключение

Таким образом, анализ, систематизация существующих исследований по вопросам использования технологии TIG сварки, материалов практических разработок, результатов металлографических исследований дает возможность рассматривать TIG сварку как перспективный, универсальный способ соединения металлов и сплавов, ориентированный на получение качественных сварных соединений.

Список литературы

1. Горшкова О.О. Сварка металлоконструкций. Стерлитамак: АМИ, 2017. 103 с.

2. Кононенко В.Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом. М.: Высшая школа, 2007. 132 с.

3. Юхин Н.А. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитных газах. М.: Высшая школа, 2008. 26 с.

4. TIG сварка // Шторм [Электронный ресурс]. URL: https://www.shtorm-its.ru/info/articles/tekhnologiya-tig-svarki/ (дата обращения: 10.12.2021).

5. Характеристика и особенности TIG-сварки с помощью инвертора // Все о сварке Elsvarkin.ru [Электронный ресурс]. URL: https://elsvarkin.ru/texnologiya/tig-svarki (дата обращения: 10.12.2021).

6. Технология TIG сварки // Центр сварки 21 [Электронный ресурс]. URL: http://xn---21-6cdjqypx4adjk7c.xn--p1ai/publ/stati/svarka/tekhnologija_tig_svarki/5-1-0-6(дата обращения:10.12.2021).

УДК 53.047

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛА В ПРИМЕМБРАННОМ СЛОЕ

Грецова Н.В., Грецов М.В., Авдеюк О.А., Чигиринская Н.В., Соловьева О.Ю., Павлова Е.С.

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, e-mail: nvtchi@yandex.ru

В настоящее время актуальность изучения влияния различных факторов окружающей среды на распределение электрического потенциала около клеточной мембраны связана с потребностями нового знания в биофизике. Работа посвящена моделированию дзета-потенциала в примембранном слое. Рассмотрен бинарный электролит, с учетом самосогласованного поля, решается уравнение Пуассона с начальными и граничными условиями, соответствующими рассмотрению потенциала на границе плоскости скольжения в предположении, что на границе раздела тепловое движение уравновешивается силой притяжения от мембраны. Получены аналитические выражения для вычисления потенциала, плотности пространственного заряда, предложена простейшая модель описания дзета-потенциала. На основе полученных формул построены графики плотности пространственного заряда при различных типовых значениях потенциала, а также графики потенциала при различных параметрах примембранного слоя. Проанализированы и описаны основные полученные закономерности: при уменьшении температуры граница слоя скольжения удаляется от мембраны, координата слоя скольжения смещается ближе к мембране при уменьшении диэлектрической проницаемости, плотность пространственного заряда изменяется очень сильно как функция потенциала на мембране, соответственно, увеличивается при увеличении потенциала. Приведенные данные можно применить в исследованиях потенциала течения жидкости в системах трубо- и газопроводов, а также в любых других системах с потоком электролитов.

Ключевые слова: факторы окружающей среды, двойной электрический слой, дзета-потенциал, плотность пространственного заряда, примембранный слой, математическая модель, уравнение Пуассона, потенциал течения жидкости

MATHEMATICAL MODELING OF ZETA-POTENTIAL IN THE PRIMEMBRANE LAYER

Gretsova N.V., Gretsov M.V., Avdeyuk O.A., Chigirinskaya N.V., Soloveva O.Yu., Pavlova E.S.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: nvtchi@yandex.ru

Currently, the relevance of studying the influence of various environmental factors on the distribution of electrical potential near the cell membrane is related to the needs of new knowledge in biophysics. The work is devoted to modeling the zeta potential in the near-membrane layer. A binary electrolyte is considered, taking into account a self-consistent field, the Poisson equation is solved with the initial and boundary conditions corresponding to the consideration of the potential at the boundary of the slip plane under the assumption that the thermal motion at the interface is balanced by the force of attraction from the membrane. Analytical expressions are obtained for calculating the potential, space charge density, and the simplest model for describing the zeta potential is proposed. On the basis of the obtained formulas, graphs of the space charge density are constructed for various typical values of the potential, as well as potential graphs for various parameters of the near-membrane layer. The main obtained regularities are analyzed and described: with decreasing temperature, the boundary of the slip layer moves away from the membrane, the coordinate of the slip layer moves closer to the membrane with decreasing dielectric constant, the space charge density varies greatly depending on the potential on the membrane, increases with increasing potential. The data presented can be applied in studies of the potential of liquid flow in pipe and gas pipelines, as well as in any other systems with electrolyte flow.

Keywords: environmental factors, electric double layer, zeta potential, membranous layer, the density of the space charge, mathematical model, Poisson's equation, fluid flow potential

Развитие в настоящее время имеют смежные с биологией науки, такие как биохимия, биофизика, потенциал у этих наук на данный момент очень велик, ведь существует множество вопросов, неописанных процессов и скрытых закономерностей.

Знание заряда и потенциала у поверхности мембраны весьма важно, так как это позволяет описывать процессы, связанные с транспортом ионов, адсорбцией заряженных частиц на мембранах, а также взаимодействие мембран. Обычно, чтобы получить распределение потенциала, необходимо знать структуру границы раздела «мембрана – раствор электролита», далее вычислить распределение заряда, и соответственно вычислить само распределение потенциала. Так как биологическая структура мембран очень сложна в описании, в силу огромного количества элементов, обычно используются упрощения. Часто в качестве модели границы раздела мембрана-раствор принимается модель, состоящая из двух полубесконечных сред: с одной стороны электролит, с другой жидкий диэлектрик.

В работе [1] для данного случая, при наличии точечного заряда в электролите, были получены формы распределения потенциала при наличии точечного заряда в электролите, но они громоздки и мало подходят для реальных случаев. Поэтому были получены приближенные формулы для произвольного количества фиксированных точечных зарядов, пригодные для качественной оценки и быстрых вычислений.

В работах [2; 3] приводились методики моделирования липидных бислоев. Наиболее распространенными методами моделирования являются:

а) методы молекулярной динамики (например, метод стохастической динамики). Данную группу методов обычно применяют, когда необходимо наблюдать и моделировать различные процессы, происходящие во времени;

б) метод Монте-Карло. Данный метод обычно применяют, когда необходимо с высокой точностью получить и изучить структурное пространство исследуемой системы.

Первичные модельные сведения о двойном электрическом слое были развиты в работах Гельмгольца [1]. Он показал, что в любом электролите вблизи поверхности мембраны всегда формируется тонкий слой ионов, из-за свойств мембраны. Заряд этого слоя противоположен по знаку заряду в области поверхности мембраны и полностью нейтрализует его действие [1; 4]. Поверхность мембраны и слой ионов около нее формируют систему, похожую на «конденсатор», расстояние между обкладками которого порядка одного атома. Аналогичная ситуация наблюдается в окрестности мицелл в растворе электролита. Поверхность частицы сложного состава – мицеллы образует слой зарядов, распределенный равномерно (согласно свойствам сферически симметричной частицы), и формирует на ней поверхностный заряд. Ионы такого сорта называют потенциалопределяющими (ПОИ) [5]. В свою очередь, из жидкой среды к поверхности притягиваются ионы противоположного знака. Такие ионы называют противоионами (ПИ). В ситуации взвешенных в растворе электролита частиц двойной электрический слой состоит из совокупности потенциалопределяющих ионов и слоя противоионов. Как оказалось, слой противоионов также неоднороден и состоит, в свою очередь, из нескольких составляющих слоев.

Первый, или внутренний – это адсорбционный (плотный) слой, примыкающий непосредственно к межфазной поверхности. Этот слой формируется как результат электростатического взаимодействия с потенциалопределяющими.

Второй, или внешний – диффузный (редкий) слой. Толщина диффузного слоя зависит от свойств частиц и системы в целом и может достигать больших значений по сравнению с первым слоем. Силы электростатического взаимодействия здесь существенно ниже.

Если частица движется в потоке электролита под воздействием разности давлений или электростатических сил, двойной электрический слой деформируется, или вообще нарушается его целостность. Область разрыва называется плоскостью скольжения, если происходит перемещение твердой и жидкой фаз друг относительно друга. Плоскость скольжения чаще всего появляется на границе между диффузными и адсорбционными слоями. В некоторых случаях она находится непосредственно в диффузном слое. Понятие границы в этом случае весьма условно и определяется форматом модели. Потенциал на плоскости скольжения называют электрокинетическим или, по-другому, дзета-потенциалом (ζ–потенциал). Таким образом, дзета-потенциал – это разность потенциалов среды и неподвижного слоя жидкости, окружающего частицу [6].

Знание распределения потенциала и распределения пространственного заряда имеет практического значение и дает косвенную информацию о процессах, происходящих в примембранных областях клетки.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния различных факторов окружающей среды на распределение электрического потенциала около клеточной мембраны.

Совместно с этим изучалось изменение плотности пространственного заряда в приграничной области и изменение дзета-потенциала.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи.

− Сформулирована биофизическая модель и получены выражения для распределения потенциалов и концентраций ионов в примембранной области.

− Выбраны граничные условия модели.

− Произведен численный расчет полученных уравнений и сравнение полученных результатов с аналогичными известными [2; 3; 7].

− Проанализированы полученные результаты.

Материалы и методы исследования

Математическая модель распределения потенциала на границе раздела фаз в примембранной области

Чтобы получить распределение потенциала, необходимо знать особенности структуры границы раздела «мембрана – раствор

электролита», составить математическую модель с учетом особенностей и вычислить распределение заряда, а затем вычислить само распределение потенциала. Обобщенная модель нулевого приближения приведена в [8], математическая модель решена подробно в [5]. В ней получены выражения для ситуации наличия в примембранной области бинарного электролита $A^{q+}B^{q-}$, с концентрациями будет $n_1(x)$ и $n_2(x)$ по разные стороны границы раздела фаз. Потенциалы $\varphi_1(x)$ и $\varphi_2(x)$ соответственно также по разные стороны границы раздела фаз. Вдали от границы раздела концентрации равны соответственно v_1 и v_2, а потенциалы – ϕ_1 и ϕ_2. В случае самосогласованного поля плотность зарядов в первой фазе будет равна:

$$\rho_1(x) = qv_1 e^{\frac{-q(\varphi_1-\phi_1)}{kT}} - qv_1 e^{\frac{q(\varphi_1-\phi_1)}{kT}} = 2qv_1 sh\frac{-q(\varphi_1-\phi_1)}{kT}$$

Уравнение Пуассона примет вид:

$$\Delta\varphi_1 = -\frac{\rho_1}{\varepsilon_1} = -\frac{2qv_1}{\varepsilon_1\varepsilon_0} sh\frac{-q(\varphi_1-\phi_1)}{kT}. \quad (2)$$

В одномерном случае уравнение (2) примет вид:

$$\frac{d^2\varphi_1}{dx^2} = -\frac{2qv_1}{\varepsilon_1\varepsilon_0} sh\frac{-q(\varphi_1-\phi_1)}{kT}. \quad (3)$$

Решая уравнение (3) с учетом начальных и граничных условий [4], получим выражения для потенциала:

$$\varphi_1 = -arth\left(th\frac{-q(\varphi_0-\phi_1)}{4kT} e^{\left(\pm\sqrt{\frac{2v_1q^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0 kT}}x\right)}\right)\frac{4kT}{q} + \phi_1. \quad (4)$$

Получив φ_1, легко получим плотность пространственного заряда:

$$\rho_1(x) = 2qv_1 sh\frac{-q(\varphi_1-\phi_1)}{kT}. \quad (5)$$

Список используемых величин и их порядок:

ϕ_1, φ_0 – ±0.150 В, T – 298 К, q – 1.6×10^{-19} Кл, ε_1 = 1-100, v_1 =0-500×6.02×1e+23 атомов/м^3.

Выражения (4) и (5) являются основными расчетными формулами в данной работе.

Получение выражения для дзета-потенциала

Так как дзета-потенциал – это потенциал на границе плоскости скольжения, то можно предположить, что на границе раздела тепловое движение уравновешивается силой притяжения от мембраны. Тогда можно записать выражение [1; 5], приравнивая тепловую энергию одного иона к работе, необходимой для удаления этого иона от мембраны на бесконечность:

$$qEx = \frac{3}{2}kT, \quad (6)$$

где

$$-q\frac{d\varphi_1}{dx}x = \frac{3}{2}kT$$

или

$$x = -\frac{3}{2}kT\frac{1}{q}\frac{dx}{d\varphi_1}. \quad (7)$$

Здесь:

$$\varphi_1 = -arth\left(th\frac{-q(\varphi_0-\phi_1)}{4kT} e^{\left(\pm\sqrt{\frac{2v_1q^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0 kT}}x\right)}\right)\frac{4kT}{q} + \phi_1 \quad (8)$$

ϕ_1 приняли равным 0, обоснование данного решения было приведено в [1; 5].

Тогда:

$$\frac{d\varphi_1}{dx} = -\frac{\frac{4kT}{q}\times\sqrt{\frac{2v_1q^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0 kT}}\times th\left(\frac{-q\varphi_0}{4kT}\right)\times e^{-\sqrt{\frac{2v_1q^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0 kT}}x}}{1-th^2\left(\frac{-q\varphi_0}{4kT}\right)\times e^{-2\sqrt{\frac{2v_1q^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0 kT}}x}}. \quad (9)$$

Зная потенциал, легко вычислить координату из выражения:

$$\frac{2kT}{q}\left(\ln\frac{th\frac{-q(\varphi_0-\phi_1)}{4kT}}{th\frac{-q(\varphi_1-\phi_1)}{4kT}}\right) = \pm\sqrt{\frac{8kTv_1}{\varepsilon_1\varepsilon_0}}x. \quad (10)$$

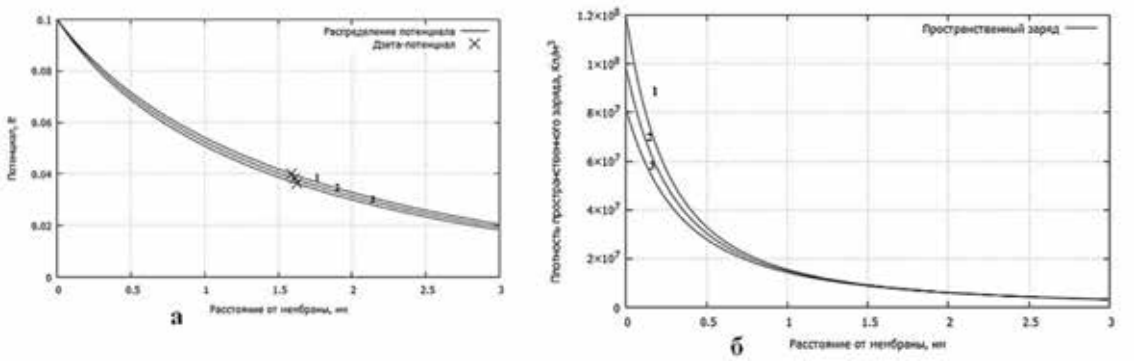
Результаты исследования и их обсуждение

На основании полученных выражений проведен численный эксперимент, с помощью которого получены следующие семейства графиков.

Из семейства кривых на рисунке 1а видно, что при уменьшении температуры график проседает вниз, дзета-потенциал уменьшается, слой скольжения смещается вправо (от мембраны). Из семейства кривых на рисунке 1б можно сделать вывод, что при уменьшении температуры плотность пространственного заряда возрастает.

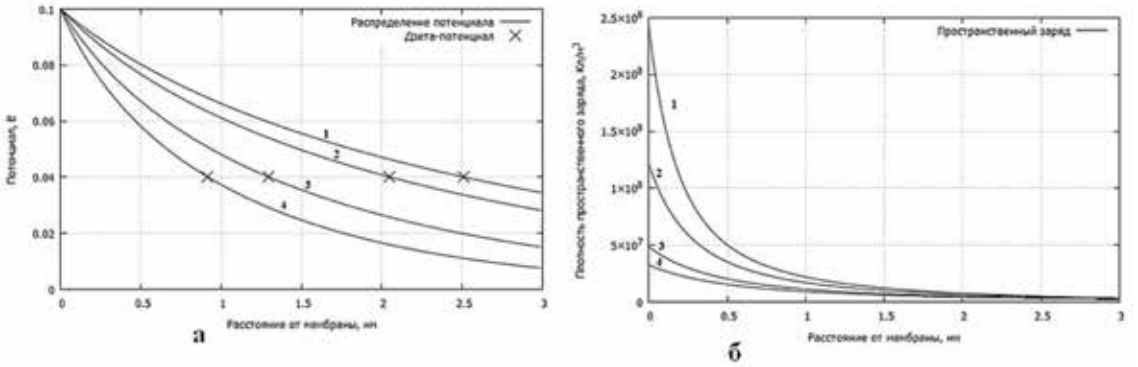
Из графиков на рисунке 2а мы можем видеть, что при изменении концентрации величина дзета-потенциала остается неизменной, но сильно смещается плоскость дзета-потенциала, при увеличении концентрации она смещается ближе к мембране. Из графиков на рисунке 2б мы можем видеть, что при увеличении концентрации плотность пространственного заряда возрастает.

Следующая пара графиков (рис. 3) была получена при общих параметрах: φ_0 = 0.1В, Т = 310 К, v_1 =20 ммоль/л.



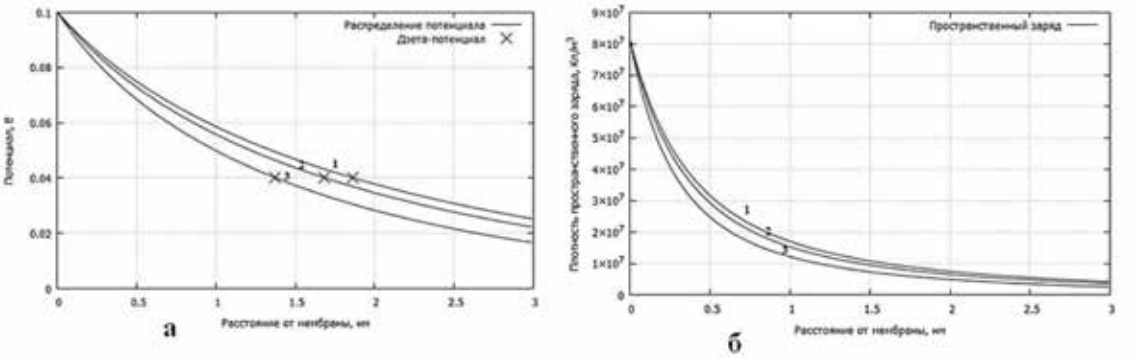
При общих параметрах: ν_1 = 20 ммоль/л, ε_1 = 80, φ_0 = 0.1В: 1 – T=310 К; 2 – T=295 К; 3 – T=281 К

Рис. 1. Распределение потенциала (а) и плотность пространственного заряда



1 – ν_1 =8 ммоль/л; 2 – ν_1 = 12 ммоль/л; 3 – ν_1 = 30 ммоль/л; 4 – ν_1 = 60 ммоль/л, ε_1 = 80, φ_0 = 0.1В, T = 310 К

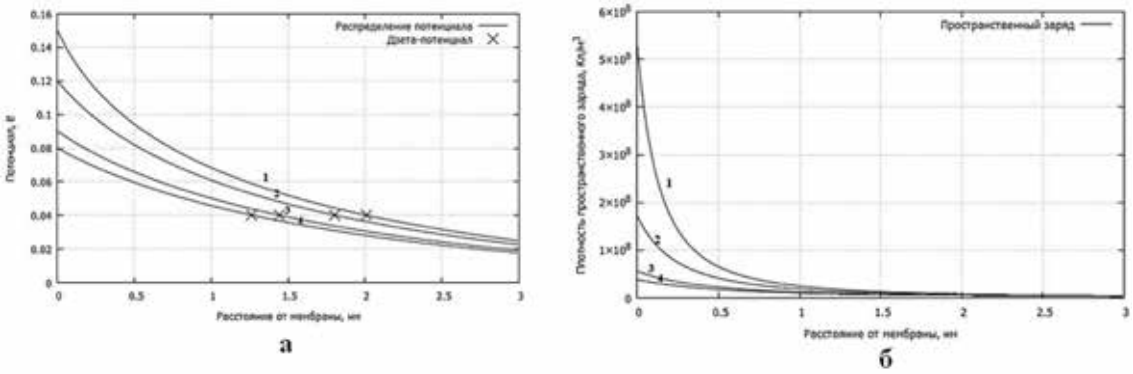
Рис. 2. Распределение потенциала (а) и плотность пространственного заряда (б)



При общих параметрах: 1 – ε_1 = 110; 2 – ε_1 = 90; 3 – ε_1 = 60

Рис. 3. Распределение потенциала при ε_1 = 60, 90, 110 (а) и плотность пространственного заряда (б)

Из семейства графиков на рисунке 3а видно, что дзета-потенциал остается во всех случаях неизменным, но его координата смещается ближе к мембране при уменьшении диэлектрической проницаемости. Из семейства кривых на рисунке 3б видно, что распределение плотности зарядов остается практически неизменным, но плотность пространственного заряда оказывается чуть больше при большем значении проницаемости.



1 – 0.15В; 2 – 0.12В; 3 – 0.09В; 4 – 0.08В; φ_0 = 0.08, 0.09, 0.12, 0.15

Рис. 4. Распределение потенциала (а) и плотность пространственного заряда (б)

Следующая пара графиков (рис. 4) была получена при общих параметрах: ε_1 = 80, T = 310 K, ν_1 =20 ммоль/л.

Как видно из этих графиков, дзета-потенциал остается неизменным, но координаты плоскости скольжения смещаются ближе к мембране при уменьшении значения потенциала на самой мембране. Плотность пространственного заряда очень сильно изменяется в зависимости от потенциала на мембране, увеличиваясь при увеличении потенциала.

Заключение

Все полученные данные вычислены в рамках простейшей модели, не учитывающей неоднородности среды/мембраны, ионы в данной модели рассматриваются лишь как заряженные объекты, без физических размеров, не учитывались неоднократно ионизированные атомы, а также не было ограничений среды в полупространстве от мембраны [9-11]. Полученные данные имеют практическое значение [12; 13], так как создают базу для новых моделей и теоретических исследований.

Список литературы

1. Абгарян Г.А., Аракелян В.Б., Косемян К.Э., Аракелян А.В. Распределение потенциала на границе раздела мембрана-раствор электролита // Известия НАН Армении. 2003. Т. 38. № 3. С. 191–197.

2. Нестеренко А.М. Влияние катионов на структурные и электрические свойства липидного бислоя. Молекулярно–динамическое исследование: дис. … канд. физ.-мат. наук. Москва, 2014. 118 с.

3. Плюснина Т.Ю., Лобанов А.И., Лаврова А.И., Старожилова Т.К., Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Влияние электрического поля на динамику ионов вблизи клеточной мембраны. [Электронный ресурс]. URL: http://www.library.biophys.msu.ru/mce/20022811.htm (дата обращения: 25.12.2021).

4. Узденова А.М., Коваленко А.В., Уртенов М.Х. Математическое моделирование электроконвекции в электомембранных системах с вынужденной конвекцией // Экологический вестник научных центров ЧС. 2011. № 1. С. 77-83.

5. Сафин Р.Р., Грецова Н.В., Грецов М.В. Mathematical modeling of distribution of zeta-potential and density of a space charge in membrane layer area // Information Innovative Technologies (I2T) : materials of the International Scientific-Practical Conference (Prague, Czech Republic, April 24-28, 2017) . Moscow: Moscow Technological Univ. (MIREA), Russian Centre of Science and Culture in Prague, Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky. 2017. С. 265-268.

6. Савченко Е. А., Величко Е.Н., Аксенов Е.Т. Определение параметров биологических макромолекул методом электрофоретического светорассеяния в режиме полного внутреннего отражения // Ученые записки Казанского университета. серия: Физико-математические науки. 2018. № 1. С. 108-115.

6. Ермаков Ю.А. Биоэлектрохимия бислойных липидных мембран // Российский химический журнал. 2005. Т. 49. № 5. С. 114–120.

7. Ошевенский Л.В., Преснухина Н.Г., Лобкаева Е.П., Елисеева Т.И. Электрофоретическая подвижность эритроцитов: учебное пособие. Нижний Новгород: НГУ им. Н. И. Лобачевского, 2005. 20 с.

8. Космачевская О.В., Насыбуллина Э.И., Блиндарь В.Н., Топунов А.Ф. Связывание эритроцитарного гемоглобина с мембраной как способ осуществления сигнально-регуляторной функции (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55. № 2. С. 107-123.

9. Шарфарец Б.П. Реализация приемной антенны на механизме электрокинетического явления "потенциал течения" // Научное приборостроение. 2019. Т. 29. № 2. С. 103–108.

10. Sergeev V.A., Sharfarets B.P. About one new method of electroacoustic transformation. A theory based on electrokinetic phenomena. Part I. The hydrodynamic aspect. Scientific Instrumentation. 2018. Vol. 28. № 2. P. 25–35.

11. Грецов М.В., Грецова Н.В., Попов П.Р., Соловьева О.Ю., Асанова Н.В., Кожанова Т.Е. Численное моделирование влияния переменного электрического поля на транспорт ионов через мембрану нейрона // Инженерный вестник Дона: электрон. науч. журнал. 2017. № 2. 7 с. [Электронный ресурс]. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4203 (дата обращения: 02.01.2022).

12. Грецова Н.В., Грецов М.В., Никулин Р.Н., Никулина М.П. Моделирование колебаний в системе клеток с учётом потерь // Биомедицинская радиоэлектроника. 2017. № 9. С. 23-28.

УДК 62-634.8:67.02:67.08

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОУГОЛЬНЫХ СРЕД

Капустин Д.А.

ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», Луганск, e-mail: kap-kapchik@mail.ru

Статья посвящена исследованию закономерностей изменения реологических характеристик водоугольных суспензий (ВУС) при различных значениях температуры и водородного показателя жидкой фазы. Для определения степени изменения реологии относительно базовых температурных значений и величин кислотности введены соответствующие коэффициенты. Установлено, что зависимость реологических характеристик водоугольных сред от температурных показателей имеет сложный характер, наблюдается их снижение до 5 раз при нагреве до 20 °С, в дальнейшем темпы падения вязкости снижаются и составляют порядка 30–35 %. Кроме того, произведены исследования по определению величины касательного напряжения и эффективной вязкости для водоугольных сред с различным содержанием твердого компонента. С ростом концентрации угля в суспензии наблюдается более резкое возрастание вязкостных характеристик при ее охлаждении до 3 °С. Даны рекомендации по организации трубопроводной системы для ВУС с учетом поддержания заданного температурного режима для промышленных площадок и вне их пределов. Проведенные исследования по определению влияния показателя pH на значения напряжения сдвига и эффективной вязкости дисперсных сред позволили установить, что с ростом водородного показателя среды с 4 до 12 наблюдается снижение реологических характеристик в 2,5 раза. При этом влияния на данный процесс содержания угольных частиц выявлено не было. Следует отметить, что одним из способов получения водоугольных суспензий с заданными вязкостными характеристиками является изменение pH водной составляющей.

Ключевые слова: касательное напряжение, эффективная вязкость, коэффициент, температура, водородный показатель, зависимость

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HYDROGEN RATE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER-COAL MEDIUM

Kapustin D.A.

Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, e-mail: kap-kapchik@mail.ru

The article is devoted to the study of the regularities of changes in the rheological characteristics of water-coal suspensions (WCS) at various temperatures and pH values of the liquid phase. To determine the degree of change in rheology relative to the basic temperature values and acidity values, the corresponding coefficients are introduced. It has been established that the dependence of the rheological characteristics of water-coal mediums on temperature indicators is complex, their decrease is observed up to 5 times when heated to 20°C, further the rate of viscosity decrease decreases and amounts to about 30-35 %. In addition, studies have been carried out to determine the magnitude of shear stress and effective viscosity for water-coal mediums with different contents of the solid component. With an increase in the concentration of coal in the suspension, a sharper increase in the viscosity characteristics is observed when it is cooled to 3°C. Recommendations are given on the organization of the pipeline system for the WCS, taking into account the maintenance of the specified temperature regime for industrial sites and outside them. The studies carried out to determine the effect of the pH index on the values of the shear stress and effective viscosity of dispersed media made it possible to establish that with an increase in the pH of the medium from 4 to 12, a decrease in rheological characteristics by 2.5 times is observed. At the same time, the influence of the content of coal particles on this process was not revealed. It should be noted that one of the ways to obtain water-coal suspensions with desired viscosity characteristics is to change the pH of the water component.

Keywords: shear stress, effective viscosity, coefficient, temperature, pH value, dependence

Для успешного решения проблемы внедрения водоугольного топлива (ВУТ) в целом необходимо решение ряда частных задач.

При этом необходимо отметить, что в области технологии приготовления водоугольного топлива, несмотря на сложность самого процесса (выбор и подготовка угля заданного гранулометрического состава, подбор и четкое дозирование компонентов ВУТ, выбор условий и режимов работы основного и вспомогательного оборудования и т.д.) имеются существенные разработки и достижения как в практике научных исследований, так и внедрении полученных результатов. В настоящее время разработан ряд технологий и технических решений, таких как «Reocarb», «Fluidcarborn», «Co-Al» и др. [1, 2].

По имеющейся информации, в области использования водоугольного топлива (непосредственного сжигания) в котлах различного назначения также решен ряд теоретических и практических задач, а именно: разработаны и изготовлены различные типы горелочных устройств, проведены их испытания, оценены параметры сжигания водоугольного топлива.

Таким образом, технические и технологические задачи по технологии приготовления и использования ВУТ, хоть и решены неокончательно, но степень их завершен-

ности все же в достаточной мере позволяет осуществить практическую реализацию таких процессов, о чем свидетельствует и мировой опыт.

Однако для комплексного решения проблемы и реализации идей создания топливно-энергетических комплексов различного назначения в ЛНР необходима детальная отработка процесса перемещения ВУТ (водоугольной суспензии (ВУС)) в рамках технологических процессов.

Одним из видов транспортировки водоугольной суспензии является гидравлический трубопроводный транспорт.

Однако вопросам изучения процессов гидротранспортирования высококонцентрированного водоугольного топлива, как сложной многокомпозиционной системы, в рамках технологических процессов до настоящего времени не уделялось должного внимания.

Имеющиеся данные в большинстве своем относятся к транспортированию водоугольных сред на основе углей кузбасских месторождений, в зарубежной информации приводятся только результаты отдельных реологических исследований [3].

Между тем качественные характеристики угля месторождений Донбасса, оказывающие существенное влияние на свойства ВУТ, значительно отличаются от углей Кузбасса и естественно углей зарубежных месторождений.

Возникает необходимость оценки возможных реологических параметров ВУС в различных климатических условиях (при различной температуре) и с учетом кислотности водной составляющей.

Цель исследования – провести исследования реологических параметров водоугольной суспензии в зависимости от ее температуры и водородного показателя жидкой фазы.

Материалы и методы исследования

Основным фактором внешнего воздействия на водоугольные среды является температура. Рассматривать это влияние в положительном или отрицательном аспекте необходимо с учетом технологии приготовления, транспортирования, хранения и применения ВУС. Терминалы приготовления находятся, как правило, в закрытых помещениях, и если они даже не отапливаются, то отрицательных температур там не бывает [1, 3, 4]. Тем не менее известно, что вязкость воды с изменением температуры от 0 до 20 °С уменьшается в 1,8 раза.

Научными сотрудниками НПО «Хаймек» (г. Донецк) проведены исследования реологических характеристик ВУТ на ротационном вискозиметре при изменении температуры в интервале (3÷50,0 ºС). Массовая концентрация твердой фазы в суспензии, приготовленной на основе угля различных марок и характеристик, составила 65 %. В качестве пластифицирующих химических добавок использовались «Дофен» и «НФУ» с расходом 1 % на сухую массу угля.

Для оценки степени изменения эффективной вязкости среды в диапазоне температур, характерных для процесса перемещения по трубам такого рода континуумов, введен коэффициент [1]:

$$K_{\mu t} = \mu_{эi} / \mu_{э20},$$

где $\mu_{эi}$ – эффективная вязкость при данной температуре; $\mu_{э20}$ – эффективная вязкость при температуре 20 °С.

Кроме того, произведена аппроксимация экспериментальных данных степенной зависимостью (рис. 1).

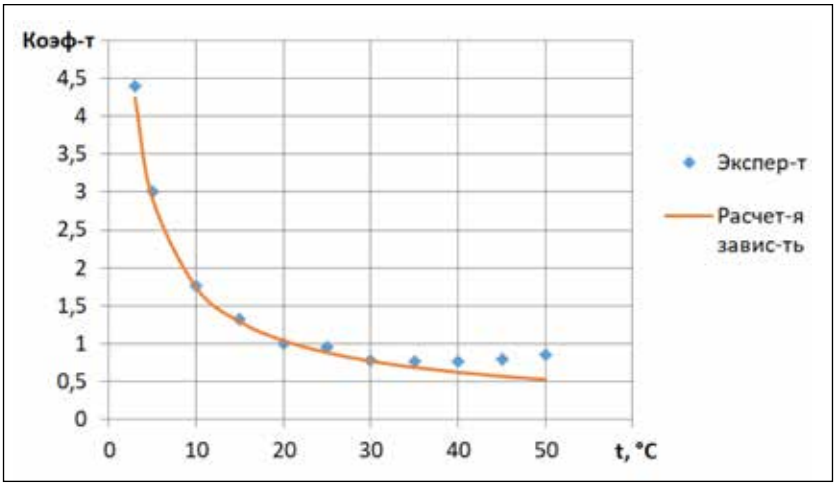


Рис. 1. Зависимость коэффициента изменения эффективной вязкости от температуры

Из анализа представленных на рисунке 1 зависимостей следует: значительное (в 4,5 раза) изменение реологических характеристик ВУС наблюдается в диапазоне температур от 3 до 20 °С; при этом в диапазоне от 20 до 50 °С максимальное отклонение не превышает 25 %. Также следует отметить, что аппроксимационная зависимость для расчета коэффициента $K_{\mu t}$, предложенная в работе [1], имеет значительное отклонение при температуре более 35 °С.

Исследованиям влияния температурного режима на величину вязкости и напряжения сдвига для водоугольных суспензий уделено недостаточно внимания, а результаты носят разрозненный характер [5, 6]. Кроме того, отсутствуют данные о влиянии концентрации твердой фазы на изменение реологических характеристик ВУС при изменении ее температуры.

Влиянию кислотности жидкой фазы на реологические свойства водоугольных сред посвящен большой объем исследований [1, 4], при этом установлено, что с возрастанием водородного показателя наблюдается снижение величины напряжения сдвига [2, 3]. Однако данные о степени снижения касательных напряжений и эффективной вязкости суспензии разнятся.

В работе [1] в ходе исследований влияния водородного показателя диспергирующей среды на структурно-реологические характеристики ВУТ, использовалась водопроводная вода г. Донецка и техническая вода Ясиновского коксохимзавода (ЯКХЗ). Исследователями установлено, что эффективная вязкость ВУТ при использовании воды различного состава меняется слабо.

В работах [3, 4] авторы, наоборот, отмечают значительное (до 5 раз) снижение реологических показателей с ростом значения pH.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения зависимости величины касательного напряжения и эффективной вязкости от температуры проведен ряд опытов с водоугольной суспензией на основе угля марки Г для концентраций твердого компонента *C,* равных 62; 64,5 и 67 % в диапазоне температур *t* от 3 до 50 °С при значении водородного показателя pH = 7. Значения реологических параметров определены при скорости сдвига γ = 9 с$^{-1}$ на ротационном вискозиметре. В качестве пластификатора использовался лигносульфонат (ЛСТ). На основании экспериментальных значений напряжения сдвига и эффективной вязкости рассчитаны значения коэффициента $K_{\mu t}$ (табл. 1) и построены соответствующие зависимости (рис. 3).

Таблица 1

Значения коэффициента $K_{\mu t}$ для различных температур *t* и концентраций *C*

№ п/п	Концентрация тв. комп. С, %	Температура *t*, °С								
		3	5	10	15	20	25	30	40	50
1	62	1,83	1,67	1,34	1,21	1,00	0,99	0,95	0,85	0,82
2	64,5	3,23	2,86	2,12	1,67	1,00	0,94	0,88	0,78	0,71
3	67	4,78	4,18	3,20	2,31	1,00	0,91	0,86	0,73	0,64

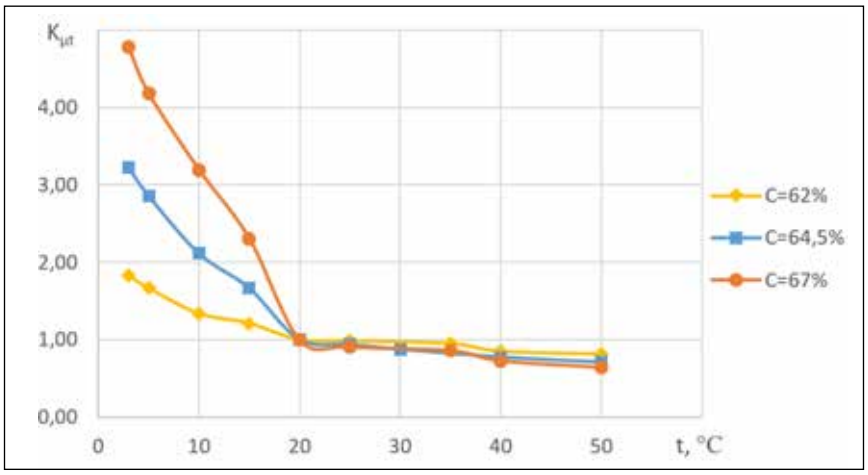
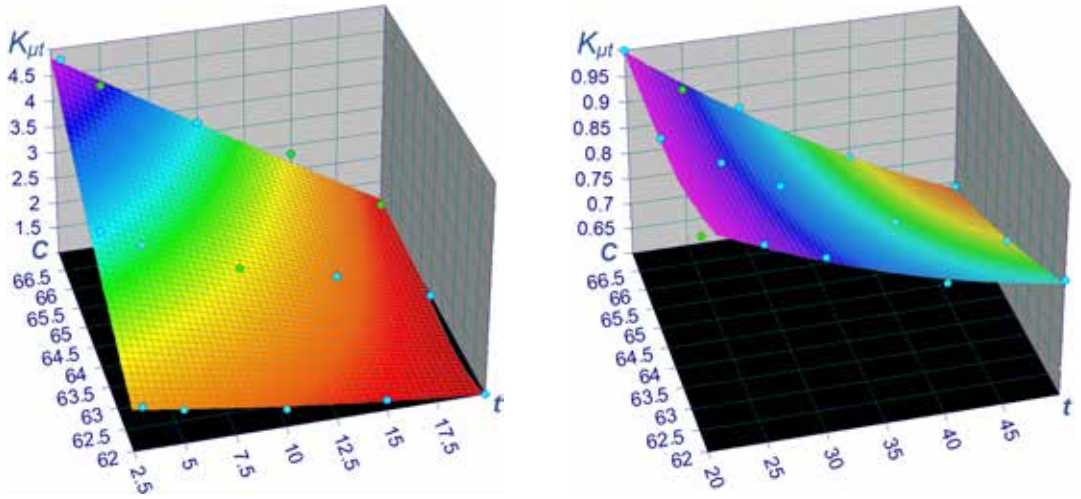


Рис. 2. Зависимость коэффициента $K_{\mu t}$ от температуры t



а) *б)*

Рис. 3. Аппроксимация зависимостей коэффициента $K_{\mu t}$ от температуры t и концентрации C: а) температура от 3 до 20°C; б) температура от 20 до 50°C

Анализ кривых, приведенных на рис. 2, позволил установить, что характер зависимости коэффициента $K_{\mu t}$ от температуры носит сложный характер. Наблюдается его изменение при значении равном 1 для всех концентраций угля.

Следует отметить, что в диапазоне температур от 3 до 20 °C наблюдается резкое падение вязкостных характеристик ВУС (до 5 раз в зависимости от концентрации твердой фазы). При этом степень изменения вязкости стремится к 1,8 с увеличением доли жидкой фазы в ВУТ, что обусловлено степенью изменения вязкости воды.

В диапазоне температур от 20 до 50 °C наблюдается снижение темпов изменения реологических характеристик для ВУС всех концентраций (максимальное падение не превышает 35 %).

Для получения эмпирической зависимости коэффициента $K_{\mu t}$ (вязкостных характеристик) произведена аппроксимация экспериментальных данных отдельно для участков до и более 20 °C (рис. 3, а и б).

Аппроксимационные выражения принимают следующий вид:

от 3 до 20 °C:

$$K_{\mu t} = 8{,}30 + 2{,}00t - 0{,}84C + 0{,}0007t^2 + 0{,}012C^2 - 0{,}033tC,$$

от 20 до 50 °C:

$$K_{\mu t} = 6{,}04 + 0{,}054t - 0{,}17C + 0{,}00012t^2 + 0{,}0014C^2 - 0{,}0011tC$$

где t – температура ВУС, °C; C – концентрация твердой фазы, %.

Для внутрицеховых и промышленных гидросистем прокладку трубопроводов в пределах промплощадок следует производить над землей: на опорах или в каналах со свободным доступом. На открытых участках необходимо обеспечить подогрев (прокладка паровых спутников) либо теплоизоляцию. За пределами промышленных площадок трубопроводы для ВУС следует располагать под землей, при условии обеспечения температуры в верхней части трубопровода не ниже +1 °C (в зимний период).

В случае длительных остановок в зимнее время рекомендуется обеспечить слив водоугольной суспензии из трубопроводной системы для предотвращения аварийных ситуаций при последующем пуске.

Экспериментальные исследования по определению зависимости реологических характеристик от значения водородного показателя pH проведены для тех же концентраций твердого материала при γ = 9 с$^{-1}$ и температуре 20 °C. Диапазон изменения кислотности водной фазы pH составил от 4 до 12.

Для оценки степени изменения касательного напряжения и эффективной вязкости среды в диапазоне изменения pH введен коэффициент $K_{\mu pH}$, который определяется как

$$K_{\mu pH} = \tau_{ipH} / \tau_{0pH} = \mu_{ipH} / \mu_{0pH},$$

где τ_{ipH}, μ_{ipH} – текущее значение касательного напряжения, эффективной вязкости; τ_{0pH}, μ_{0pH} – значение касательного напряжения, эффективной вязкости при pH = 7.

Таблица 2

Значения коэффициента $K_{\mu pH}$ при различных pH

№ п/п	Водородный показатель pH								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,83	1,67	1,34	1,21	1,00	0,99	0,95	0,85	0,82

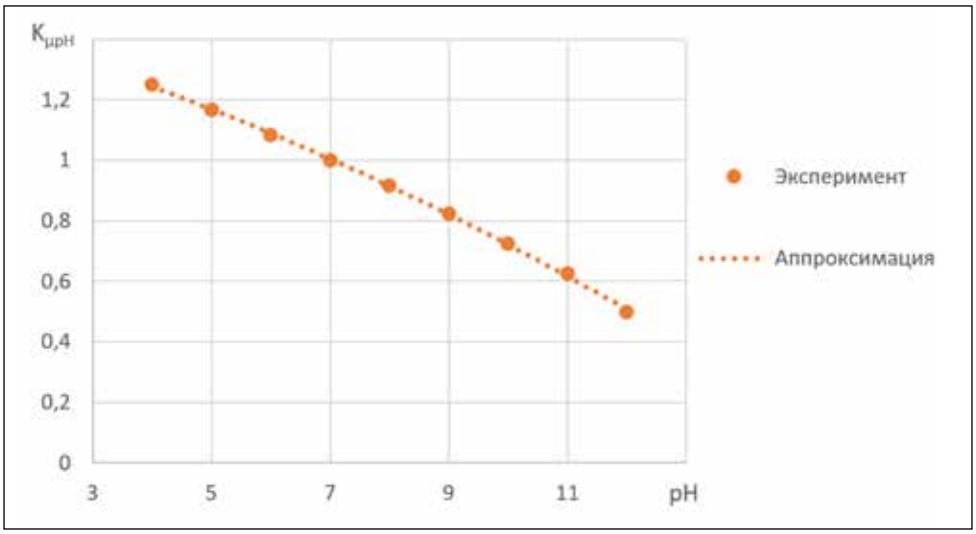


Рис. 4. Зависимость коэффициента $K_{\mu pH}$ от значения водородного показателя pH

Следует отметить, что значения $K_{\mu pH}$ для различных концентраций твердого компонента *C* совпадают.

Результаты исследований приведены в табл. 2 и на рис. 4.

В ходе анализа приведенной на рис. 4 кривой установлено, что наблюдается монотонное снижение величины $K_{\mu pH}$ с ростом кислотности среды. Зависимость носит близкий к линейному характер и незначительным искривлением при значениях pH выше 8. При этом наблюдается значительное снижение реологических характеристик с ростом водородного показателя от 1,25 при pH = 4 до 0,5 при pH = 12.

С целью повышения точности аппроксимация произведена нелинейной функцией ($R^2 = 0{,}995$) и имеет вид

$$K_{\mu pH} = (2{,}17 - 0{,}31(\ln pH)^2)^{0{,}5}.$$

Кислотность среды является одним из значимых факторов, влияющих на значения реологических показателей ВУС. При этом одним из путей получения ВУТ с заданными вязкостными характеристиками является изменение водородного показателя жидкой фазы.

При этом следует ограничить степень увеличения pH, так как чрезмерное увеличение щелочности среды может привести к преждевременному выходу из строя котельного оборудования.

Выводы

1. В ходе анализа результатов проведенных исследований по определению зависимости реологических характеристик ВУС от температуры установлено, что происходит резкое снижение (до 5 раз) вязкости среды при повышении температуры от 3 до 20 °C. Дальнейшее повышение температуры от 20 до 50 °C также приводит к падению реологических свойств, однако оно составляет порядка 30–35 %.

2. Произведена оценка влияния содержания твердой фазы на степень изменения вязкостных характеристик и установлено, что наблюдается значительное влияние концентрации угля в ВУС для интервала температур от 3 до 20 °C, с ее ростом от 62 до 67 % коэффициент $K_{\mu t}$ возрастает с 1,83 до 4,78. При нагреве суспензии свыше 20 °C влияние содержания угольных частиц нивелируется.

3. Даны рекомендации по организации трубопроводной системы перемещения ВУС с учетом поддержания заданного температурного режима для промышленных площадок и за их пределами.

4. Зависимость коэффициента $K_{\mu pH}$ (касательного напряжения, эффективной вязкости) от величины водородного показателя носит слабовыраженный нелинейный характер, и с ростом значения pH наблюдается его значительное снижение (до 2,5 раз).

5. Одним из направлений получения заданных реологических характеристик ВУС является изменение кислотности жидкой составляющей.

Список литературы

1. Круть А.А. Развитие физико-технических основ технологий приготовления и гидротранспортирования водоугольных суспензий высокой концентрации: дис. … докт. техн. наук. Днепропетровск, 2011. 279 с.

2. Свитлый Ю.Г., Круть А.А. Гидравлический транспорт твердых материалов. Донецк: Восточный издательский дом, 2010. 268 с.

3. Баранова М.П. Технологии получения и использования топливных водоугольных суспензий из углей различной степени метаморфизма: дис. … докт. техн. наук. Москва, 2014. 275 с.

4. Овчинников Ю.В., Бойко Е.Е. Технология получения и исследования тонкодисперсных водоугольных суспензий: монография. Новосибирск: НГТУ, 2017. 308 с.

5. Луговицкая Т.Н. Водные растворы лигносульфонатов, додецилсульфата натрия и их бинарные смеси: коллоидно-химические аспекты // Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук: материалы VI международной научно-практической конференции. Петропавловск: Издательство Северо-Казахстанского университет имени Манаша Козыбаева, 2018. С. 183–189.

6. Савицкий Д.П., Макарова К.В., Макаров А.С. Поверхностно-активные свойства водных растворов лигносульфоната натрия // Химия растительного сырья. 2012. № 2. С. 41–45.

УДК 51-74

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Корчагин С.А.

ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Москва, e-mail: SAKorchagin@fa.ru

Проведено математическое и компьютерное моделирование коррозионных процессов на примере объектов железнодорожной отрасли. На основе результатов моделирования предложен метод, позволяющий увеличить эффективность активных методов коррозионной защиты. Установлены параметры вычислительного эксперимента для построения фазовых траекторий. Приведены методика и техническое решение по выбору эффективных параметров сигнала для подавления коррозионных процессов. Реализован метод возвратных карт, разработан алгоритм для проведения и обработки потока данных, включая многоканальные записи. Приведены экспериментальные результаты и результаты моделирования динамики коррозионных процессов металлов на примере объектов железнодорожной отрасли. Установлено, что процесс коррозии может быть подавлен путем наложения на систему специально подобранных параметров, при которых аттрактор системы обращается в точку. Имеется возможность отличить детерминированный хаос от стохастического процесса. Разработан программный комплекс, позволяющий рассчитывать эффективные параметры импульса напряжения для подавления хаоса коррозионных процессов металла. Результаты будут полезны специалистам железнодорожной отрасли, IT-специалистам, исследователям в области электрохимии, математического и компьютерного моделирования, а также инженерам и разработчикам при создании прикладных решений по борьбе с коррозией металла.

Ключевые слова: математическое моделирование, коррозия, метод активной защиты, нелинейная динамика, программный комплекс

MODELING OF CORROSION PROCESSES FOR INVESTIGATION OF OBJECTS OF THE RAILWAY INDUSTRY

Korchagin S.A.

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, e-mail: SAKorchagin@fa.ru

Mathematical and computer modeling of corrosion processes has been carried out on the example of railway industry facilities. Based on the simulation results, a method is proposed that makes it possible to increase the efficiency of active methods of corrosion protection. The parameters of the computational experiment for constructing phase trajectories are established. A technique and technical solution for choosing effective signal parameters for suppressing corrosion processes are presented. The method of return maps has been implemented, an algorithm has been developed for conducting and processing a data stream, including multichannel recordings. Experimental results and results of simulation of the dynamics of corrosion processes in metals are presented on the example of railway industry facilities. It has been established that the corrosion process can be suppressed by imposing specially selected parameters on the system, at which the attractor of the system turns into a point. It is possible to distinguish deterministic chaos from a stochastic process. A software package has been developed that makes it possible to calculate the effective parameters of a voltage pulse to suppress the chaos of metal corrosion processes. The results will be useful for railway industry specialists, IT specialists, researchers in the field of electrochemistry, mathematical and computer modeling, as well as engineers and developers in creating applied solutions to combat metal corrosion.

Keywords: mathematical modeling, corrosion, active protection method, nonlinear dynamics, software package

Проблемы, связанные с коррозией металла, являются одной из ключевых экономических и технических задач современности [1, 2]. Ряд отраслей, а в некоторых случаях даже экономики целых государств страдают из-за проблем, связанных с коррозией металла [3, 4]. Авторы работ [5, 6] указывают отрасли, в которых коррозионные задачи являются особо острыми. Среди таких отраслей особым образом выделяются промышленность, строительство и железнодорожная отрасль [7]. На железной дороге находится большое количество объектов инфраструктуры, подверженной коррозионным процессам. Крупные компании теряют миллиарды долларов из-за ущерба, связанного с коррозией металла. Проблемам предотвращения хаоса в процессах коррозии металлов посвящены работы [8, 9]. Тем не менее на сегодняшний день наблюдается острая нехватка прикладных разработок и практического применения теоретических аспектов коррозионной защиты, где фундаментальные исследования в довольно высокой мере опередили техническое применение [10]. Анализ вектора развития активных методов борьбы с коррозией металлов показывает, что одним из перспективных и экономически целесообразных путей борьбы с кор-

розией является применение современных информационных технологий, включая набор датчиков, АЦП/ЦАП-преобразователи, современные программные комплексы, основанные на эффективном использовании математических моделей и методов машинного обучения. Таким образом, разработка прикладных инструментов, направленных на решение коррозионных проблем, в частности на железнодорожном транспорте, является актуальной задачей.

Цель исследования заключается в разработке математических и компьютерных моделей, позволяющих исследовать коррозионные процессы металлов на объектах железнодорожной отрасли.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются металлические конструкции, подверженные процессам коррозии, например объекты железнодорожной инфраструктуры. В качестве примера рассмотрена арматура пешеходного моста, проходящего над железнодорожными путями (рис. 1). Для моделирования коррозионных процессов рассмотрим металлическую пластину, помещенную в водный раствор.

На рис. 2 изображена схема процесса коррозии. В схеме используются следующие обозначения: M_O – пленка оксида, M_{OH} – пленка гидроксида, M_{OHp} – растворенный гидроксид, M_A – соль.

Для описания математической модели рассмотрим процесс электрохимической коррозии, при котором образуется пленка оксида металла и пленка гидроксида металла. Состояние системы можно описать с помощью положения точки в трехмерном фазовом пространстве $\mu_0 - \mu_{OH} - K_M$ [11], где μ_0 – доля поверхности, покрытая оксидом металла, μ_{OH} – доля поверхности, покрытая гидроксидом металла, K_M – концентрация ионов металла в растворе. Для того чтобы рассчитать скорость изменения каждого из параметров, необходимо решить соответствующие кинетические уравнения и на основании полученных данных построить фазовые траектории движения фигуративной точки.

Рис. 1. Образец арматуры пешеходного моста

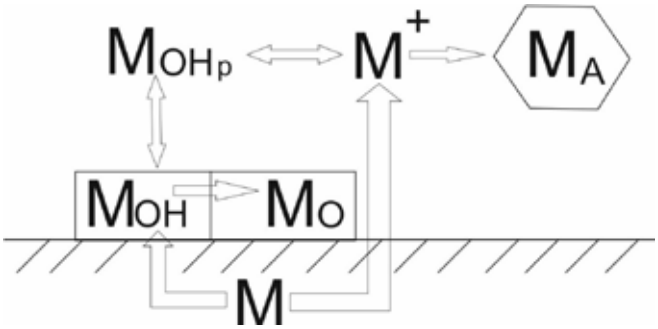


Рис. 2. Схема процесса коррозии

В качестве независимых переменных используем μ_0, μ_{OH}, K_M, в качестве зависимой переменной μ_M – доля поверхности непокрытого металла:

$$\mu_M = 1 - \mu_0, \quad (1)$$

Запишем реакции, которые могут протекать на поверхности металла:

$$M \underset{v_L}{\rightarrow} M^+ + e^-, \quad (2)$$

$$M^+ + H_2O \leftrightarrow_{v_{-2}}^{v_2} M_{OH_d} + H^+, \quad (3)$$

$$nM^+ + A^{n-} \underset{v_3}{\rightarrow} M_n A, \quad (4)$$

$$M_{OH_d} \leftrightarrow_{v_{-4}}^{v_4} M_{OH_a}, \quad (5)$$

$$M_{OH_d} \underset{v_5}{\rightarrow} M_{H_a} + H^+ + e^-, \quad (6)$$

$$M + M_{O_a} + H_2O \underset{v_6}{\rightarrow} 2M_{OH_a}, \quad (7)$$

где A^n – растворенный анион, M_nA – твердый осадок, v – константы скорости реакции. Индексы *d, a* указывают, что соответствующие виды частиц являются либо растворенными, либо адсорбированными соответственно.

В рассматриваемом случае A^{n-}, H_2O и H^+ присутствуют в избытке, а реакция (3) всегда находится в равновесии. Константы скорости в уравнении (4) представим в виде

$$v_4 = v_4^{'} f\left(\mu_{OH}\right), \quad (8)$$

$$v_{-4} = v_{-4}^{'} g\left(\mu_{OH}\right). \quad (9)$$

Принимая $K = [M^+]$, получим следующие дифференциальные уравнения для системы:

$$\frac{dK}{dt} = v_1\mu_M - v_3K^n, \quad (10)$$

$$\frac{d\mu_{OH}}{dt} = v_4^{'}K\mu_M f\left(\mu_{OH}\right) -$$

$$-\left[v_5 + v_{-4}^{'} g\left(\mu_{OH}\right)\right]\mu_{OH} + 2v_6\mu_O\mu_M, \quad (11)$$

$$\frac{d\mu_O}{dt} = v_5\mu_{OH} - v_6\mu_O\mu_M, \quad (12)$$

где μ_M – доля оголенной металлической поверхности.

Введем в модель безразмерные переменные:

$$\tau = v_{-4}t, \quad Z = VK \quad (13)$$

и безразмерные параметры:

$$V = \frac{v_4^{'}}{v_{-4}^{'}}, h = \frac{v_1V}{v_{-4}^{'}}, j = \frac{v_3}{v_{-4}^{'}V^{n-1}}, l = \frac{v_5}{v_{-4}^{'}}, s = \frac{v_6}{v_{-4}^{'}}. \quad (14)$$

Таким образом, получим дифференциальные уравнения в безразмерных переменных:

$$\frac{dZ}{d\tau} = h\mu_M - jZ^n, \quad (15)$$

$$\frac{d\mu_{OH}}{d\tau} = Z\mu_M f\left(\mu_{OH}\right) -$$

$$-\left[l + g\left(\mu_{OH}\right)\right]\mu_{OH} + 2s\mu_O\mu_M, \quad (16)$$

$$\frac{d\mu_O}{d\tau} = l\mu_{OH} - s\mu_O\mu_M. \quad (17)$$

Уравнения (15)–(17) образуют систему связанных автономных нелинейных дифференциальных уравнений с тремя независимыми переменными состояния. Рассматривается случай однозарядного аниона и принимается, что $f(\mu_{OH}) = 1$, $g(\mu_{OH}) = \exp(-\alpha\mu_{OH})$, где α – положительная безразмерная константа. Поскольку состояние системы описывается положением точки в трехмерном фазовом пространстве, т.е. в системе координат $\mu_0 - \mu_{OH} - K_M$, то, решив систему нелинейных дифференциальных уравнений (15)–(17) и построив на основании полученных данных фазовую траекторию движения фигуративной точки, можно вычислить скорость изменения каждого из этих параметров. Таким образом, в качестве необходимых параметров для построения фазовых траекторий выбираем параметры $\mu_0 - \mu_{OH} - K_M$.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью инструментов Zet Lab и языка программирования Python разработан программный комплекс, позволяющий решать необходимые кинетические уравнения и на основании полученных данных строить фазовые траектории. На рис. 3 изображена проекция фазовой траектории на плоскость $\mu_0 - \mu_{OH}$, построенная в разработанном программном комплексе.

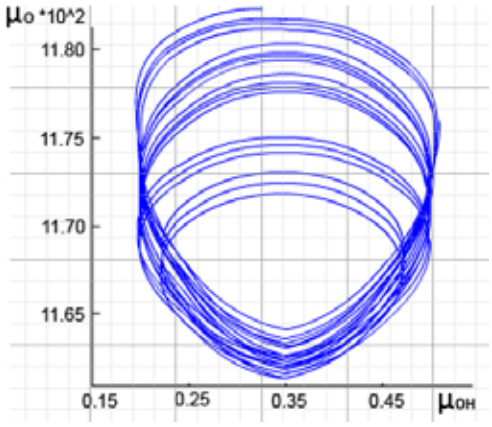


Рис. 3. Проекция фазовой траектории процесса коррозии на плоскость $\mu_0 - \mu_{OH}$

Как видно из рисунка, траектория процесса коррозии представляет довольно сложную фигуру, имеющую хаотичную динамику. Важно найти порядок и закономерности в детерминированном хаосе и правильно отличить его от стохастического процесса. Автор работы [12] приводит процедуру, доказывающую, что траектория системы в правильно выбранном фазовом пространстве представляет собой странный аттрактор, а процесс коррозии может быть подавлен путем наложения на систему специально подобранных параметров, при которых аттрактор системы обращается в точку.

С помощью языка программирования Python разработан программный комплекс, реализующий метод возвратных карт, который применяется для построения фазовых траекторий на основании полученных данных. Подбирается промежуток времени τ, через который высота пиков коррозионного тока повторяется, а затем строится фазовая траектория в координатах $I(t) - I(t+\tau)$ (рис. 5).

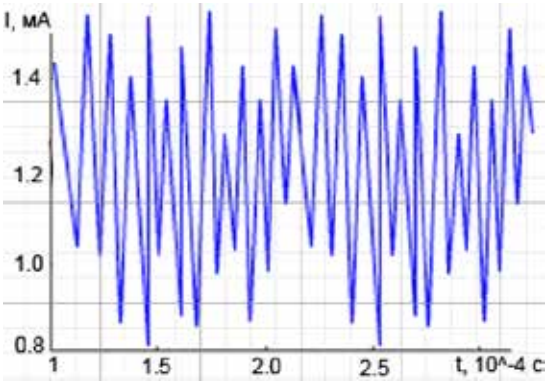


Рис. 4. График изменения коррозионного тока, полученный экспериментально

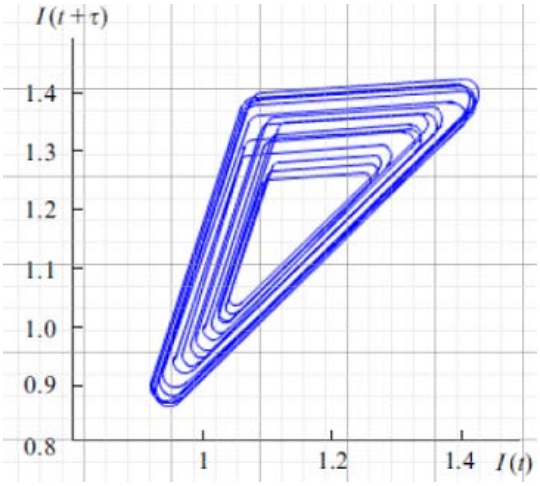


Рис. 5. Восстановление аттрактора по экспериментальной зависимости

Траекторией системы в правильно выбранном фазовом пространстве является странный аттрактор. Это свидетельствует о том, что коррозионный процесс содержит скрытый порядок, несмотря на то, что, на первый взгляд, ток коррозии меняется случайным образом.

Результаты моделирования показывают: чтобы подавить процесс коррозии, необходимо рассчитать параметры, при которых аттрактором системы станет точка.

Заключение

В результате исследований установлено, что фазовая траектория исследуемой системы является детерминированной. Это свидетельствует о том, что коррозионный процесс содержит скрытый порядок, несмотря на то, что, на первый взгляд, ток коррозии меняется случайным образом. Имеется возможность способствовать уменьшению коррозионных процессов за счет специально рассчитанных параметров внешнего воздействия. В качестве накладываемых на систему параметров можно использовать специально рассчитанный импульс напряжения. Результаты будут полезны при разработке прикладных средств для борьбы с коррозионными процессами.

Работа выполнена при поддержке ОАО «РЖД» грант № 4222988.

Список литературы

1. Воробьева В.И., Чигиринец Е.Э., Воробьева М.И. Использование летучих ингибиторов коррозии на основе отходов растительного сырья для защиты металла, покрытого продуктами коррозии // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политического университета. 2014. Т. 2. С. 17–20.

2. Qiu H.J., Peng L., Li X., Xu H.T., Wang Y. Using corrosion to fabricate various nanoporous metal structures. Corrosion Science. March 2015. Vol. 92. P. 16–31.

3. Perino G., Wilner G., Kaplowitz E., Ricciardi B.F., Boettner F., Westrich G.H., Jerabek S.A., Goldring S.R., Purdue P.E. Adverse local tissue reaction (ALTR) associated with corrosion products in metal-on-metal and dual modular neck total hip replacements is associated with up regulation of interferon gamma-mediated chemokine signaling. Journal of Orthopaedic Research. October 2015. Vol. 33. Iss. 10. P. 1487–1497.

4. Men H., Sun B., Zhao X., Li X., Liu J., Xu Zh. Dynamics of stainless steel corrosion based on the theory of phase space reconstruction and chaos. Anti-Corrosion Methods and Materials. 2016. Vol. 63. Iss. 3. P. 214–225.

5. Wei Y., Xia D., Song Sh. Detection of SCC of 304 NG stainless steel in an acidic NaCl solution using electrochemical noise based on chaos and wavelet analysis. Russian Journal of Electrochemistry. June 2016. Vol. 52. Iss. 6. P. 560–575.

6. Pavlidou M., Pagitsas M., Sazou D. Potential oscillations induced by the local breakdown of passive iron in sulfuric acid media. An evaluation of the inhibiting effect of nitrates on iron corrosion. Journal of Solid State Electrochemistry. November 2015. Vol. 19. Iss. 11. P. 3207–3217.

7. Valora A., Alfonsob L., Caleyoa F., Vidalc J., Perez-Baruchd E., Hallena J.M. The negative binomial distribution as a model for external corrosion defect counts in buried pipelines. Corrosion Science. December 2015. Vol. 101. P. 114–131.

8. Padash R. et al. Corrosion control of aluminum in the solutions of NaCl, HCl and NaOH using 2, 6-dimethylpyridine inhibitor: Experimental and DFT insights. Materials Chemistry and Physics. 2020. T. 244. P. 122681.

9. Korchagin S.A., Terin D.V. Development program complex for the suppression of chaos in the process of corrosion of metals. Conference Proceedings – 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering. 2016. P. 267–272.

10. Третьяков Ю.Д. Процессы самоорганизации в химии материалов // Успехи химии. 2003. Т. 72. №. 8. С. 731–763.

11. Степанов В.В., Дубинин Р.Р. Определение количественных показателей негативных последствий в результате катастроф техногенного характера при проведении категорирования и оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры // Редакционная коллегия. 2018. С. 160.

12. Виноградова С.С., Сафиуллов А.Р., Маркелов В.О. Коррозия подземных сооружений под действием блуждающего тока на примере установки, имитирующей условия электрифицированного рельсового транспорта // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. №. 9. С. 46–50.

УДК 621:674.8

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ АВТОПОЕЗДОВ-ЩЕПОВОЗОВ НА ТРАНСПОРТИРОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ

Кузнецов А.В.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: kuzalex@psu.karelia.ru

С учетом общемировых тенденций в настоящее время интенсивно развиваются биоэнергетические технологии. Особую роль в этом процессе занимает лесная биоэнергетика. В сложившейся ситуации для России открываются широкие перспективы по занятию значимой роли в развитии биоэнергетических технологий. Предпосылками к этому является наличие в нашей стране обширных лесных ресурсов. В этих условиях актуальной становится задача по совершенствованию технологических цепочек и снижению затрат на производстве и транспортировке биотоплива, от решения которой зависит рентабельность производства компаний и предприятий, задействованных в сфере «зеленой» энергетики. Рациональный подбор машин и оборудования с учетом особенностей природно-производственных условий эксплуатации, применяемых на транспортировке биоэнергосырья и биотоплива, позволит оптимизировать затраты и увеличить экономическую эффективность всей технологической цепочки. В работе проведен анализ технико-экономических показателей парка автопоездов-щеповозов на базе автомобилей отечественного и импортного производства. При транспортировке щепы автопоезд-щеповоз может совершать движение по разным категориям дорог, в частности, при движении по гравийной ветке или магистрали с покрытием в хорошем состоянии в сравнении с удовлетворительным состоянием, сменная производительность увеличивается соответственно в 1,07–1,16 раза. Эффективное расстояние транспортировки топливной щепы составляет 50–100 км. Сравнение технико-экономических показателей выявило преимущество автопоездов-щеповозов отечественного и белорусского производства.

Ключевые слова: лесная биоэнергетика, транспортировка топливной щепы, автопоезда-щеповозы, технико-экономические показатели

EVALUATION OF THE PERFORMANCE TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF CHIP TRUCKS FOR THE TRANSPORTATION OF FUEL CHIPS

Kuznetsov A.V.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: kuzalex@psu.karelia.ru

Taking into account worldwide trends, bioenergy technologies are developing intensively these days. Forest bioenergy plays a special role in this process. Given the situation, broad prospects are opening up for Russia to take a significant role in the development of bioenergy technologies. Prerequisites for this is the presence in our country of extensive forest resources. Under these conditions, it is currently important to improve process chains and reduce the costs on production and transportation of biofuel. Fulfillment of this task influences the production profitability of companies and enterprises involved in the field of "green" energy. Rational selection of machinery and equipment, taking into account the peculiarities of natural and production operating conditions used in the transportation of bioenergy raw materials and biofuel, will optimize costs and increase the economic efficiency of the entire process chain. The paper analyzes the technical and economic indicators of the fleet of chip trucks on the basis of cars of domestic and foreign production. During transportation of chips, a chip truck can move on different categories of roads. In particular, when driving on a gravel access road or a highway with road surfacing in good condition compared to a satisfactory condition, the production rate increases, respectively, by 1.07-1.16 times. The effective distance of transportation of fuel chips is 50-100 km. The comparison of technical and economic indicators revealed the advantage of wood chip trucks of domestic and Belarusian production.

Keywords: forest bioenergy, transportation of fuel chips, chip trucks, technical and economic indicators

В последнее время проблемы сохранения окружающей среды и декарбонизации приобрели поистине общемировое значение, интенсивно развиваются биоэнергетические технологии [1–3]. Это связано в первую очередь с высокими и нестабильными ценами на традиционные энергоресурсы, стремлением многих стран диверсифицировать свои топливно-энергетические рынки, снизить влияние традиционных поставщиков энергоресурсов, а также сократить выбросы в окружающую среду парниковых газов, образующихся при сжигании традиционных ископаемых видов топлива. Особую роль в этом процессе занимает лесная биоэнергетика. По мнению ряда исследователей [2], именно древесная биомасса в перспективе будет являться важным сырьем для производства биотоплива. Это обусловлено в первую очередь тем, что древесная биомасса является возобновляемым и экологически безопасным источником

сырья для производства целого спектра биоэнергетических продуктов: бионефти, биодизеля, биогаза и твердых видов древесного топлива (топливной щепы, древесных брикетов и гранул). В то же время использующиеся в настоящее время в основном для производства биоэтанола и биодизеля сельскохозяйственные культуры (сахарная свекла и тростник, пшеница, кукуруза и т.д.), являются ценными продовольственными ресурсами [3], использование которых в будущем в качестве сырья для производства биотоплива, в условиях дефицита продовольствия, высоких цен на продовольственные ресурсы и высокой себестоимости их переработки, является малоэффективным.

В этих условиях для России открываются широкие перспективы по занятию значимой роли в развитии биоэнергетических технологий. Предпосылками к этому является наличие в нашей стране обширных лесных ресурсов; 20% от мировых запасов древесины сосредоточено в нашей стране [2]. При этом для производства биотоплива вполне пригодны отходы лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств.

Цель исследования – анализ технико-экономических показателей автопоездов-щеповозов на транспортировке щепы энергетического назначения.

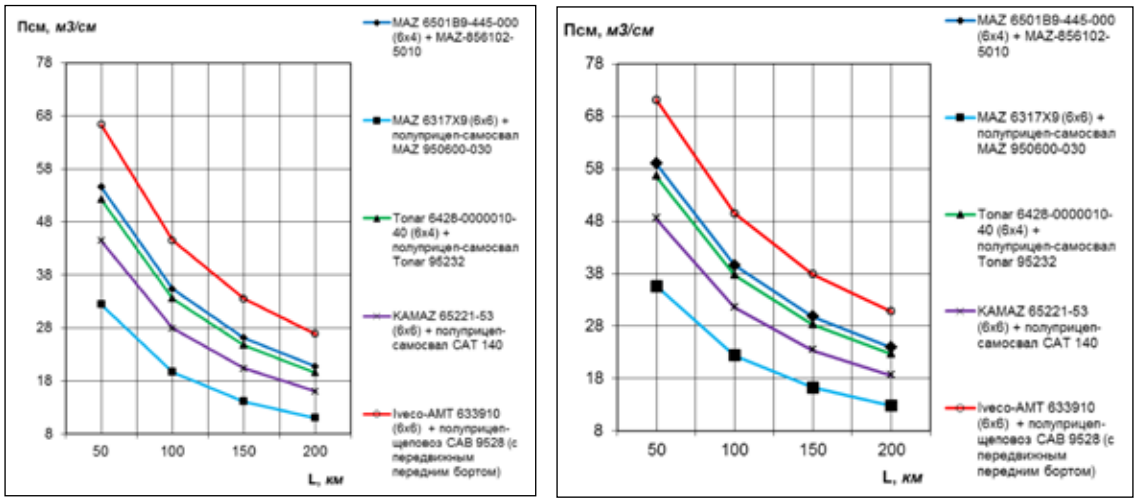
Материалы и методы исследования

При проведении лесозаготовительных операций на лесосеке образуется до 16–22% [4] лесосечных отходов от общего объема лесозаготовок. Эти ресурсы могут быть использованы для производства щепы энергетического назначения. Производство топливной щепы с минимальными затратами может быть реализовано практически в любых условиях лесозаготовительного предприятия, себестоимость производства при этом будет меньше, чем у других видов твердого древесного топлива: древесных брикетов и пеллет. Для отопления небольших населенных пунктов, оторванных от транспортной инфраструктуры, использование топливной щепы будет более предпочтительным, чем использование других видов биотоплива и особенно традиционных топливных ресурсов [5, 6].

Производство топливной щепы может быть реализовано на делянке, верхнем или нижнем складе (терминале) или непосредственно у потребителя (котельной) [7, 8]. В частности, на делянке [9, 10], после проведения лесосечных работ по сортиментной технологии или в процессе заготовки деловой древесины, с использованием мобильных рубительных машин на базе форвардера с кузовом, осуществляется переработка отходов лесосечных работ (сучьев, ветвей, вершинок), дровяной и тонкомерной древесины непосредственно в топливную щепу, с последующей транспортировкой на погрузочную площадку и доставкой потребителю автопоездами-щеповозами. На верхнем или нижнем складе (терминале) производство топливной щепы может осуществляться мобильными рубительными машинами на базе трактора, автомобиля, прицепа (полуприцепа) или специального самоходного шасси. Полученная щепа выбрасывается либо в кузов автопоезда-щеповоза, либо в кучу с последующей самопогрузкой или погрузкой в автопоезд-щеповоз лесопогрузчиком. Непосредственно у потребителя (котельной) для производства топливной щепы можно применять оборудование, идентичное производству, на лесопромышленном складе (терминале). В то же время у потребителя (котельной) наиболее эффективно использование мобильных рубительных машин на базе автомобиля, в том числе с кузовом. В этом случае мобильная рубительная машина после выполнения всех операций по измельчению в щепу может перемещаться к другой площадке (котельной) для выполнения этих операций, что повышает ее эффективность и гибкость всей технологической цепочки.

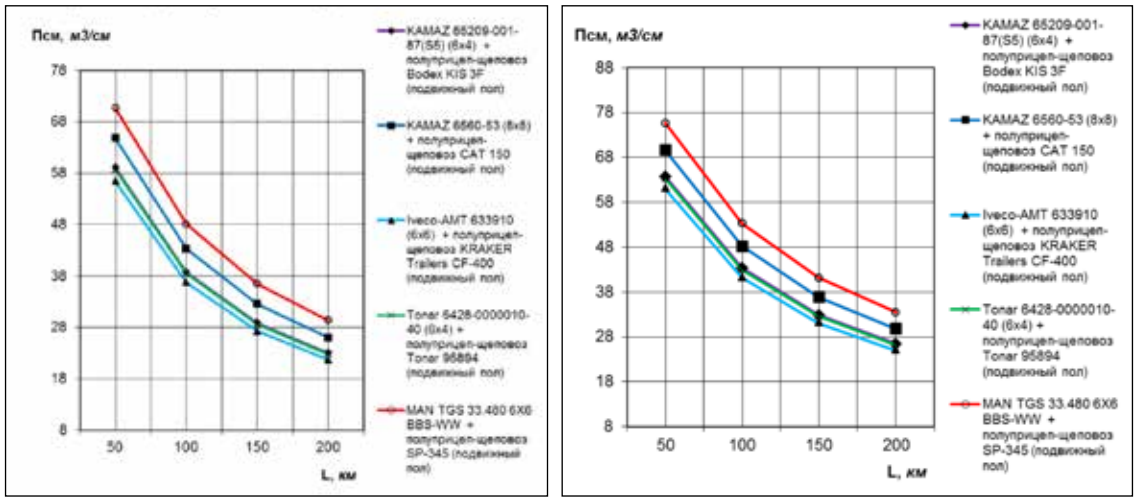
При выработке топливной щепы на верхнем складе или непосредственно на делянке транспортировка потребителю осуществляется автопоездами-щеповозами на базе автомобилей или автомобилей-тягачей. Движение может осуществляться по лесовозным дорогам и дорогам общего пользования. В качестве прицепного звена используются прицепы и полуприцепы-самосвалы, а также полуприцепы-щеповозы, оснащенные для выгрузки щепы системой саморазгрузки, например подвижным полом. В этих условиях становится актуальным вопрос протяженности транспортировки топливной щепы потребителю, это обусловлено в первую очередь низким значением коэффициента полнодревесности для щепы ($к_п$ = 0,36).

Для оценки технико-экономических характеристик и параметров работы автопоездов-щеповозов, а также определения эффективного расстояния транспортировки топливной щепы проведен анализ парка автотранспортных средств на базе автомобилей отечественного и импортного производства (рис. 1, 2). Движение автопоездов-щеповозов осуществляется по лесовозным дорогам (магистралям и веткам) с гравийным покрытием в удовлетворительном (слабоухабистое) и в хорошем состоянии (укрепленное).



а) *б)*

Рис. 1. График зависимости сменной производительности автопоездов-щеповозов (прицеп, полуприцеп-самосвал и полуприцеп с передвижным передним бортом) от расстояния транспортировки, в зависимости от условий эксплуатации: а – гравийная (удовлетворительное покрытие); б – гравийная (хорошее покрытие)



а) *б)*

Рис. 2. График зависимости сменной производительности автопоездов-щеповозов (полуприцеп с подвижным полом) от расстояния транспортировки, в зависимости от условий эксплуатации: а) – гравийная (удовлетворительное покрытие); б) – гравийная (хорошее покрытие)

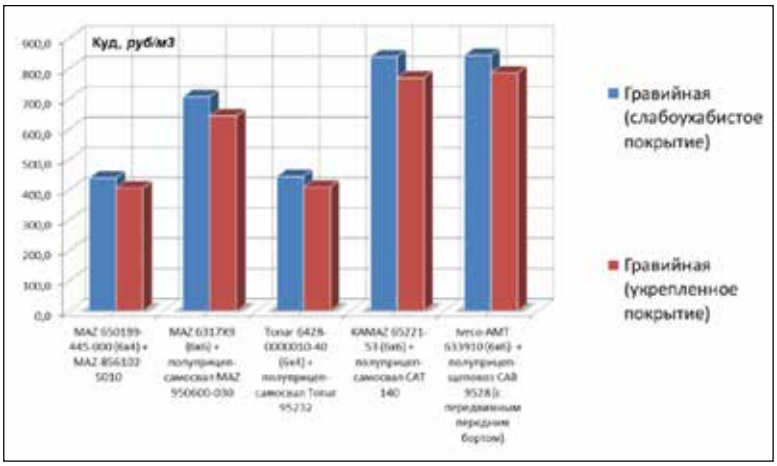
Результаты исследования и их обсуждение

Предварительный анализ показал, что эффективное расстояние транспортировки топливной щепы составляет 50–100 км. Увеличение этого предела ведет к значительному снижению сменной производительности автопоездов-щеповозов. В частности, сменная производительность изменяется в следующих пределах при расстоянии транспортировки от 200 до 50 км; гравийная дорога (слабоухабистое и укрепленное покрытие, соответственно): MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010 $П_{см}$ = 21–55 (24–59) м^3/смену, MAZ 6317F9 (6x6) + полуприцеп-самосвал MAZ 950600-030 $П_{см}$ = 11–32 (13–36) м^3/смену, Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232 $П_{см}$ = 20–52 (23–57) м^3/смену, KAMAZ 65221-53 (6x6) + полуприцеп-самосвал CAT 140 $П_{см}$ = 16–44 (19–48) м^3/смену, Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз CAB 9528 (с передвижным передним бортом) $П_{см}$ = 27–66 (31–71) м^3/смену (рис. 1).

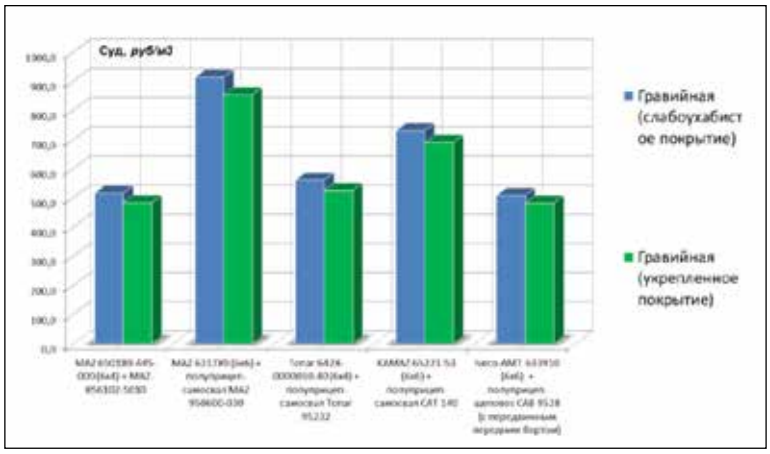
Для автопоездов-щеповозов в составе автомобиля-тягача и полуприцепа-щеповоза с подвижным полом сменная производительность изменяется в следующих пределах при расстоянии транспортировки от 200 до 50 км; гравийная дорога (слабоухабистое и укрепленное покрытие, соответственно): KAMAZ 65209-001-87(S5) (6x4) + полуприцеп-щеповоз Bodex KIS 3F $П_{см}$ = 23–59 (26–64) м^3/смену, KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150 $П_{см}$ = 26–65 (30–70) м^3/смену, Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз KRAKER Trailers CF-400 $П_{см}$ = 22–56 (25–61) м^3/смену, Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-щеповоз Тонар 95894 $П_{см}$ = 23–59 (26–63) м^3/смену, MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 $П_{см}$ = 29–71 (34–76) м^3/смену.

При транспортировке щепы автопоезд-щеповоз может совершать движение по разным категориям дорог, при этом состояние покрытия может существенно отличаться от эталонного, что влияет на эффективность работы автотранспорта. В частности, при движении автопоезда-щеповоза по гравийной укрепленной, в сравнении с слабоухабистой дорогой, сменная производительность увеличивается соответственно в 1,07–1,16 раза. Кроме снижения скоростных возможностей автотранспорта, при эксплуатации автопоездов на лесовозных дорогах с удовлетворительным состоянием покрытия, увеличивается вероятность авариных ситуаций и износа ходовой системы.

На основании наибольшего значения сменной производительности можно рекомендовать как наиболее эффективные следующие схемы комплектования автопоездов-щеповозов: Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз CAB 9528 (с передвижным передним бортом), MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010 и Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232, а также MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 (подвижный пол) и KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150 (подвижный пол).

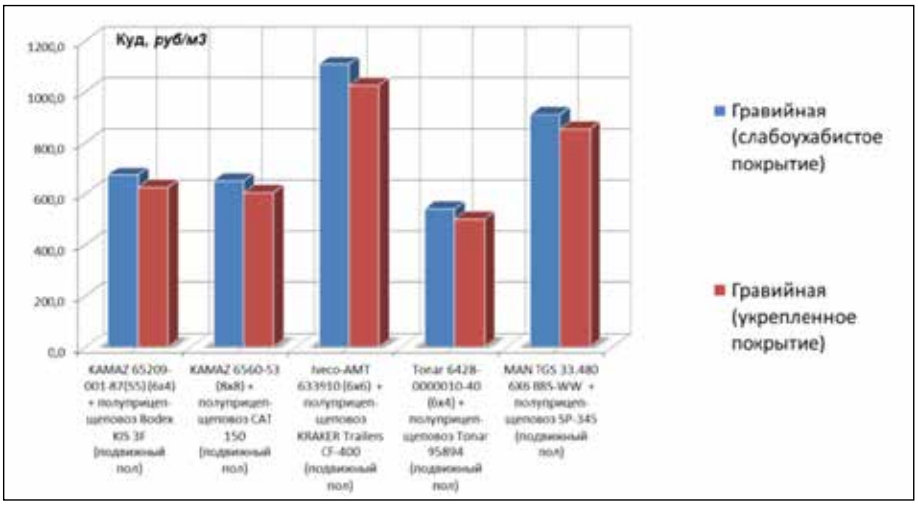


а)

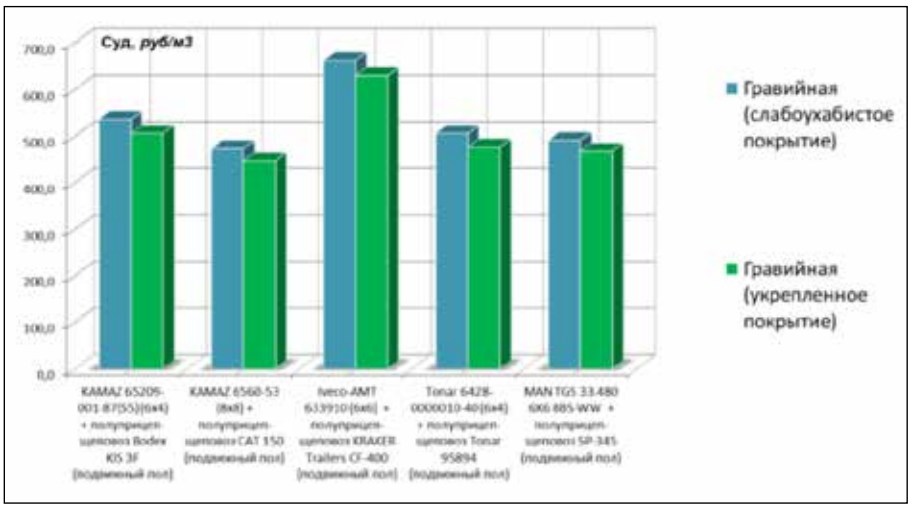


б)

Рис. 3. Транспортировка топливной щепы автопоездами-щеповозами (прицеп, полуприцеп-самосвал и полуприцеп с передвижным передним бортом) на 50 км: а – удельные капитальные вложения ($К_{уд}$, руб/м^3); б – удельные эксплуатационные затраты ($С_{уд}$, руб/м^3)



а)



б)

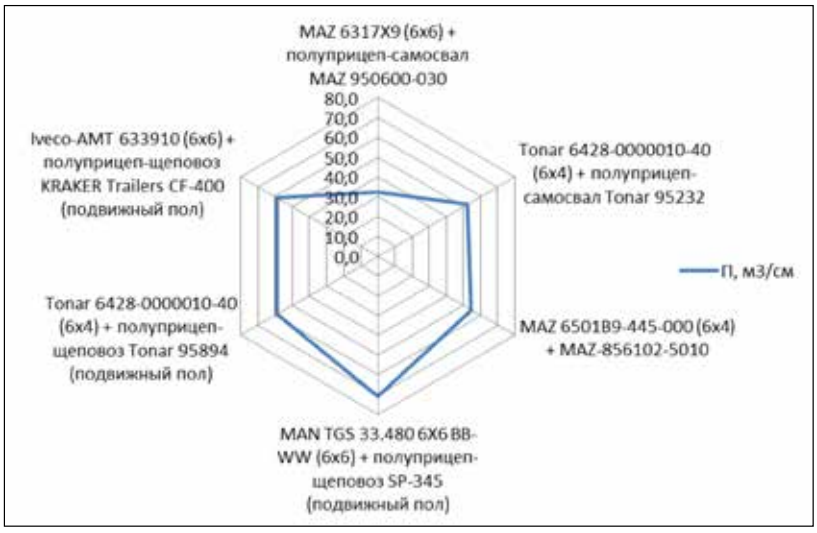
Рис. 4. Транспортировка топливной щепы автопоездами-щеповозами (полуприцеп с подвижным полом) на 50 км: а – удельные капитальные вложения ($K_{уд}$, руб/м^3); б – удельные эксплуатационные затраты ($C_{уд}$, руб/м^3)

В то же время, исходя из высокой балансовой стоимости Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз САВ 9528 (с передвижным передним бортом) и MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 (подвижный пол), удельные капитальные вложения ($K_{уд}$, руб/м^3) будут выше у автопоезда на базе автомобиля Iveco-AMT 633910 (6x6) в 1,9 раза (при расстоянии транспортировки на 50 км) в сравнении с Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-самосвал Тонар 95232 и MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010; у автопоезда на базе MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW $K_{уд}$ выше в 1,4 раза в сравнении с KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150 (подвижный пол). При этом удельные эксплуатационные затраты ($C_{уд}$, руб/м^3) будут выше в сравнимых условиях у автопоезда-щеповоза на базе автомобиля Тонар 6428-0000010-40 (6x4) в 1,1 раза в сравнении с Iveco-AMT 633910 (6x6) + полуприцеп-щеповоз САВ 9528 (с передвижным передним бортом); у автопоезда-щеповоза на базе автомобиля KAMAZ 6560-53 (8x8) ниже в 1,04 раза, в сравнении с MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз SP-345 (рис. 3 и 4).

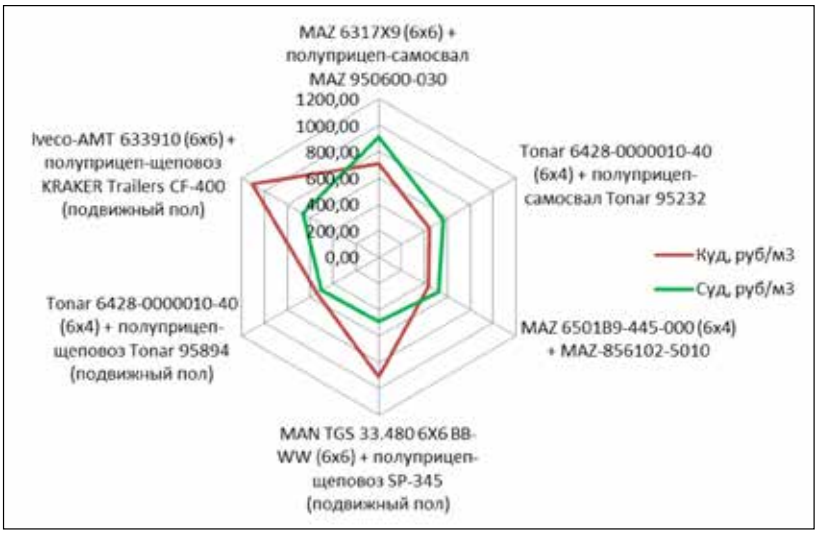
Анализ показал, что сравнение технико-экономических показателей выявило преимущество автопоездов-щеповозов отечественного и белорусского производства. В частности, по значению удельных капитальных вложений преимущество имеют автопоезда-щеповозы на базе автомобилей MAZ 6501B9-445-000 (6x4), Тонар 6428-0000010-40 (6x4), KAMAZ 6560-53 (8x8) и KAMAZ 65209-001-87(S5) (6x4), $K_{уд}$ в 1,4–1,9 раза ниже, чем у автопоездов

на базе Iveco-AMT 633910 (6x6) и MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW. В то же время значение $C_{уд}$ выше в 1,05–1,3 раза у автопоездов на базе Iveco-AMT 633910 (6x6) и MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW в сравнении с Тонар 6428-0000010-40 (6x4) + полуприцеп-щеповоз Тонар 95894 и KAMAZ 6560-53 (8x8) + полуприцеп-щеповоз CAT 150.

Следует учитывать, что в условиях бездорожья автопоезда-щеповозы на базе полноприводных автомобилей (Iveco-AMT 633910 (6x6), MAN TGS 33.480 6X6 BBS-WW, MAZ 6317F9, KAMAZ 65221-53) обладают большей проходимостью, чем автопоезда на базе автомобилей с ограниченной проходимостью с колесной формулой 6x4 (Тонар 6428-0000010-40, MAZ 6501B9-445-000, KAMAZ 65209-001-87(S5)). Это особенно актуально при движении автопоезда-щеповоза по временным лесовозным дорогам (усам) с грунтовым профилированным покрытием. Поэтому автопоезда-щеповозы на базе полноприводных модификаций можно рекомендовать к применению на всех категориях лесовозных дорог и дорог общего пользования. При эксплуатации автопоездов-щеповозов на лесовозных дорогах и дорогах общего пользования с хорошим состоянием покрытия вполне подойдут автопоезда на базе автомобилей с ограниченной проходимостью, например MAZ 6501B9-445-000 (6x4) + MAZ-856102-5010, при этом они будут обладать преимуществом в виде более низких значений удельных капитальных вложений при сопоставимых значениях удельных эксплуатационных затрат (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Технико-экономические показатели при транспортировке топливной щепы автопоездами-щеповозами на 50 км (удовлетворительное покрытие)

Стоит отметить, что приведенные выше выводы будут актуальны не только для транспортировки топливной, но и технологической щепы на ЦБК и предприятия глубокой переработки древесного сырья. При этом необходимо учитывать, что в этом случае транспортировка в основном будет осуществляться по дорогам общего пользования, где без ограничений могут быть задействованы автопоезда-щеповозы на базе автомобилей с ограниченной проходимостью с колесной формулой 6х4.

Заключение

С учетом общемировых тенденций развитие и внедрение «зеленых» биоэнергетических технологий, вне всякого сомнения, актуально в среднесрочном и долгосрочном временном горизонте. В этих условиях совершенствование технологических цепочек и снижение затрат на производстве и транспортировке биотоплива является актуальной практической задачей, от решения которой зависит рентабельность производства компаний и предприятий, задействованных в сфере «зеленой» энергетики. В частности, рациональный подбор машин и оборудования, с учетом особенностей природно-производственных условий эксплуатации, применяемых на транспортировке биоэнергосырья и биотоплива, позволит оптимизировать затраты и увеличить экономическую эффективность всей технологической цепочки.

Список литературы

1. Шегельман И.Р., Щукин П.О., Морозов М.А. Место биоэнергетики в топливно-энергетическом балансе лесопромышленного региона // Перспективы науки. 2011. № 12 (27). С. 187–190.

2. Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Сиротов А.В. Биоэнерготехнологии и лесопромышленный комплекс // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2017. № 5. С. 64–68.

3. Линник В.Ю., Линник Ю.Н. Состояние и перспективы развития биоэнергетики // Вестник университета. 2019. № 10. С. 59–66.

4. Михайлов К.Л., Гущин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 6 (354). С. 98–109.

5. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В. Анализ технологической цепочки производства топливной щепы с учетом транспортно-переместительной составляющей // Известия СПбГЛТА. 2013. Вып. 203. С. 67–75.

6. Шегельман И.Р., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н., Будник П.В., Скрыпник В.И. Подготовка и переработка древесного сырья для получения щепы энергетического назначения (биотоплива) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 8 (113). С. 79–82.

7. Леонов Е.А., Клоков Д.В. Производство топливной щепы на лесоэнергетических терминалах деревообрабатывающих предприятий // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 95–99.

8. Суханов Ю.В., Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Оценка экономической эффективности систем машин для производства топливной щепы в республике Карелия // Resources and Technology. 2013. Т. 10. № 1. С. 1–23.

9. Большаков Б.М., Андрюшин М.И., Дороничева Е.В. Развитие технологий и машин при рубках ухода за лесом в Финляндии и Швеции // Лесохозяйственная информация. 2019. № 2. С. 111–128.

10. Ильюшенко Д.А., Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Орлов В.В., Гусева Т.А., Иванов В.А., Никифорова В.А. Технологии производства топливной щепы из лесосечных отходов при заготовке древесины 250–300 тыс. пл. м^3 в год // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 175–184.

УДК 621.3.082

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Куценко В.Н.

ГОУ ВО «Луганский Государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, e-mail: dahl.univer@yandex.ru, dah.univer@yandex.ru

В статье предложен новый расчетно-экспериментальный способ неразрушающего бесконтактного определения качества поверхности пьезоэлектриков после механической обработки. Экспериментальные исследования и математическая обработка данных выполнены на лабораторном и измерительно-компьютерном комплексах. Было выполнено четыре серии операций высокоскоростного резания пьезоэлектриков на пластины с различными физико-техническими характеристиками и их последующее шлифование. Работы выполнялись на лабораторном стенде для механической обработки материалов из пьезоэлектриков при разных режимах механической обработки. Для получения микроизображения поверхности пластин пьезоэлектриков применялся цифровой электронный микроскоп с 170 кратным оптическим увеличением с разрешением ПЗС матрицы 1280 x 720 точек, подключенный через интерфейсный кабель к компьютеру. Результаты математической обработки полученных данных визуализированы в виде графиков и представлены в таблице. На основании анализа полученных экспериментальных данных после их математической обработки способ позволяет определить качество поверхности пьезоэлектриков, оценить наличие дефектов и определить ее рельеф. Применение данного способа позволит контролировать качество поверхности при механической обработке и дальнейшей оптимизации технологического процесса для повышения производительности и эффективности производства изделий из пьезоэлектриков. Данный расчетно-экспериментальный способ можно применять при определении качества поверхности пластин различных материалов.

Ключевые слова: качество поверхности, пьезоэлектрик, механическая обработка, бесконтактный неразрушающий способ

A NEW METHOD FOR DETERMINING THE QUALITY OF PIEZOELECTRIC SURFACES AFTER MECHANICAL TREATMENT

Kutsenko V.N.

Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk, e-mail: dahl.univer@yandex.ru, dah.univer@yandex.ru

The article proposes a new computational and experimental method for non-destructive non-contact determination of the surface quality of piezoelectrics after machining. Experimental studies and mathematical data processing were carried out on laboratory and measuring-computer complexes. Four series of operations of high-speed cutting of piezoelectrics into plates with different physical and technical characteristics and their subsequent grinding were performed. The work was carried out on a laboratory stand for mechanical processing of materials from piezoelectric materials under different modes of mechanical processing. To obtain a microimage of the surface of piezoelectric plates, a digital electron microscope with a 170-fold optical magnification with a CCD matrix resolution of 1280 x 720 pixels was used, connected via an interface cable to a computer. The results of mathematical processing of the obtained data are visualized in the form of graphs and presented in the table. Based on the analysis of the experimental data obtained after their mathematical processing, the method makes it possible to determine the surface quality of piezoelectrics, to assess the presence of defects, and to determine its relief. The use of this method will make it possible to control the quality of the surface during machining and further optimize the technological process to increase productivity and efficiency in the production of products from piezoelectrics. This calculation-experimental method can be used to determine the quality of the surface of plates of various materials.

Keywords: surface quality, piezoelectric, mechanical restoration, non-contact non-destructive way

В современном производстве электронного машиностроения все чаще применяются изделия из пьезоэлектриков, в частности пьезокерамика. Очень важен постоянный систематический контроль поверхности пьезоэлектриков в процессе обработки и в готовом изделии, так как состояние поверхности оказывает большое влияние на электрические, функциональные и эксплуатационные характеристики пьезоэлектриков.

Снижение шероховатости рабочих поверхностей изделий на основе пьезоэффекта, ведет к повышению добротности резонатора [1]. Вследствие прямой зависимости шероховатости поверхности и качества характеристик пьезоэлектриков и учитывая постоянно растущие требования к характеристикам изделий из пьезоэлектриков, необходимо проводить более всесторонние исследования поверхности, что требует разработки все более совершенных способов и средств его измерения и контроля в процессе производства изделий из пьезоэлектриков.

Одним из параметров, определяющих физико-технические характеристики пьезоэлектриков является состояние поверхно-

сти, которое возникает вследствие влияния многочисленных взаимосвязанных факторов при механической обработке пьезоэлектриков. В соответствии с требованиями к поверхности пьезоэлектриков применяется тот или иной метод контроля обрабатываемой поверхности.

В научных исследованиях и в электронной промышленности для измерения шероховатости поверхности часто используют контактные методы контроля, например, профилометр TalySurf i-200 [2]. Прибор Solver HV позволяет проводить экспресс-диагностику наноразмерных особенностей поверхности и ее параметров, таких как шероховатость поверхности и общий уровень локальных перепадов высот, а также с его помощью выполнять визуализацию топографических изображений поверхности и определять среднюю шероховатость перепадов высот поверхности [3].

В научных исследованиях в электронной промышленности вместо контактных методов контроля шероховатости все больше применяются современные бесконтактные неразрушающие методы контроля.

Несмотря на многочисленные теоретические и экспериментальные исследования в настоящее время предварительный расчет высоты микронеровностей затруднен, из-за отсутствия обобщенных расчетных формул, учитывающих различные условия обработки. В отдельных случаях шероховатость поверхности детали может определяться по эмпирическим зависимостям [4].

В современном автоматизированном производстве, где количество безлюдных технологий неизменно растет, роль контроля за каким-либо процессом или результатом повышается в разы. В этой связи вопрос обеспечения качества обработанной поверхности в условиях автоматизированного производства остается актуальным и сегодня [5].

Визуальный анализ изображений поверхностей является наиболее простым и распространенным способом оценки шероховатости поверхностей. Развитие цифровой техники перевело задачи анализа изображений из качественной области в количественную, что, в свою очередь, потребовало решения целого комплекса проблем, связанных с особенностями обработки визуально интерпретируемой информации [6].

Целью работы является создание простого способа определения дефектов и качества поверхности пьезоэлектриков, с целью дальнейшей оптимизации технологического процесса механической обработки, для повышения эффективности и производительности при производстве изделий из пьезоэлектриков.

Материал и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном и измерительно-компьютерном комплексах для механической обработки пьезоэлектриков. Для решения поставленной задачи были выполнены 4 серии по 4 резки пьезоэлектриков на пластины, при скорости вращения алмазного круга, равной 8500 об/мин с величиной подачи от 0,05 мм/мин до 0,1 мм/мин, диаметром 50 мм и высотой 0,7 мм, с зернистостью 50% и размером алмазных зерен от 10 до 50 мкм.

Анализ состояния поверхности пластин пьезоэлектриков после резания проводился на измерительно-компьютерном комплексе. Для снимков микроизображений отдельных характерных участков поверхности применялся цифровой электронный микроскоп с 170 кратным оптическим увеличением и разрешением ПЗС матрицы 1280 х 720 точек, подключенный через интерфейсный кабель к компьютеру.

Поверхность пьезоэлектриков состоит из хаотически расположенных, различных по высоте и ширине основных и местных выступов и впадин, поэтому пластину устанавливают на столик так, чтобы следы от механической обработки были расположены перпендикулярно источнику света, угол освещения был направлен под углом 30 градусов к поверхности.

При анализе микроизображений поверхности используются критерии визуального качества, связанные с особенностями зрения человека. Основными параметрами, по которым производится такая оценка, являются: разрешение, количество полутонов и динамический диапазон изображения. Эти понятия являются аналогами шага дискретизации, числа уровней и размера шкалы квантования, используемых в количественных методах анализа информации. Однако поскольку визуальное восприятие человека имеет свои особенности, их определение имеет определенную специфику [6].

Микроизображения от цифрового электронного микроскопа в цифровом виде передавались в компьютер, где сохранялись в базе данных. Математическая обработка микроизображений характерных участков поверхности пьезоэлектриков выполнялась в математической среде MATLAB.

Результаты исследования и их обсуждение

При визуальном анализе изображений обычный человек может определить около 15 уровней градаций серого, что недоста-

точно для количественного анализа поверхностного слоя.

На практике обычно используют более 64 уровней градаций серого, что объясняется необходимостью предупреждения различных артефактов отображения, таких, например, как появление ложных контуров и пикселизации изображений, характеризуемых малыми изменениями сигналов на больших площадях [6].

При математической обработке микроизображений, в расчетах применялась 255 уровневая градация серого, что вполне достаточно для визуализации результатов экспериментов и их дальнейшего их анализа.

Для получения количественной характеристики качества поверхности пьезоэлектриков вычисляем стандартное отклонение значения параметра яркости микроизображения поверхности пластины от среднего значения. Стандартное отклонение значение яркости микроизображения поверхности пластины пьезоэлектрика вычисляем по формуле 1.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^{N} \left(r_n - r\right)^2} \qquad (1)$$

где Rq –стандартное отклонение значение яркости микроизображения поверхности;

N – количество точек микроизображения поверхности пластины;

r_n –величина, характеризующая яркость точки микроизображения поверхности;

r –среднеарифметическое значение яркости микроизображения поверхности.

После математической обработки микроизображений поверхности пластин пьезоэлектриков результаты экспериментов и исследований визуализированы в виде графиков и представлены в таблице.

На необработанной поверхности пьезоэлектрика присутствуют значительные дефекты и количество различных по высоте выступов и впадин (рис. 1).

После высокоскоростного резания при величине подаче 0,1 мм/мин алмазного круга на поверхности пластины пьезоэлектрика увеличивается количество микроучастков с близким уровнем яркости, отсутствуют значительные перепады высот и впадин (рис. 2).

По результатам экспериментов и анализа полученных результатов, можно сделать вывод, что при высокоскоростном резании пьезоэлектриков на пластины, при уменьшении подачи алмазного круга с 0,1 мм/мин до 0,05 мм/мин шероховатость поверхности пластины улучшается на 42%.

В большей степени шероховатость поверхности зависит от величины подачи алмазного круга, при ее уменьшении шероховатость обработанной поверхности повышается [7], что хорошо согласуется с полученными результатами, полученными в результате математической обработки микроизображений поверхности пьезоэлектриков.

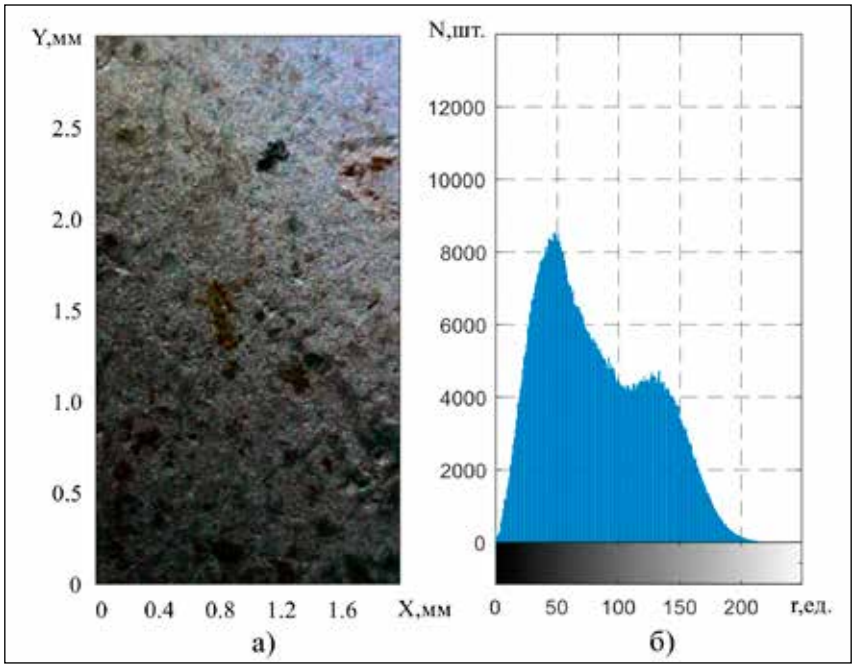


Рис. 1. Необработанная поверхность пьезоэлектрика PZT-4, размером 1,8x3,2 мм: а) – микроизображение и б) – график яркости микроизображения

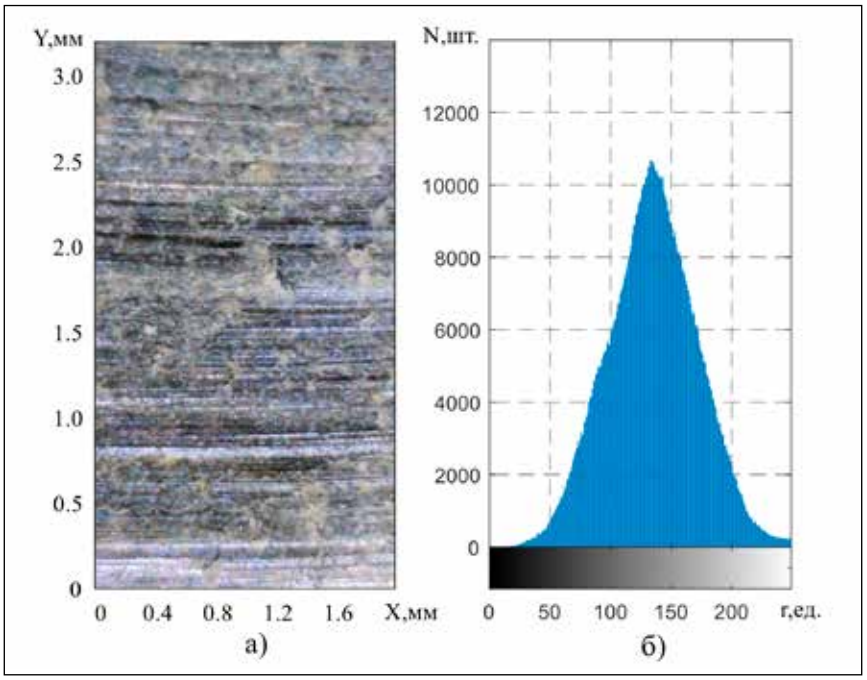


Рис. 2. Поверхность пьезоэлектрика PZT-4, размером 1,8x3,2 мм, после высокоскоростного резания при величине подачи S=0,1 мм/мин: а) – микроизображение и б) – график яркости микроизображения

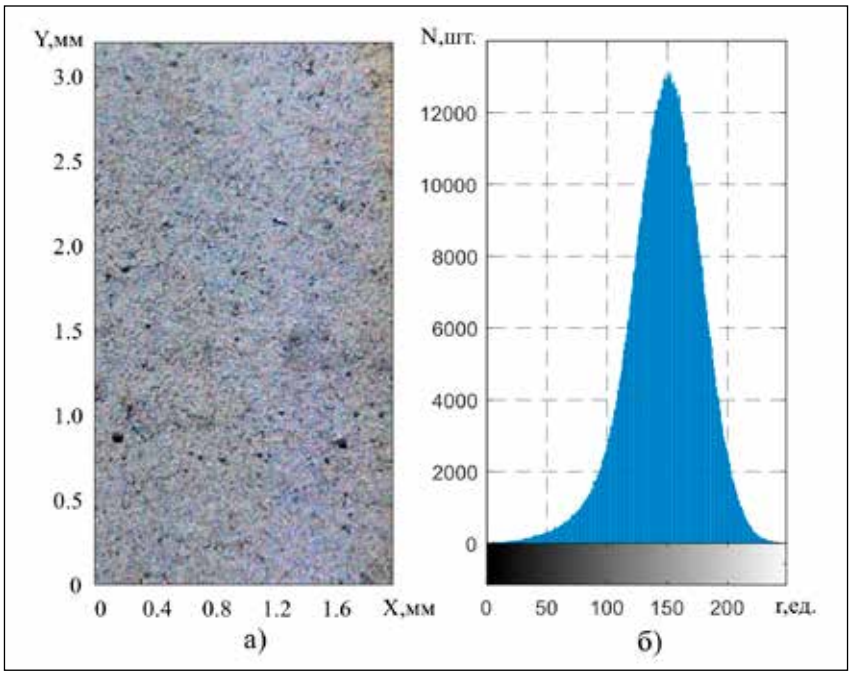


Рис. 3. Поверхность пьезоэлектрика PZT-4, размером 1,8x3,2 мм, после шлифования: а) – микроизображение и б) – график яркости микроизображения

После шлифования поверхности пластины пьезоэлектрика продолжает увеличивается количество микроучастков с близким уровнем яркости и уменьшается количество затемненных микроучастков, которое можно объяснить уменьшением высоты выступов и впадин (рис. 3), а шероховатость поверхности улучшается на 6%.

Значение яркости поверхности пьезоэлектрика от направленного источника света, марки PZT-4, до и после механической обработки

	Не обработанная	После резания, скорость подачи S=0,1мм/мин	После резания, скорость подачи S=0,05мм/мин	После шлифования
Стандартное отклонение, R_q	1985	1402	1008	949

Незначительное улучшение шероховатости поверхности пьезоэлектрика объясняется внутренней структурой пьезоэлектрика, поэтому необходимо полирование поверхности до максимально возможного количества микроучастков на поверхности с близким уровнем яркости, равной 150 единиц (рис. 3).

Заключение

Предложенный неразрушающий бесконтактный способ позволит сократить трудозатраты при определении параметров качества и дефектов поверхности пьезоэлектриков, необходимые для выбора оптимальных режимов обработки пьезоэлектриков, что позволит повысить производительность и эффективность производства изделий из пьезоэлектриков.

Предложенный способ определения количественных параметров поверхности пьезоэлектриков обладает хорошей наглядностью и информативностью.

Данный способ возможно применять в неразрушающих бесконтактных автоматических системах контроля поверхности различных материалов с компьютерной обработкой результатов.

Список литературы

1. Чернов С.П., Митина Л.Н., Носенко В.А. Влияние абразивного и химического полирования на состояние рельефа поверхности кварцевой пластины // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=19034 (дата обращения: 04.02.2022).

2. Пономарев Б.Б., Нгуен Ш.Х. Оценка шероховатости при пятикоординатном чистовом фрезеровании поверхностей сфероцилиндрической фрезой // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 5. С. 21–31.

3. Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмоилов И.И. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. No 5. С. 661–666. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666.

4. Фесенко А.В., Ушаков А.Н., Евсюкова Ф.М., Слипченко С.Е. Выбор усилия резания при получении заданных параметров шлифования // Вестник Национального технического университета ХПИ Технологии в машиностроении. 2020. № 1. С. 42-48.

5. Саблин П.А., Щетинин В.С. Многофакторное влияние на шероховатость обработанной поверхности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 2. С. 161–171.

6. Григорьев А.Я. Физика и микрогеометрия технических поверхностей. Минск: Белорусская наука, 2016. 247 с.

7. Жуков Э.Л., Любомудров С.А., Радкевич М.М., Ротаренко О.Ю. Влияние параметров резания на качество поверхности сталей из перспективных труднообрабатываемых сплавов. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2014. № 2(195). С. 187-193.

УДК 519.688:004

ОБЗОР JIT-КОМПИЛЯТОРА NUMBA КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА GPU

Лавринов М.И.

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, e-mail: Lm-ne@yandex.ru

Представлен обзор свободного программного обеспечения JIT-компилятора Numba для языка программирования Python от компании Anaconda, Inc на примере вычисления автокорреляционной функции сигнала заданной длины в дискретном времени для поиска оптимального для каждой цепочки. Сигнал в данной задаче принимает значения -1 или 1 и имеет длину от 1 до 35 тактов. Оптимальным в данной задаче считается сигнал с наибольшим отношением амплитуды основного лепестка автокорреляционной функции к боковому лепестку. Для нахождения оптимального сигнала необходимо вычислить автокорреляционную функцию для всех вариантов сигналов заданной длины, в связи с этим сложность задачи возрастает с увеличением длины цепочки и составляет $O(2^n)$. Таким образом, поиск оптимального сигнала в рамках данной задачи длиной в 35 тактов при простейшем последовательном вычислении на языке Python без использования дополнительных библиотек занимает до 39 суток. При использовании языка Python с JIT-компилятором Numba и дополнительного модуля numba.cuda для вычислений на GPU время поиска оптимального сигнала для цепочек той же длины можно сократить до 5 ч.

Ключевые слова: параллельное программирование, Python, Numba, поиск оптимального сигнала, автокорреляционная функция

AN OVERVIEW OF THE NUMBA JIT COMPILER AS A GPU PARALLEL COMPUTING TOOL

Lavrinov M.I.

Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: Lm-ne@yandex.ru

Presenting an overview of the free software Numba JIT compiler for the Python programming language from Anaconda, Inc. based on the value of the autocorrelation function of a signal given in discrete time to find a specific per-string. The signal in this task takes values from -1 or 1 and has a value from 1 to 35 cycles. The optimal signal in this problem is considered to be the signal with the maximum deviation of the estimate of the severity of the lobe of the autocorrelation function to the side lobe. To find a common signal, the required autocorrelation characteristic is calculated for all variants of signals of a given load; in connection with this complexity, it increases with the detection of a chain and is $O(2^n)$. Thus, the search for a wide range of signals within this long task of 35 cycles with a simple sequence of calculations in the Python language without using the extended library takes up to 39 days. When building the Python language with the Numba JIT compiler and the additional numba.cuda module for GPU computing, the search time for a measured signal for chains of the same frequency can reach 5 hours.

Keywords: parallel programming, Python, Numba, optimal signal search, autocorrelation function

В работе рассматриваются сигналы, которые принимают значения -1 или 1 и имеют длину от 1 до 35 тактов. Оптимальным будет считаться сигнал с наибольшим отношением амплитуды основного лепестка автокорреляционной функции к боковому лепестку. Для нахождения оптимального сигнала необходимо вычислить автокорреляционную функцию для всех вариантов сигналов заданной длины.

Полученные в результате выполнения программы оптимальные сигналы могут применяться для решения задач теории сигналов и использоваться, к примеру, в радиолокации. Для разработки программы предлагается использование языка Python с JIT-компилятором Numba и дополнительным модулем numba.cuda для параллельных вычислений на GPU.

Пакет Numba создан компанией Anaconda, Inc. (ранее – Continuum Analytics). Данный пакет даёт возможность ускорить программы при помощи высокопроизводительных функций, написанных непосредственно на языке Python. Использование специальных аннотаций (декораторов с различными параметрами) при функциях, перегруженных вычислениями и/или обрабатывающих массивы, позволяет компилировать код прямо во время исполнения (just-in-time) в машинные инструкции, приближая производительность такого кода к производительности программ, написанных на языках C/C++ и Fortran [1].

Пакет Numba генерирует оптимизированный машинный код с помощью компилятора LLVM. Поддерживается компиляция кода Python для последующего исполнения как на CPU, так и на GPU: в виде ядер и функций для устройств CUDA от nVidia или ядер и функций для устройств HSA (Heterogenous System Architecture) от AMD [2]. В данной статье будет рассматриваться применение пакета Numba для исполнения вычислений на GPU от компании nVidia. Простейший способ работы с Numba – это

применять декорирование с помощью декоратора @jit, предписывающее Numba компилировать помеченную функцию, используя заданные при её вызове типы параметров. Можно также указать заранее, для каких типов параметров компилировать функцию, – с помощью строки, именуемой сигнатурой функции и передаваемой декоратору, в которой ключевыми словами типов (или их сокращениями) указаны типы возвращаемого и передаваемых параметров [2].

Большая часть программного интерфейса CUDA доступна через модуль numba.cuda, подключаемый с помощью импорта вида from numba import cuda [3].

Цель данного исследования – исследование возможности использования пакета Numba от Anaconda, Inc для проведения ресурсоемких вычислений на примере определения автокорреляционной функции дискретных сигналов заданной длины.

Материалы и методы исследования

Для расчетов времени вычисления автокорреляционной функции сигнала заданной длины были разработаны четыре программы, каждая из которых является оптимизацией предыдущей программы:

– первая выполняет последовательное вычисление функции для каждой цепочки;

– вторая программа выполняет последовательное вычисление функции для заранее сгенерированного массива цепочек одной длины;

– третья программа выполняет параллельное вычисление функции для заранее сгенерированного массива цепочек одной длины с использованием CPU;

– четвертая программа выполняет параллельное вычисление функции для заранее сгенерированного массива цепочек одной длины с использованием GPU.

Рассмотрим данные программы подробнее (рис. 1, 2).

Последовательная реализация без предварительной генерации массива

```
def ak_func_demo(signal):
    akf = [ ]
    for i in range(len(signal)): akf.append(0)
    for i in range(len(signal)):
        for j in range(len(signal)):
            if i+j < len(signal) :
                akf[i] = akf[i] + signal[i+j] * signal[j]
    return akf
def int_to_signal(x):
    x = list(bin(x))[2::]
    for i in range(len(x)):
        x[i] = int(x[i])
        if x[i] == 0 : x[i]=-1
    return(x)
def max_amplitude(akf):
    for i in range(len(akf)):
        if i == 0 : akf[i] = 0
        akf[i] = abs(akf[i])
    max_amp = max(akf)
    return max_amp
for k in range(35):
    x = k
    s = [0, x+1]
    for i in range(2**x):
        signal = 2**x
        signal = signal + i
        signal_list = int_to_signal(signal)
        akf = ak_func_demo(signal_list)
        if max_amplitude(akf) <= s[1] :
            s[0] = bin(signal)[2::]
            s[1] = max_amplitude(akf)
```

Последовательная реализация с предварительной генерацией массива

```
def ak_func_demo(k):
    X = np.zeros((2**k,k+1))
    for i in range(2**k):
        signal = 2**k
        signal = signal + i
        signal_list=''
        while signal > 0:
            signal_list = str(signal % 2) + signal_list
            signal = signal // 2
        for j in range(len(signal_list)):
            if signal_list[j] == '0' : X[i][j]=-1
            if signal_list[j] == '1' : X[i][j]=1
    akf = np.zeros_like(X)
    max_amplitude = k + 2
    for i in range(2**k):
        for d in range(len(X[i])):
            for g in range(len(X[i])):
                if d+g < len(X[i]) :
                    akf[i][d] = akf[i][d]+X[i][d+g]*X[i][g]
        akf[i][0] = 0
        akf[i][0] = max(akf[i])
        if akf[i][0] <= max_amplitude :
            max_amplitude = akf[i][0]
            optimal_line = X[i]
    return optimal_line, max_amplitude
k=35
for i in range(k):
  s = ak_func_demo(i)
```

Рис. 1. Листинги программ с последовательным вычислением АКФ

Параллельная реализация вычислений на CPU

```
@numba.jit(nopython=True, parallel = True)
def ak_func_demo(k):
    X = np.zeros((2**k,k+1))
    for i in range(2**k):
        signal = 2**k
        signal = signal + i
        signal_list=''
        while signal > 0:
            signal_list = str(signal % 2) + signal_list
            signal = signal // 2
        for j in range(len(signal_list)):
            if signal_list[j] == '0' : X[i][j]=-1
            if signal_list[j] == '1' : X[i][j]=1
    akf = np.zeros_like(X)
    max_amplitude = k + 2

    for i in range(2**k):
        for d in range(len(X[i])):
            for g in range(len(X[i])):
                if d+g < len(X[i]) :
                    akf[i][d] = akf[i][d] + X[i][d+g] * X[i][g]
        akf[i][0] = 0
        akf[i][0] = max(akf[i])

        if akf[i][0] <= max_amplitude :
            max_amplitude = akf[i][0]
            optimal_line = X[i]
    return optimal_line, max_amplitude

k=35

for i in range(k):
    s = ak_func_demo(i)
```

Параллельная реализация вычислений на GPU

```
@cuda.jit(device=True)
def ak_func_demo(X, akf, k):
    akf = np.zeros_like(X)
    max_amplitude = k + 2
    for i in range(2**k):
        for d in range(len(X[i])):
            for g in range(len(X[i])):
                if d+g < len(X[i]) :
                    akf[i][d] = akf[i][d]+X[i][d+g]*X[i][g]
        akf[i][0] = 0
        akf[i][0] = max(akf[i])
        if akf[i][0] <= max_amplitude :
            max_amplitude = akf[i][0]
            optimal_line = X[i]
    return optimal_line, max_amplitude
k=35
X = np.zeros((2**k,k+1))
akf = np.zeros_like(X)
for i in range(2**k):
    signal = 2**k
    signal = signal + i
    signal_list=''
    while signal > 0:
        signal_list = str(signal % 2) + signal_list
        signal = signal // 2
    for j in range(len(signal_list)):
        if signal_list[j] == '0' : X[i][j]=-1
        if signal_list[j] == '1' : X[i][j]=1
device = cuda.get_current_device()
d_X = cuda.to_device(X)
d_akf = cuda.to_device(akf)
d_k = cuda.to_device(k)
tpb = device.WARP_SIZE
bpg = int(np.ceil((k)/tpb))
ak_func_demo[bpg, tpb](d_X, d_akf, d_k)
s = d_akf.copy_to_host()
```

Рис. 2. Листинги программ с параллельным вычислением АКФ

Программа с последовательным вычислением функции без предварительной генерации массивов выполнена с использованием встроенных функций языка Python и модуля Numpy. В данной программе перевод строки битов из нулей и единиц (простейший вариант представления сигнала заданной длины с двумя возможными значениями в такт времени), а также вычисление амплитуды бокового лепестка вынесены в отдельные функции.

Как было сказано ранее, во второй программе перед вычислением автокорреляционной функции генерируется весь массив цепочек заданной длины. Также во второй программе учитываются особенности работы пакета Numba. Пакет Numba не обрабатывает вызовы сторонних функций внутри задекорированной [4], поэтому перевод строки битов из нулей и единиц, а также вычисление амплитуды бокового лепестка были внесены в основную функцию.

Третья программа отличается от второй только наличием декоратора @jit. Так как вторая программа уже оптимизирована для параллельных вычислений, этого оказалось достаточно, чтобы вычисления проводились параллельно на CPU [5; 6].

В четвертой программе параллельные вычисления были перенесены на GPU. Тут нужно отметить одну важную концепцию: когда какие-либо вычисления должны быть выполнены на GPU, соответствующие данные должны быть перенесены в глобальную память GPU, а результаты вычислений после этого могут быть перенесены обратно

на хост. Эти операции выполняются при помощи функций cuda.to_device() и copy_to_host(), предоставляемых в библиотеке Numba на Python [7].

Листинги описанных программ приведены в таблице ниже. Для компактности в приведенных листингах опущены импорты библиотек и вызовы функций, не относящихся конкретно к вычислению автокорреляционной функции.

Результаты исследования и их обсуждение

Измерения времени выполнения программ с последовательным вычислением автокорреляционной функции и программы с параллельным вычислением на CPU производились на персональном компьютере со следующими характеристиками:

− Операционная система: Windows 10 Pro.

− CPU: Intel Xeon x3440 2.5 x 8 ГГц 64-bit.

− RAM: DDR3 2 x 8 Гб.

− ПО: Anaconda ver. 2020.11 с Python 3.9.6.

Из-за невозможности вычисления на GPU с использованием персонального компьютера ввиду отсутствия CUDA-устройства (видеокарты от компании nVidia) измерение времени выполнения параллельных вычислений на GPU было решено проводить с использованием сервиса Colaboratory от компании Google.

Colaboratory, или сокращенно Colab, – продукт компании Google Research. Colab позволяет писать и выполнять произвольный код Python через браузер и особенно хорошо подходит для машинного обучения, анализа данных и образования. С технической точки зрения Colab – это размещенная на хосте служба Jupyter Notebook, которая не требует настройки для использования, но при этом предоставляет бесплатный доступ к вычислительным ресурсам, включая графические процессоры на базе чипов nVidia [8].

Важно заметить, что из-за возрастающей сложности вычислений при каждом увеличении длины цепочки на один бит в два раза, ожидание результата становится неоправданно долгим. Поэтому результаты, ожидание которых достигает 4 ч и более, экстраполируются на более длинные цепочки.

Полученные результаты измерений представлены на графике (рис. 3).

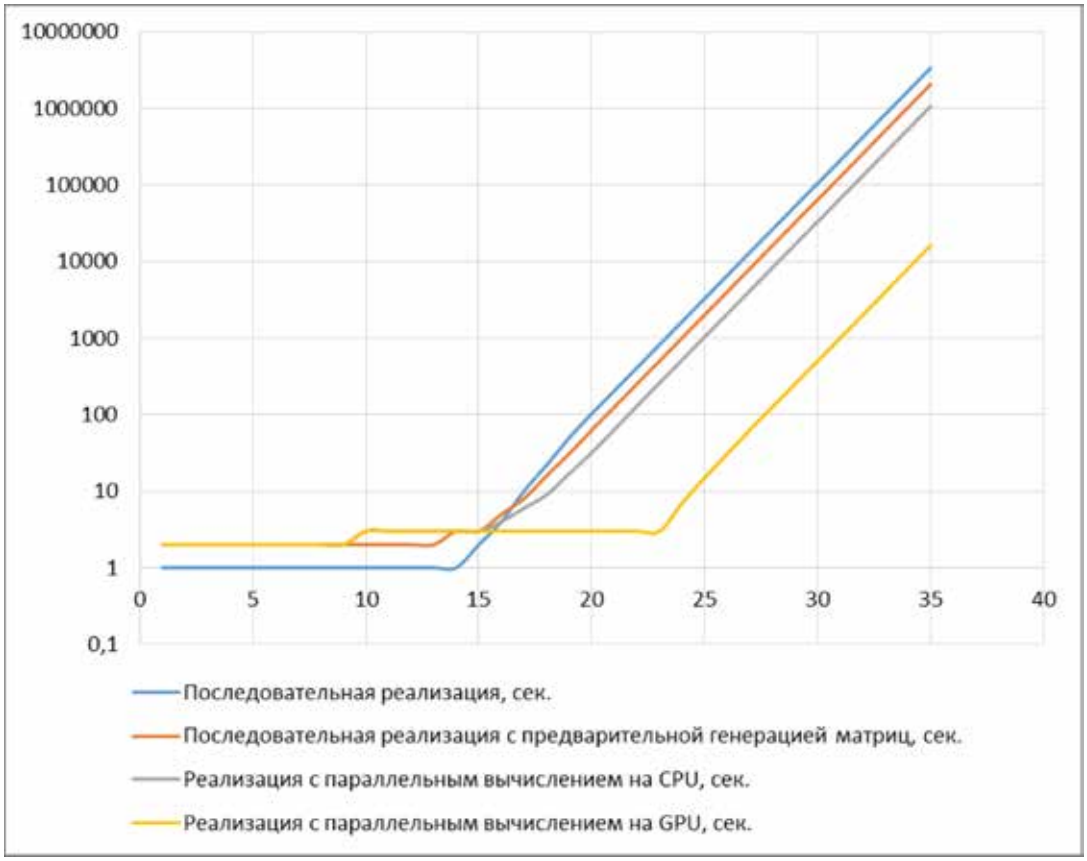


Рис. 3. Результаты измерений

Как видно из рисунка, вычисление автокорреляционной функции (АКФ) для цепочки битов длиной 35 символов занимает 39 суток. При этом даже просто оптимизация кода увеличивает скорость вычислений примерно в полтора раза. Вычисление АКФ для цепочки из 35 битов происходит уже в течение 24 суток.

Применение JIT-компилятора Numba на оптимизированном коде снижает время вычисления более чем в два раза. При использовании только CPU вычисление АКФ для цепочки из 35 бит занимает 12 суток. Это чуть более чем в три раза быстрее, чем вычисление при простейшей последовательной реализации.

При использовании JIT-компилятора Numba с модулем numba.cuda, который позволяет перенести вычисления на GPU от компании nVidia скорость расчета возросла в 66 раз по сравнению с вычислениями на CPU. В данном случае вычисление АКФ на цепочках до 35 символов занимает менее 5 ч. Возможно, при оптимизации программы результат можно улучшить и сократить время расчетов в несколько раз, однако эта задача выходит за рамки данной статьи.

Заключение

Полученные в рамках данной работы данные о скорости параллельных вычислений АКФ с использованием JIT-компилятора Numba в целом и модулем numba.cuda в частности показали, что указанные инструменты действительно помогают ускорить вычисление в десятки раз. Таким образом, с использованием Numba можно добиться вычисления АКФ функции не только до 35-битных цепочек, но и более длинных за адекватное время.

Список литературы

1. Антонюк В.А. GPU+Python Параллельные вычисления в рамках языка Python. М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. 48 с.

2. Mungoli A. How GPU Computing literally saved me at work? // Walmart Global Tech Blog [Электронный ресурс]. URL: https://medium.com/walmartglobaltech/how-gpu-computing-literally-saved-me-at-work-fc1dc70f48b6 (дата обращения: 04.07.2021).

3. Anaconda Inc, Numba for CUDA GPUs. Kernel invocation. 2021 // Writing CUDA Kernels. [Электронный ресурс]. URL: https://numba.pydata.org/numba-doc/latest/cuda/kernels.html#kernel-invocation (дата обращения: 03.07.2021).

4. Ernest Kim Better Python Parallelization with Numba on CPU and GPU // Towards Data Science. [Электронный ресурс]. URL: https://towardsdatascience.com/better-parallelization-with-numba-3a41ca69452e/ (дата обращения: 07.07.2021).

5. Siu Kwan Lam, Graham Markall, Davin Potts ContinuumIO numbapro-examples // Examples of Numba and Accelerate in use. [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/ContinuumIO/numbapro-examples (дата обращения: 06.07.2021).

6. Google Colaboratory Frequently Asked Questions 2021 // Colaboratory Frequently Asked Questions. [Электронный ресурс]. URL: https://research.google.com/colaboratory/faq.html (дата обращения: 14.07.2021).

7. Anaconda Inc, Numba documentation 2021 // Numba documentation. [Электронный ресурс] URL: http://numba.pydata.org/numba-doc/latest/ (дата обращения: 06.07.2021).

УДК 658.5:338.5

ВРЕМЯ И СТОИМОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

[1]Никируй А.Э., [1]Лымарь С.В., [2]Дроговоз П.А.

[1]ООО «НПЦ «АЛЬФА», Москва, e-mail: a.nikiruy@gmail.com;

[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, e-mail: drogovoz@bmstu.ru

В связи с необходимостью обеспечения высокой конкурентоспособности продукции опытного и мелкосерийного прецизионного производства описан способ расчета времени и стоимости изготовления деталей по предложенным параметрам, без необходимости наличия готовой электронной модели детали. Также описаны критерии, по которым можно определить возможность изготовления детали методом селективного лазерного спекания (технология Selective Laser Melting – SLM). В работе учитываются основные параметры, используемые при расчетах времени и стоимости изготовления деталей с возможными допущениями, которые несущественно влияют на точность расчетов или могут быть приняты как постоянные для любого вида применяемой технологий, и различными ограничениями, которые возможно регулировать в зависимости от поставленных задач и требований. Предлагается эффективный инструмент расчета времени и стоимости изготовления деталей методом селективного лазерного спекания, который позволяет принимать решения по используемым или требуемым параметрам проектируемой детали и способам организации опытного и мелкосерийного прецизионного производства на ранних этапах проектирования. Определение времени и стоимости изготовления деталей способом, описанным в работе, при верификации показало достаточно высокие результаты точности.

Ключевые слова: машиностроение, организация производства, мелкосерийное производство, прецизионное производство, опытное производство, аддитивные технологии, SLM, расчет времени изготовления деталей, расчет стоимости изготовления деталей

TIME AND COST OF MANUFACTURING PARTS BY SELECTIVE LASERING METHOD IN THE ORGANIZATION OF PRECISION PRODUCTION

[1]Nikiruy A.E., [1]Lymar S.V., [2]Drogovoz P.A.

[1]ALPHA Research & Manufacturing Co., Moscow, e-mail: a.nikiruy@gmail.com;

[2]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: drogovoz@bmstu.ru

To ensure high competitiveness of products of pilot and small-scale precision production, a method for calculating the time and cost of manufacturing parts according to the proposed parameters is described, without the need for a ready-made electronic model of the part. It also describes the criteria for determining the possibility of manufacturing a part by selective laser melting (technology SLM). The paper takes into account the main parameters used in calculating the time and cost of manufacturing parts with possible assumptions and various restrictions. Assumptions do not significantly affect the accuracy of calculations or can be taken as constants for any kind of applied technology. Restrictions can be adjusted depending on the tasks and requirements. An effective tool for calculating the time and cost of manufacturing parts by SLM is proposed, which allows making decisions on the parameters of the designed part and methods for organizing pilot and small-scale precision production at the early stages of design. Determining the time and cost of manufacturing parts by the method described in the work showed high accuracy results during verification.

Keywords: mechanical engineering, organization of production, small-scale production, precision production, prototyping, additive manufacturing, SLM, part manufacturing time calculation, part manufacturing cost calculation

В условиях рыночной экономики устойчивость малого и среднего бизнеса, а также больших промышленных предприятий обеспечивается возможностью создания наукоемкой продукции. С каждым годом растет значимость новых технологий и методов, поэтому спросом пользуется новая технологическая продукция, созданная в условиях конкурентной борьбы. Особое внимание руководители предприятий уделяют комплексным методам анализа современной научно-технической информации о новых видах и методах изготовления наукоемкой продукции, а их внедрение требует существенных финансовых затрат.

Эффективно принятое решение по применению одной или другой технологии на более ранних этапах проектирования в прецизионном производстве существенно уменьшит стоимость продукции от разработки до производства. Для минимизации стоимости производственных процессов необходимо иметь механизм, который позволит на ранних этапах определить стои-

мость изготовления деталей по выбранной технологии. Одной из таких технологий является метод селективного лазерного спекания (SLM), который является альтернативой для дополнения или замены прецизионных металлических деталей ввиду возможности воспроизвести сложную геометрию и придать необходимые свойства детали.

Критерии для выбора изготовления деталей методом SLM

При выборе технологии селективного лазерного спекания (SLM) для изготовления деталей можно руководствоваться следующими признаками / условиями:

1) изготовление единичного (разового) опытного образца или мелкосерийной партии;

2) изготовление деталей, у которых определенный коэффициент аддитивности [1];

3) необходимость наличия у детали внутренних полостей сложной геометрии (формы);

4) необходимость наличия у детали определенного направления волокон или кристаллических структур;

5) ограниченные габариты размером камеры оборудования.

Для обеспечения требуемого качества необходима подготовка материала для последующего изготовления детали, оптимизация параметров процесса изготовления и постобработка деталей [2, 3].

Описание технологии SLM

Общую схему процесса изготовления детали методом аддитивного производства – селективного лазерного плавления [4–6] – можно изобразить в виде последовательности следующих процессов (рис. 1).

В данной работе будет рассмотрен только расчет времени и стоимости процесса изготовления деталей на 3D-принтерах ввиду того, что его стоимость составляет более 70% от стоимости остального оборудования и процессов, необходимых для пре- и постобработки и без учета оборудования для прецизионной механической обработки.

Рассмотрим процесс изготовления изделий методом селективного лазерного спекания. В начале необходима 3D-модель детали, созданная в CAD-системе, подготовленная для изготовления методом SLM, включая проведение топологической оптимизации. Затем данная модель преобразуется, как правило, в формат STL и передается в производство. Далее, при помощи профильного программного обеспечения предварительной обработки, настраиваются различные параметры процесса спекания, такие как мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя, шаг штриховки. В данном ПО обработка заключается в делении 3D-модели детали на слои, в соответствии с заданным размером слоя, расчетом оптимального хода и последовательности спекания в зависимости от параметров материала и оптической системы, ориентации в камере печати и построении поддержек в зависимости от требований к детали. Получившийся файл передается в специальную систему 3D-принтера для селективного лазерного спекания.

Ввиду отсутствия полностью готовой электронной модели детали на ранних этапах проектирования здесь мы не будем рассматривать расчет стоимости проектирования деталей, в том числе из-за возможных различий во времени и качестве разрабатываемой детали для каждого предприятия. В работе были определены только основные параметры проектируемой детали, которые необходимы для дальнейших расчетов: предполагаемый материал, габариты (отдельно выделена высота); объем; количество; вид производства (опытное или мелкосерийное); сменность работы.

Рис. 1. Общая схема процесса изготовления деталей методом SLM

Выбор оборудования под габаритные размеры строительной платформы и максимальный путь перемещения за вычетом толщины строительной платформы определяют доступное пространство для изделий. Во время процесса построения деталь создается путем выборочного спекания последовательных слоев порошка, начиная от верхней поверхности платформы. После завершения спекания каждого слоя платформа опускается на предварительно заданную толщину слоя. Далее наносится новый слой порошка и выравнивается с помощью устройства для нанесения порошка. Затем лазер начинает сканирование и сплавление следующего слоя детали. У некоторых производителей 3D-принтеров после завершения спекания одного или нескольких слоев доступна опция очистки защитного стекла – это зависит от интенсивности загрязнения защитного стекла. Общая модель выбора оборудования описана в [7].

После завершения построения деталь на платформе достают из камеры и, при необходимости, подвергают термообработке для снятия внутренних напряжений, возникших в процессе спекания. Затем деталь снимают с платформы для выполнения последующих процессов постобработки. Как правило, в камере построения остается остаточный отработанный порошок, который удаляется с помощью пылесоса либо ссыпается в бункер для отработанного порошка. Затем отработанный порошок просеивается, и его можно многократно использовать повторно, периодически добавляя новый [2, 4].

На рис. 2 показана зависимость производительности изготовления изделий методом селективного лазерного спекания на 3D-принтере. Она зависит от следующих показателей:

а) свойств и размеров фракции металлического порошкового материала;

б) свойств лазера, его мощности и размера пятна луча;

в) скорости и качества нанесения слоя порошка;

г) скорости и качества очистки защитного стекла;

д) времени, затраченного на очистку камеры после одного сеанса;

е) время на подготовку камеры к сеансу (процедуре).

Расчет времени изготовления детали методом SLM

Объемную скорость спекания можно определить по формуле

$$V_v = v \times s \times h,$$

где V_v – объемная скорость спекания; v – скорость сканирования лучом; s – шаг штриховки; h – толщина слоя.

Время спекания

$$t_c = v / V_v,$$

где t_c – время спекания; V – объем детали.

Рис. 2. Влияние параметров на производительность изготовления изделий методом селективного лазерного спекания (SLM)

Дополнительное время работы 3D-принтера во время процесса спекания:

$$t_д = \frac{H}{h}\left(\frac{\tau_о}{n} + \tau_н\right),$$

где $t_д$ – дополнительное время работы 3D-принтера во время спекания; H – высота детали, $\tau_о$ – время очистки стекла, n – количество проходов без очистки, $\tau_н$ – время нанесения слоя порошка.

Общее время спекания

$$t_{ос} = V / V_v + \frac{H}{h}\left(\frac{\tau_о}{n} + \tau_н\right).$$

Скорость сканирования указана производителем оборудования в перечне характеристик как максимальная. В нее не входит дополнительное время, что необходимо отдельно учитывать, так как оно влияет на скорость изготовления детали. Необходимо также учитывать, что деталь при максимальных режимах спекания и скорости сканирования не будет соответствовать заданным требованиям качества, учитывая, что здесь рассматривается максимально возможная степень точности изготовления деталей.

Для определения параметра скорости сканирования необходимо учитывать, что более высокое воздействие тепла на единицу длины может эффективно минимизировать количество пор плавления. Для уменьшения пористости и отсутствия дефектов плавления необходимо управление параметрами процесса спекания, такими как плотность мощности на единицу объема материала, мощность лазера, скорость сканирования и толщина слоя. Необходимо также учитывать размер фракции порошка: чем она меньше, тем меньше шероховатость поверхности, но это не определяет лучшую структуру материала. Минимизация размера фракции и увеличение плотности порошка, минимизация шага штриховки [8] и толщины слоя не всегда позволяет получить более качественную поверхность [9]. Сравнение качества обрабатываемой поверхности и материала при селективном лазерном спекании описаны в [10].

Скорость сканирования и мощность лазера указываются производителем оборудования в перечне характеристик. Для каждого материала, габаритов и формы детали технолог подбирает параметры, такие как скорость сканирования, толщина слоя и шаг штриховки, индивидуально. В большинстве случаев при однолучевом режиме работы мощность лазера ограничивает допустимую скорость сканирования.

Здесь мы будем руководствоваться уже подобранными параметрами штриховки и толщины слоя под заданный материал ввиду самых высоких требований по качеству структуры материала, шероховатости поверхности и в целом степени точности. Учитывались физические параметры: теплопроводность сплава, средняя удельная теплоемкость элементов сплава, при разных температурах, коэффициент термического расширения и другие характеристики. Подбор режимов плавления проводили путем моделирования воздействия лазерного излучения на частицу размером 30x30x30 мкм с переменными показателями мощности и скорости движения луча в программе 3DPOptimizator, разработанной на предприятии. Оптимальный режим лазерного спекания достигается при минимальной отраженной интенсивности излучения расплавленным материалом и минимизации образования плазмы. В том числе можно установить в программе температуру подложки. При расчете подбирается оптимальный режим облучения с точки зрения производительности/качества проплавления. Таким образом можно рассчитать оптимальные режимы по другим материалам.

Количество необходимого порошка рассчитывается по объему детали и кажущейся плотности материала, прибавляя не более 20% от объема детали на поддержки. В том числе необходимо учитывать потери порошка при извлечении готовых деталей с камеры. Минимальные потери составляют около 60 г, и они зависят от типа конструкции оборудования. Объем необходимого порошка рассчитывается исходя из объема, равного площади зоны построения конкретной установки, помноженной на высоту самой высокой детали с учетом поддержек. В том числе необходимо учитывать потери порошка на заполнение технологических пустот, а также расчетный избыток для каждого слоя.

Для расчета дополнительного времени работы 3D-принтера во время спекания необходимо учитывать время очистки стекла. Чем больше среднеарифметическая площадь слоя для конкретного построения, тем чаще необходимо выполнять очистку защитного стекла, что существенно влияет на время изготовления детали. Так как мы определили среднестатистические параметры для изготовления детали, соответственно им примем время очистки стекла от 5 до 15 с, а время нанесения слоя порошка – от 8 до 12 с, в зависимости от размера камеры. Существуют также операции очистки оборудования от порошка, но в данном случае здесь такая операция

не учитывается, и она отсутствует в данном расчете. Время было определено статистически на некоторых видах оборудования в производстве.

Вспомогательное время изготовления деталей методом лазерного спекания разделяется на время подготовки оборудования и обязательной постобработки и выражается в виде

$$t_{вс} = t_{пр} + t_{пс},$$

где $t_{пр}$ – подготовки оборудования; $t_{пс}$ – постобработки детали.

Время подготовки оборудования складывается из продувки камеры инертным газом, подогрева и остывания камеры, замены расходных комплектующих. Продувка камеры, остывание камеры, установка и изъятие платформы составляют от 25 мин. Вспомогательное время подготовки оборудования к работе $t_{пм}$ состоит из времени просеивания металлического порошка и загрузки порошка в бункер и составляет от 30 мин. Время было определено статистически в производстве.

Время постобработки включает снятие детали с платформы, удаление поддержек, галтовку, пескоструйную обработку, термообработку и механическую обработку некоторых поверхностей и составляет 15% от общего времени спекания $t_{ос}$. Время было определено статистически в производстве. По сравнению с единичным изготовлением детали время изготовления партии деталей суммарно будет уменьшаться. Но время спекания и постобработки на операции снятия деталей с платформы, удаления поддержек и механической обработки некоторых поверхностей будет возрастать.

Время, затраченное на изготовление опытной детали:

$$t_{под} = t_{ос} * n + t_{д} / n + t_{вс} + t_{пм} * \frac{V_{об}}{V_{мд}}.$$

Время, затраченное на изготовление детали при мелкосерийном производстве:

$$t_{пмд} = t_{ос} * n + t_{д} / n + t_{вс} + t_{пм} * \frac{V_{об}}{\left(V + V_{пд}\right) * n + V_{по}}.$$

где n – количество деталей, изготовленных в день (зависит от количества смен и времени простоя), $V_{мд}$ – объем порошка на деталь; $V_{об}$ – объем бункера; $V_{по}$ – количество порошка после режима сканирования, которое невозможно использовать в дальнейшем производственном цикле и которое уходит в утилизацию или переработку, и составляет от 60 г; $V_{пд} = V \times 0{,}2$ – количество порошка, используемого на поддержки.

Расчет стоимости изготовления детали методом SLM

Ранее рассматривались различные подходы к расчету стоимости производства деталей методом аддитивных технологий [2, 11] и, в частности, методом SLM [5, 12, 13], где учитывают такие показатели, как время, стоимость материала, настройка оборудования, эксплуатационные расходы, стоимость рабочей силы, производственные накладные расходы, стоимость постобработки и т.д. Также рассматривались перспективы развития данной технологии и ее сравнение по стоимости с другими технологиями изготовления деталей [6, 14].

В данной работе разделены затраты на зависящие от выработки, не зависящие от выработки и единовременные. Дополнительные параметры для расчета переменных затрат, зависящие от выработки по изготовлению детали, которые возможно распределить на определенное количество однотипных деталей, это вспомогательное время работы оборудования и время подготовки материала. Основные параметры для расчета затрат, зависящих от выработки по изготовлению детали, которые непосредственно рассчитываются по времени изготовления, состоят из основного времени работы оборудования (обработки) $t_{об}$ и стоимости нормо-часа работы станка и рассчитываются как комбинация двух способов списания стоимости пропорционально объёму продукции (работ) и по сумме чисел лет срока полезного использования.

Суммарная стоимость изготовления детали:

$$C_{д\Sigma} = C_{дст} + C_{дсз} + C_{дм} + C_{нед},$$

где $C_{дст}$ – стоимость изготовления детали с учетом амортизации станка; $C_{дсз}$ – стоимость изготовления детали с учетом сменных комплектующих и материалов и запасных частей; $C_{дм}$ – затраты, зависящие от выработки на одну деталь (стоимость порошкового материала, затраченной электроэнергии и сменных и расходных материалов, в данном случае инертный газ, фонд оплаты труда (ФОТ) основного и вспомогательного рабочего персонала); $C_{нед}$ – затраты, не зависящие от выработки продукции (аренда, прочие непроизводственных расходы, кредит и т.д.).

Результаты исследования и их обсуждение

Описанный выше способ позволяет на ранних этапах проектирования, используя только основные параметры детали, определять время и стоимость изготовления дета-

лей, без необходимости полной проработки 3D-модели. В том числе при использовании данного способа возможны изменения параметров детали, изменение ограничений по оборудованию и сменности работы. Верификация способа расчета времени изготовления деталей позволяет с точностью 8% предсказать необходимое время изготовления детали.

Данная работа позволяет обеспечить инструментом прецизионное машиностроение, в котором возможно использование метода селективного лазерного спекания (SLM). Данный метод является дополнением или заменой других технологий, используемых в прецизионном машиностроении, ввиду возможности воспроизвести сложную геометрию и придать необходимые свойства детали, изготовляемой из металлических материалов.

Необходимо описание способов расчета времени и стоимости изготовления деталей по другим технологиям и методикам для возможности их сравнения и принятия эффективных решений по организации прецизионного опытного и мелкосерийного производства.

Заключение

Дороговизна изготовления деталей связана с необходимостью отработанных технологических процессов на оборудовании для разных материалов и конструкций, применяемых конкретно для определенного типа производства. Данный способ обеспечивает принятие решения по временным и стоимостным параметрам изготовления опытных образцов и мелкой серии.

Стоит отметить, что с помощью применения данного способа определения времени и стоимости изготовления деталей уменьшается стоимость процесса организации производства опытных образцов и мелкосерийного производства, что существенно влияет на конечную стоимость и принятие решений по дальнейшей разработке изделия при проведении НИР и ОКР.

Список литературы

1. Федосеев Д.В., Козляков П.Ю., Попарецкий А.В., Стариков Р.А. Отбор деталей ГТД для изготовления с помощью аддитивных технологий // Аддитивные технологии. 2020. Т. 4. С. 20–23.

2. Leach R.K., Carmignato S., Ayas C., Baier M., Baumers M., Blateyron F., Butler D., Charles A., Colosimo B.M., Dutton B., Elkaseer A., Gilbert D., Grasso M., Hattel J.H., Langelaar M., Mohanty S., Moylan S., Newton L., Ranjan R., Sbettega E., Scholz S.G., Senin N., Amrozia S., Bethan S., Keulen F. van, Wilson V., Woolliams P., Filippo Z. Precision metal additive manufacturing. First / Под ред. Leach R.K., Carmignato S. Boca Raton, FL: CRC Press, 2020. 404 с.

3. Niebling F. Qualifizierung einer Prozesskette zum Laserstrahlsintern metallischer Bauteile Bericht / Под ред. Geiger M., Feldmann K.– Erlangen-Eltersdorf, Deutschland: Meisenbach Verlag Bamberg, 2005. 162 с.

4. Klahn C., Meboldt M., Fontana F., Leutenecker-Twelsiek B., Jansen J. Entwicklung und Konstruktion für die Additive Fertigung. 2. Auflage. Würzburg, Deutschland: Vogel Communications Group GmbH & Co, 2021. 225 с.

5. Rudolph J.P., Emmelmann C. A Cloud-based Platform for Automated Order Processing in Additive Manufacturing. Procedia CIRP. The Author(s). 2017. Т. 63. P. 412–417.

6. Barroqueiro B., Andrade-Campos A., Valente R.A.F., Neto V. Metal additive manufacturing cycle in aerospace industry: A comprehensive review. J. Manuf. Mater. Process. 2019. Т. 3. no. 3. P. 1–21.

7. Никируй А.Э., Дроговоз П.А. Методика выбора оборудования при организации опытного производства в машиностроении // Технология машиностроения. Экономика машиностроения, организация производства. 2021. № 9. С. 46–51.

8. Kruth J.P., Deckers J., Yasa E., Wauthlé R. Assessing and comparing influencing factors of residual stresses in selective laser melting using a novel analysis method. Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf. 2012. Т. 226. no. 6. P. 980–991.

9. Leutenecker-Twelsiek B. Additive Fertigung in der industriellen Serienproduktion: Bauteilidentifikation und Gestaltung. ETH Zürich, 2009. 209 с.

10. DebRoy T., Wei H.L., Zuback J.S., Mukherjee T., Elmer J.W., Milewski J.O., Beese A.M., Wilson-Heid A., De A., Zhang W. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. Prog. Mater. Sci. 2018. Т. 92. P. 112–224.

11. Kadir A.Z.A., Yusof Y., Wahab M.S. Additive manufacturing cost estimation models—a classification review // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2020. Т. 107. no. 9–10. P. 4033–4053.

12. Щербаков А.В., Рыбкин М.А., Аристов В., Николаева Н.Ю. Себестоимость изделий, изготовленных методом селективного лазерного спекания // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 11. С. 146–148.

13. Piili H., Happonen A., Väistö T., Venkataramanan V., Partanen J., Salminen A. Cost estimation of laser additive manufacturing of stainless steel. Phys. Procedia. Elsevier B.V., 2015. Т. 78. August. P. 388–396.

14. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Электронный журнал «Труды МАИ». 2014. Т. 78. С. 1–22.

УДК 62-137

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

[1]Паранук А.А., [2]Меретуков М.А., [1]Величко Е.И., [2]Кохужева Р.Б., [1]Румянцев С.В., [1]Субочев О.Г.

[1]ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: rambi.paranuk@gmail.com;

[2]ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», Майкоп

В работе предлагается математическая модель и методика определения неисправности по результатам вибродиагностики (анализ виброграмм). Авторами предложен новый подход к проблеме диагностики центробежного насосного оборудования нефтегазового комплекса. В основе предложенной модели и методики заложены физические основы взаимодействия подвижных элементов, к которым можно отнести вал и подшипники (качения и скольжения), а также в данных моделях учитываются гидродинамические характеристики масляного слоя на границе контакта вала с подшипником. В рамках данной работы приводится полное описание основных узлов насосного оборудования. Приведен анализ основных видов неисправностей, с которыми сталкиваются специалисты, которые занимаются эксплуатацией центробежного насосного оборудования. Установлены основные требования, предъявляемые к существующим математическим моделям и методикам. Данная работа является своего рода обзором предлагаемой модели и методики с непосредственным описанием основополагающих выражений и методов, включающих предлагаемое решение. Для правильной постановки диагноза исследуемого оборудования авторами применен вероятностно-статистический метод принятия решения (метод Байеса), который имеет обширную базу применения в различных отраслях науки и техники, а также широко применяется в рамках технической диагностики и неразрушающих методов контроля оборудования.

Ключевые слова: вибрация, дефекты, нагрев подшипников, математические модели, вибродиагностика, виброграммы, нарушения гидродинамики потока

DEVELOPMENT OF VIBRODIAGNOSTICS METHODOLOGY FOR CENTRIFUGAL PUMPING UNITS FOR THE OIL AND GAS COMPLEX

[1]Paranuk A.A., [2]Meretukov M.A., [1]Velichko E.I., [2]Kokhuzheva R.B., [1]Rumyantsev S.V., [1]Subochev O.G.

[1]Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: rambi.paranuk@gmail.com;

[2]Maykop State Technological University, Maykop

This paper proposes a mathematical model and a method for determining a malfunction based on the results of vibration diagnostics (analysis of vibrograms). The authors proposed a new approach to the problem of diagnostics of centrifugal pumping equipment in the oil and gas complex. The proposed model and technique are based on the physical foundations of the interaction of moving elements, which include the shaft and bearings (rolling and sliding), and these models also take into account the hydrodynamic characteristics of the oily layer at the boundary of the contact between the shaft and the bearing. Within the framework of this work, a complete description of the main components of the pumping equipment is provided. An analysis of the main types of malfunctions faced by specialists who operate centrifugal pumping equipment is presented. The basic requirements for the existing mathematical models and techniques have been established. This work is a kind of overview of the proposed model and methodology, with a direct description of the underlying expressions and methods, including the proposed solution. For the correct diagnosis of the equipment under study, the authors applied the probabilistic-statistical method of decision-making (Bayesian method), which has an extensive application base in various branches of science and technology, and is also widely used in the framework of technical diagnostics and non-destructive methods of equipment control.

Keywords: vibration, defects, heating of bearings, mathematical models, vibration diagnostics, vibrograms, violations of flow hydrodynamics

Исследования центробежного насосного оборудования нефтегазовой промышленности России выявили основные виды неисправности, с которыми повсеместно сталкиваются специалисты отрасли. Для своевременного предупреждения и правильной индикации неисправностей, которые возникают в насосных агрегатах непосредственно при эксплуатации, необходимо совершенствовать существующие методы анализа и математические модели для определения дефектов насосного оборудования по результатам вибродиагностики. В частности, разрабатываемые математические модели должны быть более совершенны, в них необходимо учитывать физические основы взаимодействия подвижных элементов, к которым можно отнести вал и подшипники (качения и скольжения), а также в данных моделях учитываются гидродинамические характеристики масляного слоя на границе контакта вала с подшипником [1].

Самыми распространёнными неисправностями насосного оборудования являются:

– нарушения соосности валов;
– нарушения жесткости опорной системы;
– дефекты подшипников скольжения;
– дефекты подшипников качения;
– нарушения гидродинамики потока;
– вибрация электрических машин электромагнитного происхождения.

Анализ источников, посвященных проблеме обнаружения неисправности подшипников качения насосного оборудования, позволил выявить самые распространённые, которые в большей степени встречаются в эксплуатационных условиях нефтегазового комплекса. Выделим, что неисправности подшипниковых узлов могут быть связаны со спаренными подшипниками (радиальными и радиально-упорными) при условии неработоспособности обоих.

При анализе подшипника качения обнаружено, что основные узлы и детали подшипников могут иметь цвета побежалости, и особенно они ярко выражены на обоймах и шариках, трещины и вырывы, а также, возможно, некоторые шарики могут быть расколоты.

Следующий вид неисправности проявляет себя при работе насоса: индикатором данной неисправности является вибрация насоса, которая может сопровождаться постукиванием в подшипнике, а также возможен нагрев. Основной причиной анализируемой неисправности является выработка ресурса сепаратора одного из подшипников (либо обоих) или выработка посадочного место подшипника в картере.

Другой вид неисправности спаренных радиально-упорных подшипников появляется тогда, когда подшипник рассыпался. При этом ротор получил свободное осевое перемещение, и насос начал сильно вибрировать. Электропривод насоса отключился из-за перегрузки [1].

В случаях, когда подшипник сильно греется и насос вибрирует, как следствие, его перегрузка может привести к отключению электропривода [1]. Причиной, которая могла повлечь появление данной неисправности, является проворот внутренней обоймы подшипника на валу.

Нагрев подшипников и вибрация насоса указывают па полный или частичный выход из строя подшипников, и поэтому требуется немедленное выключение насоса [1, 2].

Для правильного определения неисправности исследуемого насосного оборудования необходима разработка более совершенных моделей, использующих штатные системы мониторинга и вибродиагностики и позволяющих прогнозировать возможные неисправности и повреждения деталей и узлов, опирающиеся на статистические модели оценки неисправности конкретного узла или детали исследуемого насосного оборудования.

Цель исследования – совершенствование математической модели и методики диагностики неисправностей насосного оборудования для нефтегазового комплекса.

Материалы и методы исследования

Материалы и методы исследования – математическое моделирование и вероятностно-статистические методы принятия решений при анализе неисправности насосного оборудования.

Авторская методика вибродиагностического исследования

центробежного насосного агрегата

Авторами в работах [3, 4] предлагается оригинальная модель, которая включает в себя все необходимые элементы, которые позволяют оценить неисправность насосного оборудования по результатам вибродиагностики (виброграммы).

Основополагающим в предложенной модели является характеристическое (векторное) уравнение [3, 4]:

$$\left(-m_1\omega^2+k_1+k_2\right)(-m_2\omega^2+k_1+k_2)(-m_3\omega^2+k_3)-k^2{}_2(-m_3\omega^2+k_3)-k^2{}_3(-m_1\omega^2+k_1+k_2)=0\,,(1)$$

где m_1, m_2, m_3 – масса корпуса, вала, подшипника; ω – частота, измеряемая вибрографом; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты жесткости корпуса, вала, подшипника соответственно.

Из выражения (1) при преобразованиях и раскрытии скобок можно получить уравнение третьей степени вида

$$(x-\omega_1{}^2)(x-\omega_2{}^2)(x-\omega_3{}^2)=x^3+ax^2+bx+c=0, \qquad (2)$$

Для решения выражения (2) произведем преобразования путем замены переменной $x = \omega^2$ [2, 3]:

$$-\omega_1{}^2-\omega_2{}^2-\omega_3{}^2=a=-\left(\frac{k_2+k_3}{m_2}+\frac{k_1+k_2}{m_1}+\frac{k_3}{m_3}\right), \qquad (3)$$

$$\omega_1^2\omega_2^2+\omega_2^2\omega_3^2+\omega_1^2\omega_3^2=b=\left(\frac{(m_1+m_2+m_3)k_2k_3}{m_1m_2m_3}+\frac{(m_2+m_3)k_1k_3}{m_1m_2m_3}+\frac{k_1k_2}{m_1m_2}\right), \quad (4)$$

$$-\omega_1^2\omega_2^2\omega_3^2=c=-\frac{k_1k_2k_3}{m_1m_2m_3}. \quad (5)$$

Тогда получим $y=x+\frac{a}{3}$, выражение (3) принимает вид $y^3+py+q=0$, где $p=-\frac{a^2}{3}+b;\ q=2\left(\frac{a}{3}\right)^3-\frac{ab}{3}+c.$

Проверим условие $Q=\left(\frac{p}{3}\right)^3+\left(\frac{q}{2}\right)^2<0$.

Это так называемый «неприводимый случай», в котором формулы Кардано для корней кубического уравнения могут иметь следующие (тригонометрические) представления [4]:

$$y_1=2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\frac{\alpha}{3}, \quad (6)$$

$$y_2=2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}+\frac{2\pi}{3}\right);$$

$$y_3=2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}+\frac{2\pi}{3}\right), \quad (7)$$

$$\cos\alpha=-\frac{q}{2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)^3}}. \quad (8)$$

Из выражений (6)–(8) при условиях, что $p<0$ и $Q<0$, которые равносильны тому, что $|\cos\alpha|<1$, случай $Q=0$, то есть $\cos\alpha=1$ [3, 4]. Тогда выражения (6)–(8) примут вид [2–4]:

$$\omega^2{}_1=-\frac{\grave{a}}{3}+2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\frac{\alpha}{3}, \quad (9)$$

$$\omega^2{}_2=-\frac{\grave{a}}{3}+2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}+\frac{2\pi}{3}\right), \quad (10)$$

$$\omega^2{}_3=-\frac{\grave{a}}{3}+2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}-\frac{2\pi}{3}\right). \quad (11)$$

Для выражений (9)–(11) принимаем

$$\alpha=\arccos\left(-\frac{q}{\sqrt[2]{-\left(\frac{p}{3}\right)^3}}\right)$$

с учетом интервала $0<\alpha<\pi$, для общего сведения тригонометрическое представление корней имеет вид

$$y_{1,2,3}=2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\left(\alpha\pm 0,\frac{2\pi}{3}\right).$$

Это проверяется непосредственной подстановкой и использованием тождества $cos^3x=\frac{1}{4}(cos3x+3cosx)$.

Тогда $\cos\alpha=-\frac{q}{2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)^3}}<1,$

то есть $\left(\frac{q}{2}\right)^2<\left(-\frac{p}{3}\right)^3$, при $Q<0$.

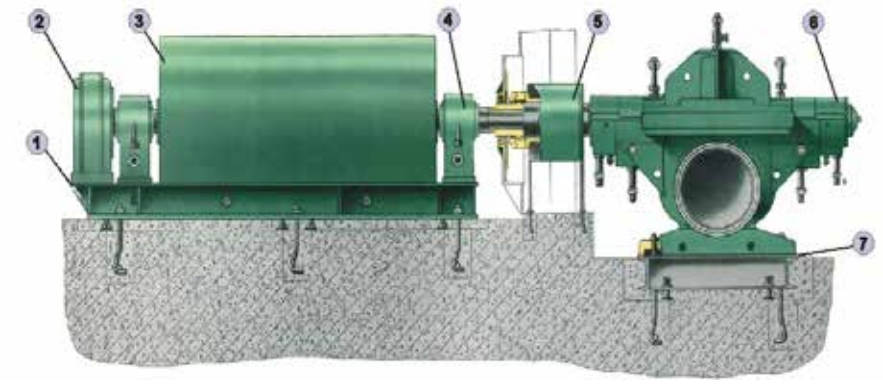
Случай же $Q=0$, то есть $\cos\alpha=1$, то $\alpha=0$ и $y_2=y_3=2\sqrt{-\frac{p}{3}}\cos\frac{2\pi}{3}$. Это кратность корней вырождения [4].

Сущность предложенной модели заключается в отслеживании изменений по результатам вибродиагностики (виброграмм), а также определений k_1,k_2 и k_3 – жесткости упругих соединений для насосного оборудования [3, 5]. Схема насосного агрегата приводится на рисунке, где отмечены основные узлы и детали, которые необходимо диагностировать и определять неисправности, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации.

Данные критериальные коэффициенты (k_1,k_2 и k_3) характеризуют определенный узел насосного оборудования, и по изменению их значения возможно определение неисправности в данном узле насосного агрегата.

В работах [2, 3] дается более полное описание и разъяснение физического смысла данных критериев, поэтому в данной работе мы их приводить не будем.

Для правильной постановки диагноза необходимо применить один из методов распознавания. Одним из самых распространённых методов распознавания является метод Байеса, который позволяет поставить правильный диагноз неисправности насосного оборудования. При анализе методов технической диагностики стоит особо выделить метод Баейса, который в полной мере позволяет через свое основное уравнение определить вероятность наступления определенного события благодаря анализу косвенных параметров (данных) [6].



Центробежный насосный агрегат:
1) рама электродвигателя; 2) возбудитель; 3) электродвигатель;
4) подшипник электродвигателя; 5) муфта; 6) насос; 7) фундамент

Анализируя сопутствующие косвенные (критериальные) признаки по формуле (12), вычисляем вероятность подтверждения данного диагноза.

В основу метода Байеса положено уравнение

$$P\left(\frac{D_i}{K_j}\right) = P(D_i)\cdot P\left(\frac{K_j}{D_i}\right) \div P\left(K_j\right), \quad (12)$$

где i – данная гипотеза; D_i – диагноз; $P\left(\frac{D_i}{K_j}\right)$ – вероятность диагноза D_i после того как стало известно K_j (апостериорная вероятность диагноза); K_j – признак, встречающийся при диагнозе D_i; $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i, полученная по статистическим данным; $P\left(\frac{K_j}{D_i}\right)$ – вероятность появления признака K_j у насоса с состоянием D_i; полная вероятность, т.е. вероятность наступления признака K_j с любой из гипотез. Следующий этап – это построение диагностической матрицы. По признакам $P\left(\frac{K_j}{D_i}\right)$ была обработана статистическая информация по повреждениям насосного оборудования исследуемого объекта [5, 6].

Рассмотрим метод Байеса на примере исследования вероятности возникновения различных состояний неисправности, которые сопряжены с сигнализирующими о них признаками.

При анализе центробежного насосного оборудования нефтегазового комплекса можно выделить неисправности подшипников качения. Неисправности подшипников качения характеризуются двумя признаками: K_1 – сокращенный выбег ротора двигателя и K_2 – увеличенная вибрация двигателя. Данные признаки при проявлении свидетельствуют о заклинивании тел качения подшипника из-за ухудшения условий смазки (состояние D_1), либо касанием ротора о корпус двигателя из-за интенсивной раскатки наружной обоймы (состояние D_2), либо с исправным состоянием (состояние D_3).

Для определения состояния (постановка диагноза) центробежного насосного оборудования при возможных сочетаниях признаков.

Таблица 1

Исходные данные вероятностей состояний насосов при различных признаках

$P\left(\frac{K_1}{D_1}\right)$	$P\left(\frac{K_2}{D_1}\right)$	$P\left(\frac{K_1}{D_2}\right)$	$P\left(\frac{K_2}{D_2}\right)$	$P\left(\frac{K_1}{D_3}\right)$	$P\left(\frac{K_2}{D_3}\right)$	$P(D_1)$	$P(D_2)$	$P(D_3)$
0,37	0,19	0,33	0,14	0,07	0,00	0,18	0,30	0,52

Таблица 2

Вероятности признаков и априорные вероятности состояний исследуемого центробежного насосного агрегата

D_i	$P\left(\frac{K_1}{D_i}\right)$	$P\left(\frac{\overline{K_1}}{D_i}\right)$	$P\left(\frac{K_2}{D_i}\right)$	$P\left(\frac{\overline{K_2}}{D_i}\right)$	$P(D_i)$
D_1	0,38	0,62	0,19	0,81	0,18
D_2	0,33	0,67	0,14	0,86	0,30
D_3	0,07	0,93	0,00	1,00	0,52

1. Сведем исходные данные в диагностическую таблицу (табл. 2). При этом вероятности отсутствия признаков $P\left(\frac{\overline{K_j}}{D_i}\right)$ вычислим по формуле

$$P\left(\frac{\overline{K_j}}{D_i}\right)=1-\left(\frac{K_j}{D_i}\right). \qquad (13)$$

2. Находим вероятностное состояние для исследуемого центробежного насосного агрегата, при условии проявления признака $P\left(\frac{D_i}{K_1K_2}\right)$. При выполнении условия, что все признаки независимые, вычислим вероятность состояния D_1 при условии выполнения признаков K_1 и K_2 согласно формуле

$$P\left(\frac{D_i}{K^*}\right)=\frac{P(D_i)\cdot P\left(\frac{K^*}{D_i}\right)}{\sum_{i=1}^{n}P(D_i)\cdot P\left(\frac{K^*}{D_i}\right)}. \qquad (14)$$

В выражении (14) $P\left(\frac{D_i}{K^*}\right)$ – вероятность (апостериорная) диагноза D_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K^*; $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза; $P\left(\frac{K^*}{D_i}\right)$ – вероятность появления (или отсутствия) комплекса признаков K^* в состоянии D_i.

$$P\left(\frac{D_1}{K_1K_2}\right)=\frac{0,18\cdot 0,38\cdot 0,19}{0,18\cdot 0,38\cdot 0,19+0,3\cdot 0,33\cdot 0,14+0,52\cdot 0,07\cdot 0}=0,48.$$

Тогда получим

$$P\left(\frac{D_2}{K_1K_2}\right)=\frac{0,3\cdot 0,33\cdot 0,14}{0,18\cdot 0,38\cdot 0,19+0,3\cdot 0,33\cdot 0,14+0,52\cdot 0,07\cdot 0}=0,51,$$

$$P\left(\frac{D_3}{K_1K_2}\right)=\frac{0,52\cdot 0,07\cdot 0}{0,18\cdot 0,38\cdot 0,19+0,3\cdot 0,33\cdot 0,14+0,52\cdot 0,07\cdot 0}=0.$$

3. Для определения вероятностного состояния подшипника качения, при обследовании установлено, что сокращенного выбега ротора двигателя не наблюдается (признак K_1 отсутствует), но увеличивается вибрация двигателя (признак K_2 наблюдается).

$$P\left(\frac{D_1}{\overline{K_1}K_2}\right)=\frac{0,18\cdot 0,62\cdot 0,19}{0,18\cdot 0,62\cdot 0,19+0,3\cdot 0,67\cdot 0,14+0,52\cdot 0,93\cdot 0}=0,42.$$

Тогда

$$P\left(\frac{D_2}{\overline{K_1}K_2}\right)=\frac{0,3\cdot 0,67\cdot 0,14}{0,18\cdot 0,62\cdot 0,19+0,3\cdot 0,67\cdot 0,14+0,52\cdot 0,93\cdot 0}=0,57,$$

$$P\left(\frac{D_3}{\overline{K_1}K_2}\right)=\frac{0,52\cdot 0,93\cdot 0}{0,18\cdot 0,62\cdot 0,19+0,3\cdot 0,67\cdot 0,14+0,52\cdot 0,93\cdot 0}=0.$$

4. Получим вероятности состояний центробежного насосного агрегата, когда признак K_1 наблюдается, а признак K_2 – отсутствует;

$$P\left(\frac{D_1}{K_1\overline{K_2}}\right)=\frac{0,18\cdot 0,38\cdot 0,81}{0,18\cdot 0,38\cdot 0,81+0,3\cdot 0,33\cdot 0,86+0,52\cdot 0,07\cdot 1}=0,3\,.$$

По аналогии:

$$P\left(\frac{D_2}{K_1\overline{K_2}}\right)=\frac{0,3\cdot 0,33\cdot 0,86}{0,18\cdot 0,38\cdot 0,81+0,3\cdot 0,33\cdot 0,86+0,52\cdot 0,07\cdot 1}=0,47\,,$$

$$P\left(\frac{D_2}{K_1\overline{K_2}}\right)=\frac{0,52\cdot 0,07\cdot 1}{0,18\cdot 0,38\cdot 0,81+0,3\cdot 0,33\cdot 0,86+0,52\cdot 0,07\cdot 1}=0,2\,.$$

5. Для вычисления вероятностей состояния центробежного насосного агрегата при отсутствии обоих признаков K_1 и K_2 получим следующие результаты:

$$P\left(\frac{D_1}{\overline{K_1}\,\overline{K_2}}\right)=\frac{0,18\cdot 0,62\cdot 0,81}{0,18\cdot 0,62\cdot 0,81+0,3\cdot 0,67\cdot 0,86+0,52\cdot 0,93\cdot 1}=0,12\,.$$

По аналогии:

$$P\left(\frac{D_2}{\overline{K_1}\,\overline{K_2}}\right)=\frac{0,3\cdot 0,67\cdot 0,86}{0,18\cdot 0,62\cdot 0,81+0,3\cdot 0,67\cdot 0,86+0,52\cdot 0,93\cdot 1}=0,23\,,$$

$$P\left(\frac{D_3}{\overline{K_1}\,\overline{K_2}}\right)=\frac{0,52\cdot 0,93\cdot 1}{0,18\cdot 0,62\cdot 0,81+0,3\cdot 0,67\cdot 0,86+0,52\cdot 0,93\cdot 1}=0,64\,.$$

Запишем вычисленные вероятности в диагностическую матрицу (табл. 3).

Таблица 3

Диагностическая матрица центробежного насосного агрегата

D_i	$P\left(\frac{D_i}{K_1K_2}\right)$	$P\left(\frac{D_i}{\overline{K_1}K_2}\right)$	$P\left(\frac{D_i}{K_1\overline{K_2}}\right)$	$P\left(\frac{D_i}{\overline{K_1}\,\overline{K_2}}\right)$
D_1	0,48	0,42	0,3	0,12
D_2	0,51	0,57	0,47	0,23
D_3	0,00	0,00	0,2	0,64

6. При анализе результатов определено, что при появлении признаков K_1 и K_2 (сокращенный выбег ротора двигателя и увеличенная вибрация двигателя) у исследуемого объекта (центробежного насосного агрегата) в подшипниках качения вероятность наступления состояния D_1 и D_2 (заклинивание тел качения подшипника из-за ухудшения условий смазки и касание ротора о корпус двигателя из-за интенсивной раскатки наружной обоймы) установлено, что значение равны (0,48 и 0,51). В таких случаях очень часто проводят дополнительное обследование для точного определения состояния подшипника качения. При условии невыполнения обоих признаков очень часто исправное состояние D_3 соответствует вероятности, равной 0,64.

При отсутствии признака K_1 и наличия признака K_2 с вероятностью 0,57 имеется событие D_2 (касание ротора о корпус двигателя из-за интенсивной раскатки наружной обоймы). При отсутствии признака K_2 и наличия признака K_1 с вероятностью 0,47 имеется событие D_2.

7. Ранжируем состояние D_i по степени опасности.

В нашем случае последовательность состояний такова: $D_2 - D_1 - D_3$.

Отсюда назначаем последовательность проверок:

– проверяется $\overline{K}_1$ и K_2;

– проверяется K_1 и K_2;

– проверяется $\overline{K}_1$ и $\overline{K}_2$.

Отметим, что для определения априорной вероятности $P(D_j)$ определяется закон распределения отказов. Отметим, что в основе теории надежности нефтегазового оборудования возможно применение закона распределения случайной величины.

К примеру: 1) нормальный закон распределения; 2) закон распределения Вейбулла; 3) экспоненциальный закон

Кроме этого, можно воспользоваться следующими методами для определения закона распределения случайной величины:1) определение закона распределения по статистическим данным наработки на отказ погружных агрегатов; 2) приближенный способ оценки при отсутствии статистической информации [4, 6, 7].

После получения предварительного диагноза применяем один из методов параметрической диагностики (акустические методы; тепловые методы; трибодиагностика; радиография; магнитопорошковый метод; вихретоковый метод; ультразвуковой контроль) для проверки правильности поставленного диагноза. Если диагноз подтверждается инструментальными методами, то приступаем к устранению неисправности насосного оборудования. Если диагноз не подтверждается, то выбираем второй, третий и четвертый диагноз согласно матрице и проверяем каждый [8, 9]. Преимуществами предложенной методики является полная автоматизация и ее адаптация непосредственно под любой вид роторного оборудования, а также высокая степень определения правильного диагноза, которая вместе с параметрическими методами проверки диагноза позволяет достигнуть 95%.

Исследование насосного оборудования по разработанной методике имеет определенные преимущества перед существующими методами вибродиагностики и позволяет использовать разработанную математическую модель как экспертную систему выявления неисправностей роторного оборудования (насосные агрегаты, газоперекачивающие агрегаты).

В рамках данной работы предложена новая концепция анализа данных, получаемых методами вибродиагностики (оценкой виброграмм).

Существующие методы основаны на параметрической диагностике и анализе данных, полученных путем исследования специальными приборами, а авторами была поставлена другая задача, которая заключается в использовании штатных систем вибродиагностики и вибромониторинга, а также построения на их основе более точных моделей, позволяющих конкретизировать неисправность непосредственно в самом узле неисправного оборудования.

Отметим, что в рамках данной статьи предложена методика (алгоритм действий) для определений неисправности насосного оборудования, разработана единая методика, позволяющая провести диагностику оборудования по ряду критериев и включающая особенности исследуемого оборудования.

Заключение

В рамках данной работы предложена новая методика, которая включает в себя несколько методов моделирования и реализации в единую модель определения неисправности насосного оборудования при помощи штатных систем вибромониторинга и вибродиагностики. Авторами предложена экспертная система анализа данных в режиме реального времени, а также предусмотрена возможность анализа виброграмм и определения неисправности насосного оборудования в процессе верификаций. Вероятностно-статистические методы, которые входят в предложенную методику для проверки и правильной постановки диагноза исследуемого насосного оборудования, позволяют привязать предложенную методику к конкретному виду насосного оборудования. Принципы и физические основы, заложенные в предложенную модель, позволяют исследовать роторное оборудование и определять его неисправности на ранних этапах зарождения дефекта в узлах и элементах насоса.

Применение в предложенной методике вероятностно-статистического метода позволит сократить время прогнозирования неисправности насосного агрегата в условиях эксплуатации.

Таким образом, можно отметить, что авторами предлагается комплексная система предупреждения и диагностики насосного оборудования нефтегазового комплекса, которая может предупреждать развитие дефектов в подшипниках качения и скольжения, износе узлов рабочего колеса насоса и разрушения элементов конструкций оборудования.

Список литературы

1. Стародубцева С.А., Гусев А.С. Прогнозирование остаточного ресурса конструкций и деталей машин // Известия МГТУ МАМИ. 2012. Т. 1. № 2 (14). С. 355–360.

2. Гусев А.С. Вероятностные методы в механике машин и конструкции. М.: Изд МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 224 с.

3. Паранук А.А., Бунякин А.В., Румянцев С.В., Субочев О.Г. Разработка методики диагностирования узлов газоперекачивающего агрегата по данным вибродиагностики // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6–2. С. 270–276.

4. Паранук А.А., Кунина П.С., Бунякин А.В., Абессоло М.К. Оценка технического состояния узлов газоперекачивающих агрегатов как модель колебательной системы // Экспозиция. Нефть. Газ. 2015. № 4 (43). С. 88–90.

5. Паранук А.А., Румянцев С.В., Гурьев Д.М. Диагностика ГПА в условиях компрессорных станций // Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика: сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции. Уфа, 2020. С. 81–84.

6. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: Справочное изд. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.

7. Атнагулов А.Р., Ишемгужин И.Е., Зотов А.Н., Ишемгужин Е.И. Применение метода Байеса при оценке вероятности «полета» погружного насосного агрегата на забой скважины // Нефтегазовое дело. 2008. №1. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Atnagulov/Atnagulov_l.pdf11.06.2008 (дата обращения: 10.02.2022).

8. Науменко А.П., Кудрявцева И.С., Одинец А.И. Вероятностно-статистические методы принятия решений: Теория, примеры, задачи: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. 84 с.

9. Костюков. В.Н., Науменко А.П., Костюков Ан.В. Оценка риска принятия решений в системах мониторинга // Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков объектов нефтепереработки и нефтехимии: труды и программа конференции, II науч.-практ. семинар. М., 2013. С. 87–95.

10. Голубев А.В., Зеленков Н.Н., Глазунов А.Е., Сахаров Т.М., Огарков А.Н. Прогнозирование остаточного ресурса машин и конструкций при проведении экспертизы // Наука, техника и образование. 2015. № 10 (16). С. 99–102.

УДК 004.052

СПОСОБ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ НАДЁЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Ретюнских С.Н.

ГКОУ ВО «Российская таможенная академия», Люберцы, e-mail: s.retyunskih@customs-academy.ru

В статье рассматриваются вычислительные компьютерные сети как сложные технические системы, в которых все составляющие подсети разных иерархических уровней участвуют в решении общей информационной задачи; описан доступный для применения на практике метод оценки структурной (конструктивно-схемной) надежности вычислительных компьютерных сетей как способность многоуровневой сети функционировать и выполнять поставленные в технических условиях задачи при отказах отдельных сетей (элементов сетей); сформулирован способ определения структурной надёжности вычислительных компьютерных сетей как интегрированной оценки вероятностного работоспособного функционирования системы при различных технических состояниях элементов сети; предложен показатель для оценки структурной (конструктивно-схемной) надежности вычислительных компьютерных сетей – наработка на функциональный отказ сети (T_{net}), измеряемый в единицах времени; приведён пример вычисления значения наработки на функциональный отказ региональной вычислительной сети, состоящей из локальных вычислительных сетей, соединенных по «мостиковой» схеме, который показывает, что показатель T_{net} более полно отражает заложенные в структуру региональных вычислительных сетей свойства сохранять способность выполнять заданные функции при отказах отдельных элементов многоуровневой сети, по сравнению с используемыми в настоящее время показателями надежности; предложено перспективное направление использования показателя T_{net} путём его нормирования для проектируемых и действующих вычислительных компьютерных сетей с целью согласования технических и экономических интересов заказчика, разработчика, производителя и эксплуатанта, а также обеспечения максимальной надежности работы вычислительных компьютерных сетей при оптимальных затратах на всех этапах функционирования.

Ключевые слова: информационные технологии, вычислительные компьютерные сети, сложные технические системы, структурная надёжность, логико-вероятностный метод, наработка на функциональный отказ сети

METHOD FOR ASSESSING STRUCTURAL RELIABILITY COMPUTING COMPUTER NETWORKS

Retyunskikh S.N.

Russian Customs Academy, Lyubertsy, e-mail: s.retyunskih@customs-academy.ru

The article considers computational computer networks as complex technical systems in which all components of subnets of different hierarchical levels participate in solving a common information problem; describes a method available for practical use to assess the structural (structural-circuit) reliability of computational computer networks as the ability of a multi-level network to function and perform tasks set in technical conditions in case of failures of individual networks (network elements); a method is formulated for determining the structural reliability of computing computer networks as an integrated assessment of the probabilistic operable functioning of the system under various technical conditions of network elements; an indicator is proposed for assessing the structural (structural-circuit) reliability of computing computer networks – operating time for a functional network failure (T_{net}), measured in units of time; an example of calculating the operating time for a functional failure of a regional computer network consisting of local area networks connected by a “bridge” scheme is given, which shows that the T_{net} indicator more fully reflects the properties inherent in the structure of regional computer networks to preserve the ability to perform specified functions in the event of failures of individual elements of a multi-level network, compared with the reliability indicators currently used; a promising direction of using the T_{net} indicator is proposed by rationing it for the designed and existing computing computer networks in order to coordinate the technical and economic interests of the customer, developer, manufacturer and operator, as well as ensuring maximum reliability of computing computer networks at optimal costs at all stages of operation.

Keywords: information technologies, computing computer networks, complex technical systems, structural reliability, logical-probabilistic method, operating time for functional network failure

Современный мировой научно-технический прогресс в значительной мере обусловлен инновационным развитием информационных технологий (ИТ). Совершенствование ИТ способствует созданию автоматизированных информационных систем (АИС), применяемых в основных сферах жизнедеятельности, а именно: организационно-управляющих, управления технологическими процессами, автоматизированного проектирования, проведения научных исследований и других перспективных отраслях. Одной из основных обеспечивающих подсистем функционирования АИС, наряду с совокупностью баз (банков) данных и информационных технологий, являются вычислительные компьютерные сети (ВКС), фактически

реализующие информационные процессы через внутрисетевые связи и иерархические уровни взаимодействия различных типов сетей.

В работе [1] проанализированы структуры построения ВКС по различным иерархическим уровням. Предложенная аналитическая и графическая схема структуры вычислительных компьютерных сетей включает представленные в формализованном и аббревиатурном обозначении следующие основные элементы сетей: глобальные вычислительные сети – Wide Area Network (ГВС – WAN), далее по тексту – ГВС; региональные вычислительные сети – Metropolitan Area Network (РВС – MAN), далее по тексту – РВС; локальные вычислительные сети – Local Area Network (ЛВС – LAN), далее по тексту – ЛВС; рабочие станции сети – Network Workstations (РС – NW), далее по тексту – РС; серверы сети – Network Server (СС – NS), далее по тексту – СС. Использование предложенной схемы позволяет в рамках настоящей статьи рассматривать ВКС как сложные технические системы (СТС), в которых все составляющие подсети разных уровней участвуют в решении общей информационной вычислительной задачи.

В конечном результате важно не то, как работает каждая вычислительная сеть на своём уровне, а важна максимальная вероятность выполнения поставленной задачи конкретной структурно и функционально сложной вычислительной компьютерной сетью. Для оценки и прогнозирования уровня такой вероятности, на всех этапах проектирования и эксплуатации ВКС, необходима разработка показателя безотказности вычислительных компьютерных сетей как сложных технических систем.

Материалы и методы исследования

Классическое определение СТС приведено в работах [2, 4]: «Сложная техническая система – это объект, представляющий собой совокупность элементов, взаимодействующих в процессе выполнения определенного круга задач и взаимосвязанных функционально».

Вычислительные компьютерные сети соответствуют основным отличительным признакам сложных технических систем, а именно:

1. Содержат взаимосвязанные элементы (ГВС – WAN, РВС – MAN, ЛВС – LAN, РС – NW, СС – NS), которые взаимодействуют между собой и обладают глубоким функциональным и структурным резервированием.

2. Имеют возможность выполнения заданных функций (поставленной вычислительной информационной задачи) несколькими различными способами (разным составом элементов), отличающимися уровнями надёжности и качества функционирования.

3. Могут представляться сетями различных иерархических уровней, безотказная работа которых обеспечивает общую цель надежного функционирования всей системы.

4. Подчинены алгоритмическому управлению, имеющему иерархическую структуру, и обладают разветвленной сетью обмена управляющими сигналами и информацией.

5. Работают в общем контуре внешней среды и равновероятно подвержены разнонаправленному воздействию случайных факторов.

Таким образом, вычислительные компьютерные сети относятся к структурно-сложным техническим системам, и для оценки их надежности необходимо использовать методы теории сложных систем. Любая система может находиться равновероятно в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном. Сложные технические системы, в частности ВКС, могут решать поставленную задачу различными способами, каждый из которых характеризуется составом работоспособных элементов (ГВС – WAN, РВС – MAN, ЛВС – LAN, РС – NW, СС – NS). Значит, отказ подсети (подсетей) или элемента (элементов) ВКС может привести к полной или частичной потере функциональной работоспособности сети и, в зависимости от этого, к снижению качества и вероятности выполнения вычислительной информационной задачи. При полной потере работоспособности возникает полный функциональный отказ сети, при частичной – частичный функциональный отказ [2-4]. Каждое состояние частичного отказа системы характеризуется определенным уровнем качества функционирования ВКС. Разработаны различные методы [4, 5] оценки эффективности функционирования сложных систем, позволяющие учесть характеристики качества функционирования отдельных элементов и степень их влияния на эффективность сети в целом.

Среди современных аналогичных исследований на настоящую тему наиболее актуальными представляются разработки группы авторов [6], в которых предлагаются способы решения задач, позволяющих обеспечивать заданные требования к надёжности сложной электронной системы путём оптимизации конструкторских решений, доработок схемотехники, выполнения оценочных процедур системы качества, многоуровневых испытаний опытных образцов. Для реализации этих мероприятий предла-

гается значительно затратная «концепция реализации непрерывной информационной поддержки программы обеспечения надёжности в части расчета показателей безотказности» СТС нового поколения.

В настоящей работе предложен метод оценки структурной надежности ВКС, который позволяет оптимизировать затраты на обеспечение надёжности вычислительных компьютерных сетей, путём применения доступной на практике методики оценки структурной надежности ВКС с помощью логико-вероятностного метода.

Под структурной (конструктивно-схемной) надежностью сложной (технической, информационной, вычислительной и т.п.) системы понимают свойство объекта сохранять способность выполнять заданные функции при отказах отдельных элементов сети [3–5]. Так как ВКС в процессе функционирования может находиться в различных работоспособных состояниях, то с переходом из состояния в состояние изменяется и уровень её структурной надежности. Работоспособное состояние сети может характеризоваться различным уровнем вероятности или предлагаемой интегрированной оценкой этого показателя – наработкой на функциональный отказ сети (T_{net}).

Рассмотрим способ вычисления показателя T_{net} для сетей с произвольной монотонной структурой. В качестве исходных данных используются известные характеристики, описывающие интенсивности отказов, включённых в ВКС сетей (элементов), полученные априори или апостериори известными методами оценки надежности.

В качестве метода, позволяющего учесть различное влияние отказов элементов ВКС на вероятность её работоспособного состояния, используем логико-вероятностный метод исследования надежности сложных технических систем [4, 7, 8].

Предлагаемый показатель T_{net} является вероятностным. Его значение рассчитывают на основе данных о структурном построении ВКС и безотказности её элементов (ГВС – WAN, РВС – MAN, ЛВС – LAN, РС – NW, СС – NS). При уточнении значений показателей безотказности элементов на этапах испытаний или начальном периоде эксплуатации, а также при введении конструктивных изменений в структуру ВКС можно вычислить новое значение показателя T_{net} и сравнить с исходным значением.

Показатель T_{net} отличается строгостью алгоритма и однозначностью результатов вычислений и может использоваться наряду с другими показателями – целевой эффективностью функционирования, технической и экономической эффективностью, характеристик условий функционирования сети и обслуживающего персонала и т.п., как составляющая характеристики эффективности функционирования ВКС.

Рассмотрим порядок формирования основного выражения для вычисления наработки на функциональный отказ ВКС из М элементов.

С помощью классической формулы для нахождения математического ожидания случайной величины [4, 5] получим выражение зависимости показателей безотказности подсетей и отдельных элементов сетей с показателем безотказности ВКС:

$$Tnet = \int_0^\infty tF(t)\partial t = \int_0^\infty R(t)\partial t, \qquad (1)$$

где $F(t)$ – плотность вероятности нахождения сети в работоспособном состоянии;

$R(t)$ – вероятность нахождения сети в работоспособном состоянии.

Проведем декомпозицию выражения (1) для ВКС как СТС:

$$R(t) = \sum_{n=1}^{N} W_n(t), \qquad (2)$$

где $Wn(t)$ – вероятность нахождения ВКС в n-м работоспособном состоянии;

N – количество работоспособных состояний ВКС.

Для определения значения вероятности каждого работоспособного состояния ВКС используем логико-вероятностный метод исследования надежности сложных технических систем [7]. Реализация данного метода для вычисления показателя T_{net} предполагает выполнение следующих операций:

1. Построение надежностно-функциональной схемы (НФС) сети.

2. Определение на основе НФС системы набора функций ее работоспособности в виде матриц кодов кратчайших путей успешного функционирования или минимальных сечений отказов.

3. Формирование кодов возможных состояний системы, определяемых состояниями ее элементов.

4. Выбор кодов работоспособных состояний системы с помощью функций ее работоспособности.

5. Сокращение размерности модели путем исключения из анализа заведомо и, при задании – вероятно неработоспособных состояний сети.

6. Формулирование правил перехода от логических функций состояний элементов системы к интенсивностям их отказов.

7. Расчет значения показателя T_{net} путем сложения частных сумм, соответствующих каждому работоспособному состоянию системы.

Алгоритм реализации логико-вероятностного метода для исследования сложной системы на ЭВМ и способ сокращения размерности модели приведены в работе [8]. Их использование позволяет без значительных затрат машинного времени получить двоичную матрицу кодов работоспособных состояний системы

$$X_{ym} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{1m} \cdots & X_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{y1} & \cdots & X_{yM} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Тогда

$$W_y(t) = \prod_{m=1}^{M} \left(P_m(t) X_{ym} + \left(1 - P_m(t)\right)\left(1 - X_{ym}\right) \right), \quad (4)$$

где $Pm(t)$ – значение вероятности безотказной работы m-го элемента сети.

После вынесения суммы за знак интеграла (выполнив подстановки в (1) выражений (3) и (4)) для нормального закона распределения Pm(t) получаем

$$T_{net} = \sum_{y=1}^{Y} \int_0^{\infty} \prod_{m=1}^{M} (e^{-\lambda_m t} X_{ym} + \left(1 - e^{-\lambda_m t}\right))\left(1 - X_{ym}\right) \partial t = \sum_{y=1}^{Y} A_y. \quad (5)$$

Таким образом, с учётом алгоритма слагаемых выражения A_y, получаем следующее правило перехода к интенсивностям отказов подсистем (элементов сетей) от логических функций их состояний:

$$A_y = \sum_{d=1}^{D_y} (\rho_d / \sum_{m=1}^{M} \lambda_m Y_{d_m}^{y}), \quad (6)$$

где $D_y = 2^{r_y - 1}$ – общее количество частных сумм, соответствующих Y-му состоянию системы;

$r_y = \sum_{m=1}^{M} \left(1 - X_{ym}\right)$ – класс кода Y-го состояния системы;

$\rho_d = \left(-1\right)^{r_y - \sum_{m=1}^{M} (1 - Y_{dm}^{y})}$ – величина, характеризующая знак d-й частной суммы;

$\sum_{m=1}^{M} (1 - Y_{dm}^{y})$ – класс кода d-й частной суммы;

$Y^y = \left[Y_{dm}^{y} \right]$ – двоичная матрица кодов частных сумм, соответствующих Y-му состоянию системы;

λ_m – значение интенсивности отказа m-го элемента.

Первая строка матрицы совпадает с кодом Y-го работоспособного состояния системы, а каждая последующая отличается двоичной комбинацией «1» и «0» в нулевых разрядах кода первой строки. Соответственно, значения всех разрядов кода последней (D_y-й) частной суммы равны единице.

Таким образом, с учетом (5) и (6), окончательное выражение имеет вид:

$$T_{net} = \sum_{y=1}^{Y} \sum_{d=1}^{D_y} (\rho_d / \sum_{m=1}^{M} \lambda_m Y_{dm}^{y}). \quad (7)$$

Результаты исследования и их обсуждение

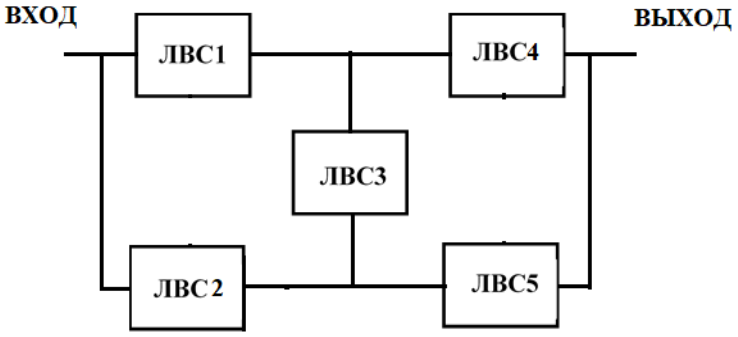
Для примера вычислим значение наработки на функциональный отказ региональной вычислительной сети, состоящей из ЛВС, соединенных по «мостиковой» схеме (рисунок).

При построении по указанной схеме сеть имеет шестнадцать работоспособных состояний. Код первого работоспособного состояния 11111 (функционируют все пять ЛВС), второго – 11110 (функционируют 1-я, 2-я, 3-я и 4-я ЛВС), десятого – 10011 (функционируют 1-я, 4-я и 5-я ЛВС), шестнадцатого – 01001 (функционируют 2-я и 5-я ЛВС).

Порядок формирования слагаемых показателя T_{net} приведен в таблице.

Если принять значения используемого в настоящее время показателя оценки безотказности технических систем – средней наработки на отказ и повреждение (Тс) одинаковыми для всех составляющих РВС мостиковой структуры (ЛВС1, ЛВС2, ЛВС3, ЛВС4, ЛВС5) $Тс_{ЛВС}$ = 100 ч, то интенсивности отказов ЛВС μ_1, μ_2, μ_3, μ_4, μ_5 одинаковы и равны $1/Тс_{ЛВС}$, т.е. 1/100 ч. Значит, средняя наработка на отказ и повреждение РВС [4, 5]:

$$Тс_{РВС} = 1 / (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5) = 20 \text{ ч}.$$



Надёжно-функциональная схема РВС «мостиковой» структуры

Порядок формирования слагаемых показателя T_{net}

Номер работоспособного состояния (Y)	1	2	…	10…
Код работоспособного состояния (X_{yn})	11111	11110	…	10011
Класс кода (r_y)	0	1	…	2
Значение, рассчитанное для вероятности нахождения системы в Y-м работоспособном состоянии (W_y)	$P_{1*}P_{2*}P_{3*}P_{4*}P_5$	$P_{1*}P_{2*}P_{3*}P_4$ - $P_{1*}P_{2*}P_{3*}P_{4*}P_5$	…	$P_{1*}P_{4*}P_5$ - $P_{1*}P_{2*}P_{4*}P_5$ - $P_{1*}P_{3*}P_{4*}P_5$ + $P_{1*}P_{2*}P_{3*}P_{4*}P_5$
Количество частных сумм (M_y)	1	2	…	4
Номер частной суммы (m)	1	1 2	…	1 2 3 4
Код частной суммы (Y^y_{mn})	11111	11110 11111	…	10011 11011 10111 11111
Класс кода	0	1 0	…	2 1 1 0
Знак частной суммы	> 0	> 0 < 0	…	> 0 < 0 < 0 > 0
Модуль значения частной суммы	$\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_{4+}\lambda_5$	$\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4$ $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_{4+}\lambda_5$	…	$\lambda_1+\lambda_{4+}\lambda_5$ $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_{4+}\lambda_5$ $\lambda_1+\lambda_3+\lambda_{4+}\lambda_5$ $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_{4+}\lambda_5$

Для сравнения, наработка на функциональный отказ РВС, состоящей из ЛВС мостиковой структуры с аналогичными показателями Тс, рассчитанная с помощью формулы (7), составляет T_{net} = 81,7 ч.

Следовательно, показатель T_{net} более полно отражает заложенные в структуру ВКС как сложной технической системы свойства сохранять способность выполнять заданные функции при отказах отдельных элементов.

Заключение

Таким образом, предлагаемый показатель безотказности вычислительных компьютерных сетей – наработка на функ-

циональный отказ сети (T_{net}) – обладает следующими преимуществами по сравнению с используемыми в настоящее время показателями надежности:

1. Учитывает наличие резерва в сети, однозначно зависит от структуры ВКС.

2. Является вероятностным, не требует накопления статистического материала об отказах ВКС. Рассчитывается на основе данных о безотказности подсетей и элементов сетей, при их уточнении корректируется.

3. Использует строгий алгоритм вычислений. Окончательное выражение легко реализуется на ЭВМ без значительных затрат вычислительных ресурсов.

Перспективным направлением использования показателя T_{net} является его нормирование для проектируемых и действующих вычислительных компьютерных сетей с целью согласования технических и экономических интересов заказчика, разработчика, производителя и эксплуатанта, а также обеспечения максимальной надежности их работы при оптимальных затратах на всех этапах функционирования вычислительных компьютерных сетей различных иерархических уровней.

Список литературы

1. Ретюнских С.Н. Структура вычислительных компьютерных сетей // Аллея Науки. 2019. № 2 (29). С. 946–950.

2. Зеленский В.А. Проектирование сложных систем: электрон. учеб. пособие. – Электрон, текстовые и граф. дан. (720 Кбайт). Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева (национальный исследовательский университет), 2012. URL: http: // rtfmoodle.ssau.ru (дата обращения: 17.02.2022).

3. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 86–92.

4. Беляев Ю.К. и др. Надежность технических систем: справочник / Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

5. Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 80 с.

6. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 4. С. 75–79.

7. Козарь В.Б. Использование имитационно-логико-вероятностных моделей для оценки эффективности сложных систем // Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей». 2015. № 2. С. 16–20.

8. А.с. 1785003 А1 СССР, МПК G 06 F 11/07. Устройство для определения работоспособных состояний структурно-сложной системы / Кулдышев А.И., Ретюнских С.Н. (СССР). 4857404/24; заявлено 30.05.90; опубл. 30.12.92, Бюл. 48.

УДК 517.91: 519.6

О НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ЛЯПУНОВУ

Ромм Я.Е.

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

Представлено несколько разновидностей необходимых и достаточных условий устойчивости, а также асимптотической устойчивости по Ляпунову для точки покоя системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Излагается построение и формальное обоснование этих условий. Построение опирается на метод Эйлера разностного решения задачи Коши для дифференциальной системы с учетом остаточного члена приближения. Полученные критерии применимы для оценок устойчивости решений нелинейных систем, линейных систем с матрицами переменных и постоянных коэффициентов. Для нелинейной системы критерии используют начальные значения из дельта-окрестности нулевого начального вектора. В случае линейной системы необходимые и достаточные условия устойчивости относятся к одному произвольно выбираемому решению с ненулевыми компонентами вектора начальных значений. Помимо того на этот случай указаны критерии, не зависящие от начальных значений. Выполнен анализ взаимосвязи, границ эквивалентности и взаимного различия данных разновидностей необходимых и достаточных условий устойчивости. Отмечена возможность их аналитического применения для теоретических оценок устойчивости и практического применения для компьютерного анализа устойчивости по ходу приближенного решения дифференциальной системы. Показана конструктивность предложенных критериев, выполнены численные эксперименты, подтверждающие их достоверность, детально обозначены способы и особенности программной реализации. В частности, необходимые и достаточные условия устойчивости в форме несобственного интеграла на полуоси программно реализуются с помощью первообразной. Работа включает, кроме того, формализованные оценки устойчивости на основе знаков компонентов решения и двух их производных. Обоснование оценок опирается на интегральную форму необходимых и достаточных условий устойчивости точки покоя. Построение оценок конструктивно использует компоненты правой части дифференциальной системы и их производные.

Ключевые слова: необходимые и достаточные условия устойчивости, компьютеризация анализа устойчивости, численное моделирование устойчивости, системы обыкновенных дифференциальных уравнений, интегральная форма критериев устойчивости, оценки устойчивости на основе знаков решения и их производных

ON THE NECESSARY AND SUFFICIENT CONDITIONS OF LYAPUNOV STABILITY

Romm Ya.E.

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

Several varieties of necessary and sufficient stability conditions are presented, as well as Lyapunov asymptotic stability for the rest point of ordinary differential equations system. The construction and formal justification of these conditions are described. The construction is based on the Euler method of the difference solution of the Cauchy problem for a differential system taking into account the residual term of the approximation. The obtained criteria are applicable for assessing the stability of solutions of nonlinear systems, linear systems with matrices of variables and constant coefficients. For a nonlinear system, the criteria use the initial values from the delta neighborhood of the zero initial vector. In the case of a linear system, the necessary and sufficient stability conditions relate to one arbitrarily chosen solution with nonzero components of the initial value vector. In addition, criteria that do not depend on the initial values are specified for this case. The analysis of the relationship, equivalence boundaries and mutual differences of these varieties of necessary and sufficient stability conditions is carried out. The possibility of their analytical application for theoretical stability estimates and practical application for computer analysis of stability in the course of an approximate solution of a differential system is noted. The constructiveness of the proposed criteria is shown, numerical experiments confirming their reliability are performed, methods and features of software implementation are indicated in detail. In particular, the necessary and sufficient stability conditions in the form of an improper integral on the semi-axis are software implemented using the primitive. The work also includes formalized stability estimates based on the signs of the solution components and their two derivatives. The justification of the estimates is based on the integral form of the necessary and sufficient conditions for the stability of the rest point. The construction of estimates constructively uses the components of the right-hand side of the differential system and their derivatives.

Keywords: necessary and sufficient stability conditions, computerization of stability analysis, numerical modeling of stability, systems of ordinary differential equations, integral form of stability criteria, stability estimates based on the signs of the solution and their derivatives

Известные методы качественной теории дифференциальных уравнений представляют собой результаты фундаментальных исследований [1, 2] преимущественно теоретического характера. В то же время они лежат в основе практически всех приложений [3, 4]. Как правило, для построения этих методов не используются средства вычис-

лительной математики, хотя исследования в области связи численных методов с устойчивостью проводятся на системной основе [5–7]. Непосредственное использование численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) для построения критериев устойчивости по Ляпунову (ниже устойчивости) предпринято в [8, 9], кроме того в [10, 11], а также в [12, 13]. На этой основе удается сформулировать необходимые и достаточные условия устойчивости, которые с применением численных методов приобретают конструктивный характер, программно реализуемы и дают возможность численного моделирования устойчивости по ходу приближенного решения ОДУ [11, 12]. В данном направлении возникают самостоятельные задачи исследования, часть из них неформально заключается в следующем. Требуется выяснить, какие разновидности необходимых и достаточных условий устойчивости можно построить на основе численных методов решения ОДУ. Необходимо определить формальные ограничения, при которых они математически корректны, описать области их применения, исследовать возможность использования для численного моделирования устойчивости. Отдельно ставится задача получения формализованных оценок устойчивости на основе знаков компонентов решения и двух их производных. Построение оценок должно исходить из компонентов функции правой части дифференциальной системы и их производных, обоснование оценок должно быть связано с интегральной формой необходимых и достаточных условий устойчивости.

Цель исследования заключается в том, чтобы оценить возможное разнообразие необходимых и достаточных условий устойчивости, выяснить взаимосвязь и различие между ними, указать особенности решений и дифференциальных систем, к которым применима каждая их разновидность. Требуется представить обоснование предложенных критериев, показать их конструктивность, выполнить численный эксперимент с проверкой их достоверности, раскрыть способы и особенности компьютерной реализации.

Исходные положения. Пусть рассматривается задача Коши для системы ОДУ, которая имеет нулевое решение (точку покоя) $V(t)=\bar{O}\ \ \forall\ t\in[\,t_0,\infty)$,

$$V'=U(t,V),\ V_0=V(t_0),\ t\in[\,t_0,\infty),\quad (1)$$

где $U(t,V)=(u_1(t,V),u_2(t,V),\ldots,u_n(t,V))$, $V=(v_1(t),v_2(t),\ldots,v_n(t))$, $\bar{O}=(0,0,\ldots,0)^T$. Требуется исследовать устойчивость в смысле Ляпунова точки покоя этой системы. Ниже возмущение $V(t)$, $V(t_0)\neq\bar{O}$, нулевого решения, если при необходимости не оговорено иное, не будет отмечаться специальным символом. Используются канонические нормы вектора, по умолчанию $\|V(t)\|=\max\limits_{1\le k\le n}|v_k(t)|$. Предполагается, что существует $\delta_0>0$, такое, что в области $R_0:\{\,t_0\le t<\infty;\ \forall V(t):\|V_0\|\le\delta_0\,\}$, $V_0=V(t_0)$, выполнены все условия существования и единственности решения, в частности вектор-функция $U(t,V)$ определена, непрерывна в R_0 и удовлетворяет условию Липшица:

$$\|U(t,V)-U(t,\tilde{V})\|\le L\|\,V(t)-\tilde{V}(t)\,\|$$

$$\forall\ V(t),\tilde{V}(t)\in R_0\ ,\ L=const\ .$$

Для дальнейшего потребуется более жесткое ограничение, из которого следует условие Липшица. Именно, всюду ниже предполагается, если не оговорено иное, что выполнено соотношение

$$|u_k(t,V)-u_k(t,\tilde{V})|\le L|v_k(t)-\tilde{v}_k(t)|,\ L=const\quad t\quad [t\qquad V\ t$$

$$\forall t\in[t_0,\infty),\ \forall\ V(t),\tilde{V}(t)\in R_0,\forall k\in\overline{1,n}\ .\ (2)$$

В случае, когда сравниваются нулевое решение и его возмущение, с учетом $U(t,\bar{O})=\bar{O}$ (производная от постоянной функции $V(t)\equiv\bar{O}$ равна нулю), условие Липшица примет вид

$$\|U(t,V)\|\le L\,\|V(t)\|\ \ \forall\ V(t)\in R_0,\ L=const,$$

а соотношение (2) перейдет в соотношение

$$|u_k(t,V)|\le L|v_k(t)|,\ L=const\ \forall t\in[t_0,\infty),\quad V\ t\quad O\ V\ t\quad R$$

$$\forall\ V(t)\neq\bar{O},\ V(t)\in R_0,\forall k\in\overline{1,n}\ .\ (3)$$

В рассматриваемых условиях точка покоя устойчива, если $\forall\varepsilon>0$ найдется Δ, $0<\Delta\le\delta_0$, такое что $\|V_0\|\le\Delta$ влечет $\|V(t)\|\le\varepsilon\ \forall t\in[t_0,\infty)$. Точка покоя асимптотически устойчива, если она устойчива и найдется Δ_0, $0<\Delta_0\le\Delta$, такое, что из неравенства $\|V_0\|\le\Delta_0$ следует $\lim\limits_{t\to\infty}\|V(t)\|=0$. Наряду с существованием и непрерывностью $V'=U(t,V)$ ниже при необходимости предполагается существование и непрерывность в R_0 второй производной $V''=U'(t,V)$, что оговаривается отдельно. Иногда будут использоваться обозначения $u_k=u_k(t,V)$, $v_k=v_k(t)$. Производная каждого компонента правой части (1) аналитически определяется по формуле полной производной сложной функции [14] $\dfrac{du_k}{dt}=\dfrac{\partial u_k}{\partial t}+\sum\limits_{\ell=1}^{n}\dfrac{\partial u_k}{\partial v_\ell}\dfrac{dv_\ell}{dt}$, или

$$\frac{du_k}{dt}=\frac{\partial u_k}{\partial t}+\sum_{\ell=1}^{n}\frac{\partial u_k}{\partial v_\ell}u_\ell\ ,\ \ k\in\overline{1,n}\ .\qquad (4)$$

Необходимые и достаточные условия устойчивости точки покоя. В рассматриваемых предположениях, в частности включающих (2), (3), в [10, 11], а также в [12, 13] предложены следующие критерии устойчивости и асимптотической устойчивости.

Теорема 1. *Для устойчивости точки покоя системы (1) необходимо и достаточно существование* Δ_1, $0 < \Delta_1 \le \delta_0$, *такого, что* $\forall\, V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_1$ *выполняется соотношение*

$$\left| \frac{v_k(t)}{v_k(t_0)} \right| \le C^{(1)},\ v_k(t_0) \ne 0,\ C^{(1)} = const, \quad t \quad t_k \quad n$$

$$\forall t \in [t_0, \infty),\ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (5)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало $\Delta_2 \le \Delta_1$, такое, что $0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_2$ влечет

$$\lim_{t \to \infty} \left| \frac{v_k(t)}{v_k(t_0)} \right| = 0,$$

$$v_k(t_0) \ne 0\ \ (\lim_{t \to \infty} v_k(t) = 0)\ \ \forall k \in \overline{1,n}. \quad (6)$$

В (6) деление на $v_k(t_0) \ne 0$ излишне, однако так дробь вводится в компьютерную программу для исследования устойчивости, поскольку априори характер устойчивости, вообще говоря, неизвестен.

Критерии теоремы 1 в рассматриваемых условиях эквивалентны (в дальнейшем ограничения для эквивалентности будут отдельно оговорены) критериям в приводимой ниже форме.

Теорема 2. *В рассматриваемых условиях, включая ограничения (2), (3), для устойчивости точки покоя системы (1) необходимо и достаточно существование* $\overline{\Delta}$, $0 < \overline{\Delta}$, *такого, что* $\forall\, V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ *выполняется соотношение*

$$\int_{t_0}^{t} \frac{u_k(t)}{v_k(t)} dt \le c^{(11)},$$

$$c^{(11)} = const,\ \forall t \in [t_0, \infty),\ \forall k \in \overline{1,n}. \quad (7)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало $\Delta_0 \le \overline{\Delta}$, *такое что* $0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_0$ *влечет*

$$\lim_{t \to \infty} \int_{t_0}^{t} \frac{u_k(t)}{v_k(t)} dt = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (8)$$

Обращение в ноль знаменателя подынтегральной функции при условии (3) приводит лишь к устранимым особенностям [12], что не влечет некорректности интегрирования (при рассматриваемых ограничениях в случае автономной системы знаменатель не обращается в ноль, поскольку различные решения не имеют общих точек [15]). Это следует из того, что левосторонний и правосторонний пределы подынтегральной функции в окрестности нуля знаменателя существуют, согласно (3) они конечны, кроме того, равны друг другу в силу непрерывности числителя и знаменателя в окрестности данной особой точки. В [11] показано, как обе приведенные теоремы вытекают из мультипликативных преобразований метода Эйлера, для целей исследования эти преобразования кратко излагаются ниже. Метод Эйлера решения задачи (1)

$$V_{i+1} = V_i + U(t_i, V_i)\, h, \ (9)$$

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

$$t = const,\ t = t_{i+1},\ h = (t_{i+1} - t_0)/(i+1),\ i \quad 0,1 \qquad t \quad t \quad h$$

$$i = 0, 1, \ldots,\ t_{r+1} = t_r + h, \quad r \in \overline{0,i}. \quad (10)$$

В форме с остаточным членом метод (9) примет вид $V_{i+1} = V_i + U(t_i, V_i)\, h + Q_i$, $Q_i = (q_{1i}, q_{2i}, \ldots, q_{ni})$, где i, h из (10), q_{ki} – остаточный член формулы Тейлора для k-го компонента приближения:

$$q_{ki} = 2^{-1} u'_k(\xi_{ki}, V(\xi_{ki}))\, h^2,\ t_i < \xi_{ki} < t_{i+1},$$

аналогично, для возмущенного решения, $\tilde{V}_{i+1} = \tilde{V}_i + U(t_i, \tilde{V}_i)\, h + \tilde{Q}_i$, $\tilde{Q}_i = (\tilde{q}_{1i}, \tilde{q}_{2i}, \ldots, \tilde{q}_{ni})$, $\tilde{q}_{ki} = 2^{-1} u'_k(\xi_{ki}, \tilde{V}(\xi_{ki}))\, h^2$, $t_i < \xi_{ki} < t_{i+1}$, $k \in \overline{1,n}$. Разность между возмущенным и точным решением запишется в виде

$$\tilde{v}_{k(i+1)} - v_{k(i+1)} =$$

$$= \tilde{v}_{ki} - v_{ki} + \frac{u_k(t_i, \tilde{V}_i) - u_k(t_i, V_i)}{\tilde{v}_{ki} - v_{ki}} (\tilde{v}_{ki} - v_{ki})\, h + w_{ki}$$

$$w_{ki} = \tilde{q}_{ki} - q_{ki},$$

или

$$\tilde{v}_{k(i+1)} - v_{k(i+1)} = (1 + D_i^{(k)} h)\ (\tilde{v}_{ki} - v_{ki}) + w_{ki},$$

$$D_i^{(k)} = (u_k(t_i, \tilde{V}_i) - u_k(t_i, V_i))\ /\ (\tilde{v}_{ki} - v_{ki}),$$

$$k \in \overline{1,n}. \qquad (11)$$

В (11) и ниже не будет учитываться случай, когда $\exists\, k \in \overline{1,n}$, $\exists\, t \in [t_0, \infty)$: $\tilde{v}_{ki} - v_{ki} = 0$, поскольку в предположении (2), в частности (3), эта особенность устранима и фактически не влияет на конечный результат [12]. Рекуррентное преобразование (11) влечет

$$\tilde{v}_{k(i+1)} - v_{k(i+1)} = \prod_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)(\tilde{v}_{k0} - v_{k0}) + R_{0i}^{(k)},$$

$$R_{0i}^{(k)} = \sum_{r=0}^{i-1} \prod_{\ell=0}^{r} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) w_{k(i-r-1)} + w_{ki},$$

$$k \in \overline{1,n}, \qquad (12)$$

где h соответствует (10), w_{ki} из (11). В рассматриваемых условиях $\lim\limits_{i\to\infty} R_{0i}^{(k)} = 0$ $\forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1,n}$ [10, 11] (что равносильно сходимости метода Эйлера на произвольном отрезке $[t_0, t]$). Отсюда и из (12) следует

$$\tilde{v}_k(t) - v_k(t) = \lim_{i\to\infty} \prod_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)(\tilde{v}_{k0} - v_{k0})$$

$$\forall t \in [t_0, \infty), \forall k \in \overline{1,n}. \ (13)$$

Согласно (10) предельное соотношение $\lim\limits_{i\to\infty} \cdots$ в (13) эквивалентно $\lim\limits_{h\to 0} \cdots$, можно было бы обозначать $h = h_i$, для простоты обозначений это подразумевается, но не пишется. На $[t_0, t]$ частичное произведение $\prod\limits_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)$ при изменении i меняет одновременно все сомножители и равномерный шаг h в каждом из них. С учетом определения устойчивости из (13) непосредственно вытекает

Лемма 1. *В рассматриваемых условиях для устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно, чтобы существовало* Δ_1, $0 < \Delta_1 \le \delta_0$, *такое, что* $\forall\ \tilde{V}(t), \tilde{V}(t_0) = \tilde{V}_0$, *при условии* $\left\| \tilde{V}_0 - V_0 \right\| \le \Delta_1$ *выполняется неравенство*

$$\left| \lim_{i\to\infty} \prod_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \right| \le C^{(1)},$$

$$C^{(1)} = const, \ \forall t \in [t_0, \infty), \ \forall k \in \overline{1,n}. \quad (14)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало $\Delta_2 \le \Delta_1$, такое, что $\left\| \tilde{V}_0 - V_0 \right\| \le \Delta_2$ влечет

$$\lim_{t\to\infty} \left| \lim_{i\to\infty} \prod_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \right| = 0 \ \ \forall k \in \overline{1,n}. \ (15)$$

Очевидно, (13) эквивалентно соотношению

$$(\tilde{v}_k(t) - v_k(t)) / (\tilde{v}_{k0} - v_{k0}) = \lim_{i\to\infty} \prod_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)$$

$$\forall t \in [t_0, \infty), \ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (16)$$

При сохранении всех рассматриваемых предположений из (16) вытекает

Следствие 1. При условии $\tilde{v}_{k0} \ne v_{k0}$ формулировка и утверждение леммы 1 дословно сохраняются при замене (14) на соотношение

$$\left| (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)) / (\tilde{v}_{k0} - v_{k0}) \right| \le C^{(1)}, \ C \quad const \quad t \quad t$$

$$C^{(1)} = const, \ \forall t \in [t_0, \infty), \ \forall k \in \overline{1,n}, \quad (17)$$

и (15) – на соотношение

$$\lim_{t\to\infty} \left| (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)) / (\tilde{v}_{k0} - v_{k0}) \right| = 0$$

$$(\lim_{t\to\infty} (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)) = 0) \ \ \forall k \in \overline{1,n}. \ (18)$$

Дробь в (17) выражает отношение возмущения решения именно к вызвавшему его возмущению начальных значений при всех их вариациях в границах $\left| \tilde{v}_{k0} - v_{k0} \right| \le \Delta_1$, в этих границах выполняется соотношение

$$\left| (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)) / (\tilde{v}_{k0} - v_{k0}) \right| = O(1)$$

$$\forall t \in [t_0, \infty), \ \forall k \in \overline{1,n}.$$

Следствие 2. Следствие 1 дает необходимые и достаточные условия устойчивости точки покоя системы (1): утверждения следствия 1 сохраняются в случае $V(t) = \overline{O}$ $\forall t \in [t_0, \infty)$, $V_0 = \overline{O}$, при этом (17) переходит в соотношение

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

Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости точки покоя получаются из утверждения этого следствия с переходом (18) в соотношение

$$\lim_{t\to\infty} \left\| \{ \tilde{v}_k(t) / \tilde{v}_{k0} \}_{k=1}^{n} \right\| = 0$$

$$(\lim_{t\to\infty} \tilde{v}_k(t) = 0 \ \ \forall k \in \overline{1,n}).$$

Очевидно, следствие 2 эквивалентно теореме 1, которая, таким образом, вытекает из леммы 1. Данные рассуждения обратимы, и лемма 1 также следует из теоремы 1. В результате лемма 1 и теорема 1 эквивалентны в рамках рассматриваемых ограничений. В тех же ограничениях из леммы 1 следует теорема 2. В самом деле, с учетом (11) и (2) выполняется неравенство:

$$\left| D_{i-\ell}^{(k)} \right| \le L, \ L = const, \quad i \quad 0,1 \qquad i \quad k \quad n$$

$$\forall i = 0,1, \ldots, \forall \ell \in \overline{0,i}, \ \forall k \in \overline{1,n}. \quad (19)$$

Далее, предполагается, что h достаточно мало, и на основании (19) $\left| D_{i-\ell}^{(k)} h \right| < 1$. Тогда $\prod\limits_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) = e^{\ln \prod_{\ell=0}^{i} (1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)}$, возмущение (13) преобразуется к виду

$$\tilde{v}_k(t) - v_k(t) = e^{\lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)} (\tilde{v}_{k0} - v_{k0})$$

$$\forall t \in [t_0, \infty), \ \forall k \in \overline{1,n}.$$

Лемма 1 переходит в следующую лемму.

Лемма 2. *В рассматриваемых условиях для устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно существование* Δ_1, $0 < \Delta_1 \le \delta_0$, *такого, что для всех решений* $\forall\, \tilde{V}(t), \tilde{V}(t_0) = \tilde{V}_0$, *при условии* $\left\| \tilde{V}_0 - V_0 \right\| \le \Delta_1$ *выполняется соотношение*

$$e^{\lim\limits_{i\to\infty} \sum\limits_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)} \le C^{(1)},$$

$$C^{(1)} = const \quad \forall\, t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (20)$$

Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало $\Delta_2 \le \Delta_1$, такое, что неравенство $\left\| \tilde{V}_0 - V_0 \right\| \le \Delta_2$ влечет соотношение

$$\lim_{t\to\infty} e^{\lim\limits_{i\to\infty} \sum\limits_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)} = 0 \quad \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (21)$$

Условие (20) выполняется в том и только в том случае, если

$$\lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) \le c_{11},$$

$$c_{11} = const \quad \forall\, t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}, \qquad (22)$$

условие (21) – тогда и только тогда, когда

$$\lim_{t\to\infty} \lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) = -\infty \quad \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (23)$$

Согласно (10) $h = \dfrac{t - t_0}{i+1} \to 0$ при $i \to \infty$, с учетом (19) $D_{i-\ell}^{(k)} h \to 0$, отсюда

$$\frac{\ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h)}{D_{i-\ell}^{(k)} h} \to 1 \quad \forall\, \ell \le i \wedge \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (24)$$

В силу (24) для $\forall\, \varepsilon$, $0 < \varepsilon < 1$, верны неравенства

$$(1-\varepsilon) \lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} D_{i-\ell}^{(k)} h < \lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) < (1+\varepsilon) \lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} D_{i-\ell}^{(k)} h.$$

При $\varepsilon \to 0$ получается аналог известного соотношения для рядов [16]:

$$\lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} \ln(1 + D_{i-\ell}^{(k)} h) = \lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} D_{i-\ell}^{(k)} h$$

$$\forall\, t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (25)$$

С учетом (22), (23), (25) из леммы 2 вытекает

Следствие 3. Условия, формулировка и утверждения леммы 2 дословно сохраняются при замене соотношения (20) на соотношение вида

$$\lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} D_{i-\ell}^{(k)} h \le c_{11},\ c_{11} = const \quad t \quad t_0$$

$$\forall\, t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}, \qquad (26)$$

и (21) – на соотношение

$$\lim_{t\to\infty} \lim_{i\to\infty} \sum_{\ell=0}^{i} D_{i-\ell}^{(k)} h = -\infty \quad \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (27)$$

В (26), (27) $\lim\limits_{i\to\infty} \sum\limits_{\ell=0}^{i} D_{i-\ell}^{(k)} h$ – предел интегральной суммы на $[t_0, t]$, согласно (11) элементами интегрального разбиения являются дроби

$$D_{i-\ell}^{(k)} = (u_k(t_{i-\ell}, \tilde{V}_{i-\ell}) - u_k(t_{i-\ell}, V_{i-\ell})) \,/\, (\tilde{v}_{k(i-\ell)} - v_{k(i-\ell)}),$$

$$\ell = 0, 1, \ldots, i,\ k \in \overline{1,n},$$

представляющие собой дискретные значения функции

$$D^{(k)}(t) = (u_k(t, \tilde{V}) - u_k(t, V)) \,/\, (\tilde{v}_k(t) - v_k(t)),$$

$$k \in \overline{1,n}. \qquad (28)$$

При выполнении (2) функция (28) определена и непрерывна на отрезке $[t_0, t]$ с точностью до устранимых особенностей для каждого номера k компонента системы (1). Выражения из (26), (27) под знаком пределов включают определенные интегралы, их использование приводит к следующей теореме.

Теорема 3. *В условиях леммы 2 оба утверждения этой леммы сохраняются при замене (20) на соотношение вида*

$$\int_{t_0}^{t} D^{(k)}(t)\, dt \le c_{11},$$

$$c_{11} = const \quad \forall\, t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}, \qquad (29)$$

и (21) – на соотношение

$$\lim_{t\to\infty} \int_{t_0}^{t} D^{(k)}(t)\, dt = -\infty \quad \forall\, k \in \overline{1,n}, \qquad (30)$$

где $D^{(k)}(t)$ из (28).

Числитель дроби (28) является производной возмущения, он делится на само возмущение, поэтому существует первообразная: $\displaystyle\int_{t_0}^{t} D^{(k)}(t)\, dt = \ln \left| \frac{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)} \right|$.

Следствие 4. Теорема 3 сохраняется, если соотношения (29), (30) заменить соответственно на соотношения вида

$$\ln \left| \frac{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)} \right| \le c_{11},$$

$$c_{11} = const \quad \forall\, t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}.$$

и

$$\lim_{t\to\infty} \ln \left| \frac{\tilde{v}_k(t) - v_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0) - v_k(t_0)} \right| = -\infty \quad \forall\, k \in \overline{1,n}.$$

где $\tilde{v}_k(t_0) \ne v_k(t_0)$ $\forall\, k \in \overline{1,n}$.

В случае точки покоя $v_k(t) \equiv 0 \quad \forall k \in \overline{1,n}$ и следствие 4 перейдет в следующее утверждение.

Следствие 5. Для случая точки покоя теорема 3 сохраняется, если соотношения (29), (30) заменить соответственно на соотношения вида

$$\ln\left|\frac{\tilde{v}_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0)}\right| \le c_{11},\ c_{11} = const \ \ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall k \in \overline{1,n}.$$

и

$$\lim_{t\to\infty} \ln\left|\frac{\tilde{v}_k(t)}{\tilde{v}_k(t_0)}\right| = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n}.$$

где $\tilde{v}_k(t_0) \ne 0 \ \ \forall k \in \overline{1,n}$.

Теорема 3 с учетом (28) в этом случае примет вид следующей теоремы.

Теорема 4. *В условиях леммы 2 оба утверждения этой леммы сохраняются при замене (20) на соотношение вида*

$$\int_{t_0}^{t} \frac{u_k(t,\tilde{V})}{\tilde{v}_k(t)}\,dt \le c_{11},$$

$$c_{11} = const \ \ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall k \in \overline{1,n},$$

и (21) – на соотношение

$$\lim_{t\to\infty} \int_{t_0}^{t} \frac{u_k(t,\tilde{V})}{\tilde{v}_k(t)}\,dt = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n}.$$

Таким образом, теорема 4 вытекает из леммы 2. Данные рассуждения обратимы (с учетом предположений (2), (3), неравенства (19), а также малости h и неравенства $\left|D_{i-\ell}^{(k)} h\right| < 1$), и эта теорема в рассматриваемых условиях эквивалентна лемме 2. Теорема 4 с точностью до обозначений повторяет теорему 2. Лемма 2 эквивалентна лемме 1. В результате теоремы 1 и 2 эквивалентны в рамках рассматриваемых ограничений.

В дальнейшем, как и в начале, возмущение точки покоя (если не оговаривается иное) не отмечается волной. В исходных обозначениях следствие 5 примет формулировку, непосредственно используемую в численном эксперименте для программной идентификации интегралов из (7), (8).

Следствие 6. Теорема 2 сохраняется, если соотношения (7), (8) заменить соответственно на соотношения вида

$$\ln\left|\frac{v_k(t)}{v_k(t_0)}\right| \le c^{(11)},\ c^{(11)} = const, \quad t \quad t \qquad k \quad n$$

$$\forall t \in [t_0,\infty),\ \forall k \in 1,n \tag{31}$$

и

$$\lim_{t\to\infty} \ln\left|\frac{v_k(t)}{v_k(t_0)}\right| = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n}, \tag{32}$$

где $\tilde{v}_k(t_0) \ne 0 \ \ \forall k \in \overline{1,n}$.

Потенцирование (31), (32) влечет соответственно (5), (6).

Условия устойчивости в выражении через правую часть дифференциальной системы. Пусть предполагается существование и непрерывность в R_0 второй производной $V'' = U'(t,V)$ решения системы (1). Пусть для $U'(t,V)$ имеет место аналог условия Липшица $\left\| U'(t,U,V) - U'(t,\tilde{U},\tilde{V}) \right\| \le L_1 \left\| U(t,V) - \tilde{U}(t,\tilde{V}) \right\|$ $\forall U, \tilde{U}$: $\forall V(t), \tilde{V}(t) \in R_0$, $L_1 = const$, и аналог (2):

$$\left| u_k'(t,U,V) - u_k'(t,\tilde{U},\tilde{V}) \right| \le L_1 \left| u_k(t,U,V) - \tilde{u}_k(t,\tilde{U},\tilde{V}) \right|,$$

$$L_1 = const \ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall U, \tilde{U}:\ \forall V(t), \tilde{V}(t) \in R_0, \forall k \in \overline{1,n}. \tag{33}$$

Если сравниваются производные нулевого решения и его возмущения, то $U(t,\bar{O}) = \bar{O}$, $U'(t,\bar{O},\bar{O}) = \bar{O}$, аналог условия Липшица примет вид

$$\left\| U'(t,U,V) \right\| \le L_1 \left\| U(t,V) \right\| \ \ \forall U : V(t) \in R_0,\ L_1 = const\ ,$$

а соотношение (33) перейдет в соотношение

$$\left| u_k'(t,U,V) \right| \le L_1 \left| u_k(t,U,V) \right|,\ L_1 = const\ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall U(t) \ne \bar{O},\ V(t) \in R_0, \forall k \in \overline{1,n}. \tag{34}$$

Из (34) и (3) следует неравенство

$$\left\| U'(t,U,V) \right\| \le \bar{L} \left\| V(t,U) \right\| \quad \forall V(t) \in R_0\ ,\ \bar{L} = const. \tag{35}$$

В (34), (35) и ниже на ненулевое решение и его производную не ставится знак волны. Пусть $\exists\, \Delta_0$, такое, что $\forall V(t) : 0 < \left\| V(t_0) \right\| \le \Delta_0$ обеспечивается неравенство

$$\int_{t_0}^{t} \frac{u_k(t)}{v_k(t)}\,dt \le c \int_{t_0}^{t} \frac{u_k'(t)}{u_k(t)}\,dt,\ c = const,\ 0 < c \ \ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall k \in \overline{1,n}. \tag{36}$$

В частности, условие (36) будет выполняться, если $\forall V(t) : 0 < \left\| V(t_0) \right\| \le \Delta_0$ верно соотношение

$$\frac{u_k(t)}{v_k(t)} \le c_0 \frac{u_k'(t)}{u_k(t)},$$

$$c_0 = const,\ 0 < c_0,\ v_k(t) \ne 0,\ u_k(t) \ne 0$$

$$\forall t \in [t_0, \infty),\ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (37)$$

Замечание 1. По аналогии с доказательством, данным в [12] для $\frac{u_k(t)}{v_k(t)}$ на основе (2), (3), можно показать, что в силу выполнения (33), (34) в правых частях (36), (37) нет неустранимых особенностей.

Имеет место

Теорема 5. *В рассматриваемых условиях, включающих, в частности, (33), (34), при выполнении любого из соотношений (36), (37) для устойчивости точки покоя системы (1) достаточно существования* $\overline{\Delta}$, $0 < \overline{\Delta}$, *такого, что* $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ *выполняется соотношение*

$$\int_{t_0}^{t} \frac{u_k'(t)}{u_k(t)} dt \le c_1,$$

$$c_1 = const,\ \forall t \in [t_0, \infty),\ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (38)$$

Для асимптотической устойчивости точки покоя достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало $\Delta_0 \le \overline{\Delta}$, *такое, что* $0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_0$ *влечет*

$$\lim_{t \to \infty} \int_{t_0}^{t} \frac{u_k'(t)}{u_k(t)} dt = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n} \qquad . (39)$$

Доказательство следует из того, что при выполнении любого из условий (36), (37) соотношение (7) – необходимое следствие (38), соотношение (8) – следствие (39).

Следующая теорема эквивалентна теореме 5.

Теорема 6. *В рассматриваемых условиях, включающих, в частности, (33), (34), при выполнении любого из условий (36), (37) для устойчивости точки покоя системы (1) достаточно существования* $\overline{\Delta}_1$, $0 < \overline{\Delta}_1 \le \delta_0$, *такого, что* $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}_1$ *выполняется соотношение*

$$\left| \frac{u_k(t)}{u_k(t_0)} \right| \le C_1,\ C_1 = const, \quad t \quad t$$

$$\forall t \in [t_0, \infty),\ u_k(t_0) \ne 0,\ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (40)$$

Для асимптотической устойчивости достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало $\overline{\Delta}_2 \le \overline{\Delta}_1$, такое, что $0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}_2$ влечет

$$\lim_{t \to \infty} \left| \frac{u_k(t)}{u_k(t_0)} \right| = 0,\ u_k(t_0) \ne 0,$$

$$(\lim_{t \to \infty} | u_k(t) | = 0)\ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (41)$$

Доказательство. Неравенство (38) можно записать в виде $\int_{t_0}^{t} \frac{d\,u_k(t)}{u_k(t)} \le c_1$, или $\ln| u_k(t) | - \ln| u_k(t_0) | \le c_1$, поэтому (38) равносильно $\ln \frac{| u_k(t) |}{| u_k(t_0) |} \le c_1$, или $\left| \frac{u_k(t)}{u_k(t_0)} \right| \le e^{c_1}$. В итоге (38) эквивалентно (40) при $C_1 = e^{c_1}$. Далее, соотношение (39), $\lim_{t \to \infty} \int_{t_0}^{t} \frac{u_k'(t)}{u_k(t)} dt = -\infty$, выполняется тогда и только тогда, когда выполняется $\lim_{t \to \infty} \ln \frac{| u_k(t) |}{| u_k(t_0) |} = -\infty$. При $u_k(t_0) \ne 0$ это эквивалентно $\lim_{t \to \infty} \left| \frac{u_k(t)}{u_k(t_0)} \right| = 0$, или, $\lim_{t \to \infty} u_k(t) = 0$. Отсюда (39) эквивалентно (41). Теорема доказана.

Из доказательства вытекает эквивалентная формулировка теоремы 5.

Следствие 7. В условиях теоремы 5 утверждения этой теоремы сохраняются, если соотношения (38), (39) заменить соответственно на соотношения

$$\ln \left| \frac{u_k(t)}{u_k(t_0)} \right| \le c_1,$$

$$c_1 = const \quad \forall t \in [t_0, \infty),\ \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (42)$$

и

$$\lim_{t \to \infty} \ln \left| \frac{u_k(t)}{u_k(t_0)} \right| = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n}. \qquad (43)$$

где $u_k(t_0) \ne 0 \ \ \forall k \in \overline{1,n}$.

Замечание 2. Для асимптотической устойчивости условие (41) необходимо без использования (36), (37), как это следует из (3). Аналогично, (39) – необходимое условие устойчивости без учета (36), (37) ввиду эквивалентности (41) и (39) (в рассматриваемых ограничениях).

u t Ниже kданы n разновидности ограничений, при наличии которых утверждения теорем 5 и 6 будут дополнены необходимыми условиями устойчивости. Пусть вначале относительно системы (1) предполагается, что в R_0 $\exists\ \overline{\Delta} > 0$, такое, что $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ выполняются пары неравенств

$$0 \le u_k(t),\ u_k'(t) \le 0,$$

$$\forall\ t \in [\ t_0\ , \infty),\ \forall k \in \overline{1,n}, \qquad (44)$$

или

$$u_k(t) \le 0\,,\ 0 \le u_k'(t),$$
$$\forall\ t \in [\ t_0\ \ , \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}. \qquad (45)$$

Неравенства (44) и (45) можно объединить в одно неравенство

$$\frac{u_k'(t)}{u_k(t)} \le 0\ \ \forall t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}, \qquad (46)$$

где с учетом (34) в случае нуля в знаменателе возможны лишь устранимые особенности. Пусть наряду с тем предполагается, что выполнены неравенства

$$\left|\frac{v_k(t)}{v_k(t_0)}\right| \le \left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right|\ \ \forall t \in [t_0, \infty)\ ,$$
$$v_k(t_0) \ne 0,\ u_k(t_0) \ne 0,\ \forall\, k \in \overline{1,n}\,,$$
$$\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}\,. \qquad (47)$$

В совокупности данных предположений имеет место

Предложение 1.

Если $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ *каждый компонент правой части (1) и его производная сохраняют знак (в виде нестрогого неравенства)* $\forall t \in [t_0, \infty)$, *то выполнение одного из соотношений (44) или (45) необходимо, а в сочетании с выполнением (47) достаточно для устойчивости точки покоя системы (1). Для ее асимптотической устойчивости необходимо и при выполнении (47) достаточно, чтобы решение было устойчиво и существовало* $\Delta_0 \le \overline{\Delta}$, *такое, что* $0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_0$ *влечет*

$$\lim_{t \to \infty} \int_{t_0}^{t} \frac{u_k'(t)}{u_k(t)} dt = -\infty\ \ \forall\, k \in \overline{1,n}\,. \qquad (48)$$

Предложение 2. *Условия предыдущего предложения необходимы и при выполнении (47) достаточны для устойчивости точки покоя системы (1). В тех же условиях для ее асимптотической устойчивости необходимо и при выполнении (47) достаточно, чтобы*

$$\lim_{t \to \infty} \left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right| = 0,\ u_k(t_0) \ne 0,$$
$$(\lim_{t \to \infty} u_k(t) = 0)\ \ \forall\, k \in \overline{1,n}\,. \qquad (49)$$

Доказательство. В условиях каждого из предложений выполнено (46), что влечет (38) и, как следствие, (40). Отсюда, в случае выполнения (47), имеет место соотношение (5), что согласно теореме 1 достаточно для устойчивости. Если точка покоя устойчива, то в условиях каждого из предложений необходимо выполнено (44), либо (45) [13]. Тогда с точностью до устранимых особенностей необходимо выполнено $\frac{u_k(t)}{v_k(t)} \le 0\ \ \forall t \in [t_0, \infty)$. Таким образом, условия (44) –(46) необходимы для устойчивости точки покоя, следовательно, они необходимы для асимптотической устойчивости. Для асимптотической устойчивости выполнение (48), или же эквивалентного соотношения (49), достаточно в сочетании с выполнением (47), поскольку это влечет (6). Если точка покоя асимптотически устойчива, то $v_k(t) \to 0,\ t \to \infty$, тогда согласно (3) $u_k(t) \to 0,\ t \to \infty$, что эквивалентно (48) и (49), таким образом, эти условия необходимы. Оба предложения доказаны.

Пусть относительно системы (1) рассматривается случай, когда в R_0 $\exists\, \Delta > 0$, такое, что $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta$ выполняются неравенства

$$v_k(t) \le 0\,,\ 0 \le u_k(t)\ \ \forall\ t \in [\ t_0\,, \infty),$$
$$\forall\, k \in \overline{1,n}\,, \qquad (50)$$

или

$$0 \le v_k(t)\,,\ u_k(t) \le 0\ \ \forall\ t \in [\ t_0\,, \infty),$$
$$\forall\, k \in \overline{1,n}\,. \qquad (51)$$

Неравенства (50) и (51) можно объединить в одно неравенство

$$\frac{u_k(t)}{v_k(t)} \le 0\ \ \forall t \in [t_0, \infty),\ \forall\, k \in \overline{1,n}\,, \qquad (52)$$

где с учетом (3) возможны только устранимые особенности. Пусть, кроме того, $\exists\ \overline{\Delta} > 0$, такое, что $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$, $\overline{\Delta} \le \Delta$, выполняется соотношение

$$\lim_{t \to \infty} \frac{u_k(t)}{v_k(t)} = q,\ q \ne 0\ \ (q < 0)\ \forall\, k \in \overline{1,n}\,. \qquad (53)$$

В совокупности данных условий имеет место

Предложение 3. *Пусть для системы (1)* $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta$ *выполнено любое из соотношений (50), (51). Если* $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta$ *каждый компонент правой части (1) и его производная сохраняют знак (в виде нестрогого неравенства)* $\forall t \in [t_0, \infty)$, *то точка покоя системы (1) устойчива. Если, кроме того,* $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$, $\overline{\Delta} \le \Delta$, *выполнено (53), то для ее асимптотической устойчивости и необходимо, и достаточно, чтобы* $\lim_{t \to \infty} u_k(t) = 0\ \ \forall\, k \in \overline{1,n}$.

Доказательство. Если выполнено (50) или (51), то верно (52), и устойчивость следует из (7). С учетом (50), (51) и сохранения знака в этих соотношениях (в виде нестрогого неравенства $\forall t \in [t_0, \infty)$) $\exists \lim_{t \to \infty} v_k(t) = q_k$,

$\forall k \in \overline{1,n}$ [13]. Тогда из (53) $\exists \lim\limits_{t\to\infty} u_k(t)$, в этом случае необходимым условием устойчивости, следовательно, и асимптотической устойчивости является $\lim\limits_{t\to\infty} u_k(t) = 0 \ \forall k \in \overline{1,n}$ [13]. Отсюда с учетом (52) выполнение (53) возможно только, если $\lim\limits_{t\to\infty} v_k(t) = 0 \ \forall k \in \overline{1,n}$, и соотношение $\lim\limits_{t\to\infty} u_k(t) = 0 \ \forall k \in \overline{1,n}$ оказывается достаточным условием асимптотической устойчивости точки покоя системы (1). Предложение доказано.

Пусть для системы (1) рассматриваются условия, при которых $\exists \overline{\Delta} > 0$, такое, что выполняются тройки неравенств

$$v_k(t) \le 0,\ 0 \le u_k(t),\ u_k'(t) \le 0 \ \ \forall\ t \in [\ t_0\ ,\infty),$$

$$\forall k \in \overline{1,n},\ \forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}, \quad (54)$$

или

$$0 \le v_k(t),\ u_k(t) \le 0,\ 0 \le u_k'(t) \ \ \forall\ t \in [\ t_0\ ,\infty),$$

$$\forall k \in \overline{1,n},\ \forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}. \quad (55)$$

Имеет место

Предложение 4. *Пусть в рассматриваемых условиях* $\exists \overline{\Delta} > 0$, *такое, что выполняются соотношения* (54) *или* (55). *Тогда точка покоя системы (1) устойчива и* $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ *необходимо выполняется (38). Для асимптотической устойчивости точки покоя необходимо, чтобы решение было устойчиво и* $\forall\ V(t) :\ 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_0$ *выполнялось (39).*

Следствие 8. В условиях предложения 4 точка покоя системы (1) устойчива и $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ необходимо выполнять соотношение (40). Для асимптотической устойчивости точки покоя необходимо, чтобы решение было устойчиво и существовало $\Delta_0 \le \overline{\Delta}$, такое, что $\forall\ V(t) :\ 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_0$ выполняется соотношение (41).

Доказательство. Достаточность утверждений предложения и следствия относительно устойчивости точки покоя следует из того, что пары неравенств $v_k(t) \le 0$, $0 \le u_k(t)$ или $0 \le v_k(t)$, $u_k(t) \le 0$ обеспечивают ограниченность нулем подынтегральной функции и тем самым выполнение соотношения (7) теоремы 2. С учетом эквивалентности (38) и (40) необходимость этих эквивалентных соотношений следует из неравенств $0 \le u_k(t)$, $u_k'(t) \le 0$ или $u_k(t) \le 0$, $0 \le u_k'(t)$. Ввиду эквивалентности (39) и (41) необходимость утверждений относительно асимптотической устойчивости следует из (3). Предложение, а также следствие доказано.

Предложение 4 и следствие 8 дают необходимые условия устойчивости без требования выполнения соотношений (36) или (37).

Имеет место

Теорема 7. *Пусть в изначально рассматриваемых для системы (1) условиях теоремы 2* $\exists\ \overline{\Delta} > 0$, *такое, что* $\forall t \in [t_0,\infty)$, $\forall k \in \overline{1,n}$, $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}$ *выполняются неравенства*

$$v_k(t) < 0,\ 0 < u_k(t),\ u_k'(t) < 0,$$

или

$$0 < v_k(t)\ ,\ u_k(t) < 0,\ 0 < u_k'(t).$$

Если при этом $\exists\ \Delta_1 \le \overline{\Delta}$, *такое, что выполняется любое одно из двух условий*

1) $u_k'(t) v_k(t) \le\ u_k^2(t)$, $\forall t \in [t_0,\infty)$, $\forall k \in \overline{1,n}, \forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_1$

2) $\left| \dfrac{u_k'(t)}{u_k(t)} \right| \le \left| \dfrac{u_k(t)}{v_k(t)} \right| \ \ \forall t \in [t_0,\infty)$,

$\forall k \in \overline{1,n}$, $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_1$,

то точка покоя системы асимптотически устойчива.

Доказательство. Очевидно,

$$\left(\frac{u_k(t)}{v_k(t)} \right)' = \frac{u_k'(t) v_k(t) - u_k(t) v_k'(t)}{v_k^2(t)} =$$

$$= \frac{u_k'(t) v_k(t) - u_k^2(t)}{v_k^2(t)}. \quad (56)$$

Отсюда

$$\left(\frac{u_k(t)}{v_k(t)} \right)' = \frac{u_k'(t)}{u_k(t)} \frac{u_k(t)}{v_k(t)} - \frac{u_k^2(t)}{v_k^2(t)}. \quad (57)$$

При выполнении 1) согласно (56) $\left(\dfrac{u_k(t)}{v_k(t)} \right)' \le 0$, поэтому функция $\dfrac{u_k(t)}{v_k(t)}$ не возрастает, с учетом знаков числителя и знаменателя она отрицательна $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_1$, согласно (7) точка покоя устойчива. При выполнении 2) согласно (57) $\dfrac{u_k'(t)}{u_k(t)} \dfrac{u_k(t)}{v_k(t)} - \dfrac{u_k^2(t)}{v_k^2(t)} \le \dfrac{u_k^2(t)}{v_k^2(t)} - \dfrac{u_k^2(t)}{v_k^2(t)} = 0$, и $\left(\dfrac{u_k(t)}{v_k(t)} \right)' \le 0$. Отсюда, как и при выполнении 1), точка покоя устойчива. В обоих случаях $\dfrac{u_k(t)}{v_k(t)} \le \min\limits_{\forall k \in 1,n} \dfrac{u_k(t_0)}{v_k(t_0)} < 0 \ \ \forall t \in [t_0,\infty)$, $\forall k \in \overline{1,n}$, что $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_1$ обеспечивает выполнение (8). Теорема доказана.

При излагаемых ниже дополнительных ограничениях условия устойчивости (38) и асимптотической устойчивости (39) теоремы 5 сделаются необходимыми и достаточными.

Пусть в условиях теоремы 2 рассматриваются соотношения (38) и (7), а также (39) и (8). Пары соотношений (38) и (7) будут выполняться одновременно, если

$$\left|\int_{t_0}^{t}\frac{u_k'(t)}{u_k(t)}dt-\int_{t_0}^{t}\frac{u_k(t)}{v_k(t)}dt\right|\le c_0,\ c_0=const$$

$$\forall t\in[t_0,\infty),\ \forall k\in\overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t):0<\|V(t_0)\|\le\bar{\Delta},\qquad(58)$$

или, с переходом к первообразным,

$$\left|\ln\left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right|-\ln\left|\frac{v_k(t)}{v_k(t_0)}\right|\right|\le c_0,\ c_0=const,$$

что равносильно

$$\left|\ln\left(\left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right|/\left|\frac{v_k(t)}{v_k(t_0)}\right|\right)\right|\le c_0,\ c_0=const,$$

или

$$-c_0\le\ln\left(\left|\frac{u_k(t)}{v_k(t)}\right|/\left|\frac{u_k(t_0)}{v_k(t_0)}\right|\right)\le c_0,\ c_0=const.$$

Последнее соотношение равносильно неравенствам

$$e^{-c_0}\le\left|\frac{u_k(t)}{v_k(t)}\right|/\left|\frac{u_k(t_0)}{v_k(t_0)}\right|\le e^{c_0},\ c_0>0,\ c_0=const,$$

$$\forall t\in[t_0,\infty),\ \forall k\in\overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t):0<\|V(t_0)\|\le\bar{\Delta},\qquad(59)$$

где по построению c_0 – произвольно выбираемая положительная константа, $\bar{\Delta}$ из теоремы 2. Неравенства (58) и (59) равносильны. Следовательно, при выполнении (59) соотношения (38) и (7) выполняются одновременно, и соотношение (38) оказывается необходимым и достаточным вместе с (7) условием устойчивости. Из (59) также ясно, что выполнение этого соотношения в случае $u_k(t)\to 0$ возможно только, если $v_k(t)\to 0$, иначе нарушится левая часть соотношения – $e^{-c_0}\le\left|\frac{u_k(t)}{v_k(t)}\right|/\left|\frac{u_k(t_0)}{v_k(t_0)}\right|$. Обратно, если $v_k(t)\to 0$, то необходимо $u_k(t)\to 0$, иначе нарушится правая часть соотношения – $\left|\frac{u_k(t)}{v_k(t)}\right|/\left|\frac{u_k(t_0)}{v_k(t_0)}\right|\le e^{c_0}$ (то же следует из (3)). В результате при выполнении (59) вместе с (39) выполняется (8), и выполнение (39) наряду с (8) оказывается необходимым и достаточным условием асимптотической устойчивости.

Таким образом, имеет место следующее.

Теорема 8. *Пусть выполнены условия теоремы 2, и пусть в рассматриваемых условиях, включающих, в частности, (33), (34), выполнено соотношение (59). Тогда для устойчивости точки покоя системы (1) необходимо и достаточно существование* $\bar{\Delta},\ 0<\bar{\Delta}$, *такого, что*

$$\int_{t_0}^{t}\frac{u_k'(t)}{u_k(t)}dt\le c_1,\ c_1=const,\ \forall t\in[t_0,\infty),\ \forall k\in\overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t):0<\|V(t_0)\|\le\bar{\Delta}.\ (60)$$

В том же ограничении для асимптотической устойчивости точки покоя необходимо и достаточно, чтобы выполнялось предыдущее утверждение и нашлось $\Delta_0\le\bar{\Delta}$, такое, что

$$\lim_{t\to\infty}\int_{t_0}^{t}\frac{u_k'(t)}{u_k(t)}dt=-\infty\ \ \forall k\in\overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t):0<\|V(t_0)\|\le\Delta_0.\ (61)$$

В силу эквивалентности в рассматриваемых условиях теорем 2 и 1, а также теорем 6 и 5 теорема 8 переходит в следующее утверждение.

Следствие 9. В условиях теоремы 8 для устойчивости точки покоя системы (1) необходимо и достаточно, чтобы нашлось $\bar{\Delta},\ 0<\bar{\Delta}$, такое, что

$$\left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right|\le C_1,\ C_1=const,\quad t\quad t\qquad u\quad t\qquad k$$

$$\forall t\in[t_0,\infty),\ u_k(t_0)\ne 0,\ \forall k\in\overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t):0<\|V(t_0)\|\le\bar{\Delta}.\qquad(62)$$

В том же ограничении для асимптотической устойчивости точки покоя необходимо и достаточно, чтобы выполнялось предыдущее утверждение и нашлось $\Delta_0\le\bar{\Delta}$, такое, что

$$\lim_{t\to\infty}\left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right|=0,\ u_k(t_0)\ne 0,$$

$$(\lim_{t\to\infty}|u_k(t)|=0)\ \forall k\in\overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t):\ 0<\|V(t_0)\|\le\Delta_0.\qquad(63)$$

Замечание 3. Как отмечалось, при выполнении (59), если $u_k(t)\to 0$, то $v_k(t)\to 0$.

С переходом к первообразным теорема 8 перейдет в утверждение, по форме сохраняющее соотношения (42), (43). Ввиду новых условий для этих соотношений и их значения для описания эксперимента утверждение полностью формулируется заново.

Следствие 10. В условиях теоремы 8 утверждения этой теоремы сохраняются, если соотношения (60) и (61) заменить соответственно на соотношения

$$\ln\left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right| \le c_1,\ c_1 = const,\ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall k \in \overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta} \qquad (64)$$

и

$$\lim_{t\to\infty} \ln\left|\frac{u_k(t)}{u_k(t_0)}\right| = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_0. \qquad (65)$$

Замечание 4. Нетрудно видеть, что на основе изложенной схемы можно конструировать аналоги теоремы 8 и следствия 9 для производных правой части системы (1) произвольного порядка $\ell \ge 2$, если только эти производные существуют. В этом случае соотношение (60) заменится на соотношение

$$\int_{t_0}^{t} \frac{u_k^{(\ell)}(t)}{u_k^{(\ell-1)}(t)} dt \le c_1,\ c_1 = const,\ \forall t \in [t_0,\infty),\ \forall k \in \overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta},$$

соотношение (61) – на соотношение

$$\lim_{t\to\infty} \int_{t_0}^{t} \frac{u_k^{(\ell)}(t)}{u_k^{(\ell-1)}(t)} dt = -\infty \quad \forall k \in \overline{1,n},$$

$$\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \hat{\Delta}_0,\ \hat{\Delta}_0 \le \overline{\Delta}.$$

Данные соотношения будут означать необходимые и достаточные условия устойчивости и асимптотической устойчивости при ограничении

$$\left| \int_{t_0}^{t} \frac{u_k^{(\ell)}(t)}{u_k^{(\ell-1)}(t)} dt - \int_{t_0}^{t} \frac{u_k(t)}{v_k(t)} dt \right| \le c_0,\ c_0 = const$$

$$\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \overline{\Delta}.$$

Потребуется, кроме того, предполагать аналог (34), чтобы исключить неустранимые особенности подынтегральной функции:

$$\left| u_k^{(\ell)}(t,U,V) \right| \le L_0 \left| u_k^{(\ell-1)}(t,U,V) \right|,$$

$$L_0 = const\ \forall t \in [t_0,\infty),$$

$$\forall\ U^{(\ell-1)}(t,U,V) \ne \overline{O},\ V(t) \in R_0, \forall k \in \overline{1,n}.$$

После перехода к первообразным будут получаться аналоги (62), (63), составленные из дробей $\left|\frac{u_k^{(\ell-1)}(t)}{u_k^{(\ell-1)}(t_0)}\right|$, а также, на этой основе, – аналоги (64), (65).

О применении необходимых и достаточных условий устойчивости. Предложенные оценки устойчивости с учетом знаков компонентов решения и их двух первых производных так или иначе сводятся к применению теорем 1 и 2. Как правило, они являются частными случаями данных теорем, а также теоремы 8 и следствия 9. Теоремы 1, 2, будучи эквивалентными (в отмеченных ограничениях), дают необходимые и достаточные условия устойчивости и асимптотической устойчивости в сравнительно общем случае. По ходу их вывода получаются аналитические представления этих условий – (5), (6) и (7), (8). Для несобственного интеграла в (7), (8) существует первообразная, посредством которой интеграл на полуоси выражается через логарифм от модуля решения из соотношений (31) и (32). В процессе приближенного решения задачи Коши (1), например, по методу Эйлера, приближение каждого компонента решения становится известным на каждом шаге приближения, равно как становится известным отношение компонента решения к фиксированному начальному значению этого же компонента. На этой основе соотношения (5), (6) численно моделируются в процессе компьютерной реализации. Решение может быть реализовано для нескольких начальных значений в окрестности нулевого начального вектора, в результате будут численно моделироваться необходимые и достаточные условия устойчивости и асимптотической устойчивости. Интегральные оценки теоремы 2 численно моделируются аналогично, с той разницей, что вместо отношения компонента решения к его начальному значению берется логарифм от модуля этого отношения согласно (31) и (32). По такой же схеме интегральные соотношения (60) и (61) теоремы 8 реализуются либо по следствию 9 как соотношения (62), (63), либо по следствию 10 как соотношения (64), (65), – без аналитического вычисления производной правой части системы (1) из (4).

Соотношения теоремы 2 и теоремы 8 непосредственно в аналитическом виде применимы для теоретических оценок устойчивости на основе теорем сравнения, изложенных в [11], а также в [12] и [13], где даны примеры их применения. Для конкретной системы пример приводится ниже по ходу описания численного эксперимента, где помимо того представлены программные реализации интегральных соотношений на основе логарифмических соотношений (31) и (32), а также (64) и (65).

Для линейных систем ОДУ не требуется проверять рассматриваемые соотношения

теорем 1 и 2, а также теоремы 8 и следствия 9 в Δ-окрестности нулевого начального вектора – достаточно проверить их выполнение для любого отдельно взятого решения, соответствующего начальному вектору со всеми ненулевыми компонентами [12]. Это непосредственно ясно из того, что в рассматриваемых ограничениях теорема 2 эквивалентна теореме 1, достаточно проверки соотношений (5), (6). Вместе с тем известно [1], что для устойчивости линейной системы необходимо и достаточно, чтобы было ограничено любое одно ненулевое решение. Ограниченность одного решения имеет место одновременно с ограниченностью левой части (5) при ненулевых значениях начальных компонентов. Известно также [1], что отдельно взятое решение линейной системы стремится к нулю тогда и только тогда, когда все решения стремятся к нулю. Такое свойство имеет место одновременно с выполнением (6) для одного произвольно выбранного решения с ненулевыми компонентами начального вектора. Аналогично, в случае соотношений (31), (32). Наконец в условиях теоремы 8 и следствия 9 соотношения (60), (61) выполняются одновременно с (7), (8) соответственно, а значит, и одновременно с (5), (6), аналогично, – для соотношений (62), (63), а также (64) и (65).

Для линейных систем можно применять условия устойчивости, которые полностью не зависят от начальных значений [8, 9], что отмечается также в [10, 11] и в [12, 13], ниже это иллюстрируется при описании численного эксперимента.

Численное моделирование необходимых и достаточных условий устойчивости по ходу решения системы. Пусть для примера рассматривается система

$$v_1' = -t^{-0.18} v_1 - t^{-2} v_1 e^{\cos^2\left(\sqrt[3]{(v_1 v_2)^2}\right)}, \qquad (66)$$

$$v_2' = -e^{\sin^2\left(\sqrt[7]{(v_1 v_2)^2}\right)} (1+\cos^2(v_1^{2/3} v_2 + v_2^{2/3} v_1))\, v_2 t^{-0.27},$$

где $t_0 = 0.55$, $v_k(t_0) \ge 0$, $k = 1, 2$.

Требуется оценить устойчивость точки покоя. Из (66)

$$u_1 = -t^{-0.18} v_1 - t^{-2} v_1 e^{\cos^2\left(\sqrt[3]{(v_1 v_2)^2}\right)},$$

где $u_1 = u_1(t)$. Аналогично,

$$u_2 = -e^{\sin^2\left(\sqrt[7]{(v_1 v_2)^2}\right)} (1+\cos^2(v_1^{2/3} v_2 + v_2^{2/3} v_1))\, v_2 t^{-0.27}.$$

Для уравнений системы выполнены неравенства $\frac{u_1}{v_1} \le -t^{-0.18}$, $\frac{u_2}{v_2} \le -t^{-0.27}$.

Отсюда $\frac{u_k}{v_k} \le f_k(t) \quad \forall t \in [t_0, \infty)$,

где $f_k(t) = -t^{-0.27}$, $k = 1, 2$.

По теореме сравнения, данной в [11, 12], точка покоя системы (66) асимптотически устойчива. Это и непосредственно ясно из теоремы 2 и (7), (8):

$$\int_{t_0}^{t} \frac{u_k}{v_k} dt \le \int_{t_0}^{t} f_k(t)\, dt, \ \lim_{t\to\infty} \int_{t_0}^{t} f_k(t)\, dt = \qquad t \qquad t$$

$$= -\lim_{t\to\infty}\left(\frac{1}{0.73} t^{0.73} - \frac{1}{0.73} t_0^{0.73}\right) = -\infty, \ k = 1, 2.$$

Асимптотическую устойчивость подтверждает компьютерная реализация. На Delphi запрограммировано решение задачи (66) по методу Эйлера на отрезке [0.55, 10000] с шагом $h = 10^{-4}$. На выходе программы формируются компоненты левых частей (5) (без деления получался бы знак компонента решения, что для краткости закомментировано). Выводится эвклидова норма (norma (V/V0)) от обоих компонентов $\left\| \left\{ \frac{v_k(t)}{v_k(t_0)} \right\}_{k=1}^{2} \right\| = \sqrt{\left(\frac{v_1(t)}{v_1(t_0)}\right)^2 + \left(\frac{v_2(t)}{v_2(t_0)}\right)^2}$.

Выводятся значения интегралов (INTEGRAL(v1/v10), INTEGRAL(v2/v20)) компонентов левой части (7), выраженные через первообразные согласно (31). Аналогично, формируются компоненты левых частей (62) (что также закомментировано), выводится их эвклидова норма (norma (U/U0)), значения интегралов (INTEGRAL(u1/u10), INTEGRAL(u2/u20)) компонентов левой части (60) в выражении через логарифмы согласно (64).

```
program RAE11NORMALOGVUnew1;
{$APPTYPE CONSOLE}
uses
 SysUtils;

const h = 0.0001; tt=10000000;
var t,t0,v1,v2,v10, v20,u10, u20: extended; k: longint;
function u1(t,v1,v2:extended):extended;
begin
u1:=-v1*exp(-0.18*ln(t))-1/sqr(t)*v1*exp(sqr(cos(exp(1/3*ln(sqr(v1*v2))))))
```

```
end;
function u2(t,v1,v2:extended):extended;
begin
u2:=-exp(sqr(sin(exp(1/7*ln(sqr(v1*v2))))))*
(1+ sqr(cos(exp(1/3*ln(sqr(v1)))*v2+exp(1/3*ln(sqr(v2)))*v1)))*v2*exp(-0.27*ln(t))
end;
begin
k := 0; t0:=0.55; v10:=-0.005*0.005; v20:=0.00005*0.005;
u10:=u1(t0,v10,v20); u20:=u2(t0,v10,v20);
v1:=v10; v2:=v20; t:=t0; while t <=10000 do
begin
v1:= v1+ h * u1(t,v1,v2); v2:= v2+ h * u2(t,v1 ,v2 );
k:=k+1; if k = tt then
begin
writeln ('t=',t:4,' ');
writeln ('norma (V/V0)=', sqrt(sqr(v1/v10)+sqr(v2/v20)):4,' ',
'norma (U/U0)=', sqrt(sqr(U1(t,v1,v2)/U10)+sqr(U2(t,v1,v2)/U20)):4,' ');
writeln ({'v1/v10=',v1/v10:4,' ',}'INTEGRAL(v1/v10)=', ln(abs(v1/v10)):4,' ',
{'u1/u10=',u1(t,v1,v2)/u10:4,' ',}'INTEGRAL(u1/u10)=', ln(abs(u1(t,v1,v2)/u10)):4,' ');
writeln ({'v2/v20=',v2/v20:4,' ',}'INTEGRAL(v2/v20)=', ln(abs(v2/v20)):4,' ',
{'u2/u20=',u2(t,v1,v2)/u20:4,' ',}'INTEGRAL(u2/u20)=', ln(abs(u2(t,v1,v2)/u20)):4,' ');
writeln;
k:=0 end;
t:=t+h;
end;
readln
end.
```

Результаты работы программы:

```
t= 1.0E+0003
norma (V/V0)= 2.3E-0155 norma (U/U0)= 6.5E-0157
INTEGRAL(v1/v10)=-3.6E+0002 INTEGRAL(u1/u10)=-3.6E+0002
INTEGRAL(v2/v20)=-4.2E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-4.2E+0002
t= 2.0E+0003
norma (V/V0)= 2.8E-0272 norma (U/U0)= 7.2E-0274
INTEGRAL(v1/v10)=-6.3E+0002 INTEGRAL(u1/u10)=-6.3E+0002
INTEGRAL(v2/v20)=-7.0E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-7.0E+0002
t= 3.0E+0003
norma (V/V0)= 1.2E-0378 norma (U/U0)= 2.9E-0380
INTEGRAL(v1/v10)=-8.7E+0002 INTEGRAL(u1/u10)=-8.7E+0002
INTEGRAL(v2/v20)=-9.4E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-9.5E+0002
t= 4.0E+0003
norma (V/V0)= 1.1E-0478 norma (U/U0)= 2.6E-0480
INTEGRAL(v1/v10)=-1.1E+0003 INTEGRAL(u1/u10)=-1.1E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-1.2E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-1.2E+0003
t= 5.0E+0003
norma (V/V0)= 3.0E-0574 norma (U/U0)= 6.4E-0576
INTEGRAL(v1/v10)=-1.3E+0003 INTEGRAL(u1/u10)=-1.3E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-1.4E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-1.4E+0003
t= 6.0E+0003
norma (V/V0)= 2.0E-0666 norma (U/U0)= 4.1E-0668
INTEGRAL(v1/v10)=-1.5E+0003 INTEGRAL(u1/u10)=-1.5E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-1.6E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-1.6E+0003
t= 7.0E+0003
norma (V/V0)= 7.1E-0756 norma (U/U0)= 1.4E-0757
INTEGRAL(v1/v10)=-1.7E+0003 INTEGRAL(u1/u10)=-1.7E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-1.8E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-1.8E+0003
t= 8.0E+0003
norma (V/V0)= 6.5E-0841 norma (U/U0)= 4.9E-0842
INTEGRAL(v1/v10)=-1.9E+0003 INTEGRAL(u1/u10)=-1.9E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-1.9E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-1.9E+0003
t= 9.0E+0003
norma (V/V0)= 2.0E-0916 norma (U/U0)= 1.5E-0917
INTEGRAL(v1/v10)=-2.1E+0003 INTEGRAL(u1/u10)=-2.1E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-2.1E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-2.1E+0003
```

Из распечатки видно, что обе выводимые нормы убывают к нулю на отрезке [0.55, 10000] и одновременно интегралы убывают к $-\infty$. Полученные результаты указывают на признаки асимптотической устойчивости согласно (5), (6), а также согласно (7), (8). Кроме того, это согласуется с (62), (63), а также с (60), (61). Аналогичного вида признаки воспроизводятся в ненулевых точках любой не большей по диаметру окрестности (t0:=0.55; v10:=-0.005*0.005; v20:=0.00005*0.005;) нулевого начального вектора, а также на десятикратно удлиненном отрезке приближенного решения.

Если теперь в первом уравнении системы (66) произвести изменение, состоящее в замене $-t^{-2}$ на +1, и не производить никаких других изменений, то получится система

$$v_1' = -t^{-0.18} v_1 + v_1 e^{\cos^2\left(\sqrt[3]{(v_1 v_2)^2}\right)}, \quad (67)$$

$$v_2' = -e^{\sin^2\left(\sqrt[7]{(v_1 v_2)^2}\right)} (1 + \cos^2(v_1^{2/3} v_2 + v_2^{2/3} v_1))\, v_2 t^{-0.27}$$

с теми же начальными значениями. Для первого уравнения системы (67) выполнено неравенство $\frac{u_1}{v_1} \ge 1 - 2^{-0.18} > 0 \;\; \forall t \in [2, \infty)$.

Поэтому $\frac{u_1}{v_1} \ge g_1(t) \;\; \forall t \in [2, \infty)$,

где $g_1(t) = 2^{0.18} - 1 = const$.

По соответственной теореме сравнения [11, 12] точка покоя системы (67) неустойчива. Это ясно и непосредственно из теоремы 2 и (7): $\int_2^t \frac{u_1}{v_1} dt \ge \int_2^t g_1(t)\, dt$, где $\lim_{t\to\infty} \int_2^t g_1(t)\, dt = (2^{0.18} - 1) \lim_{t\to\infty} \int_2^t dt = \infty$, отсюда $\int_{t_0}^t \frac{u_1}{v_1} dt = \int_{t_0}^2 \frac{u_1}{v_1} dt + \int_2^t \frac{u_1}{v_1} dt = \infty$, где $t_0 = 0.55$.

Неустойчивость подтверждает программная реализация. В случае системы (67) в той же программе изменится только описание первой функции (исходная функция закомментирована):

```
function u1(t,v1,v2:extended):extended;
begin
u1:=-v1*exp(-0.18*ln(t)) + v1*exp(sqr(cos(exp(1/3*ln(sqr(v1*v2))))))
//u1:=-v1*exp(-0.18*ln(t))-1/sqr(t)*v1*exp(sqr(cos(exp(1/3*ln(sqr(v1*v2))))))
end;
function u2(t,v1,v2:extended):extended;
begin
u2:=-exp(sqr(sin(exp(1/7*ln(sqr(v1*v2))))))*
(1+ sqr(cos(exp(1/3*ln(sqr(v1)))*v2+exp(1/3*ln(sqr(v2)))*v1)))*v2*exp(-0.27*ln(t))
end;
```

Других изменений не будет, за исключением длины отрезка, который теперь задается как [0.55, 7300]. Результаты работы измененной программы:

```
t= 1.0E+0003
norma (V/V0)= 3.7E+0339 norma (U/U0)= 1.6E+0339
INTEGRAL(v1/v10)= 7.8E+0002 INTEGRAL(u1/u10)= 7.8E+0002
INTEGRAL(v2/v20)=-3.8E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-3.8E+0002
t= 2.0E+0003
norma (V/V0)= 8.9E+0656 norma (U/U0)= 4.1E+0656
INTEGRAL(v1/v10)= 1.5E+0003 INTEGRAL(u1/u10)= 1.5E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-5.2E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-5.2E+0002
t= 3.0E+0003
norma (V/V0)= 7.5E+0984 norma (U/U0)= 3.6E+0984
INTEGRAL(v1/v10)= 2.3E+0003 INTEGRAL(u1/u10)= 2.3E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-6.4E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-6.4E+0002
t= 4.0E+0003
norma (V/V0)= 1.3E+1319 norma (U/U0)= 6.4E+1318
INTEGRAL(v1/v10)= 3.0E+0003 INTEGRAL(u1/u10)= 3.0E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-7.5E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-7.5E+0002
t= 5.0E+0003
norma (V/V0)= 6.6E+1657 norma (U/U0)= 3.2E+1657
INTEGRAL(v1/v10)= 3.8E+0003 INTEGRAL(u1/u10)= 3.8E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-8.5E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-8.6E+0002
```

```
t= 6.0E+0003
norma (V/V0)= 8.3E+1999 norma (U/U0)= 4.1E+1999
INTEGRAL(v1/v10)= 4.6E+0003 INTEGRAL(u1/u10)= 4.6E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-9.5E+0002 INTEGRAL(u2/u20)=-9.5E+0002
t= 7.0E+0003
norma (V/V0)= 5.7E+2344 norma (U/U0)= 2.8E+2344
INTEGRAL(v1/v10)= 5.4E+0003 INTEGRAL(u1/u10)= 5.4E+0003
INTEGRAL(v2/v20)=-1.0E+0003 INTEGRAL(u2/u20)=-1.0E+0003
```

Из распечатки видно, что обе выводимые нормы возрастают к ∞ на отрезке [0.55,7300] и одновременно возрастают к ∞ оба интеграла от компонентов первого уравнения: INTEGRAL(v1/v10), INTEGRAL(u1/u10). На отрезке большей длины, в частности на [0.55,10000], наступает переполнение. Результаты указывают на признак неустойчивости согласно (5), а также согласно (7). Это согласуется с (60), а также с (62). Аналогичный признак неустойчивости воспроизводится в ненулевых точках любой не большей по диаметру окрестности нулевого начального вектора.

Пусть рассматривается система

$$y_1' = y_2,\ y_2' = -y_1. \qquad (68)$$

Система (68) линейна с матрицей постоянных коэффициентов $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$. Ее характеристический полином $P_2(\lambda) = \lambda^2 + 1$ имеет два комплексно сопряженных корня – мнимые единицы с противоположным знаком: $\lambda_1 = I,\ \lambda_2 = -I,\ I = \sqrt{-1}$, поэтому система устойчива [3], но не асимптотически. Очевидный вывод подтверждает программная реализация. Для системы (68) в исходной программе изменится описание функций, других изменений не требуется:

```
function u1(t,v1,v2:extended):extended;
begin
u1:=v2
end;
function u2(t,v1,v2:extended):extended;
begin
u2:=-v1
end;
```

Результаты работы программы с данным изменением:

```
t= 1.0E+0003
norma (V/V0)= 8.3E+0001 norma (U/U0)= 8.3E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-5.9E-0001 INTEGRAL(u1/u10)= 4.4E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 4.4E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-5.9E-0001
t= 2.0E+0003
norma (V/V0)= 9.3E+0001 norma (U/U0)= 9.3E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-9.8E-0001 INTEGRAL(u1/u10)= 4.5E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 4.5E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-9.8E-0001
t= 3.0E+0003
norma (V/V0)= 2.1E+0001 norma (U/U0)= 2.1E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-2.2E-0002 INTEGRAL(u1/u10)= 3.0E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 3.0E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-2.2E-0002
t= 4.0E+0003
norma (V/V0)= 6.9E+0001 norma (U/U0)= 6.9E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-3.2E-0001 INTEGRAL(u1/u10)= 4.2E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 4.2E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-3.2E-0001
t= 5.0E+0003
norma (V/V0)= 9.9E+0001 norma (U/U0)= 9.9E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-1.8E+0000 INTEGRAL(u1/u10)= 4.6E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 4.6E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-1.8E+0000
```

```
t= 6.0E+0003
norma (V/V0)= 4.2E+0001 norma (U/U0)= 4.2E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-9.6E-0002 INTEGRAL(u1/u10)= 3.7E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 3.7E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-9.6E-0002
t= 7.0E+0003
norma (V/V0)= 5.2E+0001 norma (U/U0)= 5.2E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-1.5E-0001 INTEGRAL(u1/u10)= 3.9E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 3.9E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-1.5E-0001
t= 8.0E+0003
norma (V/V0)= 1.0E+0002 norma (U/U0)= 1.0E+0002
INTEGRAL(v1/v10)=-2.9E+0000 INTEGRAL(u1/u10)= 4.6E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 4.6E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-2.9E+0000
t= 9.0E+0003
norma (V/V0)= 6.1E+0001 norma (U/U0)= 6.1E+0001
INTEGRAL(v1/v10)=-2.3E-0001 INTEGRAL(u1/u10)= 4.1E+0000
INTEGRAL(v2/v20)= 4.1E+0000 INTEGRAL(u2/u20)=-2.3E-0001
```

Из распечатки видно, что обе рассматриваемые нормы не превосходят 9.3E+0001 (93) на всем отрезке [0.55,10000]. При этом оба интеграла не превосходят 4.6E+0000 (4.6). По всем рассматриваемым признакам система устойчива, тогда как признаков асимптотической устойчивости или неустойчивости в численном выражении не наблюдается.

Замечание 5. Как отмечалось, для линейных систем имеются необходимые и достаточные условия устойчивости и асимптотической устойчивости, которые не связаны с какими-либо начальными значениями, условия изложены и обоснованы в [8, 9]. Описание и примеры их применения приводятся в [11–13]. Результаты программной реализации данных условий, как правило, отличаются наглядностью. Так, для системы (68) в [11] приводятся следующие результаты работы программы:

```
1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000
1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000
…….....
1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000
1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000 1.4E+0000
```

Эти данные соответствуют шагу $h = 1.1\times10^{-14}$ метода Эйлера и выполнению 75 итераций, которые в приближении к асимптотике достигают значения $t = 8.3\times10^{8}$. На всем отрезке [0, 8.3×10^{8}] округленное значение эвклидовой нормы матрицы $(E + h\,A)^{2^k}$, где E – единичная матрица, при каждом значении k не превосходит значения 1.4, что указывает на неасимтотическую устойчивость системы [11].

Замечание 6. В [13] приводится программно реализованное преобразование анализа устойчивости любого ненулевого решения дифференциальной системы к анализу устойчивости точки покоя преобразованной системы. Программная реализация тривиальна, поэтому относительно нее выше не сделано специальных оговорок.

О границах эквивалентности необходимых и достаточных условий устойчивости. Относительно эквивалентности теорем 1 и 2 необходимо отметить следующее. Эти две теоремы эквивалентны только в условиях теоремы 2, которые включают существование и единственность решения задачи Коши (1), но помимо того ещё ограничения (2) и (3). Без этих ограничений теорема 2 не вытекает из преобразований метода Эйлера (11), (12), а затем последующих преобразований, в числе которых (19) и (20)–(31). В то же время теорема 1 допускает принципиально более широкие условия [12], достаточность соотношений (5) имеет место непосредственно в условиях существования решения. В самом деле, если $\exists\ \Delta_1,\ 0 < \Delta_1 \le \delta_0$, такое, что для $\forall\ V(t) : 0 < \| V(t_0) \| \le \Delta_1$ верно неравенство

$$\left| \frac{v_k(t)}{v_k(t_0)} \right| \le C^{(1)},\ v_k(t_0) \ne 0,\ C \quad const \quad t \quad t \quad k$$

$$C^{(1)} = const\ \ \forall t \in [t_0, \infty),\ \forall k \in \overline{1,n},$$

то в той же Δ_1-окрестности $|v_k(t)| \le C^{(1)}|v_k(t_0)|$, и для $\forall \varepsilon > 0$ выполнено $|v_k(t)| \le \varepsilon \quad \forall k \in \overline{1,n}$, $\forall t \in [t_0, \infty)$, лишь только $C^{(1)}|v_k(t_0)| \le \varepsilon$. Отсюда $\|V(t_0)\| \le \Delta_1$, где $\Delta_1 \le \varepsilon / C^{(1)}$, влечет $\|V(t)\| \le \varepsilon \ \forall t \in [t_0, \infty)$. Таким образом, выполнение соотношения (5) является общим достаточным условием устойчивости, не использующим ограничения теоремы 2.

Что касается необходимости условий теоремы 1, то она обосновывается только (другого решения не найдено) исходя из преобразований метода Эйлера (11)–(13), это совпадает с необходимостью условий теоремы 2: соотношения (11)–(13) лежат в основе выполнения соотношений (20)–(31), с помощью которых выводится теорема 2. Более точно, если решение системы (1) устойчиво, то оно отличается от возмущенного решения согласно (12), (13), а это тогда и только тогда, когда верно (14). В свою очередь, корректность построения левой части этого неравенства целиком определяется условиями теоремы 2, которые вытекают из мультипликативных преобразований метода Эйлера. Таким образом, необходимые условия теорем 1 и 2 совпадают, тогда как достаточные условия теоремы 1 фактически выходят за рамки формальных ограничений этой теоремы.

Эквивалентность теорем 2 и 8 имеет место в еще более узких условиях, чем условия теоремы 2: она имеет место при выполнении всех ограничений теоремы 2, а также при дополнительных ограничениях теоремы 8, в частности при выполнении условий (33), (34) и (59). Условия эквивалентности теоремы 8 и следствия 9 можно разграничить подобно тому, как разграничивается эквивалентность теоремы 2 и теоремы 1.

Таким образом, речь об эквивалентности предложенных разновидностей необходимых и достаточных условий устойчивости может идти только при конкретном указании всех используемых ограничений. Различие ограничений существенно. Так, условия теоремы 2, взятые в форме соотношений (31), (32), наглядно исключают случаи смены знака компонентов решений системы (1) – в этих случаях компоненты решения пересекают полуось, поэтому логарифмы от их модуля в (31), (32) не существуют.

В противоположность теореме 2 ограничений на знак компонента решения соотношения (5), (6) теоремы 1 не требуют, их выполнение представляет собой самые общие достаточные условия устойчивости, в частности, для компьютерной реализации. Выполнение этих же соотношений является необходимым лишь при отмечавшихся ограничениях, заимствованных из теоремы 2.

Можно отметить, что предложенные необходимые и достаточные условия устойчивости сохраняют отличие от условий устойчивости известных методов [1–3], представляющих по преимуществу достаточные условия устойчивости, и, аналогично, от условий методов, основанных на компьютерных технологиях [17, 18].

Заключение

В работе построены критерии устойчивости по Ляпунову на основе метода Эйлера приближенного решения ОДУ. Сформулированы необходимые и достаточные условия устойчивости, которые дают возможность численного моделирования устойчивости по ходу решения задачи Коши для ОДУ. Описаны разновидности необходимых и достаточных условий устойчивости, их взаимосвязи и различия, определены формальные ограничения, при которых они корректны, указаны классы дифференциальных систем для их применения. Представлено обоснование предложенных критериев, показана их конструктивность, выполнены численные эксперименты, подтверждающие их достоверность, детализированы способы и особенности программной реализации. Помимо того, получены формализованные оценки устойчивости на основе знаков компонентов решения и двух их производных. Построение оценок опирается на компоненты функции правой части дифференциальной системы и их производные, обоснование оценок, как правило, использует интегральную форму необходимых и достаточных условий устойчивости.

Список литературы

1. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Изд-во «Науку – всем», 2019. 480 с.

2. Матросов В.М. Метод векторных функций Ляпунова: анализ динамических свойств нелинейных систем. М.: Физматлит, 2001. 376 с.

3. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2010. 558 с.

4. Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Рапопорт Л.Б. Математическая теория автоматического управления. М.: ЛЕНАНД, 2019. 500 с.

5. Александров А.Ю., Жабко А.П. Об устойчивости решений одного класса нелинейных разностных систем // Сибирский математический журнал. 2003. Т. 44. № 6. С. 1217–1225.

6. Александров А.Ю., Жабко А.П., Косов А.А. Анализ устойчивости и стабилизация нелинейных систем на основе декомпозиции // Сибирский математический журнал. 2015. Т. 56. № 6. С. 1215–1233.

7. Новиков М.А. О вычислительных способах достаточных условий устойчивости автономных консервативных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 1 (41). С. 28–36.

8. Ромм Я.Е. Параллельные итерационные схемы линейной алгебры с приложением к анализу устойчивости решений систем линейных дифференциальных уравнений // Кибернетика и системный анализ. 2004. № 4. С. 119–142.

9. Ромм Я.Е. Мультипликативные критерии устойчивости на основе разностных решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Кибернетика и системный анализ. 2006. № 1. С. 127–142.

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. Ромм Я.Е. Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости решений дифференциальных систем // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4. С. 42–63. DOI: 10.17513/snt.37973.

13. Ромм Я.Е. Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости по знакам компонентов решения дифференциальной системы и их двух производных // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 9. С. 100–124. DOI: 10.17513/snt.38823.

14. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. СПб.: Изд-во «Лань», 2018. 608 с.

15. Пиголкина Т.С. Автономные системы. Фазовые траектории. Элементы теории устойчивости. М.: Изд-во МФТИ, 2013. 40 с.

16. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.2. СПб.: Изд-во «Лань», 2019. 800 с.

17. Giesl P., Hafstein S. Computation of Lyapunov functions for nonlinear discrete time systems by linear programming. J. Difference Equ. appl. 2014. vol. 20. no. 4. P. 610–640.

18. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Технологический подход к исследованию устойчивости динамических систем: прикладные вопросы // Вестник РГРТУ. 2017. № 59. С. 127–135.

УДК 697.94:697.97-5

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Свиридов А.Н., Демкин В.И.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва,
e-mail: nickalecks@gmail.com, d_v_i@mail.ru

В статье рассматриваются основные методы повышения энергоэффективности центров обработки данных. Ключевым показателем эффективности центров обработки данных является коэффициент энергоэффективности – PUE (Power Utilization Efficiency). В статье приведен анализ методов повышения энергоэффективности путем оптимизации распределения вычислительной нагрузки между серверами и путем оптимизации работы систем охлаждения. Для принятия решений по оптимизации используются данные телеметрии с интерфейсов IPMI (Intelligent Platform Management Interface) серверов на базе архитектуры x86. Используются данные с датчиков температуры, датчиков мощности и данные об утилизации вычислительных ресурсов серверов. Эффективность методов оптимизации оценивается по результатам моделирования в системе автоматизированного проектирования Autodesk CFD с использованием вычислительной гидродинамики. На первом этапе выполняется консолидация нагрузки на серверы и перевод наименее нагруженных серверов в режим энергосбережения. На втором этапе выполняется балансировка нагрузки между активными серверами. На третьем этапе выполняется оптимизация систем охлаждения путем применения кондиционеров с частотно-регулируемым приводом. На каждом из этапов выполняется моделирование для оценки эффективности оптимизации. Эффективность методов оптимизации оценивается по рассчитанному энергопотреблению ИТ-оборудования, энергопотреблению систем охлаждения и общему энергопотреблению.

Ключевые слова: коэффициент энергоэффективности, вычислительная гидродинамика, центр обработки данных, консолидация нагрузки, балансировка нагрузки

ANALYSIS OF INCREASING THE DATA CENTERS ENERGY EFFICIENCY METHODS

Sviridov A.N., Demkin V.I.

National Research University of Electronic Technology, Moscow,
e-mail: nickalecks@gmail.com, d_v_i@mail.ru

The paper considers the methods for improving the energy efficiency of Data Centers. The efficiency ratio PUE (Power Utilization Efficiency) is the key identification of the data center energy efficiency. The article provides an analysis of methods for improving energy efficiency by optimizing the distribution of computing load between servers and optimizing the operation of Air Conditioning systems. Optimization decisions are made using telemetry data from IPMI (Intelligent Platform Management Interface) servers based on the x86 architecture. The data was obtained from temperature sensors, power sensors and data on the utilization of server computing resources. Based on the results of modeling in CAD Autodesk CFD using computational fluid dynamics, the effectiveness of optimization methods is evaluated. The first step is to consolidate the load on the servers and put the least loaded servers into power saving mode. The second step is load balancing between the active servers. The third step is to optimize the cooling systems by using air conditioners with variable frequency drive. At each step, simulations are performed to evaluate the effectiveness of the optimization. The effectiveness of the optimization methods is evaluated by the calculated energy consumption of IT equipment, the energy consumption of cooling systems and the total energy consumption.

Keywords: PUE, power utilization efficiency, CFD, computational fluid dynamics, DC, data center, load consolidation, load balancing

Центры обработки данных стали ключевыми компонентами современной ИТ-инфраструктуры. Росту российского рынка ЦОД способствует национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1].

Требования к потреблению энергии и охлаждению в центрах обработки данных являются критическими проблемами как с точки зрения растущих эксплуатационных расходов, так и с точки зрения их воздействия на окружающую среду.

Одним из основных параметров центров обработки данных является энергоэффективность. Энергоэффективность ЦОД определяется отношением общей мощности, потребляемой ЦОД, к мощности, потребляемой ИТ-оборудованием. Основным фактором, влияющим на энергоэффективность ЦОД, является эффективность систем охлаждения [2].

При определении требований к центрам обработки данных необходимо учитывать тенденции развития информационных систем и телекоммуникаций. Для решения задачи управлениями ресурсами требуются динамические методы. Технологии, используемые в современных серверных платформах на базе архитектуры x86, позволяют в режиме реального времени контролировать энергопотре-

бление, выделяемое тепло от оборудования и утилизацию вычислительных ресурсов. Эти данные доступны в интерфейсе IPMI (Intelligent Platform Management Interface). На основе этих данных возможно принятие взвешенных решений по оптимизации вычислительной нагрузки на оборудование.

Основными методами повышения энергоэффективности ЦОД являются:

- консолидация вычислительной нагрузки;
- балансировка вычислительной нагрузки;
- использование кондиционеров с частотно-регулируемым приводом.

Консолидация нагрузки заключается в том, чтобы сконцентрировать вычислительную нагрузку на наиболее производительных серверах, а менее производительные серверы перевести в режим ожидания. Снижение потребления мощности основано на переводе менее загруженных и менее производительных серверов в состояние пониженного энергопотребления.

Балансировка рабочей нагрузки – это метод, направленный на создание единого профиля по стойкам и рядам (Uniform Outlet Profile, UOP), чтобы уменьшить количество горячих и холодных точек в ЦОД. Наличие горячих и холодных точек в ЦОД нарушает распространение охлажденного воздуха от кондиционеров и значительно снижает эффективность систем охлаждения.

Применение кондиционеров с частотно-регулируемым приводом (Variable Frequency Drive, VFD) – это метод, подразумевающий модификацию систем охлаждения. Управление кондиционерами с частотно-регулируемым приводом позволяет снижать мощность систем охлаждения в наименее нагруженных частях центров обработки данных.

Цель исследования заключается в оценке эффективности применении методов повышения энергоэффективности ЦОД на основе данных телеметрии, полученной с интерфейса IPMI.

Материал и методы исследования

Оценка эффективности применении методов повышения энергоэффективности ЦОД состояла из нескольких этапов:

- настройка тестового стенда и подключение к платформе Intel DCM Energy Director;
- проведение нагрузочного тестирования на стенде и фиксация данных об энергопотреблении и тепловыделении посредством платформы Intel DCM Energy Director;
- моделирование полученных данных ЦОД в САПР Autodesk CFD.

Тестовый стенд состоит из двух серверных стоек 42U. В стойках размещены коммутаторы Arista DCS-7050T, серверы Dell PowerEdge R540 и серверы Dell PowerEdge R240 на базе Intel Xeon E-2200. Схема расположения оборудования в стойках представлена на рисунке 1.

Был проведен анализ имитационной модели со случайным распределением вычислительной нагрузки без применения каких-либо методов повышения энергоэффективности ЦОД. После чего проводился анализ с последовательным применением каждого из методов:

- консолидации нагрузки;
- балансировки вычислительной нагрузки;
- использования кондиционеров с частотно-регулируемым приводом.

В таблице 1 отображен результат применения метода консолидированного распределения вычислительной нагрузки. Указана средняя мощность (указано за год). Температура усредняется по 14 блокам CRAC.

Данные, собранные в ходе нагрузочного тестирования, были использованы для создания имитационной модели машинного зала, состоящего из:

- 300 серверных стоек 42U;
- 15 блоков распределения питания (Power Distribution Unit, PDU PDU).
- 14 блоков кондиционирования воздуха в серверных помещениях (Computer Room Air Conditioner, CRAC).

Схема машинного зала представлена на рисунке 2. Имитационная модель построена на архитектуре центра обработки данных с чередующимися горячими и холодными коридорами [3].

Полученные данные использовались для оптимизации распределения вычислительной нагрузки на основе телеметрии вычислительной платформы. Затем полученные данные были применены к имитационной модели, которая состоит из методов вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD) для оценки влияния оптимизации распределения вычислительной нагрузки на энергопотребление и тепловыделение центра обработки данных в среде Autodesk CFD.

Метод консолидации вычислительной нагрузки значительно повлиял на общее потребление мощности и количество серверов. Благодаря консолидации нагрузки удалось освободить примерно 24 серверные стойки.

После этого к модели, оптимизированной при помощи метода консолидации нагрузки, был применен метод балансировки вычислительной нагрузки (UOP), чтобы уменьшить количество горячих и холодных точек в машинном зале.

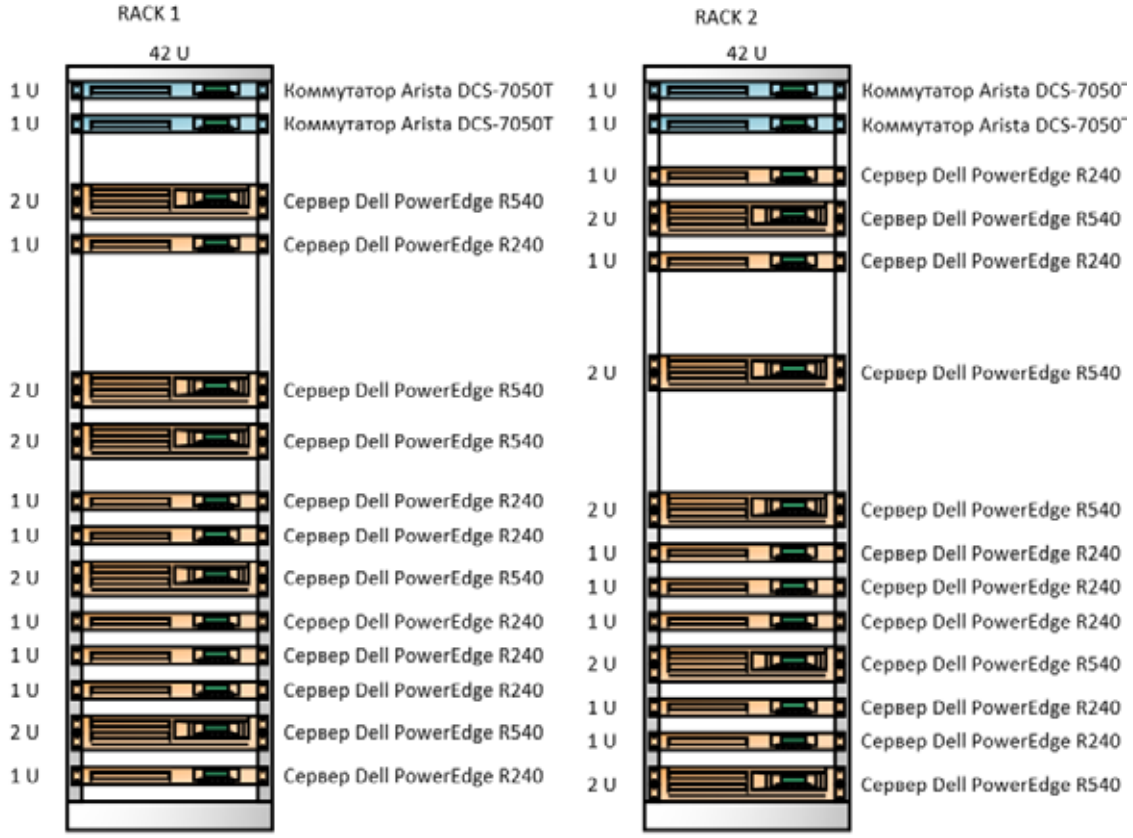


Рис. 1. Схема тестового стенда, используемого для сбора данных

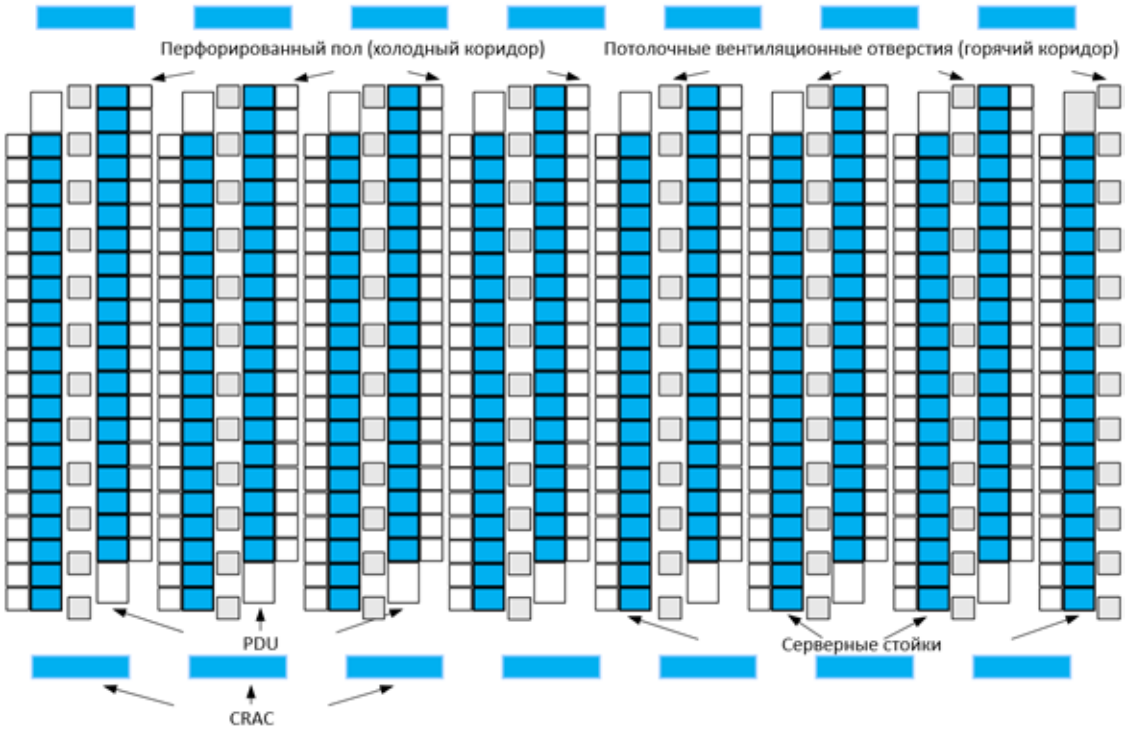


Рис. 2. Схема машинного зала, используемого для исследования

Таблица 1

Сравнение результатов моделирования при случайном распределении нагрузки и при консолидированном распределении нагрузки

Показатель	Случайное распределение нагрузки	Консолидированное распределение нагрузки
Общая мощность (МВт·ч/год)	10,643	10,340
Мощность системы охлаждения (МВт·ч/год)	3,622	3,608
Мощность ИТ-оборудования (МВт·ч/год)	5,517	5,253
Температура холодного коридора (°С)	23	22
Поток охлаждающего воздуха ($м^3$/час)	240,167	240,154
Активные серверы (шт.)	3,704	2,701
Среднее значение IOPS ($10^6 \cdot с^{-1}$)	2,824	2,744

Таблица 2

Сравнение результатов моделирования при консолидированном распределении нагрузки и при балансировке нагрузки после консолидации

Показатель	Консолидированное распределение нагрузки	Балансировка нагрузки после консолидации
Общая мощность (МВт·ч/год)	10,340	10,188
Мощность системы охлаждения (МВт·ч/год)	3,608	3,601
Мощность ИТ-оборудования (МВт·ч/год)	5,253	5,120
Температура холодного коридора (°С)	22	23
Поток охлаждающего воздуха ($м^3$/час)	240,154	246,161
Активные серверы (шт.)	2,701	2,701
Среднее значение IOPS ($10^6 \cdot с^{-1}$)	2,744	3,191

Таблица 3

Сравнение результатов моделирования при балансировке нагрузки после консолидации и при использовании кондиционеров с VFD

Показатель	Балансировка нагрузки после консолидации	Применение кондиционеров с VFD
Общая мощность (МВт·ч/год)	10,188	8,794
Мощность системы охлаждения (МВт·ч/год)	3,601	2,810
Мощность ИТ-оборудования (МВт·ч/год)	5,120	5,121
Температура холодного коридора (°С)	23	25
Поток охлаждающего воздуха ($м^3$/час)	246,161	154,113
Активные серверы (шт.)	2,701	2,701
Среднее значение IOPS ($10^6 \cdot с^{-1}$)	3,191	3,183

В таблице 2 отображен результат применения метода балансировки вычислительной нагрузки после применения метода консолидированного распределения вычислительной нагрузки.

Таблица 2 не показывает существенного изменения энергопотребления. Однако достигнуто повышение производительности вычислительного оборудования по показателю IOPS.

Основным преимуществом балансировки вычислительной нагрузки является устранение горячих и холодных точек в машинном зале. Равномерность тепловыделения в машинном зале позволяет использовать кондиционеры с частотно-регулируемым приводом [4].

В таблице 3 отображен результат применения в блоках CRAC кондиционеров с частотно-регулируемым приводом.

Таблица 4

Результаты оптимизации

Этапы	Оптимизированный ресурс	Результат оптимизации
Этап 1. Консолидированное распределение нагрузки	Пространство	Освобождение 8% стоек
Этап 2. Балансировка нагрузки	Производительность серверов	Увеличение производительности на 16%
Этап 3. Применение кондиционеров с VFD	Энергопотребление	Уменьшение энергопотребления системой охлаждения на 22%

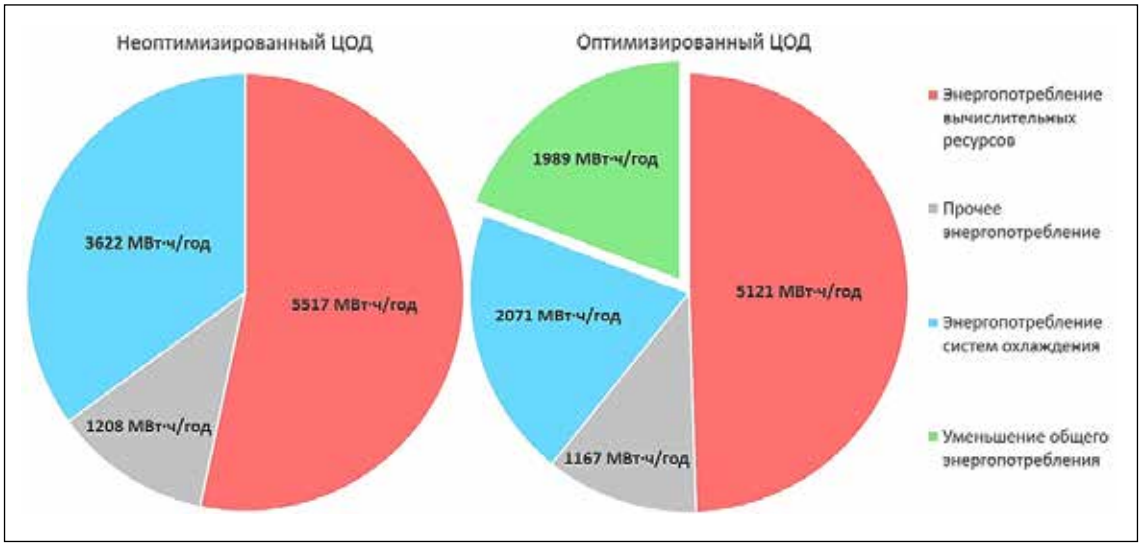


Рис. 3. Энергопотребление неоптимизированного и оптимизированного ЦОД

Таблица 3 демонстрирует существенное изменение использования ресурсов ЦОД в первую очередь за счет снижения энергопотребления системы охлаждения. Это изменение связано с применением метода UOP и кондиционеров с VFD.

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизация центров обработки данных – это поиск нерационально использующихся ресурсов. Основные результаты, достигнутые путем поэтапного применения трех методов оптимизации:

- уменьшилось количество активных серверов;
- увеличилась производительность активных серверов;
- уменьшилось энергопотребление системы охлаждения.

Достигнутые результаты представлены в таблице 4.

На рисунке 3 представлено энергопотребление в центре обработки данных до применения методов оптимизации и после трех этапов оптимизации. Разница энергопотребления составила 22%.

Основным показателем энергоэффективности центра обработки данных является PUE [2]:

$$PUE = E^{DC} / E^{IT}.$$

В результате применения методов оптимизации PUE моделируемого центра обработки данных улучшился с 1,93 до 1,71 [2].

Необходимо учитывать ряд ограничений при использовании представленного анализа методов повышения энергоэффективности на примере имитационной модели:

- имитационная модель построена на архитектуре центра обработки данных с чередующимися горячими и холодными коридорами [3];

- практические результаты будут зависеть от ряда условий, в первую очередь от архитектуры ЦОД и моделей вычислительного оборудования;

- для использования данных телеметрии с вычислительного оборудования необходим интерфейс IPMI (он есть на большинстве современных серверных платформ);

- использование кондиционеров с частотно-регулируемым приводом подразумевает аппаратную модификацию блоков CRAC;

- методы консолидации вычислительной нагрузки и балансировка вычислительной нагрузки в среде виртуализации подразумевают под собой миграцию виртуальных машин, которая может вызвать деградацию производительности [5].

Заключение

Результаты оценки эффективности методов оптимизации, полученные в итоге имитационного моделирования, могут применяться в центрах обработки данных. Использование телеметрии, полученной через интерфейсы IPMI, позволяют эффективно управлять нагрузкой на вычислительное оборудование и системами охлаждения. Важно отметить, что практические результаты будут зависеть от ряда условий. В первую очередь от архитектуры ЦОД и моделей вычислительного оборудования ЦОД.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Электронный ресурс]. URL: http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf (дата обращения: 24.01.2022).

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 30134-2-2018. Информационные технологии. Центры обработки данных. Ключевые показатели эффективности. Часть 2. Коэффициент энергоэффективности (PUE). М.: Стандартинформ, 2018. 24 с.

3. Методические рекомендации по проектированию центров обработки данных. Минстрой России, 2019. 47 с.

4. Ahuja N. Real Time Monitoring and Availability of Server Airflow for Efficient Data Center Cooling. IEEE Semi-Therm Symposium. 2013. Vol. 29. No. 1. P. 243-247. DOI: 10.1109/SEMI-THERM.2013.6526836.

5. Nathan S., Kulkarni P., and Bellur U. Resource Availability Based Performance Benchmarking of Virtual Machine Migrations. In Proc. of the ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering (ICPE). 2013. Vol. 4. No. 1. P. 387-398. DOI: 10.1145/2479871.2479932.

УДК 658.562.42

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ

[1]Сигов А.Н., [2]Старостин А.В., [2]Кулева Н.И., [2]Богданов Д.А.

[1]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, e-mail: VenteA@yandex.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, e-mail: starostinav@vogu35.ru

В данной статье рассмотрены особенности обеспечения и планирования качества, а также организации контроля качества на предприятиях, осуществляющих первичную обработку вторичных ресурсов (отходов), содержащих драгоценные и иные редкие и ценные металлы и материалы. Основной формой обеспечения качества полупродукта является контроль качества на всех стадиях производственного процесса: входной, пооперационный и выходной. Достаточно подробно рассмотрены особенности, задачи входного контроля вторичных ресурсов, который осуществляется службой контроля с целью установления соответствия качества сырья требованиям условий договоров на поставку и технических условий. Приведены случаи применения сплошного и выборочного входного контроля, контролируемые параметры рассматриваемых объектов в рамках входного контроля, а также в ходе осуществления технологического процесса, по окончании обработки. Отмечается, что максимальный возврат вторичных металлов зависит в значительной мере от эффективной организации сбора и входного контроля поступающих отходов драгоценных и иных редких и ценных металлов. Чем меньше недоброкачественной продукции поступает в производство, тем более эффективным является входной контроль. В связи с этим следовало бы установить порядок, при котором поставщик продукции оплачивает входной контроль, поскольку данная ситуация будет стимулировать поставщика к повышению качества предоставляемого сырья (отходов, деталей), обеспечивать сохранность во время транспортировки.

Ключевые слова: первичная обработка, обработка отходов, содержащих драгоценные и иные редкие и ценные металлы, обеспечение, планирование, анализ и измерение качества, входной и операционный контроль качества продукции

QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL OF PRIMARY WASTE PROCESSING PRODUCTS

[1]Sigov A.N., [2]Starostin A.V., [2]Kuleva N.I., [2]Bogdanov D.A.

[1]Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, e-mail: VenteA@yandex.ru;

[2]Vologda State University, Vologda, e-mail: starostinav@vogu35.ru

This article discusses the features of quality assurance and planning, as well as the organization of quality control at enterprises that carry out the primary processing of secondary resources (waste) containing precious and other rare and valuable metals and materials. The main form of semi-product quality assurance is quality control at all stages of the production process: input, operational and output. The features and tasks of input control of secondary resources, which is carried out by the control service in order to establish the compliance of the quality of raw materials with the requirements of the terms of supply contracts and technical specifications, are considered in sufficient detail. The cases of application of continuous and selective input control, controlled parameters of the objects under consideration within the input control, as well as during the implementation of the technological process, at the end of processing are given. It is noted that the maximum return of secondary metals depends, to a large extent, on the effective organization of the collection and incoming control of incoming waste of precious and other rare and valuable metals. The less low-quality products enter production, the more effective is the input control. In this regard, it would be necessary to establish a procedure in which the supplier of products pays for incoming control, since this situation will encourage the supplier to improve the quality of the raw materials (waste, parts) provided, to ensure safety during transportation.

Keywords: primary processing, processing of waste containing precious and other rare and valuable metals, provision, planning, analysis and quality measurement, input and operational quality control of products

Улучшение качества продукции является наиболее важным критерием роста производства. Повышение качества продукции в настоящее время расценивается как наиболее значимое условие конкурентоспособности предприятия.

Между эффективностью конкретного производства и качеством выпускаемой продукции, например первичной обработкой вторичных ресурсов, существует непосредственная связь. Повышение качества способствует повышению прибыльности производства и эффективности, приводя к уменьшению затрат. Одним из главных направлений улучшения качества является совершенствование способов входного контроля ресурсов [1].

Цель исследования – систематизировать подходы к организации входного контроля сырья и материалов на производствах первичной обработки вторичных ресурсов, показать необходимость разработки и использования документированных методик входного контроля.

Материалы и методы исследования

Статья написана на основе обобщения литературы по организации входного контроля качества и отраслевых методик входного контроля продукции массового и серийного производства малых предприятий первичной обработки вторичных ресурсов.

Основными методами исследования в данной работе являются наблюдение, сравнение, анализ и классификация приемов и операций входного контроля для повышения качества продукции.

Возрастание спроса и рост мировых цен на цветные, драгоценные и редкие промышленные металлы, сплавы, полуфабрикаты и изделия из них, а также повышенные требования потребителей к качеству продукции, ставят ряд задач в сфере планирования, обеспечения и контроля качества продукции производств первичной обработки вторичных ресурсов, лома и отходов металлов.

Полуфабрикаты описываемого производства представляют собой обработанный лом разной степени обработки, очищенные («обогащенные») отходы или иные формы, например цельнометаллические детали. Производство полуфабрикатов из отходов драгоценных и других редких и ценных промышленных металлов (например, тантала, ниобия, германия – рис. 1) можно определить как совокупность особых процессов, которые, в свою очередь, состоят из подпроцессов и технологических операций и содержат разные способы обработки отходов (металлов). Важнейшими особенностями исходных партий вторичных ресурсов (отходов) являются их большое разнообразие («разносортица») и очень высокая неоднородность состава. Эти особенности напрямую связаны с источниками происхождения и получения отходов означенных металлов для производств первичной обработки. Поэтому именно планирование и обеспечение качества производственных процессов (подпроцессов, операций) и контроль качества приобретают особую важность [2].

Основное производство полуфабрикатов включает в себя обычно механические и термохимические процессы, осуществляемые в организациях (структурах) малого бизнеса (заготовительные цеха и производственные участки) [2].

Технологии, применяемые в производствах первичной обработки отходов, базируются на применении в основном ручного и частично механизированного труда в сочетании с простейшим оборудованием и достаточно примитивными способами обработки. Источниками образования отходов могут служить предприятия (организации) различных сфер деятельности и правовых форм, использующие оборудование, материалы и инвентарь, содержащие драгоценные и иные редкие и ценные промышленные металлы. Поступающие для первичной обработки объекты (вторичные ресурсы), отходы, лом и детали имеют контролируемые признаки, обычно это – марка изделий, входящих в состав отходов, марка (состав, содержание) материалов, геометрические и физико-химические параметры, масса. Главными потребителями полуфабрикатов являются аффинажные заводы (для драгметаллов), металлообрабатывающие, машиностроительные и электротехнические предприятия (для других металлов), перерабатывающие их в готовую продукцию – драгоценные и иные металлы или сплавы в слитках, порошках, полуфабрикатах и первичных изделиях.

Основные операции производственного процесса первичной обработки вторичных ресурсов (драгметаллов и др.) представлены на рис. 2.

Основной формой обеспечения качества полупродукта является контроль качества на всех стадиях производственного процесса. В цехах и на производственных участках предприятий первичной обработки необходимо осуществлять контроль технологического процесса, который можно разделить на входной, пооперационный и выходной (рис. 3).

а *б* *в*

Рис. 1. Примеры металлов: а – тантал, б – ниобий, в – германий

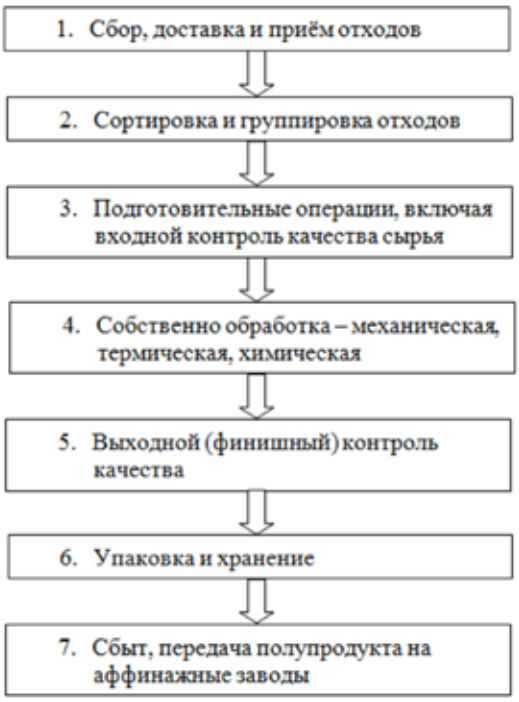


Рис. 2. Основные операции производственного процесса первичной обработки вторичных ресурсов

Рис. 3. Контроль технологического процесса

Входной контроль вторичных ресурсов (отходов) проводится специальной службой (отделом, группой) контроля с целью проверки соответствия качества сырья требованиям технических условий и условий договоров на поставку. Основная цель входного контроля качества поступающих отходов – определение содержания драгоценных и иных редких и ценных промышленных металлов.

При входном контроле производится проверка сырья (отходов), включающая:

– проверку и первичный учет сопроводительной документации;

– внешний осмотр поступившего сырья, в том числе на безопасность использования;

– проверку комплектности (по наличию элементов, содержащих драгметаллы);

– проверку количества поступившего сырья (пересчет, взвешивание и т.д.);

– проверку иных характеристик (параметров), указанных в договоре.

Применяемый входной контроль поступающего сырья может быть выборочным или сплошным [3, 4].

Сплошной контроль производится в следующих случаях:

– при контроле ответственных типов вторичных ресурсов и отходов (с высокой долей содержания драгоценных и других металлов);

– по требованию заказчика (дальнейшего или конечного получателя полуфабриката);

– при освоении новых видов ресурсов и отходов;

– при наличии требований в нормативной и технической документации.

Каждое изделие (узел, блок), поступающее для первичной обработки, должно подвергаться сплошному приемочному контролю по всем требуемым параметрам:

– внешний вид;

– наличие и состав наружных элементов, содержащих драгметаллы;

– размер наружных элементов;

– масса изделий и их частей, предназначенных для первичной обработки;

– качество упаковки.

Выборочный входной контроль используется в следующих случаях:

– при получении однородного сырья в количествах, позволяющих применять статистические методы контроля;

– при нецелесообразности использования сплошного контроля (очень низкое содержание драгметаллов и иных редких и ценных в сырье);

– когда нельзя без разрушения произвести проверку отходов на содержание драгоценных металлов.

При выборочном контроле необходимо провести проверку до 10 % изделий от партии, но количество этих изделий не должно быть меньше 10 шт. Изделия прошли проверку, если все показатели соответствуют требованиям нормативных документов и договоров. Если в ходе выборочного контроля будет выявлено несоответствие изделий требованиям регламентирующих документов, то проводится повторный контроль на удвоенном количестве изделий из той же партии (исключением являются изделия, которые уже подвергались контролю). Показатели повторного контроля считаются окончательными и действуют на всю партию. При формировании выборок необходимо руководствоваться положениями о методах случайного отбора штучной продукции или правилами отбора единиц продукции на выборку. Необходимо составить ведомость входного контроля с указанием всех операций и документации данного контроля.

Можно выделить следующие основные задачи входного контроля:

– осуществление входного контроля поступающих изделий;

– оформление документации по результатам контроля;

– извещение поставщиков о несоответствии партий изделий регламентирующим документам, условиям поставки;

– сбор необходимых данных о реальном уровне качества поставляемых изделий и разработка на этой основе фактических предложений по улучшению качества, и при необходимости пересмотр требований регламентирующей документации на поступающие отходы [4].

При проверке сопроводительных документов следует обращать внимание:

– на соответствие обозначения и наименования отходов, указанных в сопроводительных документах;

– наличие разрешающих документов (разрешений на применение, сертификатов).

При внешнем осмотре осуществляется проверка:

– целостности тары и упаковки;

– отсутствия посторонних включений и предметов;

– отсутствия влаги и загрязнений.

Проверка характеристик (параметров) проводится после проверки сопроводительных документов, внешнего осмотра и проверки комплектности всего объема, согласно ведомости входного контроля.

В ходе осуществления технологического процесса контролируется степень очищения отходов от несоответствующих (непрофильных) материалов, а также режимы работы и показатели надежности применяемого оборудования. При регенерации драгоценных металлов, в частности серебра из растворов, контролируется такой показатель, как полнота осаждения серебра. По окончании обработки вновь определяется содержание драгоценных и иных редких и ценных металлов, но уже в полученных полуфабрикатах. Следует отметить, что максимальный возврат вторичных металлов зависит в значительной мере от эффективной организации сбора и входного контроля поступающих отходов драгоценных и иных редких и ценных металлов.

Все виды контроля качества должны выполнять специально обученные сотрудники предприятия (производственного участка).

Для организации нормальной работы по контролю качества необходимо иметь следующую технико-технологическую документацию:

– инструкцию по организации сбора, учета и первичной обработки;

– примерное положение о производственном участке первичной обработки отходов драгоценных металлов и отдельно других редких и ценных металлов;

– инструкции по обслуживанию технологического оборудования и измерительной аппаратуры;

– технологические карты процессов (подпроцессов, операций) первичной обработки отходов драгоценных и иных металлов.

Каждое предприятие самостоятельно разрабатывает регламентирующие документы по проведению входного контроля. Например, на Вологодском оптико-механическом заводе основные положения документации составляет служба материально-технического снабжения и бюро входного контроля совместно с техническими и юридическими службами завода.

Регламентирующий документ содержит следующие разделы:

1. Общие положения.
2. Применяемые определения и термины.
3. Методика проведения, в которой прописывают случаи применения выборочного и сплошного контроля. Если отбор производится по таблицам случайных чисел, необходимо обязательно нумеровать поступающие детали (узлы, блоки, слитки, полуфабрикаты) перед проведением проверки.
4. Методика проведения поверки отделом технического контроля и заполнение журнала результатов входного контроля.
5. Распределение деталей по итогам контроля.

Для поставщиков отходов или вторичных ресурсов формируется акт входного контроля. Данный документ подписывают следующие сотрудники предприятия: контролер, контрольный мастер, конструктор, технолог, инженер по подготовке производства; затем его утверждает технический директор. На основании утвержденного акта входного контроля поступающее сырье, отходы принимаются в производство или бракуются [5].

Чем меньше в производство поступает недоброкачественной продукции, тем более эффективным является входной контроль. В связи с этим целесообразно было бы установить порядок, при котором поставщик продукции оплачивает входной контроль, поскольку данная ситуация будет стимулировать поставщика к повышению качества предоставляемого сырья (отходов, деталей), обеспечивать сохранность во время транспортировки и т.п.

Контроль качества способствует достижению оптимального соотношения цены и качества выпускаемого полупродукта, а также повышению производительности труда на производственном участке.

Одной из важнейших сторон управления качеством продукции является планирование качества продукции. Цели планирования сводятся к оценке информации по рынку полуфабрикатов и ценных изделий (анализ спроса и предложения), а также к оценке возможного функционала предприятия по обработке [6].

Цель планирования качества и анализа на этапе основного производства состоит в определении соответствия основных характеристик полученного продукта запланированным характеристикам и устранении недостатков в планировании сбора отходов, контроля и производственного процесса обработки изделий. На этапе реализации проводится сбор информации и планирование потребительских свойств продукции («рыночное качество») в сравнении с аналогичными изделиями конкурентов. Уровни качества могут быть определены квалиметрическими методами и оценкой экономических характеристик групп свойств выпускаемых полуфабрикатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования: упорядочена последовательность выполнения операций входного контроля для производств первичной обработки вторичных ресурсов, составлены схемы – основных операций производственного процесса первичной обработки вторичных ресурсов и контроля технологического процесса.

Заключение

В ходе исследования дано описание последовательности операций первичной обработки вторичных ресурсов, определены и упорядочены способы и приемы контроля качества выпускаемой продукции, разработан порядок осуществления входного контроля сырья.

Список литературы

1. Разумов В.А. Управление качеством: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 080507 «Менеджмент организации». М.: ИНФРА-М, 2010.

2. Солдатов В.Г., Вавилин Я.А. Менеджмент в машиностроении: учебное пособие для вузов. СПб.: Издательство «Лань», 2021. 292 с.

3. Сурикова А.Н., Евстафьева А.А. Использование пара утилизационных установок для подогрева питательной воды котлов // Теплоэнергетика. «Энергия-2019». Четырнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы конференции. Иваново: ИГЭУ, 2019. С. 72.

4. Бриш В.Н., Сигов А.Н., Старостин А.В. Методы обеспечения качества машиностроительной продукции: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2012. 112 с.

5. Соловьева Е.В., Сурикова А.Н. Деформационные параметры вторичного поливинилхлорида // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2021. № 1 (11). С. 69–70.

6. Петровский Э.А. Управление качеством производственных и технологических систем: учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование». Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2017. 352 с.

УДК 378.147.88:004.31

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОПРОГРАММИРУЕМОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В MICROSOFT EXCEL ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УЧЕБНЫХ МИКРОПРОГРАММ

Страбыкин Д.А.

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров, e-mail: Strabykin@mail.ru

Технология проведения практических занятий на компьютерах с использованием табличного процессора Microsoft Excel, разработанная для вычислительных устройств с блоками управления на основе «жесткой логики», развивается применительно к микропрограммируемым вычислительным устройствам с блоками управления на основе «программируемой логики». Рассматривается построение функциональной модели микропрограммируемого вычислительного устройства на примере восьмиразрядного устройства с блоком памяти микропрограмм. Модель устройства строится на основе функциональных моделей блоков (арифметико-логического, регистров, памяти микропрограмм) и узлов (регистров, мультиплексоров, инкремента, инвертирования). Разработанная для экспериментального исследования устройства экранная форма позволяет заносить двоичный код микропрограммы в блок памяти микропрограмм, вводить исходные данные и наблюдать изменение состояний выходов комбинационных схем и состояний внутренних регистров после выполнения каждой микрокоманды. Рассматривается организация работы микропрограммируемого вычислительного устройства в потактовом режиме, когда после каждого нажатия клавиши F9 («Такт») осуществляется двукратный пересчет формул в Microsoft Excel, а в устройстве выполняется одна микрокоманда. Потактовый режим работы реализуется путем задания в Microsoft Excel параметров вычисления формул: выбираются вычисления в книге «вручную» и включаются итеративные вычисления с предельным числом итераций, равным двум. Созданная действующая функциональная модель микропрограммируемого вычислительного устройства представляет самостоятельную ценность, так как может быть использована для проведения практических занятий по микропрограммной реализации алгоритмов выполнения различных операций. Выделяются основные шаги решения задачи по разработке и отладке микропрограммы на примере операции деления двоичных чисел нацело. Отмечается перспективность применения разработанной функциональной модели для демонстрации работы микропрограммируемых вычислительных структур при изучении вычислительных устройств на лекционных занятиях.

Ключевые слова: микропрограммируемые вычислительные устройства, действующие функциональные модели, разработка и отладка микропрограмм, компьютерные практикумы по ЭВМ, применение Microsoft Excel

A FUNCTIONAL MODEL OF A MICROPROGRAMMABLE COMPUTING DEVICE IN MICROSOFT EXCEL SPREADSHEETS FOR RUNNING TUTORIAL MICROPROGRAMMS

Strabykin D.A.

Vyatka State University, Kirov, e-mail: Strabykin@mail.ru

This paper develops previously described method of teaching practice classes with Microsoft Excel spreadsheets. Earlier we used control units with hard-coded logics and in this article control units with programmable logic are introduced. As an example of functional model of a microprogrammable computing device, 8-digit device with a memory block for storing microprograms is described. The model of a device is built of functional models of various blocks (arithmetic logic unit, registers, program memory) and computing nodes (registers, multiplexors, incrementors and inverters). For conducting experiments with device model, a screen form is suggested. It allows to enter binary microprogram's code and input data into memory and to observe the state combinatorial elements' outputs and internal registers after execution of each microcommand. Step-by-step mode of execution for microprogrammable computing device is defined in the following way: each time F9 key is pressed Microsoft Excel spreadsheet's formulas are recalculated twice, which results in execution of a single microcommand. Step-by-step mode is implemented by a special configuration of formulae computation in Microsoft Excel: formulae computation mode is set to "Manual", iterative calculations are enabled with a maximum number of iterations set to 2. Described functional model of a microprogrammable computing device is valuable because it can be used in practice classes teaching implementation of algorithms of various operations with microprograms. The main steps of solving the problem of developing and debugging a microprogram are illustrated with an operation of exact division of two binary integers. Suggested functional model is also advantageous for demonstration of work of microprogrammable computing structures in lectures.

Keywords: microprogrammable computing devices, functional models, development and debugging of microprograms, practical studies of computers, Microsoft Excel applications

Неотъемлемой частью процесса обучения основам вычислительной техники является практическая подготовка. Применение в учебном процессе программных продуктов из инструментария разработчиков средств вычислительной техники не всегда оправдано. Коммерческие программы профессионального уровня имеют низкую

«обучающую» ценность для большинства учебных заведений, поскольку рассчитаны на использование высококвалифицированными специалистами и имеют высокую рыночную стоимость [1]. Более глубокому усвоению материала при изучении простейших вычислительных устройств способствует разработка и экспериментальное исследование обучающимися программных моделей устройств с использованием адаптированных для учебного процесса программных систем и эмуляторов цифровых автоматов [2–4].

Цель исследования – развитие технологии построения и использования функциональных моделей микропрограммируемых вычислительных устройств (МПВУ) в учебном процессе, основанной на применении табличного процессора Microsoft Excel и позволяющей создавать модели, в которых возможна микропрограммная реализация алгоритмов различных операций путем смены содержимого памяти микропрограмм.

Под МПВУ понимается устройство, способное выполнять алгоритмы, представленные в виде микропрограмм. МПВУ состоит из двух частей: операционной и управляющей. Основу операционной части МПВУ составляют два блока: регистров (БР) и арифметико-логический (БАЛ). При функционально полном наборе микроопераций и логических условий в БАЛ и достаточном числе регистров в БР операционная часть МПВУ позволяет выполнить любой алгоритм в виде микропрограммы.

Основу управляющей части составляют: блок памяти микропрограмм и схемы формирования адреса следующей микрокоманды. Смена содержимого блока памяти микропрограмм дает возможность перенастраивать МПВУ на выполнение новых алгоритмов.

В процессе создания функциональной модели МПВУ используется технология, основанная на применении табличного процессора Microsoft Excel, позволяющего создавать действующие модели без разработки программного кода по принципу «программирование без программирования» [5]. Создание функциональной модели МПВУ имеет следующие особенности. При разработке операционной части МПВУ определяется разрядность и число регистров БР, а также состав микроопераций и логических условий БАЛ, обеспечивающих выполнение микропрограмм операций, включаемых в учебные задания. При разработке управляющей части ВУ определяется формат микрокоманды, способы формирования адреса следующей микрокоманды и объем памяти микропрограмм.

Разработка функциональной модели микропрограммируемого вычислительного устройства

Рассмотрим разработку функциональной модели МПВУ на примере следующего восьмиразрядного устройства.

Операционная часть МПВУ. Операционная часть МПВУ включает БР из восьми восьмиразрядных регистров и комбинационный БАЛ, который выполняет восемь микроопераций и формирует значения трех логических условий.

Два трехразрядных адресных входа БР a и b позволяют одновременно выбирать в БР пару регистров, содержимое которых поступает по двум магистралям на входы БАЛ. При этом содержимое регистра, выбранное с помощью адреса a, поступает на вход A, а содержимое регистра, выбранное с помощью адреса b, – на вход B БАЛ. В течение такта в БАЛ над данными, поступающими на входы A и B, выполняется одна из восьми микроопераций и формируются значения логических условий. Результат микрооперации записывается в буферный регистр результата РБ, а значения логических условий передаются в управляющую часть МПВУ. Содержимое регистра РБ может быть записано в любой регистр БР, адрес которого задается на адресном входе b.

Описание выполняемых БАЛ микроопераций с помощью логических функций и представление их в виде логических функций табличного процессора Microsoft Excel содержится в работе [5]. Набор микроопераций, выполняемых БАЛ, приведен в табл. 1, где f – код микрооперации; R[a] – содержимое регистра БР с адресом a; R[b] – содержимое регистра БР с адресом b; РБ – содержимое буферного регистра результата микрооперации.

В БАЛ на основании полученного результата микрооперации формируются следующие логические условия: s – старший разряд; z – равенство результата нулю; p – перенос из старшего разряда.

Запись в БР возможна из входного регистра данных РД и буферного регистра результата РБ. Кроме того, в любой регистр БР может быть записан код «00000000» или «11111111». Набор микроопераций записи в регистры БР из различных источников, определяемый сигналом записи w и двумя младшими разрядами адресного входа a БР, приведен в табл. 2, где символ «x» представляет разряд регистра a, неиспользуемый в данной микрооперации.

Таблица 1

Микрооперации БАЛ

f	Микрооперация	Пояснение
000	РБ = R[a]	Пересылка (формирование значения признаков)
001	РБ = R[a]&R[b]	Конъюнкция
010	РБ = R[a]∨[b]	Дизъюнкция
011	РБ = R[a]⊕R[b]	Сумма по модулю два
100	РБ = 2R[b].c0	Сдвиг в сторону старших разрядов с занесением в освобождающийся разряд значения входа переноса c0
101	РБ = p.R[b]/2	Сдвиг в сторону младших разрядов с занесением в освобождающийся разряд значения выхода переноса из старшего разряда p
110	РБ = R[a]-R[b]-c0	Вычитание с вычитанием из результата значения входа переноса c0
111	РБ = R[a]+R[b]+c0	Суммирование с добавлением к результату значения входа переноса c0

Таблица 2

Микрооперации записи в регистры БР

w	a	Микрооперация записи в БР	Пояснение
0	xxx	–	Хранение информации (состояния регистров БР не изменяются)
1	x00	R[b]: = 00000000	Запись двоичного кода «00…0» в регистр БР с адресом b
1	x01	R[b]: = РД	Запись содержимого регистра ввода данных РД в регистр БР с адресом b
1	x10	R[b]: = РБ	Запись содержимого буферного регистра РБ в регистр БР с адресом b
1	x11	R[b]: = 11111111	Запись двоичного кода «11…1» в регистр БР с адресом b

На рис. 1 приведена экранная форма функциональной модели МПВУ, в операционной части которой изображены: БР, БАЛ, буферный регистр РБ, регистр данных РД и мультиплексор данных МД. На экранной форме кроме управляющих сигналов отображаются состояния разрядов всех регистров, а также номера регистров БР. В БАЛ на экран выводятся двоичные коды операндов на входах и результаты выполняемой микрооперации на выходе. Для микрооперации суммирования (вычитания) в БАЛ над результатом также отображается слово переносов (заёмов), младшие разряды которого располагаются слева. Экранная форма обеспечивает непосредственный ввод операнда в РД.

Описание работы БР в режиме чтения содержимого регистра, выбираемого с помощью трехразрядного адресного входа a, рассмотрим на примере младших (нулевых) разрядов регистров $R[a]_0$, a = 0,1,…,7. Значение младшего разряда входа A БАЛ, на который поступает одноименный разряд регистра БР, считываемый с помощью адреса $a = a_2a_1a_0$, вычисляется по формуле:

$$A0 = \neg a_2\neg a_1\neg a_0R[0]_0\vee\neg a_2\neg a_1a_0R[1]_0\vee\neg a_2a_1\neg a_0R[2]_0\vee\neg a_2a_1a_0R[03_0\vee a_2\neg a_1\neg a_0R[4]_0\vee a_2\neg a_1a_0R[5]_0\vee a_2a_1\neg a_0R[6]_0\vee a_2a_1a_0R[7]_0,$$

которой соответствует следующая формула MS Excel.

AI25: = ЕСЛИ(И(НЕ($R21);НЕ($S21);НЕ($T21));AN14;ЕСЛИ(И(НЕ($R21);НЕ($S21);$T21);AN15;ЕСЛИ(И(НЕ($R21);$S21;НЕ($T21));AN16;ЕСЛИ(И(НЕ($R21);$S21;$T21);AN17;ЕСЛИ(И($R21;НЕ($S21);НЕ($T21));AN18;ЕСЛИ(И($R21;НЕ($S21);$T21);AN19;ЕСЛИ(И($R21;$S21;НЕ($T21));AN20;ЕСЛИ(И($R21;$S21;$T21);AN21;» «)))))))).

Описание работы БР в режиме чтения содержимого регистра, выбираемого с помощью трехразрядного адресного входа b, осуществляется аналогично.

Запись в БР рассмотрим на примере записи в младший разряд нулевого регистра. Операнды на входы регистров РБ поступают с выхода мультиплексора данных МД в соответствии с сигналами на двухразрядном управляющем входе мультиплексора, на который поступают два младших разряда адреса a БР: a_1a_0. Работа $МД_0$ (младшего разряда МД) описывается логической формулой:

$$МД_0 = w(\neg a_1\neg a_0 0\vee\neg a_1a_0РД_0\vee a_1\neg a_0РБ_0a_1a_01),$$

где w – сигнал записи в БР, $РД_0$ – нулевой разряд регистра данных РД, а $РБ_0$ – буферного регистра.

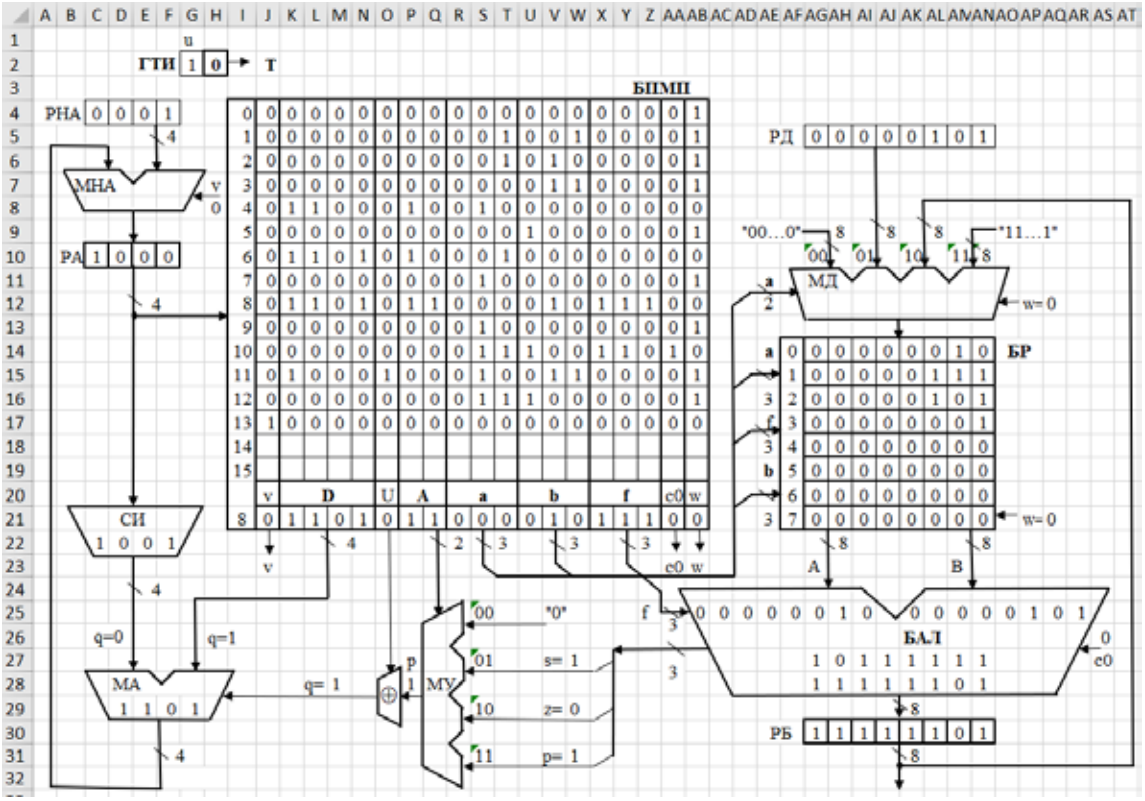


Рис. 1. Экранная форма функциональной модели МПВУ, где ГТИ – генератор тактовых импульсов, БПМП – блок памяти микропрограмм, БР – блок регистров, БАЛ – блок арифметико-логический; РНА – регистр начального адреса, МНА – мультиплексор начального адреса РА – регистр адреса, СИ – схема инкремента, МА – мультиплексор адреса, ⊕ – инвертор кода условия, МУ – мультиплексор условий, РД – регистр данных, МД – мультиплексор данных, РБ – регистр буферный.

При моделировании работы МД используется следующая формула MS Excel:

AN12: = ЕСЛИ(AB21 = 0;» «;ЕСЛИ(И(НЕ(S21);НЕ(T21));0;ЕСЛИ(И(НЕ(S21);T21);AN5;ЕСЛИ(И(S21;НЕ(T21));AN30;ЕСЛИ(И(S21;T21);1;» «))))).

Формула позволяет выводить на экран ноль или единицу только в тех случаях, когда есть сигнал записи (w) в БР и используется одно из четырех допустимых сочетаний значений разрядов адреса a_1a_0, а в остальных случаях отображается пробел.

Запись в нулевой разряд нулевого регистра значения сигнала с выхода мультиплексора данных $МД_0$ описывается логической формулой

$$R[0]_0(t+1) = \neg b_2 \neg b_1 \neg b_0 w МД_0 \vee \neg(\neg b_2 \neg b_1 \neg b_0 w) R[0]_0(t),$$

где $R[0]_0(t)$ – состояние нулевого разряда нулевого регистра в режиме хранения до записи, а $R[0]_0(t+1)$ – после записи, $b_2b_1b_0$ – разряды адресного входа b в БР.

При моделировании работы регистра БР используется следующая формула MS Excel:

= ЕСЛИ(И(НЕ(U21);НЕ(V21);НЕ(W21);AB21);AN12;AN14).

Управляющая часть МПВУ. Микрокоманда (МК), состоит из двух частей: управляющей (УЧ) и операционной (ОЧ). Формат МК с указанием условных обозначений и разрядностей всех полей приведен на рис. 2, где D – адрес следующей МК в блоке памяти микропрограмм; U – код инверсии значения выбранного логического условия; A – код выбираемого логического условия; a – адрес (номер) первого выбираемого в БР регистра; b – адрес (номер) второго выбираемого в БР регистра; f – код микрооперации, выполняемой в БАЛ; c0 – вход переноса в БАЛ; w – сигнал записи в данных в регистр БР.

УЧ МК				ОЧ МК				
v	**D**	U	**A**	**a**	**b**	**f**	c0	w
1	4	1	2	3	3	3	1	1

Рис. 2. Формат микрокоманды

Поля операционной части МК используются для управления работой БР и БАЛ, обеспечивая необходимые пересылки операндов и выполнение над ними заданных микроопераций. Поля управляющей части МК определяют порядок формирования адреса в БПМП следующей выполняемой МК в соответствии с реализуемым алгоритмом и с учетом значений логических условий, поступающих из БАЛ.

На экранной форме функциональной модели МПВУ, приведенной на рис. 1, в управляющей части устройства изображены: блок памяти микропрограмм БПМП; регистр начального адреса РНА, мультиплексор начального адреса МНА, регистр адреса РА, схема инкремента СИ, мультиплексор адреса МА, мультиплексор условий МУ с инвертором кода условия «⊕». На экранной форме отображаются состояния разрядов регистров РА и РНА и состояния разрядов используемых ячеек блока памяти, а также состояния входов и выходов комбинационных схем (МУ, «⊕», МА, СИ). Кроме того, в нижней части БПМП выводится считываемая МК и адрес ячейки, в которой она записана. Экранная форма обеспечивает непосредственный ввод двоичных кодов МК в БПМП, а также задание начального адреса МК в РНА.

Описание логическими функциями работы БПМП в режиме чтения и представление их в виде логических функций табличного процессора Microsoft Excel осуществляется аналогично тому, как это делается при моделировании работы РБ в режиме чтения данных.

В каждом такте работы МПВУ из ячейки блока памяти микропрограмм по адресу, указанному в регистре адреса, считывается МК. Операционная часть считанной МК используется для подачи в БР и БАЛ управляющих сигналов, под действием которых выполняются заданные микрооперации, а с помощью управляющей части МК в регистре адреса формируется адрес следующей МК.

На линейных участках микропрограммы следующая для выполнения МК помещается в следующую по порядку ячейку БПМП, поэтому формирование адреса производится с помощью схемы инкремента, которая увеличивает содержимое РА на единицу. Для подключения СИ ко входам РА используется мультиплексор адреса, на управляющий вход которого необходимо подать сигнал q = 0. Подача сигнала q = 0 реализуется путем подачи на управляющий вход А мультиплексора условий кода «00», обеспечивающего передачу на выход сигнала P = 0 (соответствующего тождественно ложному логическому условию). Сигнал на входе q мультиплексора адреса зависит от сигнала на выходе инвертора условий (U): q = P⊕U, при U = 0 формируется необходимое значение сигнала q = 0.

Для реализации переходов в микропрограмме на управляющий вход q мультиплексора адреса подается значение логического условия (или его инверсия), что обеспечивает передачу в регистр адреса либо следующего по порядку адреса с выхода схемы инкремента, либо адреса перехода из поля D управляющей части микрокоманды. Значение управляющего входа мультиплексора адреса определяется следующими формулами:

$$q = P \oplus U,$$

$$P = \neg A_1 \neg A_0 0 \vee A_1 \neg A_0 s \vee A_1 \neg A_0 z \vee A_1 A_0 p,$$

где A_1, A_0 – разряды поля условия А; «¬» – символ инверсии переменой. Безусловный переход реализуется при A = 00 и U = 1.

Для перехода на начальный адрес микропрограммы используется адрес, который предварительно помещается в регистр начального адреса РНА. Переход на адрес из РНА осуществляется при задании в МК v = 1.

На экранной форме функциональной модели МПВУ (рис. 1) также отображается генератор тактовых импульсов (ГТИ). При установке на экранной форме управляющего входа ГТИ u в единичное состояние каждое нажатие клавиши F9 («Такт») меняет состояние выхода T генератора на противоположное. При u = 0 состояние выхода T генератора принимает нулевое значение и сохраняет его при нажатиях клавиши F9. Работа ГТИ моделируется T триггером с установкой в «0» и описывается формулой:

$$T(t+1) = u(\tau \oplus T(t)),$$

где T(t) – состояние триггера до подачи сигнала τ, формируемого при нажатии клави-

ши F9, а T(t+1) – после подачи этого сигнала. Используемая логическая формула T триггера представляется следующей формулой MS Excel:

H2: = ЕСЛИ(И(G2;НЕ(H2));1;0).

Проведению экспериментальных исследований предшествует занесение в ячейку G2 единицы и изменение параметров Microsoft Excel, связанных с вычислением формул: выбираются вычисления в книге «вручную» и включаются итеративные вычисления с предельным числом итераций, равным единице.

При данных настройках параметров Microsoft Excel микрокоманда выполняется за два полутакта, каждый из которых требует нажатия клавиши F9. В первом полутакте при T = 1 нажатие клавиши F9 вызывает считывание очередной МК из БПМП по адресу из РА и выполнение заданных в операционной части МК преобразований. В первом полутакте либо выбираются операнды из БР и выполняется заданная микрооперация в БАЛ с фиксацией полученного результата в буферном регистре РБ, а значений признаков в соответствующих триггерах признаков, либо производится запись в заданный регистр БР операнда, выбранного из одного из четырех источников в соответствии с двумя младшими разрядами адресного входа а БР.

Во втором полутакте при T = 0 нажатие клавиши F9 вызывает выполнение преобразований по формированию в РА адреса следующий МК. Преобразования задаются в управляющей части текущей МК, считанной в предыдущем полутакте. При этом условный переход по адресу, указанному в управляющей части текущей МК, осуществляется в соответствии со значениями признаков, сформированными и запомненными в предыдущем полутакте.

Для того чтобы МК выполнялась в МПВУ при однократном нажатии клавиши F9, необходимо в параметрах Microsoft Excel, связанных с вычислением формул, включить итеративные вычисления с предельным числом итераций равным двум.

Применение функциональной модели МПВУ в учебном процессе

Созданная функциональная модель МПВУ позволяет производить разработку и отладку учебных микропрограмм. При этом обучающийся решает задачу микропрограммной реализации заданной операции в МПВУ. В процессе решения задачи выделяются следующие шаги.

1. Выбор алгоритма выполнения операции.

2. Разработка микропрограммы выполнения операции.

3. Кодирование микропрограммы и составление таблицы прошивки для памяти микропрограмм.

4. Занесение таблицы прошивки в блок памяти микропрограмм.

5. Ввод исходных данных и отладка микропрограммы.

Рассмотрим применение МПВУ в учебном процессе на примере операции деления нацело 8-разрядного двоичного числа X на 8-разрядное двоичное число Y.

1. Выбор алгоритма выполнения операции. Для выполнения заданной операции предлагается использовать следующий алгоритм. Если число Y = 0, то деление не выполняется, а формируется признак переполнения P. В противном случае из делимого X вычитается делитель Y, и если разность R положительное число, то частное Z увеличивается на единицу, а разность R выступает в качестве нового уменьшаемого на следующем шаге. Процесс вычитания продолжается до тех пор, пока не будет получена отрицательная разность. В этом случае Z будет представлять собой искомое частное от деления X на Y нацело [5].

2. Разработка микропрограммы выполнения операции. Микропрограмма разрабатывается на основе алгоритма выполнения операции. В процессе разработки микропрограммы исходным данным, промежуточным и конечным результатам выделяются регистры БР (X – R[1], Y – R[2], Z – R[3], P – R[4], R – R[0]); выбирается подмножество необходимых для реализации микроопераций (ввода исходных данных, обнуления регистров, пересылки, вычитания, инкремента, записи в регистр кода 11111111) и логических условий (z – равенство результата нулю; p – перенос из старшего разряда). Микропрограмма деления чисел нацело для МПВУ может быть представлена в следующем виде (рис. 3).

3. Кодирование микропрограммы и составление таблицы прошивки для памяти микропрограмм. Для разработанной микропрограммы определяется начальный адрес в БПМП, начиная с которого микропрограмма будет записана в память.

Формируются двоичные коды микрокоманд путем записи в каждое поле МК необходимого двоичного кода, которые помещаются в специальную таблицу прошивки (табл. 3). В рассматриваемом примере кодированная микропрограмма размещается с 1 по 13 ячейки БПМП. При этом неиспользуемые в МК поля имеют двоичные коды, состоящие из нулей.

НАЧАЛО

МК 1: R[1]:=РД (ввод делимого X);

МК 2: R[2]:=РД (ввод делителя Y);

МК 3: R[3]:=00000000 (обнуление регистра результата Z);

МК 4: РБ:=R[2] (пересылка делителя Y через БАЛ для формирования признака нуля z);
если z=1, то переход к **МК 12**, иначе

МК 5: R[4]:=0 (обнуление регистра признака переполнения P при делении на ноль);

МК 6: РБ:=R[1] (пересылка делимого X через БАЛ для формирования признака нуля z);
если z=1, то переход к **КОНЕЦ**, иначе

МК 7: R[0]:=РБ (запись делимого в нулевой регистр БР);

МК 8: РБ:=R[0]-R[2] (вычитание делителя);
если p=1, то переход к **КОНЕЦ**, иначе

МК 9: R[0]:=РБ (запись результата вычитания в нулевой регистр БР);

МК 10: РБ:=R[3]+1 (увеличение частного Z на единицу);

МК 11: R[3]:=РБ (запись увеличенного частного Z в третий регистр БР) и переход к **МК 8**;

МК 12: R[4]:=11111111 (установка признака переполнения);

КОНЕЦ

Рис. 3. Микропрограмма деления чисел нацело

Таблица 3

Таблица прошивки для микропрограммы деления чисел нацело

Адрес ЯП	Управляющая часть МК								Операционная часть МК										
	v	D				U	A		a			b			f			c0	w
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
4	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
6	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
11	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. Занесение таблицы прошивки в блок памяти микропрограмм. Двоичные коды МК заносятся в БПМП с помощью экранной формы, которая позволяет вводить и редактировать МК, используя возможности Microsoft Excel. Пример занесенной в БПМП таблицы прошивок приведен на рис. 1.

5. Ввод исходных данных и отладка микропрограммы. Запуску функциональной модели МПВУ для ввода данных и отладки микропрограммы предшествует изменение параметров Microsoft Excel, связанных с вычислением формул: выбираются вычисления в книге «вручную» и включаются итеративные вычисления с предельным числом итераций, равным единице. Кроме того, в ячейку u (G2), управляющую работой ГТИ, заносится единица. Занесение исходных данных в регистр БР осуществляется из РД при выполнении микрокоманды, содержащей в операционной части следующие коды полей: a = 001, w = 1, b – номер регистра БР, в который записываются данные. Данные в РД предварительно вводятся с клавиатуры. Отладка микропрограммы производится путем последовательного выполнения МК по всем возможным ветвям. Выполнение очередной МК инициируется нажатием клавиши F9. Результаты выполнения МК отображаются на экранной форме МПВУ. Обнаруженные в МК ошибки исправляются путем редактирования содержимого БПМП.

Шаги 4 и 5 относятся к экспериментальным исследованиям. В табл. 4 приведен пример выполнения микропрограммы по тактам для случая, когда делимое X = 00000111, а делитель Y = 000000101.

Выполнение микропрограммы завершается в 12 такте после повторного выполнения МК 8 (микрокоманды, записанной в БПМП в ячейке с адресом 1000), когда при очередном вычитании делителя из делимого получается отрицательный результат.

Предложенная функциональная модель МПВУ ориентирована на изучение основ построения, работы и микропрограммирования вычислительных устройств. В то же время наглядное представление структуры устройства на экранной форме и отображение изменений состояний регистров и выходов комбинационных схем в каждом такте делает перспективным применение функциональной модели МПВУ для демонстрации работы устройства при проведении лекционных занятий по изучению вычислительных устройств.

Можно выделить следующие направления развития данной модели:

– усложнение моделируемой вычислительной структуры (подключение к МПВУ запоминающего устройства для хранения исходных данных и результатов, организация перехода к микропрограмме операции по коду операции, введение обращений к подмикропрограммам);

– совершенствование функциональной модели МПВУ как объекта демонстрации (применение в экранной форме цвета, звука, динамического выделения участвующих в выполнении микрокоманд узлов и связей);

– применение при реализации логических функций, описывающих работу узлов и блоков МПВУ, более сложных функций Microsoft Excel, например, логической функции «ПЕРЕКЛЮЧ»; создание и применение пользовательских функций для моделирования работы типовых узлов.

Таблица 4

Выполнение микропрограммы деления чисел нацело в режиме «Такт»

T	МК	v	**D**	U	**A**	**a**	**b**	**f**	c0	w	s	z	p	Пояснение
														РД: = 00000111
1	1	0	0000	0	00	001	001	000	0	1	0	0	0	R[1]: = РД (R[1] = 00000111)
														РД: = 00000101
2	2	0	0000	0	00	001	010	000	0	1	0	0	0	R[2]: = РД (R[2] = 00000101)
3	3	0	0000	0	00	000	011	000	0	1	0	0	0	R[3]: = 00000000
4	4	0	1100	0	10	010	000	000	0	0	0	0	0	РБ: = R[2] (РБ = 00000101, z = 0)
5	5	0	0000	0	00	000	100	000	0	1	0	0	0	R[4]: = 00000000
6	6	0	1101	0	10	001	000	000	0	0	0	0	0	РБ: = R[1] (РБ = 00000111, z = 0)
7	7	0	0000	0	00	010	000	000	0	1	0	0	0	R[0]: = РБ (R[0] = 00000111)
8	8	0	1101	0	11	000	010	111	0	0	0	0	0	РБ: = R[0]-R[2] (РБ = 00000010, p = 0)
9	9	0	0000	0	00	010	000	000	0	1	0	0	0	R[0]: = РБ (R[0] = 00000010)
10	10	0	0000	0	00	011	100	110	1	0	0	0	0	РБ: = R[3]+1 (БР = 00000001)
11	11	0	1000	1	00	010	011	000	0	1	0	0	0	R[3]: = РБ (R[3] = 00000001)
12	8	0	1101	0	11	000	010	111	0	0	1	0	1	РБ: = R[0]-R[2] (РБ = 11111101, p = 1)
13	13	1	0000	0	0	000	000	000	0	0	0	0	0	КОНЕЦ

Заключение

Учебная задача построения функциональной модели МПВУ может оказаться достаточно сложной для обучающихся, поэтому ее решение целесообразно разделить на три подзадачи: разработку модели операционной части, разработку модели управляющей части и объединение построенных моделей в общую модель МПВУ. В процессе комплексной отладки функциональной модели МПВУ проверяется корректность выполнения всех микроопераций в БАЛ и БР, а также порядок формирования адреса следующей МК для всех сочетаний значений логических условий и при безусловных переходах. Индивидуальные задания обучающимся по построению функциональной модели МПВУ могут отличаться наборами микроопераций и логических условий, форматами МК и способами формирования адреса следующей МК.

Учебная задача микропрограммной реализации определенной операции с использованием готовой функциональной модели МПВУ при соответствующей подготовке обучающихся не вызывает у них значительных затруднений и позволяет более глубоко изучить структуру и функционирование по тактам достаточно сложного вычислительного устройства. Составление индивидуальных заданий обучающимся по реализации операции в МПВУ упрощается благодаря большому числу известных простых арифметических преобразований, выполняемых в вычислительных устройствах.

Список литературы

1. Стащук П.В. Выбор симулятора логических схем при изучении цифровых автоматов для неэлектротехнических специальностей вузов // Электротехнические системы и комплексы. 2015. № 4 (29). С. 63–68.

2. Филатов М. Синтез цифровых устройств комбинационного типа в программной среде Proteus 8.1. Дешифраторы // Компоненты и технологии. 2018. № 2. С. 113–125.

3. Тюрин С.Ф. Автоматический синтез комбинационного автомата с помощью State Machine Editor системы Quartus II // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2015. № 15 (14). С. 60–69.

4. Баркалов А.А., Титаренко Л.А., Зеленева И.Я., Грушко С.С. Исследование автомата с программируемой логикой в составе цифровой информационно-управляющей системы на FPGA // Проблемы региональной энергетики. 2019. № 1–2 (41). С. 36–45.

5. Страбыкин Д.А. Функциональное моделирование вычислительных устройств с помощью табличного процессора Microsoft Excel // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 44–50.

УДК 004.05

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ЭЛЕКТРОРАДИО ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ ИНФОРМАЦИИ

[1, 2]Суслов А.А., [1]Садковская Н.Е., [1, 3]Котлярова Н.Ю., [1]Анферова М.С., [2, 4]Кузьмич А.Ю.

[1]ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, e-mail: natsadkovskaya@rambler.ru, gludkina@yandex.ru;

[2]ПАО «НПО «АЛМАЗ», Москва, e-mail: alexsuslov@inbox.ru;

[3]ОАО НПК «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи», Москва, e-mail: gamisoniyan@bk.ru;

[4]ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», Рязань, e-mail: kuzmich.93@bk.ru

В данной статье была проанализирована проблема государственной программы импортозамещения в изделиях сложной наукоемкой продукции в части, касающейся замены электрорадио изделий импортного производства отечественными аналогами. Выявлена необходимость замен электрорадио изделий импортного производства отечественными аналогами на конкретных этапах жизненного цикла изделия. Поставлена задача применения интеллектуальной системы поиска допустимых замен с использованием баз данных, автоматизированного поиска и самоорганизующейся карты Кохонена. Проанализированы существующие на данный момент методы замен электрорадио изделий импортного производства отечественными аналогами. Применена структурная схема процесса принятия решения, алгоритм процесса принятия решения и алгоритм обучения для разработки алгоритма работы интеллектуальной системы. Использованы псевдокод самоорганизующейся карты Кохонена и информационный граф алгоритма обучения для возможности разработки информационного графа алгоритма работы интеллектуальной системы. Разработан алгоритм функционирования и работы интеллектуальной системы поиска допустимых замен в условиях неполноты информации. Продемонстрированы результаты применения интеллектуальной системы поиска допустимых замен в условиях неполноты информации, реализованные в виде базы данных. Сделаны выводы об актуальности и важности реализации интеллектуальной системы поиска допустимых замен в условиях неполноты информации.

Ключевые слова: импортозамещение, электрорадио изделия импортного производства, жизненный цикл изделия, неопределенность и неполнота информации, автоматизированный поиск, интеллектуальная система, самоорганизующаяся карта Кохонена, выдача рекомендаций на разработку

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR THE OPERATION OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR SEARCHING FOR ELECTRICAL AND RADIO PRODUCTS IN CONDITIONS OF INCOMPLETE INFORMATION

[1, 2]Suslov A.A., [1]Sadkovskaya N.E., [1, 3]Kotlyarova N.Yu., [1]Anferova M.S., [2, 4]Kuzmich A.Yu.

[1]Moscow Aviation Institute, Moscow, e-mail: natsadkovskaya@rambler.ru, gludkina@yandex.ru;

[2]PAO "NPO "ALMAZ", Moscow, e-mail: alexsuslov@inbox.ru;

[3]OAO NPK "Scientific and Research Institute for Long-Distance Radio Communications", Moscow, e-mail: gamisoniyan@bk.ru;

[4]Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina, Ryazan, e-mail: kuzmich.93@bk.ru

In this article, the problem of the state program of import substitution in products of complex high-tech products was analyzed in terms of the replacement of electric radio products of imported production with domestic analogues. The necessity of replacing electric radio products of imported production with domestic analogues at specific stages of the product life cycle is revealed. The task of applying an intelligent search system for acceptable replacements using databases, automated search and a self-organizing Kohonen map is set. The currently existing methods of replacing electric radio products of imported production with domestic analogues are analyzed. A block diagram of the decision-making process, an algorithm of the decision-making process and a learning algorithm are applied to develop an algorithm for the operation of an intelligent system. The pseudocode of the Kohonen self-organizing map and the information graph of the learning algorithm were used to enable the development of an information graph of the algorithm for the operation of an intelligent system. An algorithm for the functioning and operation of an intelligent search system for acceptable replacements in conditions of incomplete information has been developed. The results of the application of an intelligent search system for acceptable substitutions in the conditions of incomplete information, implemented in the form of a database, are demonstrated. Conclusions are drawn about the relevance and importance of the implementation of an intelligent search system for acceptable replacements in conditions of incomplete information.

Keywords: import substitution, imported electrical and radio products, product life cycle, uncertainty and incompleteness of information, automated search, intelligent system, self-organizing Kohonen map, issuing recommendations for development

В настоящее время перед разными отраслями промышленности существует глобальная задача замены электрорадио изделий импортного производства (далее – ЭРИ ИП) отечественными аналогами в условиях государственный программы импортозамещения. Особенно сильно это проявляется в изделиях и оборудовании нового поколения [1, с. 14].

Необходимость замены ЭРИ ИП отечественными аналогами проявляется как на этапе научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (далее – НИОКР), так и на этапах серийного производства. Исходя из вышесказанного, необходимость замены ЭРИ ИП проявляется на этапах планирования, разработки и модернизации изделий [2, с. 111].

Оборудование нового поколения, как правило, содержит большое количество ЭРИ ИП. В настоящее время для реализации замены ЭРИ ИП используются базы данных (далее – БД), представленные в виде информационных массивов. В большинстве случаев в существующих БД импортный элемент одного производителя заменен на импортный элемент другого производителя [3, с. 163].

Как показано на рис. 1, замены ЭРИ ИП отечественными аналогами реализованы в незначительной степени. Данная проблематика возникает из-за трудоемкости поиска элемента, соответствующего необходимым характеристикам и параметрам. Для планирования, разработки и модернизации изделий нового поколения поиск замен в существующих БД не позволяет должным образом реализовать государственную программу импортозамещения. Возникает необходимость автоматизированного поиска ЭРИ в условиях неопределенности и неполноты информации.

№ п/п	Элемент	Допустимая замена	Рекомендации на разработку
		Изделия соединительные	
1	DIN 41612 85003-0555 (изготовитель Molex)	09 03 196 6921 (изготовитель Harting)	НИОКР не разработан
2	DIN 41612 85009-0555 (изготовитель Molex)	09 03 124 6901 (изготовитель Harting)	НИОКР не разработан
		Резисторы	
1	Р1-12 (изготовитель АО «НПО» Эркон)	Р1-8В (изготовитель АО «НПО» Эркон)	НИОКР изготовителя на основе рекомендаций разработчиков
		Индикаторы	
1	L-151GW-TR (изготовитель Vishay)	KP-2012SGC (изготовитель Kingbright)	НИОКР не разработан
		Микропроцессоры	
1	SPARC v.8 (изготовитель Sun Microsystems)	Отсутствует	НИОКР не разработан
2	SPARC v.9 (изготовитель Sun Microsystems)	Отсутствует	НИОКР не разработан
		Микроконтроллеры	
1	Atmega 8535 (изготовитель Atmega)	Отсутствует	НИОКР не разработан
2	Atmega 128 (изготовитель Atmega)	Отсутствует	НИОКР не разработан

Рис. 1. Существующая БД допустимых замен ЭРИ ИП

Материалы и методы исследования

Для решения данной задачи можно использовать интеллектуальную систему (далее – ИС) поиска допустимых замен [4, с. 124]. Алгоритм работы ИС должен позволять осуществлять автоматизированный поиск замен ЭРИ ИП, автоматически ранжируя характеристики элемента в зависимости от технических требований изделия [5, с. 43]. Чтобы реализовать подобный алгоритм, можно использовать структурную схему процесса принятия решений, приведенную на рис. 2.

Рис. 2. Структурная схема процесса принятия решений

Применяя структурную схему процесса принятия решений для поиска элементов и замены ЭРИ ИП отечественными аналогами, получаем алгоритм процесса принятия решений, приведенный на рис. 3.

Для разработки ИС поиска допустимых замен, при условиях неполноты и неопределенности информации, на основе структурной схемы процесса принятия решений и используя алгоритм процесса принятия решений, можно применить алгоритм обучения интеллектуальной системы, приведенный на рис. 4.

Для реализации работы ИС, необходимой для поиска и замены ЭРИ ИП, можно применить алгоритм обучения самоорганизующейся карты Кохонена [6, с. 333]. В основе алгоритма обучения самоорганизующейся карты Кохонена используется основной псевдокод, приведенный на рис. 5, и информационный граф алгоритма обучения, приведенный на рис. 6 [7, с. 12].

Применяя информационный граф алгоритма обучения с использованием псевдокода самоорганизующейся карты Кохонена для поиска допустимых замен ЭРИ ИП отечественными аналогами в условиях неполноты и неопределенности информации, получаем информационный граф алгоритма работы ИС, показанный на рис. 7 [8, с. 420].

Рис. 3. Алгоритм процесса принятия решений

Результаты исследования и их обсуждение

Алгоритм обучения ИС, псевдокод самоорганизующейся карты Кохонена и информационный граф алгоритма рабо-

ты можно использовать для разработки алгоритма работы ИС автоматизированного поиска и замены ЭРИ ИП отечественными аналогами, приведенный на рис. 8 [9, с. 17]. Применимо к наукоемким изделиям и продукции нового поколения разных отраслей промышленности, с учетом технических требований и особенностей изделий, а также на разных стадиях жизненного цикла изделия, можно получить унифицированный автоматизированный алгоритм работы ИС поиска и замены ЭРИ ИП отечественными аналогами.

Алгоритм работы интеллектуальной системы позволяет осуществлять автоматизированный поиск и замену элементов [10, с. 1]. Применяя его к существующим БД, представленным в виде информационных массивов, содержащих в большей степени ЭРИ ИП, данный алгоритм позволяет реализовать замену комплектующих отечественными аналогами, как показано на рис. 9.

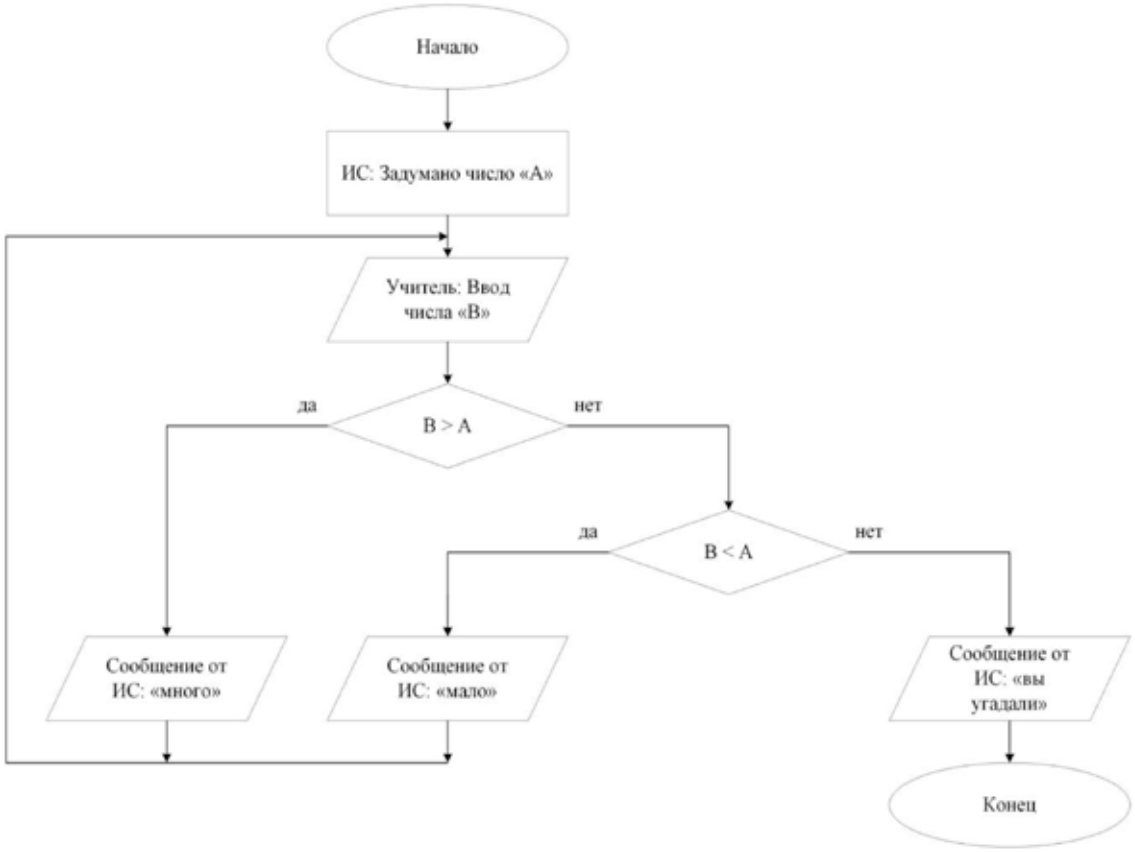


Рис. 4. Алгоритм обучения интеллектуальной системы

```
FOR t = 1 to T do
        x = ChooseInputVector()
        D = InitialiseDistancesVector()
        FOR n = 1 to K do
        d = CalculateDistanseBetweenInputVectorAndNeuronWeightsVector(x,n)
PutCalculatedDistanceToDistancesVector(D, d)
END FOR
ne_c = FindNeuronWinner(D)
DefineInputVectorToCluster()
END FOR
```

Рис. 5. Псевдокод самоорганизующейся карты Кохонена

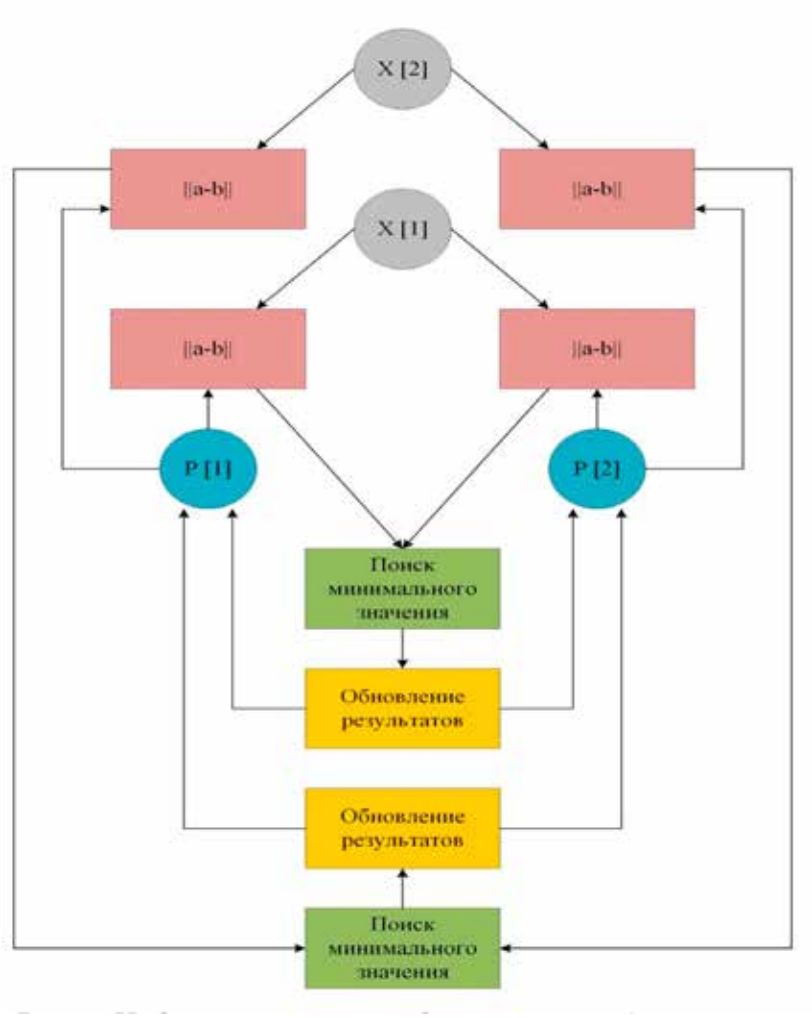


Рис. 6. Информационный граф алгоритма обучения

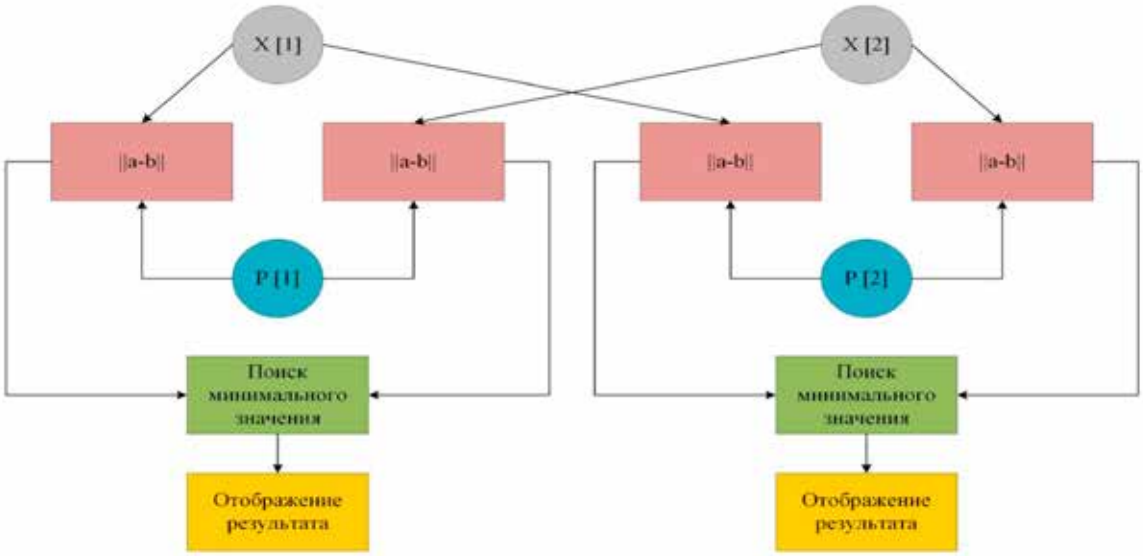


Рис. 7. Информационный граф алгоритма работы ИС

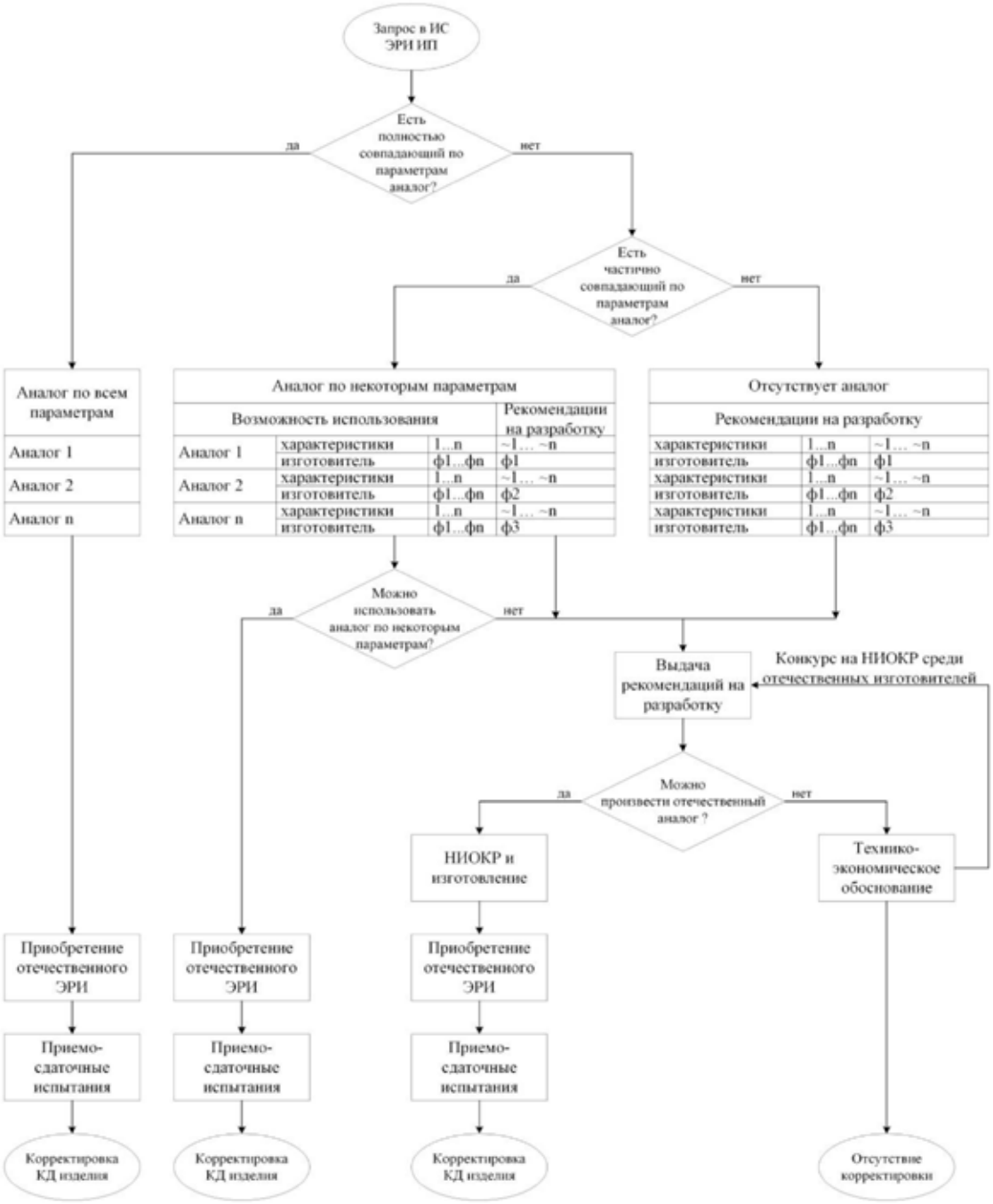


Рис. 8. Алгоритм работы интеллектуальной системы

Заключение

В условиях неопределенности и неполноты информации данный алгоритм не только позволяет реализовать замену ЭРИ ИП отечественными аналогами, а также выдает рекомендацию на разработку новых отечественных комплектующих. Поиск и выдача рекомендаций на разработку изделий отечественного производства позволяет решить проблему импортозамещения на разных стадиях жизненного цикла изделия, существенно сократить трудоемкость планирования, разработки, модернизации изделий нового поколения и в дальнейшем способствует конкурентоспособности отечественного производства на мировом рынке.

№ п/п	Элемент	Допустимая замена	Рекомендации на разработку
		Изделия соединительные	
1	DIN 41612 85003-0555 (изготовитель Molex)	СНП394-50РО22-2-В (изготовитель Электродеталь)	По НИОКР, предложенной ИС
2	DIN 41612 85009-0555 (изготовитель Molex)	СНП395-15РО22-1-В (изготовитель Электродеталь)	По НИОКР, предложенной ИС
		Резисторы	
1	Р1-12 (изготовитель АО «НПО» Эркон)	Р1-8В (изготовитель АО «НПО» Эркон)	Замена осуществлена по НИОКР изготовителя
		Индикаторы	
1	L-151GW-TR (изготовитель Vishay)	ИПД148В-Л (изготовитель АО Протон)	По НИОКР, предложенной ИС
		Микропроцессоры	
1	SPARC v.8 (изготовитель Sun Microsystems)	МЦСТ R500 (1891ВМ2) (изготовитель АО «МЦСТ») МЦСТ R500S (1891ВМ3Я) (изготовитель АО «МЦСТ»)	По НИОКР, предложенной ИС
2	SPARC v.9 (изготовитель Sun Microsystems)	МЦСТ R1000 (1891ВМ6Я) (изготовитель АО «МЦСТ»)	По НИОКР, предложенной ИС
		Микроконтроллеры	
1	Atmega 8535 (изготовитель Atmega)	1887ВЕ4У (изготовитель ОАО «НИИЭТ»)	По НИОКР, предложенной ИС
2	Atmega 128 (изготовитель Atmega)	1887ВЕ7Т (изготовитель ОАО «НИИЭТ»)	По НИОКР, предложенной ИС

Рис. 9. БД допустимых замен ЭРИ ИП с применением ИС

Список литературы

1. Бетелин В.Б. О проблеме импортозамещения и альтернативной модели экономического развития России // Стратегические приоритеты. 2016. № 1 (9). С. 11–21.

2. Сарычев А.В., Суслов А.А., Грапененко О.Ф. Управление жизненным циклом продукции // Гагаринские чтения – 2018: XLIV Международная молодежная научная конференция. 2018. № 1. С. 393.

3. Анимица Е.Г., Анимица П.Е., Глумов А.А. Импортозамещение в промышленном производстве региона: концептуально-теоретические и прикладные аспекты // Экономика региона. 2015. № 3. С. 163–164.

4. Флах П. Машинное обучение. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.

5. Одинцов Б.Е. Роботизация процесса актуализации баз знаний интеллектуальных информационных систем предприятия. М.: 1С-Паблишинг, 2020. 45 с.

6. Суслов А.А., Сарычев А.В., Сокова Е.А. Самообучающиеся интеллектуальные поисковые системы // Гагаринские чтения – 2018: XLIV Международная молодежная научная конференция. 2018. № 1. С. 333.

7. Барышникова Н.Ю. Обучение языку запросов на основе использования базы знаний шаблонов программного кода // Сборник трудов: сборник. 2018. С. 12.

8. Николенко С.А., Кадурин А.А., Архангельская Е.В. Глубокое обучение нейросети. М. – СПб.: Питер, 2018. 480 с.

9. Манжула В.Г., Федяшов Д.С. Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных. М.: ДМК Пресс, 2011. 73 с.

10. Гореликов Р.С., Гореликова Ю.С. Разработка базы знаний для сопровождения работы с порталом знаний // Научный журнал Дальневосточного федерального университета им. Г.В. Плеханова. 2018. № 4. С. 1.

УДК 624.05

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ РЕДЕВЕЛОПМЕНТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН

Топчий Д.В., Муря В.А., Токарский А.Я.

НИУ Московский государственный строительный университет, Москва,
e-mail: dvtopchiy0405@gmail.com

Статья посвящена изучению зарубежного опыта реализации проектов редевелопмента промышленных зон. Авторы исходят из того, что, как и в крупных индустриальных городах по всему миру, в центральной части города и приближенных к нему районах наличествуют промышленные площадки. Значительная их часть со временем потеряла свою актуальность ввиду неиспользования как производственных объектов, равно как и средства обеспечения населения рабочими местами. Традиционно такие промышленные площадки исполняют функционал арендного бизнеса. Актуальность исследования обусловлена тем, что к приоритетным аспектам развития городской среды на современном этапе относится проведение комплексной реконструкции территорий сложившейся застройки города, направленной на создание улучшенных условий проживания и эффективного использования производственного, инженерного, научного и иных потенциалов строительного комплекса. В этой связи существует необходимость перманентного углубления знания о перепрофилировании промышленных объектов, и один из способов – это ознакомление с успешным опытом других стран по проведению аналогичных видов работ. В настоящей статье авторами представляются примеры зарубежного опыта перепрофилирования строительных объектов, объединяющие общие принципы разработки организационно-технической модели, которые позволяют оценить и оптимизировать деятельность проектировщика при перепрофилировании промышленных объектов, равно как и усовершенствовать процессы проектирования подобных объектов. Данные принципы важно принимать во внимание, к примеру, при разработке перепрофилирования объектов в России. Кроме того, они дают возможность оценки и, соответственно, оптимизации деятельности проектировщика в условиях перепрофилирования промышленных объектов. Фактически они ориентированы на усовершенствование процессов проектирования подобного рода объектов.

Ключевые слова: перепрофилирование территорий, организационно-технологическая модель, редевелопмент промышленных объектов, зарубежный опыт, развитие городской среды

FOREIGN EXPERIENCE IN PROJECT IMPLEMENTATION REDEVELOPMENT OF INDUSTRIAL AREAS

Topchiy D.V., Murya V.A., Tokarsky A.Ya.

Moscow state university of civil engineering (national research university), Moscow.
e-mail: dvtopchiy0405@gmail.com

The article is devoted to the study of foreign experience in the implementation of redevelopment projects of industrial zones. The authors proceed from the fact that, as in large industrial cities around the world, there are industrial sites in the central part of the city and areas close to it. A large part of them lost their relevance over time due to the non-use of production facilities, as well as the means of providing the population with jobs. Traditionally, such industrial sites perform the functions of a rental business. The relevance of the study is due to the fact that the priority aspects of the development of the urban environment at the present stage include the comprehensive reconstruction of the territories of the existing city development, aimed at creating improved living conditions and the effective use of production, engineering, scientific and other capacities of the construction complex. In this regard, there is a need for a permanent deepening of knowledge about the reprofiling of industrial facilities, and one way is to familiarize yourself with the successful experience of other countries in carrying out similar types of work. In the present article, the authors presented examples of foreign experience in repurposing construction facilities, combining the general principles of developing an organizational and technical model, the general principles of developing which make it possible to evaluate and optimize the activities of the designer when repurposing industrial facilities, as well as improve the processes of designing such facilities. These principles are important to take into account, for example, when developing the repurposing of facilities in Russia. In addition, they made it possible to evaluate and, accordingly, optimize the activities of the designer in the conditions of repurposing industrial facilities. In fact, they are focused on improving the design processes of similar kind of objects.

Keywords: redevelopment of territories, organizational and technological model, development of industrial facilities, organization of production, development of the urban environment, efficiency of project implementation

Крупные индустриальные города практически любой страны мира на определенных этапах своего исторического развития сталкивались с большим количеством неиспользуемых промышленных территорий. Фабрики и заводы закрывались, склады опустошались, производства больше не отвечали актуальным нормам охраны окружающей среды, и им требовалась серьезная модернизация. Реновация заброшенных промышленных территорий стала долгожданным градостроительным решением, которое отвечает вызову настоящего времени. Реновация включала в себя постройку на месте неиспользуемых промзон новых кварталов, жилых и офисных, центров творчества и науки, искусства, культуры и спорта, общественных площадок.

Во второй половине XX века Европа переживала индустриальный подъем. Развитие промышленности и прогрессирующие темпы урбанизации в крупных европейских городах в итоге привели к излишку промышленных предприятий в центральных частях городов.

Цель статьи – исследование зарубежных (европейских) практик реализации проектных решений редевелопмента промышленных зон.

Материал и методы исследования

В 1972-1981 годах в Великобритании из города Лондона было выведено примерно пять с половиной сотен предприятий. На освободившихся площадях власти спроектировали новое строительство, построили новые дороги, офисные и жилые кварталы, а также культурные объекты. Одним из актуальных примеров редевелопмента является одна из известнейших галерей современного искусства «Tate Modern», которая построена на месте бывшей электростанции. Следует также обратиться к истории района Доклендс, образованного, стоит сказать, на месте крупного порта (22 кв. м). Первые его доки были построены и того раньше, в конце XVII века. До 1960 года порт функционировал в стационарном режиме, однако в связи с тем, что доставлять грузы все чаще стали крупногабаритные суда, его возможностей уже не хватало; окончательно пользоваться спросом доки порта перестали в 1970-х годах. Вследствие этого и без того отдаленный от других частей города Доклендс стал быстро угасать и пустеть, в результате превратившись в эпицентр преступности и притяжения люмпенов.

В 1981 году городским правительством была разработана «Корпорация развития» района, и для целей реализации проекта перепрофилирования корпорация использовала специально разработанные для реновации схемы – «гринфилд» и «браунфилд». Первая схема рассчитывала создание инвестиционных платформ на необорудованном и необеспеченном инфраструктурой участке, «браунфилд» – предполагала работу с ранее существующими площадками, где уже была платформа для возведения и строительства, но следовало провести реконструкцию или основательный ремонт [1].

Территория Доклендса была разбита на районы, тогда как сам проект – на подпроекты, для каждого из которых организаторами были поставлены определенные условия в зависимости от ресурсов конкретного участка. Такая политика позволила привлечь множество источников финансирования, потому что условия и требования к качеству будущих проектов на фоне «рамочных стратегий» были более понятны компаниям и инвесторам со стороны.

Реформа транспортной системы данной территории внесла неоценимый вклад в развитие Доклендса. Так, например, по существующим железнодорожным путям была запущена линия наземного метро, тогда как вновь созданные автобусные маршруты соединяли бывший промышленный район с центром города.

Со временем Доклендс преобразился в новый центр деловой активности Лондона, а благодаря своей расположенности в границах квартала Кэнэри-Уорф приобрел статус второго финансового центра мегаполиса [2]. Все это благодаря огромной работе, проделанной в Доклендсе с целью создания района с бюджетной недвижимостью и развитой инфраструктурой. Проект сразу же привлек интерес бизнеса и жителей.

В 1998 году, на момент финальной стадии проекта, население района увеличилось с 40 до 85 тысяч человек, тогда как количество рабочих мест выросло с 27 до 90 тысяч. За это время были построены две средние школы и одиннадцать новых начальных школ, шестнадцать колледжей, а также шесть медицинских центров и девять центров профессиональной подготовки. Кроме того, была проведена работа по ландшафтному дизайну: посажено более 200 тысяч деревьев, освоено 750 га земель и создано 130 га общественных мест.

Замедление темпов американской экономики в конце 1980-х годов привело к стагнации национального промышленного сектора, многие предприятия обанкротились, территории заводов, как следствие, быстро приходили в упадок, а условия окружающей среды, в которых они находились, сделали их неблагоприятными для жизни.

В 1994 году, чтобы возродить территории, администрацией президента Билла Клинтона была принята программа, ориентированная на территориальное развитие бывших промышленных зон, «браунфилдов» (дословно – «коричневых полей»). Государство ввело специальные гранты в зависимости от значимости и масштабов проекта для поддержки штата, города или предприятия суммой до 1 миллиона долларов [3].

Город Чарльз-Таун стал одним из приоритетных проектов позиции развития местного сообщества. В то время здесь находился один из самых крупных заводов в мире, который производил торговые автоматы, а также литейный и металлический склад. В 1990-е годы местные производственные центры стали сокращать рабочих и умень-

шать количество ставок. Город потерял около четверти доходов своего бюджета после банкротства предприятия. В связи с этим возникли огромные территории, загрязненные опасными веществами. Та же участь коснулась и города Рэнсона, где тоже находился крупный завод, со временем пришедший в упадок.

Результаты исследования и их обсуждение

В 1999 году началось преображение депрессивных зон. Для этого была предпринята разработка инициативы, получившая название «Коммерческий коридор». Приоритетной целью программы стало развитие участка длиной почти в 2,5 километра, который соединял Чарльз-Таун и Рэнсон. Городам выдали несколько грантов в период с 2001 по 2010 год на сумму, превышающую 700 тыс. долларов. Полученные средства направили на исследование и анализ степени загрязненности и поражения территорий, а также создание проекта развития всех имеющихся «браунфилдов» в стране [4].

Одним из первых объектов, который был выбран в рамках программы для перепрофилирования, стал бывший завод по производству красок Maytag, закрытый еще в конце 1980-х годов. Производственная площадь в 3,7 тысячи квадратных метров оставалась заброшенной более десяти лет. Городские власти решили перестроить здание под различные мероприятия на разных уровнях. Работа по перепрофилированию в 2008 году включала устранение опасностей для здоровья и окружающей среды в полуразрушенном здании. Обновление было завершено в конце первого десятилетия XXI века. Сегодня бывший промышленный район популярен среди жителей и туристов. Здесь проводятся спортивные мероприятия, городские ярмарки и бесчисленные выставки и конференции [5].

Федеральная программа реконструкции «браунфилдов» в США не ограничивалась вышеприведенным примером. На всей территории государства была проведена масштабная работа; на нескольких тысячах гектаров были построены образовательные организации, парки, объекты коммерческой недвижимости, а также промышленные предприятия, спроектированные в соответствии с современными требованиями экологии и охраны окружающей среды. Таким образом, к началу 2016 года в стране было обновлено более 23 тысяч участков, организовано более 100 рабочих мест, расчищено два с половиной десятка тысяч гектаров территорий для дальнейшего использования и привлечено 20,96 миллиарда долларов.

После Второй мировой войны начинается активная индустриализация в Китае и Гонконге. Между 1950 и 1980 годами в Гонконге основной отраслью экономического развития стала производственная деятельность. В результате активизации реформ и открытости политики в Китае промышленность Гонконга постепенно переместилась в континентальный Китай, и город превратился в финансовый центр. Число граждан, работающих в промышленности, резко сократилось: с 900 тысяч в 1981 году до 600 тысяч в 1991 году. Многие рабочие в Гонконге начали поиск работы в материковом Китае и Юго-Восточной Азии из-за изменения экономической модели страны. Названные обстоятельства стали катализаторами прогрессирующего банкротства и опустошения многих промышленных предприятий и частичного их закрытия.

В мае 2001 года в Гонконге была запущена кампания по разработке плана градостроительного развития, инициированная специально созданным ведомством – Департаментом редевелопмента. Наиболее значимым проектом реконструкции в Гонконге является проект переформатирования территории «Куньтхон» – в прошлом это был крупнейший промышленный район полуострова Цзюлун. Производство здесь со второй половины XX века постепенно перемещалось в материковый Китай, а в 1990-е годы заводы оказались пусты, некоторые из них были превращены в склады.

В процессе реконструкции «Куньтхона» была реализована программа строительства крупного делового комплекса «Город тысячелетия» площадью 367 тысяч кв. м офисных и 67 тысяч кв. м торговых помещений. В рамках проекта было дополнительно построено несколько торговых центров, совмещающих и офисы, и магазины. Работы по реконструкции в этой области начались в 1998 году со строительства на территории «Города Миллениум-1» двух 30-этажных бизнес-центров класса «А+» и продолжаются по сей день. В 2016 году началось строительство грандиозного по тем временам здания «Город Миллениум-6», расположенного на месте бывшего мукомольного завода.

Помимо вышесказанного, Департамент разработал новый план, направленный на развитие промышленных зон в 2007 году. Его идея была в том, чтобы «отремонтировать» жилой район Юй Минь Фан, где работники местного производства жили в пятиэтажных домах с начала 1970-х годов. Общий объем инвестиций в проект составил 7,5 млрд долларов США, а площадь 63 тысячи квадратных метров. План раз-

вития территории был намечен на конец 2019 года. Площадь недвижимости после перепланировки, в соответствии с ним, составляет порядка 400 тысяч квадратных метров. Зоной с наиболее высоким уровнем озеленения в городе, в соответствии с конечными результатами плана, должна был стать Юй Минь Фан. Одним из условий при этом было сохранение исторического облика территории площадью 18 тысяч квадратных метров.

Как показывает обзор, зарубежный опыт перепрофилирования имеет достаточно много удачных примеров. За этим стоят группы специалистов и технической поддержки, практические и теоретические знания которых позволяют сделать инженерно грамотное и безопасное для людей и экологии перепрофилированное пространство. Перед любым перепрофилироваием следует не только создание программы, но и создание функциональной организационно-технологической модели редевелопмента.

Одним из методов оценки влияния процессов перепрофилирования на городскую среду является метод экспертных оценок.

Так как изначально перечень возможно применимых для модели видов строительно-монтажных работ был сформулирован с помощью экспертов, было принято решение создать опрос-лист, чтобы каждый из участвовавших экспертов дал оценку степени влияния каждой из выделенных работ на сложность, стоимость и продолжительность строительства.

Для того чтобы полученные виды работ/объекты исследования собрать в работающую модель, будем рассматривать каждый из объектов как некий параметр, представленный в виде:

$W_1, W_2, W_3, \ldots W_{13}$.

Каждый из параметров будет иметь вариант – присвоение ему следующих значений: «-1», «0», «+1».

Данные значения будут расшифровываться следующим образом:

«-1» – требуется ряд мероприятий для устранения влияния на данный параметр факторов, обусловленных плотностью городской застройки;

«0» – не требуется ряд мероприятий для устранения влияния на данный параметр факторов, обусловленных плотностью городской застройки, предусмотрен мониторинг;

«+1» – не требуется ряд мероприятий для устранения влияния на данный параметр факторов, обусловленных плотностью городской застройки, существует возможность использования данных факторов с целью оптимизации строительства.

Получаемые параметры будут сводиться к общей математической модели, то есть формуле.

В данной формуле каждому из выделяемых параметров, с помощью расчета методом экспертных оценок, будет присвоен коэффициент значимости/весомости данного фактора в условиях плотной городской застройки.

Предполагается, что разрабатываемая модель будет работать как факторная система, то есть получаемый результативный показатель будет рассчитываться при помощи, в данном случае, алгебраической суммы [6].

Каждый из факторов в той или иной степени оказывает влияние на сложность возведения зданий в условиях плотной городской застройки. Степень влияния каждого из представленных параметров в разной степени оказывает влияние на рассматриваемые условия, но общая сложность ведения строительства будет зависеть от суммы влияния представленных видов работ на продолжительность и стоимость строительных работ.

Для того чтобы модель стала «рабочей», представим ее в виде следующей функции:

$$y = f(W_i), \tag{1}$$

которую представляем в виде алгебраической суммы, складывающейся из выделенного ряда работ (объектов):

$$y = f(W_1, W_2, W_3, \ldots, W_{13}), \tag{2}$$

где $\{W_1, W_2, W_3, \ldots, W_{13}\}$ – генеральная совокупность факторов, функционально зависимых друг от друга.

Каждый из оцениваемых факторов влияет на степень сложности строительства с одинаковой направленностью, что позволяет сделать разрабатываемую функцию линейной.

Таким образом, комплексный показатель степени влияния внешних факторов окружающей среды на степень сложности производства строительно-монтажных работ в условиях плотной городской застройки – P_{ex}, можно представить в следующем виде:

$$P_{ex} = \sum_{i=1}^{n} W_i = \\ = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots + W_{13}. \tag{3}$$

Принимая во внимание то, что каждый из рассматриваемых параметров в разной степени оказывает воздействие на стоимость и продолжительность строительных работ, возникает необходимость придать каждому из них коэффициент весомости.

Искомый коэффициент весомости обозначим как «g_i».

Таким образом, формулируемая функциональная зависимость приобретает следующий вид:

$$P_{ex} = \sum_{i=1}^{n} g_i W_i =$$

$$= g_1 W_1 + g_2 W_2 + g_3 W_3 + \ldots + g_{13} W_{13}. \quad (4)$$

Для определения коэффициентов весомости предлагается использовать метод экспертных оценок.

Метод экспертных оценок применяется как для проверки достоверности (верификации) результатов исследований, так и для получения определенного значения, присваиваемого конкретному параметру.

Данный метод также возможно использовать для прогнозирования ситуации, выраженной в единичном значении.

Экспертный метод подходит для конкретной работы за счет того, что объектами исследования являются параметры, обычно не выражаемые с помощью математической формализации [7].

Также о рациональности использования методов экспертных оценок можно судить то тому, что к форме математической формализации исследуемые параметры ранее не приводились, что подразумевает отсутствие каких-либо статистических данных по рассматриваемому вопросу.

При использовании в качестве инструмента для придания количественных показателей объектам исследования, не подвергавшихся ранее математическому моделированию, метод экспертных оценок позволяет получить оценочное мнение каждого эксперта, направленного на каждый объект исследования. Данный метод позволяет получать искомые значения с точки зрения анализа проблематичных зон поставленного вопроса.

Возможная схема применения методов экспертных оценок представлена на рисунке.

В данном исследовании метод экспертных оценок применялся на основании индивидуального мнения экспертов с целью присвоения каждому из выделенных параметров коэффициента весомости. Так как изначально перечень возможно применимых для модели видов строительно-монтажных работ был сформулирован с помощью экспертов, для анкетного опроса разрабатывался опросный лист для того, чтобы каждый из участвовавших экспертов дал оценку по степени влияния каждой из выделенных работ, при условии влияния внешних факторов, обусловленных производством данных работ в стесненных условиях, на сложность, стоимость и продолжительность строительства.

Число анкет соответствовало количеству опрашиваемых экспертов. Данные анкеты отправлялись на электронные почты адресатам или передавались лично.

Варианты работы модели метода экспертных оценок

Следует учесть, что применение метода экспертных оценок при первоначальной обработке результатов опроса не может давать полностью объективных результатов за счет того, что каждое рассматриваемое в индивидуальном порядке мнение эксперта может подвергаться психологическому воздействию со стороны экспертов.

В результате получаем, что метод экспертных оценок – процесс «специальный». Специальный процесс – процесс, чистоту прохождения которого отслеживать проблематично из-за ряда факторов, влияющих на объективность результатов, как следствие, результаты, полученные по окончании проведения данного процесса, оценивать с точки зрения экономических показателей нецелесообразно.

В данной работе результатом по окончании процесса ожидается получение степени значимости оцениваемого параметра.

Из выше представленного следует, что результаты экспертного оценивания применять для модели без обработки результатов является нецелесообразным, так как существует возможность необъективной оценки данных параметров со стороны экспертной группы.

Для того чтобы скорректировать полученные результаты, обратимся к стандарту из серии ISO 9001, а именно, к адаптированной версии данного документа в России, ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005, который является руководящим документом, определяющим условия выбора статистических методов.

Данный документ обоснованно применяется в данной работе, так как регламентирует основные требования к выбору подходящих для статистической оценки методов, направленных на улучшение системы менеджмента качества.

Так, согласно п 4.7.4 ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 при формировании модели необходимо проводить минимизацию относительно количества переменных, являющихся независимыми. При работе модели маловажные переменные могут помешать отражению полноценной картины, которую необходимо получить с помощью применения модели. Наряду с этим существует вероятность убрать весомую переменную, что ведет также к неполноценности получаемых результатов.

При анализе полученных экспертных оценок необходимо четко следовать целям и задачам, поставленным перед началом проведения опроса, а также учитывать следующие факторы:

− быть уверенным, что информация об особенностях каждого из представляемых для оценки объектов дана в объеме необходимом и достаточном;

− иметь представление о форме конечных результатов, будут они представлены в качественной или количественной форме;

− для своевременного получения результатов ограничивать сроки проведения процесса экспертных оценок;

− иметь представление о возможности реализации ресурсов (экспертов).

Заключение

Таким образом, в статье приводятся примеры зарубежного опыта перепрофилирования строительных объектов, которые объединяют общие принципы разработки организационно-технической модели, позволяющие оценить и оптимизировать деятельность проектировщика при перепрофилировании промышленных объектов, равно как и усовершенствовать процессы проектирования подобных объектов.

Список литературы

1. Топчий Д.В., Юргайтис А.Ю., Бабушкин Е.С., Зуева Д.Д. Разработка методологии комплексного контроля на объектах строительства, реконструкции перепрофилирования // Обеспечение качества строительства в г. Москве на основе современных достижений науки и техники: сборник трудов Первой совместной научно-практической конференции ГБУ «ЦЭИИС» и ИПРИМ РАН. Москва, 2019. С. 267-272.

2. Ишин А.В., Лапидус А.А., Теличенко В.И., Туманов Д.К., Ершов М.Н., Олейник П.П., Фельдман О.А. Развитие методов технологии и организации строительного производства для решения проблем энергоэффективности // Технология и организация строительного производства. 2014. № 2. С. 10-16.

3. Воловик М.В., Ершов М.Н., Ишин А.В., Лапидус А.А., Лянг О.П., Теличенко В.И., Олейник П.П., Туманов Д.К., Фельдман О.А. Современные подходы к решению вопросов организационно-технологического проектирования // Технология и организация строительного производства. 2013. № 3 (4). С. 10-16.

4. Abramov Ivan. Formation of integrated structural units using the systematic and integrated method when implementing high-rise construction projects. HRC 2017 (HIGH-RISE CONSTRUCTION-2017) E3S Web of Conferences. D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.). 2018. № 33. DOI: 10.1051/e3sconf/20183303075.

5. Олейник П.П. Выбор рациональной взаимосвязи метода и формы организации строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С.46-50.

6. Лапидус А.А., Шистерова А.В. Анализ действующих нормативных документов, в части научно-технического сопровождения проектирования зданий и сооружений, имеющих повышенный уровень ответственности // Системные технологии. 2019. № 30. С. 5-9.

7. Лапидус А.А. Успешный опыт управления строительными проектами // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 6 (113). С. 86-88.

УДК 681.5:631.544.45:631.589.2

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ФИТОТРОНОМ СО СВЕТОКУЛЬТУРОЙ И ГИДРОПОННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

[1]Трепуз С.В., [1]Долгих П.П., [2]Барсуков В.А.

[1]ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск, e-mail: dpp10@yandex.ru;

[2]КГБПОУ «Красноярский аграрный техникум», Красноярск, e-mail: strepuz@mhd.center

Рассмотрены вопросы, направленные на повышение производительности труда и улучшение качества продовольственной растениеводческой продукции при выращивании растений в контролируемых и регулируемых условиях. Затрагиваются два технологических процесса, происходящих в фитотроне: облучение растений облучателями разноспектрального состава и питание растений по активной гидропонной технологии периодического затопления. В работе представлена разработанная авторами технологическая схема фитотрона со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления, в которой путем конструктивных решений уменьшаются габаритные размеры и повышается эффективность работы гидропонного оборудования. Составлен алгоритм функций, выполняемых микроконтроллером управления. Представленная в работе автоматизированная система управления технологическими процессами в фитотроне со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления позволяет решать задачи по настройке, регулировке и фиксации режимов работы оборудования с применением современных цифровых технологий. Схема реализована на базе платформы Arduino Nano. В качестве моста использовали модуль ESP-01 с преобразователем уровней. Управление контроллером осуществляется через беспроводной Wi-Fi-модуль посредством HMI на платформе Android с приложением KaScada через протокол Wi-Fi Modbus TCP. Для управления облучателем с регулируемым спектром применен конвертер сигнала ШИМ из 0…5 В в 0…10 В. Для учета хронометрических данных установлены RTC. В состав схемы входит блок коммутации с пятью реле для управления, три из которых предназначены для управления облучателями, одно реле – для коммутации насоса, одно реле – для управления электромагнитным клапаном.

Ключевые слова: управляемое выращивание растений, алгоритм управления, фитотрон, гидропонные технологии, светокультура, контроллер управления, человеко-машинный интерфейс, Wi-Fi-модуль

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A PHYTOTRON WITH ARTIFICIAL LIGHTING AND HYDROPONIC TECHNOLOGY

[1]Trepuz S.V., [1]Dolgikh P.P., [2]Barsukov V.A.

[1]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, e-mail: dpp10@yandex.ru;

[2]Krasnoyarsk Agricultural College, Krasnoyarsk, e-mail: strepuz@mhd.center

Issues aimed at increasing labor productivity and improving the quality of food crop production, when growing plants in controlled and regulated conditions, are considered. Two technological processes occurring in the phytotron are touched upon: irradiation of plants with irradiators of different spectral composition and plant nutrition using active hydroponic technology of periodic flooding. The paper presents, developed by the authors, a technological scheme of a phytotron with light culture and hydroponic technology of periodic flooding, in which, through design solutions, overall dimensions are reduced and the efficiency of hydroponic equipment is increased. An algorithm of functions performed by the control microcontroller has been compiled. The automated process control system presented in the work in a phytotron with artificial lighting and hydroponic technology of periodic flooding allows solving problems of setting up, adjusting and fixing equipment operating modes using modern digital technologies. The circuit is based on the Arduino Nano platform. An ESP-01 module with a level converter was used as a bridge. The controller is controlled via a wireless Wi-Fi module via HMI on the Android platform with the KaScada application via the Wi-Fi Modbus TCP protocol. A PWM signal converter from 0…5 V to 0…10 V is used to control the irradiator with an adjustable spectrum. To account for chronometric data, RTCs are installed. The circuit includes a switching unit with 5 relays for control, three of which are designed to control the irradiators, one relay for switching the pump, one relay for controlling the solenoid valve.

Keywords: controlled plant growing, control algorithm, phytotron, hydroponic technologies, light culture, control controller, human-machine interface, Wi-Fi module

Во всем мире растет интерес к интеллектуальным исследованиям и разработкам в области фабрик со светокультурой, которые, как ожидается, будут играть важную роль в городском сельском хозяйстве в ближайшие десятилетия. Также ожидается, что они будут способствовать решению трилеммы питания, окружающей среды и природных ресурсов с увеличением городского населения, уменьшением сельского населения и площади пахотных земель [1, с. 27-28]. Взамен существующих в недавнем прошлом технологий [2-4] разрабатываются и совершенствуются тактики оптимизации по критериям эффективности альтернативной сельскохозяйственной среды, позволяющей выращивать продовольственные культуры в контролируемых условиях [5, с. 3-5].

До недавнего времени большинство источников излучения для светокультуры были представлены разрядными лампами низкого давления и разрядными лампами высокого давления. С развитием технологии светодиодного облучения акцент поменялся в сторону управления интенсивностью и качеством излучения для повышения продуктивности биомассы и повышения концентрации биоактивных вторичных метаболитов в листовых культурах и овощах в светокультуре. Однако не существует единого светового решения, подходящего для всех сценариев. Оптимальное излучение в окружающей среде варьируется в зависимости от вида и даже сорта, стадии роста растений, конкретных вторичных метаболитов, и других условий окружающей среды, таких как температура, питательные вещества и концентрация CO_2. Дальнейший прогресс в области облучения и полупроводниковых технологий – светодиодные источники с возможностью настройки как по интенсивности света, так и по качеству, доступные для исследователей и коммерческих фабрик для выращивания со светокультурой [6].

Важным инструментом для выращивания растений в закрытых помещениях, таких как фабрики со светокультурой, являются гидропонные системы. Среди различных гидропонных систем, пригодных для выращивания растений в закрытых пространствах, наибольшее коммерческое распространение получили системы активной гидропоники, в частности технология периодического затопления (Ebb&Flow) [7, с. 40], метод питательного слоя (NFT) [7, с. 45], системы капельного орошения (Drip systems) [7, с. 48] и системы аэро-гидропоники (AHS) [7, с. 51-56]. Для фитотрона оптимальным вариантом является технология Ebb&Flow, однако эффективность ее применения будет определяться правильно подобранным циклом орошения и рациональным расположением отдельных элементов и частей.

Цель исследования – разработать рациональную автоматизированную систему управления технологическими процессами в фитотроне со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления.

Материал и методы исследования

Объектом разработки автоматизированной системы управления технологическими процессами был принят фитотрон, схема которого изображена на рисунке 1, предназначенный для исследования влияния различных спектров и интенсивности излучения на рост, развитие и урожайность растений.

Фитотрон работает следующим образом. При включении с щита управления 20 подается питание на облучатель с солнечным спектром 9, облучатель с биколорным спектром 10 и облучатель с регулируемым спектром 11, характеристики которого регулируются в процессе работы.

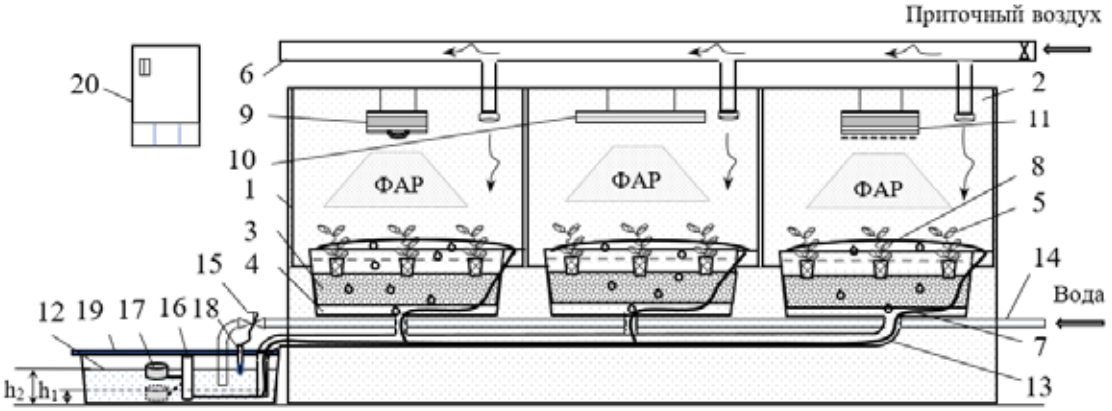


Рис. 1. Фитотрон со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления: 1 – каркас; 2 – рабочие камеры; 3 – стеллаж для лотков с субстратом; 4 – поддон для слива питательного раствора; 5 – растения в горшках; 6 – воздуховод; 7 – подающий трубопровод; 8 – поливочный шланг с перфорацией; 9 – облучатель с солнечным спектром, 10 – облучатель с биколорным спектром; 11 – облучатель с регулируемым спектром; 12 – емкость для питательного раствора; 13 – сливной трубопровод; 14 – доливочный трубопровод; 15 – электромагнитный клапан; 16 – погружной насос; 17 – подвижный поплавковый датчик уровня; 18 – неподвижный датчик доливки воды; 19 –съемная крышка; 20 – щит управления

Энергия в виде потока фотосинтетически активной радиации (ФАР) поступает к растениям в горшках 5. В этот же период в рабочие камеры 2 по воздуховоду 6 осуществляется приток воздуха. Происходит процесс фотосинтеза. Одновременно с этим по программе, настроенной в щите управления 20 на определенный цикл работы и паузы, включается в работу погружной насос 16, при этом подвижный поплавковый датчик уровня 17 находится в верхнем положении h_2, и питательный раствор из емкости 12 поступает по подающему трубопроводу 7, расположенному внутри сливного трубопровода 13, через поливочный шланг с перфорацией 8 к растениям в горшках 5. Происходит полив. После этого подвижный поплавковый датчик уровня 17 достигает нижнего уровня h_1 и подает сигнал на отключение погружного насоса 16. Далее питательный раствор самотеком сливается через стеллаж для лотков с субстратом 3 в поддон для слива питательного раствора 4, насыщая корни растений питательными веществами и кислородом. Затем по сливному трубопроводу 13 питательный раствор сливается в емкость для питательного раствора 12, наполняя ее до верхнего уровня h_2, фиксируемого неподвижным датчиком доливки воды 18 и подвижным поплавковым датчиком уровня 17.

За определенный период времени часть питательного раствора усваивается растениями в горшках 5 и испаряется, снижаясь ниже верхнего уровня h_2, что приводит к срабатыванию неподвижного датчика доливки воды 18, подающего сигнал на открытие электромагнитного клапана 15, и вода из доливочного трубопровода 14 дополняет емкость для питательного раствора 12 до верхнего уровня h_2, после чего доливка воды прекращается. Весь цикл работы оборудования контролируется и регулируется с щита управления 20.

Для ускорения проведения научно-исследовательских работ во всех рабочих камерах для выращивания растений вегетационной установки поддерживают одинаковые параметры микроклимата и режим полива растений, но разные режимы облучения (например, спектральный состав, продолжительность и интенсивность облучения).

Результаты исследования и их обсуждение

Конструктивные элементы фитотрона со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления, изготовленного по представленному выше описанию, представлены на рисунке 2.

Фитотрон содержит три рабочие камеры размерами 800×800×1200 мм, разделенные непрозрачными перегородками (рис. 2а). В каждой камере установлены светодиодные облучатели соизмеримой мощности, порядка 100 Вт при обеспечении облученности PPFD=150±10% мкмоль/(м^2·с). В двух камерах облучатели имеют постоянный спектр (в одной – облучатель с солнечным спектром, в другой – облучатель с биколорным спектром) и работают по режиму: 16 часов – день, 8 часов – ночь. В третьей камере установлен облучатель с переменным спектром по трем каналам управления для трех групп светодиодов: красных (к), белых (б), синих (с). Он должен работать по сценарию: 0 (к)-60 (б)-80 (с) – «рассвет», продолжительность 2 часа; 80 (к)-0 (б)-50 (с) – «день», 13 часов; 140 (к)-0 (б)-0 (с) – «закат», продолжительность 1 час. Режимы и сценарий могут меняться в зависимости от выращиваемой культуры и требований технологического процесса.

а) б) в)

Рис. 2. Конструктивные элементы фитотрона со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления: а) рабочие камеры со стеллажами для лотков с субстратом, поддонами для слива питательного раствора, растениями в горшках и воздуховодами; б) емкость для питательного раствора с системой доливки воды и системой регулирования подачи питательного раствора; в) щит управления

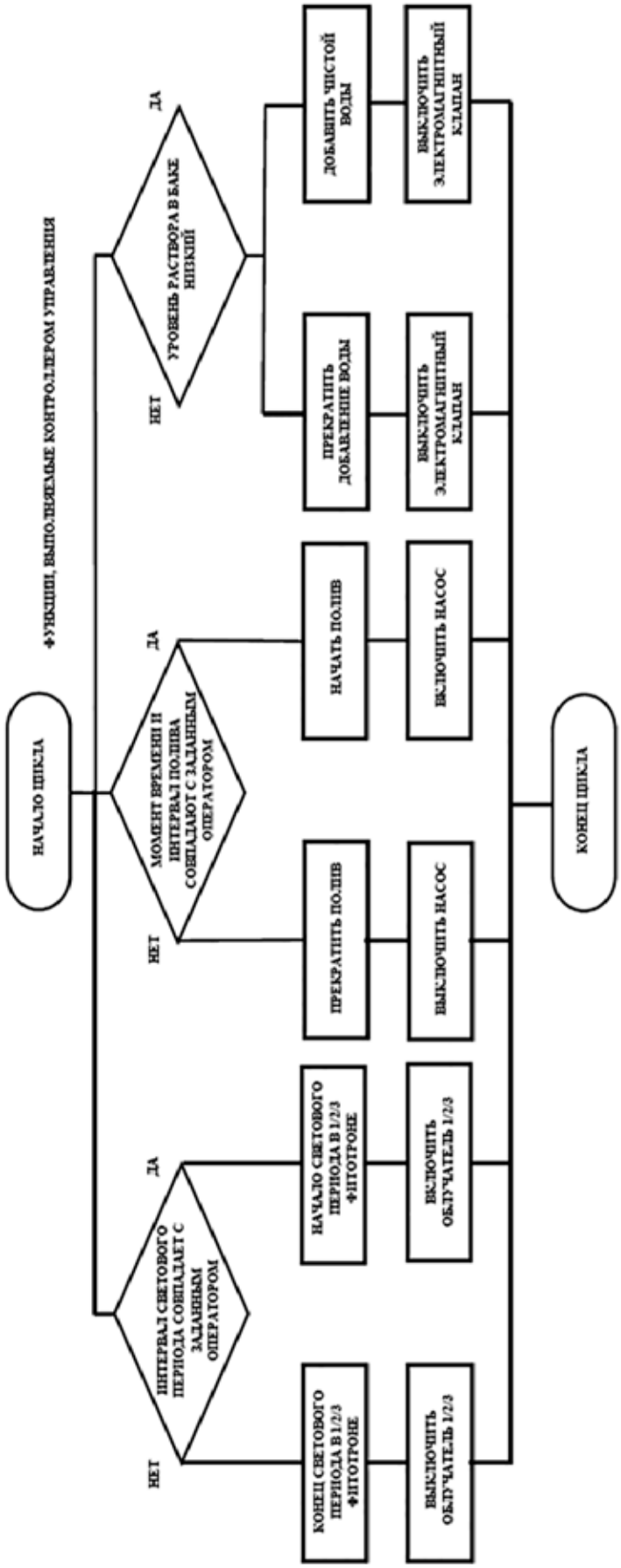


Рис. 3. Алгоритм функций, выполняемых микроконтроллером управления

Каждая рабочая камера содержит поддон для слива питательного раствора по 65 литров каждый, сверху которого установлен стеллаж для лотков с субстратом на 45 литров. В качестве субстрата применяется пеностекло крупной фракции, которое сверху засыпается цеолитом для фиксации растений, подлежащих исследованию. Те, в свою очередь, помещаются в торфяной субстрат в рассадных горшках, в количестве, соответствующем норме высева для каждой культуры. Для подачи питательного раствора применяется погружной дренажный насос LEO XKS-1000 SW, установленный в емкость для питательного раствора объемом 95 литров (рис. 2б). В системе доливки воды на доливочном трубопроводе установлен электромагнитный клапан SMART SP61353, в емкость для питательного раствора – датчик доливки воды S5-A250. Автоматизированное управление осуществляется через щит управления (рис. 2в).

Функциональные возможности, которые должна обеспечивать система автоматизации: контроль и регулирование продолжительности светового дня для трех облучателей, регулирование спектра трехканального облучателя, регулирование периодичности полива, регулирование уровня питательного раствора в емкости для питательного раствора, отображение статуса через дисплей. Для настройки данных функций был составлен алгоритм управления микроконтроллером, представленный на рисунке 3.

Интерфейс для дисплея управления был разработан в программе Nox App Player – эмуляторе для Windows и импортирован в цифровое устройство с операционной системой Android 10 с установленным приложением KaScada (рис. 4а). На рисунке видны три рабочие камеры фитотрона с возможностью визуализации происходящих в них процессов. Путем нажатия в определенную область экрана (изображенную соответствующим элементом системы) можно управлять включением и выключением облучателей в каждой рабочей камере, электромагнитным клапаном, погружным насосом.

Для первого экрана в программе SketchUp была разработана 3D-модель фитотрона, обработанная через VR-рендеринг. Далее в графическом редакторе Adobe Photoshop каждый элемент был разобран на слои, после чего слои были собраны в приложении KaScada, и на каждый слой была назначена либо «Индикация», либо «Кнопка» с возможностью скрывать кнопки при работе. Также для обмена данными по Modbus RTU были установлены три шлюза: два на отправку и один на прием данных.

На втором экране (рис. 4б), предназначенном для управления системой полива, предусмотрен режим настройки для записи параметров в энергонезависимую память и имеется функция установки и отображения текущего времени. Функция «Настройка полива» включает в себя ручное включение и выключение насоса, а также автоматическое включение насоса по таймеру с установкой длительности/паузы полива, мин. Функция «Настройка авто уровня воды» включает в себя управление электромагнитным клапаном для подачи чистой воды в ручном режиме и по датчику уровня в автоматическом режиме.

На третьем экране (рис. 4в), предназначенном для управления работой облучателей в рабочих камерах, отображается информация в виде функции «Фитотрон 1,2,3». Предусмотрена настройка «Начало дня», «Начало ночи». Для каждого облучателя можно выставить определенный временной интервал работы. Кроме того, для облучателя в третьей рабочей камере предусмотрена регулировка спектра излучения по трем каналам: красный (R), синий (B), белый (W).

а) б) в)

Рис. 4. Интерфейс управляющего устройства: а) модель фитотрона; б) экран для управления системой полива; в) экран для управления работой облучателей в рабочих камерах

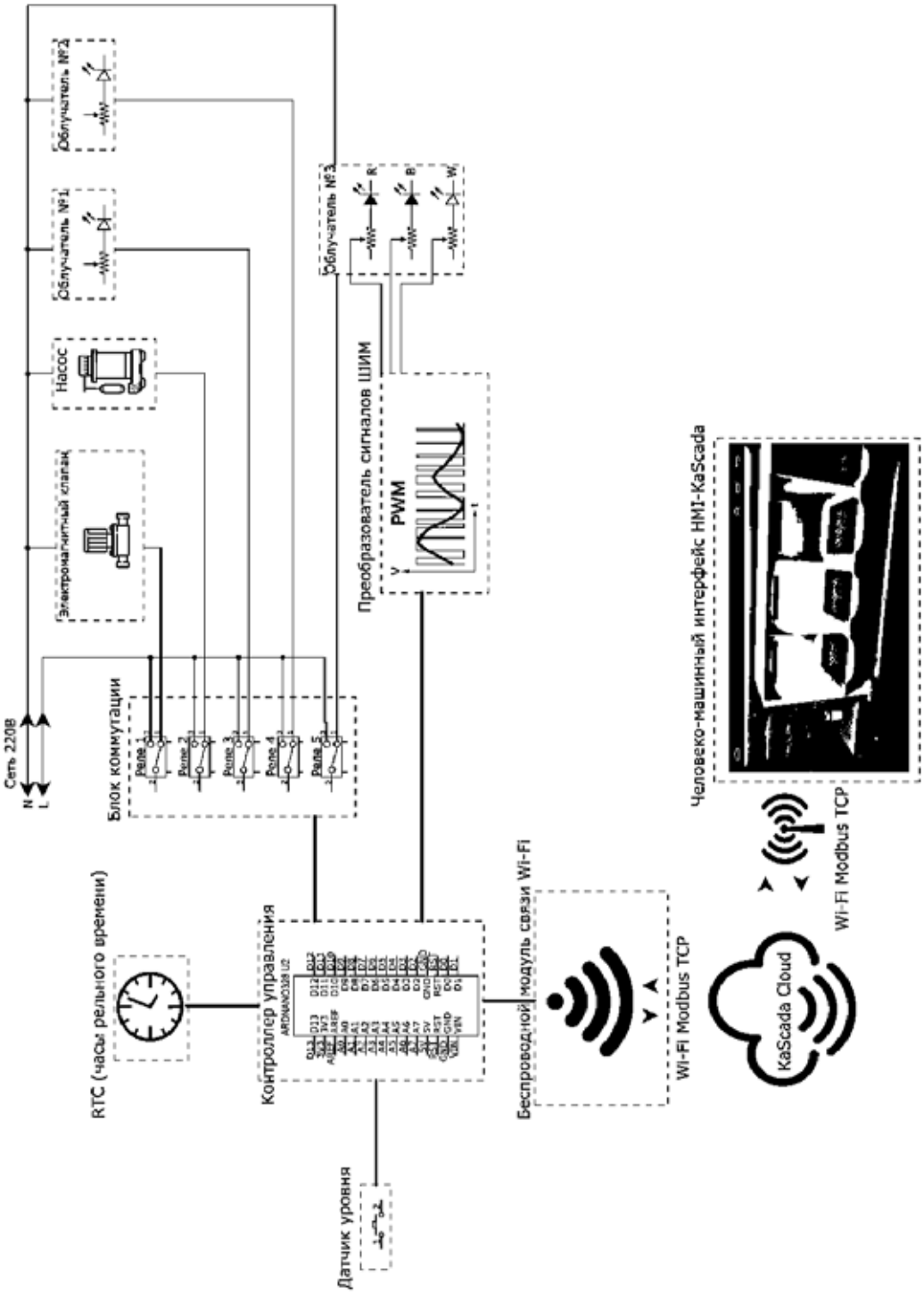


Рис. 5. Схема автоматизации фитотрона со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления

Результатом исследований явилась схема автоматизации фитотрона со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления, изображенная на рисунке 5. Схема реализована на базе платформы Arduino Nano с 8-битным микроконтроллером ATmega328P с тактовой частотой 16 МГц. Микроконтроллер предоставляет 32 Кб Flash-памяти для хранения прошивки, 2 Кб оперативной памяти SRAM и 1 Кб энергонезависимой памяти EEPROM для хранения данных.

В качестве моста использовали модуль ESP-01 с преобразователем уровней. Управление контроллером осуществляется через беспроводной Wi-Fi-модуль посредством HMI (человеко-машинный интерфейс) на платформе Android с приложением KaScada через протокол Wi-Fi Modbus TCP. Для управления облучателем с регулируемым спектром применен конвертер сигнала ШИМ из 0…5 В в 0…10 В. Для учета хронометрических данных установлены часы реального времени (RTC). В состав схемы входит блок коммутации с пятью реле для управления, три из которых предназначены для управления облучателями, одно реле – для коммутации насоса, одно реле – для управления электромагнитным клапаном.

Заключение

Разработана оригинальная технологическая схема фитотрона со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления, в которой путем конструктивных решений уменьшаются габаритные размеры и повышается эффективность работы гидропонного оборудования.

Составлен алгоритм функций, выполняемых микроконтроллером управления и реализуемых через приложения FLprog и KaScada с помощью цифрового устройства с операционной системой Android 10.

Предложенная автоматизированная система управления технологическими процессами в фитотроне со светокультурой и гидропонной технологией периодического затопления позволяет решать задачи по настройке, регулировке и фиксации режимов работы оборудования с применением современных цифровых технологий. Система проста по конструкции, надежна в эксплуатации, легка в применении и может быть рекомендована к реализации в сельском хозяйстве, при управляемом культивировании растений в искусственных контролируемых и регулируемых условиях среды.

Список литературы

1. Kozai T. Sustainable plant factory: closed plant production systems with artificial light for high resource use efficiencies and quality produce. Acta Hortic. 2013. V. 1004. P. 27-40.

2. ГОСТ Р 57671-2017. Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 10 с.

3. РД-АПК 1.10.09.01-14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 109 с.

4. Долгих П.П., Самойлов М.В. Вегетационная камера // Патент РФ №2298911. Патентообладатель Федеральное образовательное учреждение высшего профессионального образования Красноярский государственный аграрный университет. 2007. Бюл. № 14.

5. Kozai T., Niu G., Takagaki M. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production – 2nd Edition. Academic Press, 2020. 476 p.

6. Professional lighting DH Licht 2021. Каталог 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://www. dhlicht.de/en/dh-licht-catalog (дата обращения: 07.01.2022).

7. Тексье У. Гидропоника для всех. Все о садоводстве на дому. М.: HydroScope, 2013. 296 с.

УДК 620.97

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Трушаков Р.В., Бобков В.И.

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Смоленск, e-mail: vovabobkoff@mail.ru

В статье исследуются особенности оценки энергетической эффективности на примере промышленного предприятия. Получены объективные данные по энергетическому обследованию предприятия промышленности об объемах потребляемых энергетических ресурсов. Выявлены факторы энергетической эффективности, предусмотренные программой энергосбережения в 2020–2021 гг. На 2022–2025 гг. представлена программа энергосбережения и увеличения энергетической эффективности объектов энергопотребления. Представлены объективные научно обоснованные показатели объемов потребляемых энергоресурсов. Выявлен потенциал в энергосбережении и увеличении энергетической эффективности, с учётом потребления электрической энергии и природного газа. По реализации энергосберегающих мероприятий, согласованных с оценкой повышения энергоресурсоэффективности, рассчитана максимальная годовая экономия, в том числе экономия за счет снижения объемов ремонтных работ и уменьшения затрат на заработную плату. Разработан и научно обоснован список процедур, направленных на повышение энергетической эффективности и энергосбережение, представлена оценка стоимости предложенных процедур. По итогам энергообследования выявлен энергосберегающий потенциал при внедрении предложенных мероприятий, в том числе по электрической энергии, по природному газу, а также в части потребления воды. Научно обоснована максимальная годовая экономия, в том числе экономия за счет снижения объемов ремонтных работ и уменьшения затрат на заработную плату. Предложены энергосберегающие мероприятия, повышающие энергетическую эффективность, представлена оценка стоимости предлагаемых мероприятий.

Ключевые слова: энергия, энергоэффективность, энергосбережение, рабочее место, организация производства, мониторинг, топливно-энергетические ресурсы

FEATURES OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Trushakov R.V., Bobkov V.I.

Smolensk Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk, e-mail: vovabobkoff@mail.ru

The article explores the peculiarities of energy efficiency assessment using the example of an industrial enterprise. Objective data were obtained on the energy survey of the industrial enterprise on the volumes of consumed energy resources. Energy efficiency factors stipulated by the energy saving program in 2020-2021 were identified. As of 2022-2025, a program of energy saving and increasing the energy efficiency of energy consumption facilities was presented. Objective scientifically based indicators of the volume of consumed energy resources are presented. The potential in energy saving and increasing energy efficiency was identified, taking into account the consumption of electric energy and natural gas. According to the implementation of energy-saving measures agreed with the assessment of the increase in energy efficiency, the maximum annual savings are calculated, including savings due to a decrease in the volume of repair work and a decrease in salary costs. A list of procedures aimed at improving energy efficiency and energy saving has been developed and scientifically justified, and an estimate of the cost of the proposed procedures has been presented. According to the results of the energy survey, energy-saving potential was identified when introducing the proposed measures, including: on electric energy, on natural gas, as well as on water consumption. The maximum annual savings are scientifically justified, including savings due to a decrease in the volume of repair work and a decrease in salary costs. Proposed energy-saving measures that increase energy efficiency, presented an estimate of the cost of the proposed measures.

Keywords: energy, energy efficiency, energy conservation, workplace, organization of production, monitoring, fuel and energy resources

Важнейшим фактором, влияющим на эффективность финансовых затрат по энергосберегающим процедурам, будет являться прогнозируемый наибольший период окупаемости энергосберегающих процедур, учитывающий весь объём капитальных затрат, включающий полный комплекс работ, таких как разработка, проектирование, монтаж, пуско-наладку и т.п. [1, 2].

Экономический успех при проведении энергосберегающих процедур максимально зависит от прогнозной цены энергетических ресурсов. С увеличением стоимости энергоресурсов повышается и денежная экономия [3, 4].

Прогнозируемый период окупаемости вычисляется из уравнения связывающего единовременно сделанные капитальные затраты и суммарную ожидаемую доходность, учитывающую возрастание её по времени:

$$T = C_{КАП} / \Delta Э,$$

где $C_{КАП}$ – суммарные затраты на внедрение мероприятия; $\Delta Э$ – суммарная эффектив-

ность мероприятия, учитывающая экономию энергетических ресурсов, обновление технологии, совершенствование производства, уменьшение ремонтных затрат и другие положительные факторы за первый год, руб.

Цель настоящего исследования – получить научно обоснованные данные об объеме используемых энергоресурсов, по результатам энергетического обследования промышленного предприятия. Определить показатели энергетической эффективности, наметить подходы к энергосберегающим мероприятиям. В срок 2022–2025 гг. представить энергосберегающую программу по повышению энергетической эффективности энергопотребляющих объектов на промышленном предприятии. Выявить и обосновать потенциал энергосбережения и повысить энергетическую эффективность [5, 6].

При определении эффективности финансовых затрат принимались следующие усредненные тарифы: электроэнергия – 7,17 руб./кВт·ч; природный газ – 6,09578 тыс. руб./тыс.нм^3; водоснабжение – 23,05 руб./м^3; водоотведение – 16,93 руб./м^3.

Наладка системы отопления. Важнейшим фактором стратегического развития в теплоснабжении России на период до 2030 г. является «Обновление тепловых сетей».

В тепловых сетях большинства промышленных предприятий наблюдается неправильная регулировка тепловых и гидравлических режимов, некоторые объекты инфраструктуры отапливаются некачественно, нет объективной комплексной картины перераспределения тепловой энергии в системе энергообеспечения (системы отопления, вентиляции, горячего водоснабжения). По объектам инфраструктуры промышленных предприятий предлагается провести энергосберегающие мероприятия в рамках режимно-наладочных работ в системах теплоснабжения: во-первых, гидравлический расчет; во-вторых, выполнение наладочных работ по результатам гидравлического расчета; в-третьих, переоборудование сетей систем теплоснабжения (тепловая изоляция, оптимизация диаметров) по результатам гидравлического расчета [7, 8]. Проведение предлагаемых мероприятий позволит равномерно перераспределить тепловую нагрузку между объектами инфраструктуры и повысит энергоэффективность теплоснабжения [9, 10].

Организационные мероприятия по устранению протечек воды в кранах и унитазах. Мероприятие является эксплуатационным, ежегодным. Расчет технико-экономических показателей мероприятия по устранению протечек воды в кранах и унитазах представлен в табл. 1.

Регулярное мытье окон в помещениях позволяет снизить потребление электроэнергии на нужды освещения до 15%. Затраты на данное мероприятие включают в себя премиальные отчисления клининговому персоналу [11, 12].

Таблица 1

Технико-экономические показатели мероприятия по устранению протечек воды в кранах и унитазах

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1.	Приблизительная утечка воды из одного капающего крана в год	3,942	м^3
2.	Количество кранов	69	шт.
3.	Принятый процент текущих	10	%
4.	Годовые потери воды	27	м^3
5.	Приблизительная утечка воды из текущего унитаза в год	39,42	м^3
6.	Количество унитазов	55	шт.
7.	Принятый процент текущих	10	%
8.	Годовые потери воды	216,81	м^3
9.	Итого снижение потерь воды при своевременном устранении протечек	244	м^3
		9,756	тыс. руб.
10.	Затраты на устранение протечек ежегодные	3,4	тыс. руб.
11.	Простой срок окупаемости	0,35	года

Таблица 2

Технико-экономические показатели мероприятия
по замене ламп накаливания на светодиодные

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1	Количество заменяемых ламп	51	шт.
2	Годовая экономия электроэнергии	3,373	тыс. кВт·ч
		24,188	тыс. руб.
3	Затраты	3,315	тыс. руб.
4	Простой срок окупаемости	0,14	год

Из опыта эксплуатации установлено, что загрязненная лампа имеет гораздо более низкий коэффициент излучения (по разным оценкам от 15 до 50%). Этот показатель сильно зависит от толщины и рода пыли. Особенно быстро происходит загрязнение уличных и внутрицеховых осветительных установок [13].

Поэтому рекомендуется проводить регулярную чистку ламп и отражателей с помощью мыльного раствора с добавлением нашатыря.

Данное мероприятие характеризуется, как организационное беззатратное и реализуется службой энергохозяйства предприятия по согласованию с руководством. К установке предлагается лампа СД мощностью 9 Вт с характеристиками: мощность (W) – 9 Вт; напряжение, V220 (240 В); срок службы – 30 000 ч; аналог ламп накаливания (W) – 60 Вт; индекс цветопередачи – Ra > 80; освещённость, 700–750 Лм.

Учитывая среднегодовое время работы системы освещения в сутки 1297 ч, срок службы лампы составит 23 года. Расчет технико-экономических показателей и срока окупаемости мероприятия по замене ламп накаливания напряжением 220 В на светодиодные представлен в табл. 2.

Внедрение системы технического учета электроэнергии по направлениям в рамках установленной системы АС ТУЭ – данное мероприятие также позволит оперативно отслеживать использование электроэнергии по направлениям и выявлять нерациональное использование.

Цель внедрения АС ТУЭ определяется режимом рационального расходования энергоресурсов, уменьшением удельных затрат энергетических ресурсов на единицу произведённой продукции и обеспечением бесперебойного качественного энергоснабжения за счет оперативной подачи объективной информации для расчёта и анализа данных по эффективности использования энергоресурсов технологическими и структурными объектами промышленных предприятий; ведения контроля за режимом функционирования энергоснабжения.

АС ТУЭ помогает ответить на «вечные» вопросы: почему? сколько? когда? где? – производство потребило энергоресурсов; где? как? когда? за счет чего? – потребление энергии можно снизить и сколько это будет стоить. Отсутствие точного ответа на эти вопросы приводит к необоснованным завышенным показателям потребляемой промышленным предприятием электроэнергии, а значит, к возрастанию себестоимости выпускаемой продукции, а это уменьшает конкурентоспособность предприятия [14].

В настоящее время из-за тенденции увеличения стоимости энергетических ресурсов их составляющая в себестоимости продукции для промышленных предприятий существенно увеличилась и иногда достигает 25–30%, а для энергоемких производств – 35% и более. Показатель высокой цены и тренд удорожания энергоресурсов обеспечивают существенные преобразования к подходам учёта энергоресурсов в энергоемких инфраструктурных субъектах и на предприятиях промышленности в целом [15]. Таким образом, весьма эффективным способом уменьшения расхода электроэнергии будет разработка и запуск АС ТУЭ на промышленных предприятиях.

АС ТУЭ предназначена для своевременного учета потребляемых энергетических ресурсов объектами инфраструктуры промышленных предприятий: цехами, участками и отдельными потребителями энергии; расчёта объёмов энергоресурсов на основные производственные и второстепенные вспомогательные нужды; вычисление удельных расходов энергии на единицу произведенной продукции; анализ эффективности расходования энергетических ресурсов; информационная и цифровизированная поддержка принятия решений по мероприятиям энергосбережения.

Главный функционал АС ТУЭ – аккумулирование, надёжное хранение и обработка данных учёта; представление объективной информации по всем подразделениям об объёмах потреблённых энергоресурсов в реальном времени; полный анализ эффективного использования энергетических ресурсов; контроль режимных параметров преобразования сырьевых ресурсов в энергетические; диспетчеризация состояний энергообъектов и энергоёмких потребителей; анализ освоения энергоресурсов, обеспечивающий контроль количества и качества производимой продукции; учёт рабочего времени и эффективности использования энергетического оборудования; контроль ресурса и режимов функционирования энергетического оборудования.

Информация технического учета энергоресурсов обеспечивает: разработку и усовершенствование норм потребления энергоресурсов; контроль соблюдения норм потребления; долговременное и оперативное планирование потребления энергоресурсов; оценку рационального использования технологического, энергетического и вспомогательного оборудования; разработку и внедрение режимных карт, оптимизирующих режимы потребления энергоресурсов с учётом технологических особенностей производства; контроль исполнения режимных карт; контроль моторесурса технологического и энергетического оборудования, обеспечивающий своевременное проведение его обслуживания; выявление случаев неэффективного использования энергоресурсов и причин их возникновения; разработку организационно-технических мероприятий по энергосбережению.

Принципы рациональной организации измерений в системе технического учёта: методы и средства учета энергоресурсов должны обеспечивать заданную точность и достоверность измерений; измерения проводятся только в тех точках, информация по которым используется в целевых задачах учета; по возможности должно обеспечиваться совмещение функций учета и функций технологических и (или) режимных измерений и управления; учет по равномерным нагрузкам производится по продолжительности работы и характерному уровню мощности нагрузки, с периодическим контролем точности учета.

Стоимость системы с установкой и наладкой составляет 900 тыс. руб. По экспертным оценкам экономия электроэнергии от внедрения АИС ТУЭ составляет 2–10 % в зависимости от структуры потребления. Так, например, экономия (7 %) электроэнергии на предприятии достигает 98,597 тыс. кВт·ч. При тарифе 7,17 руб./кВт·ч годовая экономия составит 706,943 тыс. руб. Срок окупаемости: $T = 900 / 706{,}943 = 1{,}27$ г.

Изоляция трубопровода горячей воды в помещении подвала. Потери тепловой энергии с неизолированного трубопровода в пять раз превышают потери с изолированного по всем правилам. Для изоляции предлагается материал K-FLEX с покровным слоем.

Характеристики материала: теплоизоляция K–FLEX в зависимости от марки может применяться для тепловой изоляции внешних поверхностей в диапазоне температур от -200 до +150 ºС. Период службы, с учётом теплового износа составляет около 20 лет. Эти материалы не способствуют самовозгоранию и не позволяют пламени распространяться по поверхности, а также отличаются пониженной токсичностью продуктов горения и очень уменьшенным образованием дыма. Теплоизоляционные материалы K–FLEX обладают повышенным диффузионным сопротивлением и высоким нейтральным показателем кислотности. Они в процессе эксплуатации мало подвержены увлажнению, то есть исключают процесс коррозии. Теплопроводность материала 0,041–0,045 Вт/м·ºС.

Расчет технико-экономических показателей и срока окупаемости мероприятия по изоляции трубопровода горячей воды в помещении подвала представлен в табл. 3.

Таблица 3

Технико-экономические показатели срока окупаемости мероприятия по изоляции трубопровода горячей воды в помещении подвала

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1.	Экономия тепловой энергии	30,3809	Гкал
2.	В газовом эквиваленте	4,29	тыс. м^3
		26,15	тыс. руб.
3.	Затраты на теплоизоляцию	45,213	тыс. руб.
4.	Срок службы	20	лет
5.	Простой срок окупаемости	1,73	лет

Покрытие ALU – это изоляционный материал, состоящий из трех слоёв алюминиевой фольги толщиной 9 мкм каждый из двух слоев ПЭТФ пленки толщиной 23 мкм каждый. Оно используется и как теплоизоляционный материал, и как укрывной материал на внешнем слое на объектах, находящихся в открытой среде, а также в производственных помещениях и в подземных теплотрассах. Это покрытие осуществляет защиту от негативного действия ультрафиолетового излучения и случайных механических воздействий.

Внедрение дежурного отопления. Одним из способов снизить потребление тепловой энергии для отопления будет приобретение и установка регулятора отпуска тепловой энергии на нужды отопления помещений с применением автоматического регулирования. Установка регулятора позволит:

− устранить перерасход тепловой энергии в переходные периоды отопительного сезона (сентябрь, апрель), когда зачастую наблюдаются перерасходы тепловой энергии (температура внутреннего воздуха значительно выше нормативной),

− организовать дежурное отопление помещений, когда в нерабочее время и в выходные дни температура внутри помещений опускается до 5–10 °С, что позволяет сэкономить значительное количество тепловой энергии.

Расчет технико-экономических показателей и срока окупаемости мероприятия по внедрению дежурного отопления представлен в табл. 4.

Установка отражателей за отопительными приборами. После того как произведена наладка системы отопления и внедрена автоматическая система регулирования, целесообразно установить теплоотражатели для радиаторов отопления.

Теплоотражатели (тепловые зеркала) для отопительных приборов представляют собой теплоизоляционные прокладки с отражающим слоем, устанавливаемые за отопительным радиатором на стене с помощью двустороннего скотча. Дополнительным мероприятием при установке отражателей возможна покраска отопительных приборов цинковыми белилами, которые увеличивают теплоотдачу на 15 %, при этом экономия тепловой энергии может составлять до 5 %. Стоимость покраски приборов, на основании экспертной оценки, составляет 250–500 руб. на 1 кВт установленной мощности отопительных приборов.

Таким образом, интегральный энергосберегающий эффект на основании экспертной оценки может составить 14,5 % от потребляемой тепловой энергии, используемой на отопление. Расчет энергосберегающего эффекта производится из того, что производится покраска и установка отражателей только за отопительными регистрами и чугунными радиаторами и стальными радиаторами.

В качестве теплоотражателя был принят материал Пенофол 2000 Тип А. Размеры листа 1,2 х 30 м, толщина – 4 мм. Средняя цена за рулон составляет 1 150,00 руб. Средняя цена монтажного скотча за рулон 50 м – 138 руб.

Общая стоимость всех рулонов теплоотражателя составляет:

$C_{ОТР} = 10 \cdot 1150{,}00 = 11150{,}00$ руб.

Таблица 4

Технико-экономические показатели срока окупаемости мероприятия по внедрению дежурного отопления

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1.	Средняя тепловая мощность системы отопления	0,48	Гкал/ч
2.	средняя тепловая мощность системы отопления при дежурном отоплении	0,26	Гкал/ч
3.	Время работы полноценного отопления	2010	ч
4.	Время работы дежурного отопления	2814	ч
5.	Новое потребление тепловой энергии	1681,3	Гкал
6.	Экономия тепловой энергии	626,40	Гкал
7.	Снижение потребления природного газа	88,5232	тыс. м^3
1.		539,59	тыс. руб.
8.	Затраты	749,34	тыс. руб.
9.	Простой срок окупаемости	1,39	лет

Исходя из общей длины всех теплоотражателей, и учитывая их двухстороннее крепление, количество мотков скотча принимаем равным N = (310/50)·2 = 12,4 ~ 13 шт.

Стоимость мотков скотча:

$C_{СКОТ}$ = 13·138 = 1 794,00 руб.

Общие капиталовложения на установку теплоотражателей за отопительными приборами составляют:

$C_{КАП}$ =1 794,00 + 11150,00 = 13294,00 руб.

Суммарная экономия природного газа составит 16,82 тыс. нм^3. Экономический эффект при установке теплоотражателей за отопительными приборами при тарифе 6 095,78 руб. за тыс. нм^3 составит 102,531 тыс. руб. Срок окупаемости: T = 0,13 г.

Установка технического узла учета вырабатываемой тепловой энергии – данное мероприятие позволит оценивать эффективность использования как природного газа на котельной, так и тепловой энергии на нужды предприятия, а также многоканальный измерительный комплекс позволит оперативно выявлять утечки в системе теплоснабжения.

На предприятии установлены проточные питьевые фонтанчики. К установке предлагаются нажимные питьевые фонтанчики. Современные питьевые фонтанчики, предлагаемые к продаже, соответствуют всем нормативам СанПиН 2.4.2.2842-11. Применение нажимного питьевого фонтанчика позволит снизить непроизводительные потери воды.

Расчет технико-экономических показателей и срока окупаемости мероприятия по замене существующих проточных питьевых фонтанчиков на нажимные представлен в табл. 5.

Установка оборотной системы охлаждения на литейном участке. Применение оборотной системы водоснабжения взамен проточной позволит сократить расходы воды, при этом появится дополнительный расход электроэнергии на электроэнергию, затрачиваемую на перекачку воды по контуру. Расчет технико-экономических показателей и периода окупаемости мероприятий, связанных с установкой оборотной системы охлаждения на одном из промышленных участков предприятия, представлен в табл. 6.

Внедрение системы технического учета потребления холодной воды по направлениям использования – данное мероприятие позволит произвести реальную оценку расходов воды на хозяйственно-бытовые нужды и технологические нужды (в том числе на оборотные системы охлаждения, моечные ванны, ванны различных покрытий), позволит выявить перерасходы воды и оперативно отследить непроизводительные утечки в перечисленных системах водопотребления.

Снижение потребления ТЭР и воды согласно предлагаемым энергосберегающим мероприятиям наглядно представлено в табл. 7–9.

Энергосберегающий потенциал в части потребления электроэнергии в результате внедрения предложенных мероприятий составит: 124,277 тыс. кВт·ч или 8,82 % от потребления электроэнергии в базовом 2021 г. Финансовая экономия составит 892,88 тыс. руб.

Энергосберегающий потенциал в части потребления природного газа в результате внедрения предложенных мероприятий составит: 109,63 тыс.н.м^3, или 20,80 % от потребления природного газа в базовом 2021 г. Финансовая экономия составит 668,28 тыс. руб.

Таблица 5

Технико-экономические показатели срока окупаемости мероприятия по замене существующих проточных питьевых фонтанчиков на нажимные

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1.	Средний расход воды в питьевом фонтанчике	0,0000277	м^3/с
		223,66	м^3
2.	На два фонтана	447,32	м^3
3.	Экономия воды при установке нажимного фонтанчика	268,4	м^3
		10,74	тыс. руб.
4.	Затраты	16,56	тыс. руб.
5.	Простой срок окупаемости	1,54	лет

Таблица 6

Технико-экономические показатели периода окупаемости мероприятия по установке оборотной системы охлаждения на одном из промышленных участков предприятия

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1.	Экономия воды	1425,60	м^3
		41,680	тыс. руб.
2.	Дополнительный расход электроэнергии на перекачку оборотной воды	0,246	тыс. кВт·ч
		1,764	тыс. руб.
3.	Затраты на систему	105,86	тыс. руб.
4.	Простой срок окупаемости	2,58	лет

Таблица 7

Снижение потребления электрической энергии согласно предлагаемым энергосберегающим мероприятиям

Наименование параметра	Снижение потребления электроэнергии, тыс. кВт·ч	% от потребления электрической энергии в базовом 2021 г.	Потребление электроэнергии после внедрения мероприятия, тыс. кВт·ч
Потребление электрической энергии в базовом 2020 г.	–	100	1408,534
Регулярное мытье окон	14,87	1,06	1393,664
Очистка светильников от пыли	7,69	0,55	1385,974
Замена ламп накаливания напряжением 220 Вт на светодиодные	3,37	0,24	1382,604
Внедрение системы технического учета электроэнергии по направлениям в рамках установленной системы АС ТУЭ	98,597	7,00	1284,007
Установка оборотной системы охлаждения на литейном участке	-0,25	-0,02	1284,257

Таблица 8

Снижение потребления природного газа согласно предлагаемым энергосберегающим мероприятиям

Наименование параметра	Снижение потребления природного газа, тыс.н.м^3	% от потребления природного газа в базовом 2021 году	Потребление природного газа после внедрения мероприятия, тыс.н.м^3
Потребление природного газа в базовом 2021 г.	–	100	425,566
Изоляция трубопровода горячей воды в помещении подвала	4,29	1,01	421,276
Внедрение дежурного отопления	88,52	20,80	332,756
Установка отражателей за отопительными приборами	16,82	3,95	315,936
Установка технического узла учета вырабатываемой тепловой энергии	–	–	–

Таблица 9

Снижение потребления воды
согласно предлагаемым энергосберегающим мероприятиям

Наименование параметра	Снижение потребления воды, м^3	% от потребления воды в базовом 2021 г.	Потребление воды после внедрения мероприятия, м^3
Потребление воды в базовом 2021 г.	–	100	28 381
Организационные мероприятия по устранению протечек воды в кранах и унитазах	244	0,86	28 137
Замена существующих питьевых фонтанчиков на нажимные	268	0,94	27 869
Установка оборотной системы охлаждения на литейном участке	1042	3,67	26 827
Внедрение системы технического учета потребления холодной воды по направлениям использования	–	–	–

Энергосберегающий потенциал в части потребления воды в результате внедрения предложенных мероприятий составит: 1 554 м^3, или 5,5 % от потребления воды в базовом 2021 г. Финансовая экономия составит 62,172 тыс. руб.

Получены объективные научно обоснованные данные о количестве используемых энергоресурсов на промышленном предприятии. По результатам энергетического обследования объем потребления энергетических ресурсов следующий:

− электроэнергия – 1 408,534 тыс. кВт·ч (по данным коммерческого учета за 2021 г.);

− природный газ – 425,566 тыс. м^3 (по данным коммерческого учета за 2021 г.);

− моторное топливо – 22,534 тыс. л (по данным товарных накладных и путевых листов водителей за 2021 г.);

− вода – 28 381 м^3 (по данным коммерческого учета за 2021 г.).

Определены показатели энергетической эффективности. Энергосберегающие мероприятия, отражённые в Программе энергосбережения на период 2020–2021 гг., выполнены; установленные показатели достигнуты.

Энергослужба осуществляет мониторинг за потреблением энергетических ресурсов, выявляет места нерационального использования энергоресурсов, оперативно принимает меры по устранению выявленных неисправностей.

Служба энергоменеджмента на предприятии не создана, но энергослужба осуществляет планомерный мониторинг эффективного и рационального расходования энергетических ресурсов.

На 2022–2025 гг. разработана программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности объектов энергопотребления промышленного предприятия.

Выявлен потенциал энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

По результатам энергетического обследования суммарный энергосберегающий потенциал при внедрении предложенных мероприятий составил 141,83 т у.т., или 20,6 % от общего объема потребления ТЭР в базовом 2021 г., в том числе:

− по электрической энергии 124,27 тыс. кВт·ч (15,29 т у.т.) или 9,68 % от общего потребления электроэнергии после реализации энергосберегающих мероприятий;

− по природному газу 1091,63 тыс.н.м^3 (126,513 т у.т.) или 34,70 % от общего потребления природного газа после реализации энергосберегающих мероприятий.

Энергосберегающий потенциал в части потребления воды составил 1 554 м^3 или 5,5 % от потребления воды в базовом 2021 г.

После реализации энергосберегающих мероприятий максимальная годовая экономия составит 1 623,33 тыс. руб., в том числе экономия за счет снижения объемов ремонтных работ и уменьшения затрат на заработную плату. Представлен план мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, проведена экономическая (стоимостная) оценка предложенных мер.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/gosudarstvennyy_doklad_po_energoeffektivnosti_html (дата обращения: 28.02.2022).

2. Бобков В.И., Мищенко М.Н. Повышение энергоэффективности химико-энерготехнологической системы фос-

форного производства // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 2. С. 17–23.

3. Pancnehko S.V., Dli M.I., Borisov V.V., Panchenko D.S. Analysis of thermalphysic processes in near-electrode zone of electrothermal reactor // Non-Ferrous Metals. 2016. № 2. P. 57-64.

4. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Киселев И.Н. Разработка автоматизированной системы управления с использованием языка программирования стандарта МЭК 61131-3 // Энергобезопастность и энергосбережение. 2019. № 2. С. 44–49.

5. Панченко С.В., Мешалкин В.П., Дли М.И., Борисов В.В. Компьютерно-визуальная модель теплофизических процессов в электротермическом реакторе // Цветные металлы. 2015. № 4 (868). С. 55–60.

6. Дьяков А.Ф., Исамухамедов Я.Ш., Молодюк В.В. Проблемы развития электроэнергетики // Энергоэксперт. 2015. № 4. С. 10–13.

7. Акатьев В.А., Тюрин М.П., Бородина Е.С. Повышение энергоэффективности при производстве, передаче, и потреблении электроэнергии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 2. С. 8–17.

8. Lund H., Østergaard P. A., Connolly D., Mathiesen B.V. (2017). Smart Energy and smart Energy systems. Energy. 137. 556–565. DOI: 10.1016/j.energy.2017.05.123.

9. Elmohlawy A.E., Ochkov V.F., Kazandzhan B.I. (2019). Study and prediction the performance of an integrated solar combined cycle power plant. Energy Procedia.156. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.094.

10. Бобков В.И., Панченко С.В., Соколов А.М. Выявление потенциала энергоресурсосбережения в электротермических процессах переработки продуктов пеллетирования обжиговых машин конвейерного типа в руднотермических печах // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 6 (90). С. 32–36.

11. Панченко С.В., Мешалкин В.П., Дли М.И., Борисов В.В. Компьютерно-визуальная модель теплофизических процессов в электротермическом реакторе // Цветные металлы. 2015. № 4 (868). С. 55–60.

12. Lund H., Østergaard P.A., Chang M., Werner S., Svendsen S., Sorknæs P., Möller B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. Energy. 164. P. 147–159. DOI: 10.1016/j.energy.2018.08.206

13. Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. Обобщённая структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной переработкой отвалов горно-обогатительных комбинатов апатит-нефелиновых руд // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 48–52.

14. Бобков В.И. Математическая модель процессов переноса в ванне руднотермической печи на основе гидродинамического подхода для анализа теплогидравлических режимов функционирования // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 9. С. 43–47.

15. Бобков В.И., Черновалова М.В., Лобанева Е.И. Математическая модель распространения локализованного фронта испарения влаги и особенности кинетики влагосодержания в крупнопористом влажном теле окатыша из отходов апатит-нефелиновых руд горно-обогатительных комбинатов // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10. С. 21–26.

УДК 519.17:004.023

ОБ ОДНОМ ЭВРИСТИЧЕСКОМ КРИТЕРИИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОМОРФИЗМА ГРАФОВ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ

[1, 2, 3]Хачумов М.В., [3]Талалаев А.А.,[1, 2, 3]Хачумов В.М.

[1]ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, e-mail: khmike@inbox.ru;
[2]ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: vmh48@mail.ru;
[3]ФГБУН «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна» РАН, Веськово, e-mail: arts@arts.botik.ru

Рассматривается эвристический критерий, направленный на преобразование сравниваемых связных графов для решения задачи определения их изоморфизма. Критерий связан с построением кортежей графов с минимальной суммарной длиной ребер, вычисляемой по определенной метрике, и приводит к получению дополнительных полезных инвариантных характеристик. В качестве атрибутов здесь выступают суммы длин ребер при вершинах оптимизированного кортежа, которые могут быть применены в составе вектора инвариантных характеристик в задаче определения изоморфизма. Ранее подобный критерий был успешно использован в задаче разбиения графа на части с примерно равным числом вершин и с минимальным числом связей между подграфами. В матрице смежности такому варианту графа соответствует максимальная концентрация единиц вдоль главной диагонали, что служит в качестве другой эвристики, которая может быть использована для направленной перестановки строк и столбцов. Выполнен обзор работ, в том числе рассматривающих проблему построения полного инварианта, служащего необходимым и достаточным условием изоморфизма. Приведен пример успешного применения эвристического критерия в задаче определения изоморфизма для двух графов с переименованными вершинами. Рассмотренный подход целесообразно применять в задачах разбиения программ на слабо связанные участки и распознавания образов на основе графовых моделей.

Ключевые слова: граф, изоморфизм, инвариант, эвристический критерий, кортеж, длина ребра, суммарная длина ребер

ON A HEURISTIC CRITERION IN THE PROBLEM OF DETERMINING THE ISOMORPHISM OF GRAPHS BASED ON INVARIANTS

[1, 2, 3]Khachumov M.V., [3]Talalaev A.A., [1, 2, 3]Khachumov V.M.

[1]FRC CSC RAS, Moscow, e-mail: khmike@inbox.ru;
[2]Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: vmh48@mail.ru;
[3]Program Systems Institute of RAS, Veskovo, e-mail: arts@arts.botik.ru

We consider a heuristic criterion aimed at transforming compared connected graphs to solve the problem of determining their isomorphism. The criterion is related to the construction of tuples of graphs with the minimum total length of edges, calculated by a certain metric, and leads to additional useful invariant characteristics. The attributes here are the sums of the lengths of the edges at the vertices of the optimized tuple, which can be used as part of the vector of invariant characteristics in the problem of isomorphism determination. Previously, a similar criterion was successfully used in the problem of splitting a graph into parts with an approximately equal number of vertices and with a minimum number of connections between subgraphs. In the adjacency matrix, this version of the graph corresponds to the maximum concentration of ones along the main diagonal, which serves as another heuristic that can be used for directed permutation of rows and columns. We made a review of papers, including those dealing with the problem of constructing a complete invariant, which serves as a necessary and sufficient condition for isomorphism. An example of successful application of a heuristic criterion in the problem of isomorphism determination for two graphs with renamed vertices is given. It is expedient to apply the considered approach in problems of splitting programs into weakly connected sections and pattern recognition based on graph models.

Keywords: graph, isomorphism, invariant, heuristic criterion, tuple, edge length, total length of edges

Определение изоморфизма графов на основе инвариантов – один из эффективных подходов к распознаванию объектов различной природы. Показано экспериментально, что при определении изоморфизма графов с малым числом вершин высокую эффективность имеет вектор степеней вершин, но в случае восьми вершин и более неизоморфные графы могут иметь идентичные векторы [1]. Достаточно эффективным оказался вектор собственных чисел матрицы смежности графа, что позволяет вычислять изоморфизм некоторых графов за полиномиальное время. Отмечается, что вектор степеней вершин и характеристики, извлекаемые из матриц смежности, несомненно, являются полезными инвариантами, но не решают в общем случае задачу изоморфизма. В работе [2] в качестве инвариантов предлагается использовать объединения локальных характеристик графа, например плотность, хроматическое число, число Хадвигера, индексы Виннера и Рандича. Менее эффективны

следующие инварианты: определитель матрицы смежности, число компонент связности и диаметр графа. Алгоритм вычисления полного инварианта графа изложен в работе [3]. Предложена система кодирования, которая обеспечивает получение интегрального описателя структуры, инвариантного относительно исходной нумерации её вершин.

Работа направлена на поиск новых инвариантных характеристик, получаемых в результате целенаправленного преобразования графа эвристическим алгоритмом за полиномиальное время. Важно отметить, что проблема распознавания изоморфизма за полиномиальное время является одной из нерешенных проблем современной теории сложности вычислений. Поэтому эффективными являются исследования, опирающиеся на эвристику. Сочетание точных алгоритмов и эвристических, основанных на итерационном уточнении решений, рассмотрено, например, в работе [4]. В статье [5] представлена эвристика для решения проблемы изоморфизма графов методами вероятностного линейного программирования. В настоящей работе выполнены исследования в рамках поиска устойчивых эвристических характеристик, способствующих выявлению изоморфизма.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе в качестве исходного материала для решения задачи изоморфизма рассматриваются простые связные графы. Пусть исходные данные представлены в виде графа $G = (V, E)$, где V – множество вершин; E – множество ребер, содержащего n вершин и m ребер.

В качестве метода исследования выступает проверка гипотезы о положительных инвариантных свойствах кортежа графа, характеризуемого минимумом суммарной длины всех связей в кортеже, а в качестве атрибута для определения изоморфизма, – собственно упорядоченный вектор длин, приписываемых вершинам кортежа. Для оценки качества кортежа вводится понятие длины ребра как неотрицательной разности порядковых номеров вершин в кортеже, инцидентных данному ребру. С учетом этого суммарная длина ребер полного графа равна $L_n = \sum_{i=1}^{N} i(n-i)$, где $N = \frac{n(n-1)}{2}$ есть число ребер графа. Таким образом, к матрице смежности, задающей граф с помеченными вершинами, вектору степеней вершин и другим его инвариантам добавляются новые полезные элементы [6].

Дадим некоторые определения.

Функцию f, относящую каждому графу G некоторый элемент $f(G)$ из множества M, будем называть инвариантом, если на изоморфных графах ее значения совпадают, т.е. для любых G и G': $G \cong G' \Rightarrow f(G) = f(G')$.

Инвариант графа, удовлетворяющий необходимому и достаточному условию изоморфизма, т.е. $G \cong G' \Leftrightarrow f(G) = f(G')$, будем называть полным. Если на сравниваемых графах значения функции f отличаются на допустимые величины Δ, т.е. для любых L и L' $G \cong G' \Rightarrow \left| f(G) - f(G') \right| \le \Delta$, то будем называть ее субинвариантом. Такой подход обеспечивает возможность приближенного сравнения графовых моделей с допустимой погрешностью.

Для получения новых элементов, дополняющих вектор инвариантов, рассмотрим эвристический метод построения кортежа графа с требуемыми свойствами. Суть метода состоит в формировании кортежа вершин графа G, в котором вершины с большим числом связей между собой размещаются в кортеже по соседству, а слабо связанные вершины – в отдаленных друг от друга позициях. Алгоритм, приведенный в работе [7], позволяет в цикле строить кортеж графа G с минимальной суммарной длиной ребер. Количество глобальных циклов n определяется числом вершин в графе. Алгоритм в каждом цикле (шаге) с номером r оперирует двумя подграфами D_1^r и D_2^r графа $G = (V, E)$ с выбранными и еще не выбранными вершинами графа соответственно. На каждом r цикле выбирается и отмечается индексом r одна из неотмеченных вершин $a_i \in V$ подграфа D_2^r, связанная непосредственно с одной или несколькими вершинами подграфа D_1^r. Эта вершина переносится из подграфа D_2^r в граф D_1^r и служит очередной вершиной формируемого кортежа. При выборе r-й компоненты картежа на r-м цикле алгоритма отыскивается такая вершина a_i^r, для которой $\xi_{1i}^r - \xi_{2i}^r = \delta_{i\max}^r$, где ξ_{1i}^r – число дуг, связывающих вершину a_i с D_1^{r-1} а ξ_{2i}^r – число дуг, связывающих a_i с D_2^r. Каждый цикл связан с анализом и оценкой $n - r$ еще не выбранных вершин-кандидатов. Таким образом, в итоге получаем искомый кортеж с минимизированной суммарной длиной связей и соответствующую ему матрицу смежности. Вычислительную сложность алгоритма построения кортежа можно оценить как $n(n - 1)$.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть заданы два графа $G_1 = (V_1, E_1)$ и $G_2 = (V_2, E_2)$, причем второй получен путем переименования вершин.

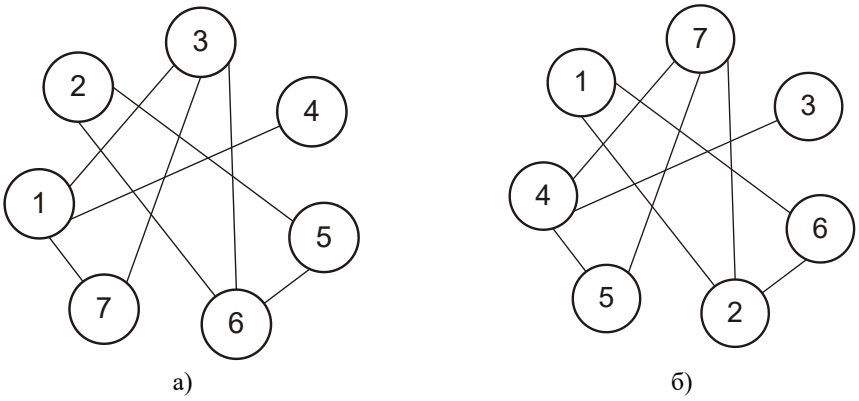


Рис. 1. Графы G_1 (а) и G_2 (б)

Таблица 1

Исходная матрица смежности графа G_1

	1	2	3	**4**	**5**	**6**	**7**
1	1		1	1			1
2		1			1	1	
3	1		1			1	1
4	1			1			
5		1			1	1	
6		1	1		1	1	
7	1		1				1

Матрица смежности графа G_1 приведена в табл. 1. Заметим, что в этой и последующих матрицах смежности в диагоналях для элементов с одинаковыми индексами содержатся «1», которые не означают наличия петель в графах, а служат исключительно для визуального анализа распределения единиц вокруг диагоналей. Кортеж, построенный по данной матрице смежности, имеет вид, представленный на рис. 2, а. Суммарные длины ребер в кортеже в соответствии с их номерами (11, 7, 9, 3, 4, 8, 10). Общая длина восьми ребер без повторений L_1 = 26. Применяя алгоритм построения кортежа с минимальной суммарной длиной ребер, получим результат, приведенный на рис. 2, б.

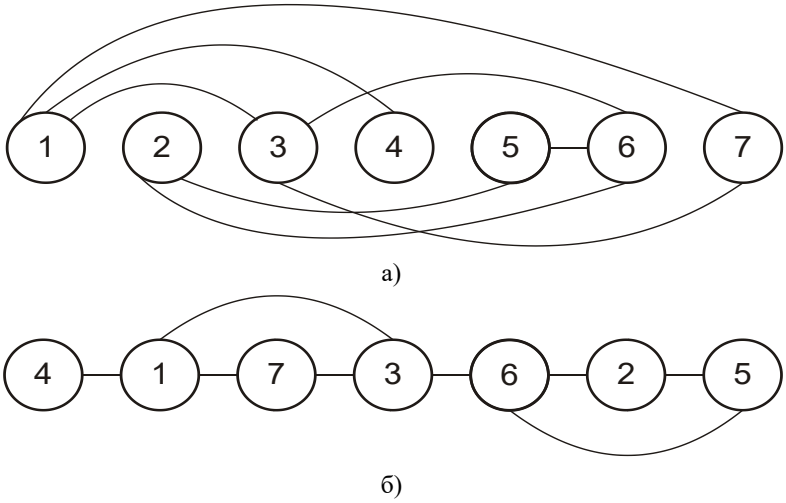


Рис. 2. Кортеж графа G_1 без оптимизации (а) и с минимальной суммарной длиной ребер (б)

Суммарные длины ребер при вершинах графа в оптимизированном кортеже в соответствии с их порядковыми номерами в кортеже (1, 4, 2, 4, 4, 2, 3). Общая длина ребер без повторений $L_1^o = 10$. Матрица смежности графа G_1 после упорядочения представлена в табл. 2.

Видно, что единицы группируются вдоль главной диагонали. Рассмотрим для сравнения и определения возможного изоморфизма граф $G_2 = (V_2, E_2)$ с другой разметкой вершин (табл. 3).

Результаты его отображения в виде кортежа и упорядоченного кортежа в соответствии с алгоритмом, представлены на рис. 3, а и б.

В табл. 4 приведена преобразованная в соответствии с алгоритмом построения оптимизированного кортежа матрица смежности графа G_2.

Таблица 2

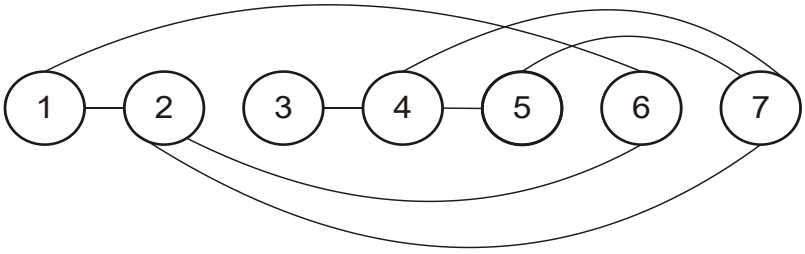
Преобразованная матрица смежности графа G_1

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

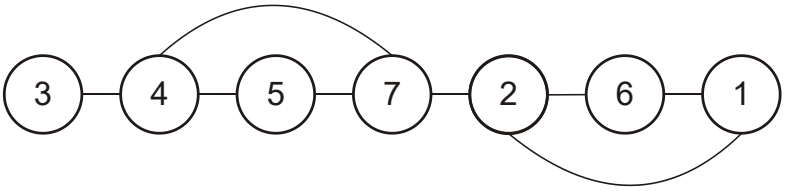
Таблица 3

Исходная матрица смежности графа G_2

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	1	1				1	
2	1	1				1	1
3			1	1			
4			1	1	1		1
5				1	1		1
6	1	1				1	
7		1		1	1		1



а)



б)

Рис. 3. Кортеж графа G_2 без оптимизации (а) и с минимальной суммарной длиной ребер (б)

Таблица 4

Преобразованная матрица смежности графа G_2

	3	**4**	**5**	**7**	**2**	**6**	**1**
3	1	1					
4	1	1	1	1			
5		1	1	1			
7		1	1	1	1		
2				1	1	1	1
6					1	1	1
1					1	1	1

Длины ребер при вершинах в кортеже (рис. 3, а) в соответствии с их номерами представлены вектором (6, 10, 1, 5, 3, 9, 10). Общая длина L_2 восьми ребер без повторений L_2 = 22. Применяя алгоритм построения кортежа, получим граф, представленный на рис. 3, б. Суммарные длины ребер при вершинах графа в оптимизированном кортеже в соответствии с их порядковыми номерами: в кортеже (1, 4, 2, 4, 4, 2, 3). Общая длина ребер в нем без повторений $L_2^o = 10$.

Таким образом, в рассмотренном примере графы G_1 и G_2 в оптимизированных кортежах имеют одинаковые векторы длин ребер (1, 4, 2, 4, 4, 2, 3) и равные показатели $L_1^o = L_2^o = 10$, что в интеграции с другими инвариантами позволяет считать их изоморфными.

Отметим отдельно, что применяемый алгоритм построения кортежа [7] допускает в общем случае наличие нескольких альтернативных вариантов. Поэтому в сочетании с эвристикой может потребоваться ограниченный перебор порядка вершин с целью достижения равенства характеристик оптимизированных кортежей для G_1 и G_2.

Заключение

В настоящей работе предложено для определения изоморфизма воспользоваться дополнительно эвристическим алгоритмом построения кортежа графа, обладающего свойством минимума суммарной длины ребер по установленной метрике. На примере показано, что переименование вершин в графе $G_1 = (V_1, E_1)$ и его преобразование к графу $G_2 = (V_2, E_2)$ не приводит к изменению величин L_1^o, L_2^o и векторов длин ребер при вершинах оптимизированных кортежей графов. Рассмотренный алгоритм позволяет достаточно быстро строить такие кортежи, а полученные на его основе числовые характеристики целесообразно использовать в составе векторов инвариантов для определения изоморфизма.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 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».

Список литературы

1. Орлова П.Н. Исследование алгоритмов решения задачи определения изоморфизма графов. [Электронный ресурс]. URL: https://dspace.tltsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/12335/Орлова%20П.Н._ПМИп-1601а.pdf (дата обращения: 18.01.2022).

2. Dehmer M., Grabner M., Mowshowitz A., Emmert-Streib F. An efficient heuristic approach to detecting graph isomorphism based on combinations of highly discriminating invariants. Advances in Computational Mathematics. 2013. Vol. 39. No. 2. P. 311–325. DOI: 10.1007/s10444-012-9281-0.

3. Погребной А.В. Полный инвариант графа и алгоритм его вычисления // Известия Томского политехнического университета. Информационные технологии. 2014. Т. 325. № 5. С.110–122.

4. Stoichev S.D. New exact and heuristic algorithms for graph automorphism group and graph isomorphism. Journal of Experimental Algorithmics (JEA). 2019. Vol. 24. P. 1–27. DOI: 10.1145/3333250.

5. Takapoui R., Boyd S. Linear Programming Heuristics for the Graph Isomorphism Problem // ArXiv.2016. [Электронный ресурс]. URL: https://arxiv.org/pdf/1611.00711.pdf (дата обращения: 18.01.2022).

6. Агроник А.Ю., Кочина Л.В., Хачумов М.В. Имитационное моделирование и анализ технологических процессов сетями Петри // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 4. С. 19–28.

7. Топольский Н.Г., Святенко И.Ю., Трефилов Г.Б., Сатин А.П. Интерактивный оптимизационный метод декомпозиции графов причинно-следственных связей в системах поддержки принятия решений // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2009. № 5 (27).; URL: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-5/11-05-09.ttb.pdf (дата обращения: 18.01.2022).

УДК 004.052.2

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА АУТЕНТИФИКАЦИИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ НА ОСНОВЕ КОДОВ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ

Чистоусов Н.К., Калмыков И.А., Духовный Д.В., Калмыкова Н.И., Емельянов Е.А.
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, e-mail: kia762@yandex.ru

Современные глобальные проекты по освоению территорий Российской Федерации, расположенных за полярным кругом, привели к новому витку развития низкоорбитальных систем спутниковой связи (НССС). Так как высота орбиты НССС не превышает 1500 км, то спутник находится в зоне видимости приемника от 10 до 20 мин. Поэтому для обеспечения постоянной и достоверной связи с абонентами группировка НССС должна содержать от 40 до 66 космических аппаратов. Повышенный интерес к месторождениям полезных ископаемых, расположенным на шельфе Северного Ледовитого океана, приведет к увеличению числа группировок НССС. В результате этого у спутника-нарушителя появится возможность навязать ретрансляционную помеху, которая представляет собой перехваченную ранее и задержанную команду управления. Предотвратить такое деструктивное воздействие возможно путем повышения имитостойкости НССС за счет использования системы опознавания спутника. В основе работы данной системы предлагается использовать протоколы аутентификации с нулевым разглашением знаний. Однако они имеют недостаток – значительные временные затраты на опознавание из-за того, что при вычислениях используются большие простые числа. Сокращение времени опознавания спутника позволит уменьшить время, которое использует злоумышленник, чтобы подобрать правильный сигнал ответчика. Для решения данной проблемы в статье предлагается использовать коды полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ). Цель статьи – сократить время опознавания спутника за счет использования ПСКВ, в которых вычисления производятся параллельно и независимо по основаниям кода.

Ключевые слова: система опознавания спутника, протокол аутентификации на основе доказательства с нулевым разглашением, коды полиномиальной системы классов вычетов

MODIFICATION OF THE AUTHENTICATION METHOD FOR LOW-ORBIT SATELLITES BASED ON THE CODES OF THE POLYNOMIAL RESIDUE NUMBER SYSTEM

Chistousov N.K., Kalmykov I.A., Dukhovnyy D.V., Kalmykova N.I., Emelyanov E.A.
North-Caucasian Federal University, Stavropol, e-mail: kia762@yandex.ru

Modern global projects for the development of the territories of the Russian Federation located beyond the Arctic Circle have led to a new round of development of low-orbit satellite communication systems (LowSCS). Since the altitude of the LowSCS orbit does not exceed 1500 km, the satellite is in the range of visibility of the receiver from 10 to 20 minutes. Therefore, in order to ensure constant and reliable communication with subscribers, the LowSCS grouping should contain from 40 to 66 spacecraft. Increased interest in mineral deposits located on the shelf of the Arctic Ocean will lead to an increase in the number of groups of LowSCS. As a result, the intruder satellite will have the opportunity to impose a relay interference, which is a previously intercepted and delayed control command. It is possible to prevent such a destructive impact by increasing the imitability of the LowSCS through the use of a satellite identification system. At the heart of the work of this system, it is proposed to use authentication protocols with zero knowledge disclosure. However, they have a disadvantage – significant time spent on identification due to the fact that large prime numbers are used in calculations. Reducing the time of satellite identification will reduce the time that an attacker uses to pick up the correct responder signal. To solve this problem, the article proposes to use the codes of the polynomial residue number system (PRNS). The purpose of the article is to reduce the time of satellite identification through the use of PRNS, in which calculations are performed in parallel and independently on the basis of the code.

Keywords: satellite identification system, protocol with authentication zero-knowledge proof knowledge, polynomial residue number system codes

Повышенный интерес компаний к освоению месторождений полезных ископаемых, находящихся за полярным кругом, связан с тем, что, по прогнозам ученых, на шельфе Северного Ледовитого океана сосредоточено более 20% мировых запасов нефти и газа [1]. Для организации эффективной добычи и транспортировки углеводородов компании используют автоматизированные системы дистанционного мониторинга, контроля и управления (АСДМКУ). При этом для организации постоянного и достоверного обмена данными между оперативным центром и необслуживаемыми объектами управления (НОУ) используются низкоорбитальные системы спутниковой связи (НССС), имеющие в своем составе не менее 40 космических аппаратов (КА). По мере освоения месторождений будет увеличиваться число группировок НССС. В результате этого в зону видимости приемника, расположенного на НОУ, могут попасть сразу несколько КА. В этом случае спутник-нарушитель получит возможность

навязать ретрансляционную помеху, которая представляет собой переданную ранее команду управления. Предотвратить такое деструктивное воздействие возможно путем повышения имитостойкости НССС за счет использования системы опознавания КА.

В основе работы систем опознавания КА предлагается использовать протоколы аутентификации с нулевым разглашением знаний [2]. Так как данные методы аутентификации используют большие простые числа, то они имеют недостаток – значительные временные затраты на опознавание. При этом чем больше времени на опознавание КА, тем больше вероятность того, что нарушитель сможет подобрать правильный сигнал ответчика. Сократить время вычисления за счет уменьшения разрядности простых чисел нельзя, так как это снижает стойкость протокола аутентификации. Решить эту проблему можно за счет применения кодов полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ). Цель статьи – сократить время опознавания КА за счет ПСКВ, так как в этих кодах вычисления осуществляются с остатками и производятся параллельно и независимо по основаниям.

Материалы и методы исследования

При построении системы опознавания, которая состоит из запросчика и ответчика, часто применяются методы аутентификации, использующие системы шифрования. Данные системы позволяют обеспечить высокую криптостойкость запросно-ответной системы к подбору правильного сигнала ответчика. При этом, как правило, используются симметричные системы шифрования. В этом случае сигнал запросчика (З) $M_З$ представляет собой зашифрованное с помощью секретного ключа К случайное число $R_З$. Ответчик расшифровывает сигнал запросчика и получает число $R_З$. Затем он, используя секретный ключ К, генерирует зашифрованный сигнал ответчика (О) M_Q, который поступает запросчику. Последний расшифровывает его и получает $R_З - 1$. Данный процесс опознавания можно представить в виде

$$\begin{aligned} &З \to О : M_З = E_K(R_З), \\ &О : R_З = D_K(M_З), \\ &О \to: M_О = E_K(R_З - 1), \\ &З : R_З - 1 = D_K(M_О). \end{aligned} \quad (1)$$

Выбор симметричных систем шифрования для выполнения протокола (1) определяется тем, что они обеспечивают минимальные временные затраты на аутентификацию. В работе [3] показано, что максимальная скорость симметричного шифрования в системе на кристалле ATL186 достигает значения 400 Мбит/с. Однако при использовании симметричных шифров в системах опознавания возникает проблема, связанная с доставкой секретных ключей запросчику и ответчику. Особенно она актуальна для систем опознавания космических аппаратов, которые несколько лет находятся на орбите. Если в процессе передачи запросчику или ответчику злоумышленник сможет перехватить секретный ключ, то он легко подделает сигнал ответчика. В результате этого снизится имитостойкость НССС и спутник-нарушитель получит доступ к каналу связи.

Обеспечить высокую имитостойкость НССС позволяют методы аутентификации, которые используют протоколы с нулевым разглашением знаний. Данные протоколы имеют высокую вычислительную сложность, благодаря которой обеспечивается низкая вероятность подбора правильного ответа без использования шифрования [4]. Первыми протоколами аутентификации были протоколы Фиат – Шамира и Фейге – Фиат – Шамира. Для обеспечения высокой криптостойкости для протокола Фиат – Шамира надо было реализовать от 20 до 40 раундов вычислений, а для протокола Фейге – Фиат – Шамира – от 4 до 8 раундов. Для снижения временных затрат на аутентификацию были разработаны протоколы Шнорра, Гиллу – Кискатра. Дальнейшее снижение времени на аутентификацию обеспечил протокол, приведенный в работе [5]. Данный результат был достигнут за счет уменьшения числа операций на этапе аутентификации претендента.

Несмотря на то, что данные протоколы имеют только один раунд аутентификации, она не обеспечивают максимальную скорость аутентификации, так как все вычисления производятся по большому модулю. Для снижения временных затрат на выполнение аутентификации в работе [6] предложено использовать коды системы остаточных классов вычетов (СОК). В данных кодах вычисления производятся по основаниям, в качестве которых использовались простые числа.

Дальнейшее повышение имитостойкости НССС возможно за счет применения кодов ПСКВ, которые, обладая скоростью проводимых вычислений, сравнимой с кодами СОК, способны генерировать большее количества ответных сигналов благодаря использованию многочленов, имеющих одинаковую степень. В этих кодах ПСКВ целые числа представляются в полиномиальной форме. Затем полученные полино-

мы делятся на неприводимые многочлены $m_i(x)$, где i = 1, 2, … n, которые являются основаниями ПСКВ. В результате получается кортеж остатков $C_i(x) \equiv C(x) \bmod m_i(x)$, где i = 1, 2, … n

$$C(x) = (C_1(x), C_2(x), ..., C_n),$$

Принципы построения и выполнение модульных операций в кодах ПСКВ приведены в работе [7]. Для модульных операций справедливо

$$C(x) \oplus A(x) = ((C_1(x) \oplus A_1(x)) \bmod m_1(x), ..., (C_n(x) \oplus A_n(x)) \bmod m_n(x)), \quad (2)$$

$$C(x)A(x) = ((C_1(x)A_1(x)) \bmod m_1(x), ..., (C_n(x)A_n(x)) \bmod m_n(x)), \quad (3)$$

где $A_i(x) \equiv A(x) \bmod m_i(x)$; i = 1, 2, … n.

Количество разрешенных комбинаций кода ПСКВ задается рабочим диапазоном

$$M_n(x) = \prod_{i=1}^{n} m_i(x). \quad (4)$$

Проведем модификацию метода аутентификации КА, представленного в [4]. Набор оснований осуществляется так, чтобы выполнялось условие

$$\log_2 \{W, Q, E\} < \deg M_n(x), \quad (5)$$

где W – секретный ключ КА; Q – случайное число; E – случайное число.

Число Q позволяет генерировать сеансовый ключ Q(j), где j – номер сеанса. Так как в процессе генерации Q(j) может произойти сбой, то операционный центр должен определить повторное использование Q(j). Для этого используется случайное число E, используемое для генерации параметра E(j), с помощью которого можно проверить повторное применение Q(j). В качестве порождающего элемента выбираем e(x) = x.

Предварительный этап протокола аутентификации в ПСКВ.

1. Ответчик вычисляет секретные параметры для j-го сеанса, где j = 1, 2, ….

$$O: Q(j) = x^{(W(j)+Q(j-1))^{-1}} \bmod S, \quad (6)$$

где S – большое простое число; $\log_2 \{S\} < \deg M_n(x)$.

$$O: E(j) = x^{(W(j)+Q(j-1)+E(j-1))^{-1}} \bmod S. \quad (7)$$

2. Ответчик представляет секретные параметры в виде кода ПСКВ

$$\begin{aligned} &O: W(j) = (W_1(j) \| W_2(j) \| ... \| W_n(j)), \\ &O: Q(j) = (Q_1(j) \| Q_2(j) \| ... \| Q_n(j)), \\ &O: E(j) = (E_1(j) \| E_2(j) \| ... \| E_n(j)), \end{aligned} \quad (8)$$

где $\deg W_i = \deg m_i(x)$; $\deg Q_i(0) = \deg m_i(x)$; $\deg E_i(0) = \deg m_i(x)$.

3. Ответчик вычисляет «истинный» статус КА для j-го сеанса

$$O: \begin{cases} A_1^j(x) = x^{W_1(j)} x^{Q_1(j)} x^{E_1(j)} \bmod m_1(x), \\ \vdots \\ A_n^j(x) = x^{W_n(j)} x^{Q_n(j)} x^{E_n(j)} \bmod m_n(x). \end{cases} \quad (9)$$

4. Ответчик искажает секретные параметры с помощью случайных чисел таких, что

$$\{\Delta W_i(j), \Delta Q_i(j), \Delta E_i(j)\} < V_i = 2^{\deg m_i(x)} - 1. \quad (10)$$

Тогда «искаженные» параметры спутника имеют вид

$$\begin{aligned} &O: \tilde{W}_i(j) = W_i(j) + \Delta W_i(j) \bmod V_i, \\ &O: \tilde{Q}_i(j) = Q_i(j) + \Delta Q_i(j) \bmod V_i, \\ &O: \tilde{E}_i(j) = E_i(j) + \Delta E_i(j) \bmod V_i. \end{aligned} \quad (11)$$

5. Ответчик вычисляет «искаженный» статус КА для j-го сеанса:

$$O: \begin{cases} \tilde{A}_1^j(x) = x^{\tilde{W}_1(j)} x^{\tilde{Q}_1(j)} x^{\tilde{E}_1(j)} \bmod m_1(x), \\ \vdots \\ \tilde{A}_n^j(x) = x^{\tilde{W}_n(j)} x^{\tilde{Q}_n(j)} x^{\tilde{E}_n(j)} \bmod m_n(x). \end{cases} \quad (12)$$

Процесс аутентификации космического аппарата.

1. Запросчик передает случайное число B < S, представив его в коде ПСКВ

$$\begin{aligned} &З: B(j) = x^{(B(j-1))^{-1}} \bmod S, \\ &З \to O: B(j) = (B_1(j) \| B_2(j) \| ... \| B_n(j)). \end{aligned} \quad (13)$$

2. Ответчик, получив сигнал запросчика, выполняет выражения

$$\begin{aligned} &O: H_i^1(j) = \tilde{W}_i(j) - B_i(j) W_i(j) \bmod V_i, \\ &O: H_i^2(j) = \tilde{Q}_i(j) - B_i(j) Q_i(j) \bmod V_i, \\ &O: H_i^3(j) = \tilde{E}_i(j) - B_i(j) E_i(j) \bmod V_i. \end{aligned} \quad (14)$$

3. Ответчик передает свой сигнал запросчику

$$O \to З: \left\{A_i^j(x),\ \tilde{A}_i^j(x),\ H_i^1(j),\ H_i^2(j),\ H_i^3(j)\right\}. \tag{15}$$

4. Запросчик получает сигнал ответчика и проверяет его

$$O: \begin{cases} P_1^j(x) = \left(\left(A_1^j(x)\right)^{B_1(j)} x^{H_1^1(j)} x^{H_1^2(j)} x^{H_1^3(j)}\right) \bmod m_1(x), \\ \vdots \\ P_n^j(x) = \left(\left(A_n^j(x)\right)^{B_n(j)} x^{H_n^1(j)} x^{H_n^2(j)} x^{H_n^3(j)}\right) \bmod m_n(x). \end{cases} \tag{16}$$

6. Запросчик принимает решение «спутник свой», если выполняется

$$Y_i^j(x) = \left|\left(C_i^j(x)\right)^{d_i^j} g(x)^{r_i^1} g(x)^{r_i^2} g(x)^{r_i^3}\right|_{p_i(x)}^{+}. \tag{17}$$

Спутнику присвоят статус «свой», если справедливо

$$\left\{P_1^j(x) = \tilde{A}_1^j(x), ..., P_n^j(x) = \tilde{A}_n^j(x)\right\}. \tag{18}$$

Результаты исследования и их обсуждение

Выбираем секретные параметры из условия $\log_2\{W, Q, E\} < 15$ бит. Тогда ПСКВ содержит $p_1(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$, $p_2(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$, $p_3(x) = x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$ Рабочий диапазон $M_3(x) = x^{15} + x^{11} + x^{10} + x^2 + 1$. Ответчик получил секретные параметры в ПСКВ:

$$W(j) = 25841 = W_1(j) \| W_2(j) \| W_3(j) = 11001 \| 00111 \| 10001 = 25_{10} \| 7_{10} \| 17_{10}.$$

$$Q(j) = 10872 = Q_1(j) \| Q_2(j) \| Q_3(j) = 01010 \| 10011 \| 11000 = 10_{10} \| 19_{10} \| 24_{10}.$$

$$E(j) = 4450 = E_1(j) \| E_2(j) \| E_3(j) = 00100 \| 01011 \| 00010 = 4_{10} \| 11_{10} \| 2_{10}.$$

Ответчик вычисляет «истинный» статус КА для j-го сеанса

$$O: \begin{cases} A_1^j(x) = x^{25} \cdot x^{10} \cdot x^4 \bmod x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 = \left|x^8\right|_{x^5+x^4+x^3+x+1}^{+} = x^3 + x^2 + x + 1 = 15_{10}. \\ A_2^j(x) = x^7 \cdot x^{19} \cdot x^{11} \bmod x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 = \left|x^6\right|_{x^5+x^4+x^3+x^2+1}^{+} = x^2 + x + 1 = 7_{10}. \\ A_3^j(x) = x^{17} \cdot x^{24} \cdot x^2 \bmod x^5 + x^3 + x^2 + x + 1 = \left|x^{12}\right|_{x^5+x^3+x^4+x+1}^{+} = x + 1 = 3_{10}. \end{cases}$$

Ответчик искажает секретные параметры с помощью случайных чисел таких, что

$$\Delta W(j) = (2, ,3, 15),\ \Delta Q(j) = (3, 16, 10)\ \Delta E_i(j) = (20, 12, 17).$$

Тогда «искаженные» параметры спутник имеют вид

$$O: \tilde{W}_1(j) = 25 + 2 \bmod 31 = 27,\ \tilde{W}_2(j) = 7 + 3 \bmod 31 = 10,\ \tilde{W}_3(j) = 17 + 15 \bmod 31 = 1,$$

$$O: \tilde{Q}_1(j) = 10 + 3 \bmod 31 = 13\ ,\tilde{Q}_2(j) = 19 + 16 \bmod 31 = 4\ ,\tilde{Q}_3(j) = 24 + 10 \bmod 31 = 3,$$

$$O: \tilde{E}_1(j) = 4 + 20 \bmod 31 = 24, \tilde{E}_2(j) = 11 + 12 \bmod 31 = 23, \tilde{E}_1(j) = 2 + 17 \bmod 31 = 19.$$

Ответчик вычисляет «искаженный» статус КА для j-го сеанса

$$O: \begin{cases} \tilde{A}_1^j(x) = x^{27} \cdot x^{13} \cdot x^{24} \bmod x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 = \left|x^2\right|_{x^5+x^4+x^3+x+1}^{+} = x^2 = 4_{10}. \\ \tilde{A}_2^j(x) = x^{10} \cdot x^4 \cdot x^{23} \bmod x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 = \left|x^6\right|_{x^5+x^4+x^3+x^2+1}^{+} = x^2 + x + 1 = 7_{10}. \\ \tilde{A}_3^j(x) = x^1 \cdot x^3 \cdot x^{19} \bmod x^5 + x^3 + x^2 + x + 1 = \left|x^{19}\right|_{x^5+x^3+x^4+x+1}^{+} = x^4 + x^3 + x = 26_{10}. \end{cases}$$

Процесс аутентификации КА. Запросчик передает ответчику случайное число

$$З \rightarrow О: B(j) = B_1(j) \parallel B_2(j) \parallel B_3(j) = 00101 \parallel 01010 \parallel 00111 = 5 \parallel 10 \parallel 7.$$

Ответчик, получив сигнал запросчика, выполняет выражения

$$O: H_1^1(j) = \left|27 - 5 \cdot 25\right|_{31}^{+} = 26,\ H_2^1(j) = \left|13 - 5 \cdot 10\right|_{31}^{+} = 25,\ H_3^1(j) = \left|24 - 5 \cdot 4\right|_{31}^{+} = 4,$$

$$O: H_1^2(j) = \left|10 - 10 \cdot 7\right|_{31}^{+} = 2,\ H_2^2(j) = \left|5 - 10 \cdot 19\right|_{31}^{+} = 1,\ H_3^2(j) = \left|23 - 10 \cdot 11\right|_{31}^{+} = 6,$$

$$O: H_1^3(j) = \left|1 - 7 \cdot 17\right|_{31}^{+} = 6,\ H_2^3(j) = \left|3 - 7 \cdot 24\right|_{31}^{+} = 21,\ H_3^3(j) = \left|19 - 7 \cdot 2\right|_{31}^{+} = 5.$$

Ответчик передает сигнал О → З: {(15, 7, 3)(4, 7, 26)(26, 25, 4)(2, 1, 6)(6, 21, 5)}. Запросчик, получает сигнал ответчика и проверяет его

$$O: \begin{cases} P_1^j(x) = \left(x^3 + x^2 + x + 1\right)^5 x^{26} \cdot x^{25} \cdot x^4 \bmod x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 = x^2 = \tilde{A}_1^j(x), \\ P_2^j(x) = \left(x^2 + x + 1\right)^{10} x^2 \cdot x^1 \cdot x^6 \bmod x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 = x^2 + x + 1 = \tilde{A}_2^j(x), \\ P_3^j(x) = \left(x + 1\right)^7 x^6 \cdot x^{21} \cdot x^5 \bmod x^5 + x^3 + x^2 + x + 1 = x^4 + x^3 + x = \tilde{A}_3^j(x). \end{cases}$$

Запросчик принимает решение «спутник свой» и предоставляет сеанс связи.

На основе модифицированного метода аутентификации была разработана структурная модель системы опознавания КА, которая была реализована на FPGA Xilinx Artix-7 (xc7s6ftgb196-1). Тестирование велось на платформе Vivado HLS 2019.1. Для одномодульного метода аутентификации выбрано S = 11337409. В модифицированном методе были использованы пять полиномов пятой степени. Операции возведения в степень по модулю были выполнены с помощью алгоритма Монтгомери. Исследования показали, что при использовании одномодульного протокола аутентификации для опознавания спутника необходимо T_o = 5936 нс. В данном показателе представлено время на получение истинного и «искаженного» статуса КА, вычисление ответов на вопрос запросчика и проведение проверки этих ответов. Временные затраты на получение параметров Q(j), E(j) и вопроса запросчика B(j) не учитывались. Исследование модифицированного метода аутентификации на основе ПСКВ показало, что временные затраты на опознавание равны $T_{ПСКВ}$ = 3238 нс. Таким образом, использование кодов ПСКВ позволило сократить время опознавания спутника в 1,83 раза за счет выполнения параллельных вычислений с малоразрядными операндами. Таким образом, сокращение времени опознавания КА повысит имитостойкость НССС за счет уменьшения вероятности подбора злоумышленником правильного сигнала ответчика.

Заключение

В статье проведена модификация метода аутентификации для низкоорбитальных спутников на основе кодов ПСКВ. Использование данных кодов сокращает временные затраты на опознавание КА за счет параллельного выполнения вычислений с малоразрядными остатками. Для оценки эффективности модифицированного метода аутентификации была разработана структурная модель системы опознавания КА, которая была реализована на FPGA Xilinx Artix-7. Исследования показали, что при использовании одномодульного метода аутентификации для опознавания КА потребуется T_o = 5936 нс, а при использовании модифицированного метода – $T_{ПСКВ}$ = 3238 нс. Таким образом, использование кодов ПСКВ позволило сократить время опознавания спутника в 1,83 раза за счет выполнения параллельных вычислений с малоразрядными операндами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90009.

Список литературы

1. Андреева Е.В., Исаулова К.Я. Перспективы развития СМП // Деловой журнал «Neftegaz.RU». 2021. № 6. С. 30–37.

2. Rezenkov R.N., Pashintsev V.P., Zhuk P.A., Kalmykov M.I. 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. No. 5. P. 958–965.

3. Архипкин В.А. ЗАО «СБТ» на пути к импортозамещению: система на кристаллах ATL186 для современных систем и средств связи // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. 2015. С. 202–203.

4. Запечников С.В., Казарин О.В. Криптографические методы защиты информации. М.: Издательство Юрайт, 2019. 309 с.

5. Пашинцев В.П., Ляхов А.В. Применение помехоустойчивого протокола аутентификации космического аппарата для низкоорбитальной системы спутниковой связи // Инфокоммуникационные технологии. 2015. № 2. С. 183–190.

6. Чистоусов Н.К., Чипига А.Ф. Разработка протоколов аутентификации низкоорбитальных космических аппаратов на основе параллельных кодов систем остаточных классов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6912 (дата обращения 02.02.2022).

7. Ananda Mohan Residue Number Systems. Theory and Applications. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 351 p.

УДК 66.048.3:547.568.1

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА СТАДИИ РЕКТИФИКАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕНЗИЛОВОГО СПИРТА

Шибитова Н.В., Луговой С.С., Мурушкин Д.В., Черикова К.В.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, e-mail: natanik@vstu.ru

Рассмотрены основные направления по повышению качества и снижению энергозатрат в массообменных аппаратах стадии ректификации технического бензилового спирта, получаемого из хлористого бензила, за счет совершенствования технологии производства и применения в ректификационных колоннах высокоэффективной насадки. Исследования по выбору оптимального режима работы оборудования на ректификационной установке проводились с использованием программы моделирования PRO-II и программы, разработанной авторами. Исследования проводились с целью оценки влияния различных параметров процесса, а также оптимизации режимов работы ректификационной установки, обеспечивающих минимальные затраты энергоресурсов. Проведен расчет температур кипения чистых компонентов, входящих в поток питания при давлениях ниже атмосферного, и найдена зависимость температуры кипения в кубовой жидкости в зависимости от состава. На основании полученных сравнительных результатов исследований для разных давлений в двух ректификационных колоннах выбран оптимальный вариант – в первой колонне 62 мм рт. ст., во второй колонне – 45 мм рт. ст. Проведенный обзор по научно-технической и патентной литературе показал, что при разработке новых конструкций насадок специалисты учитывают режимы работы, количество задерживаемой жидкости, соотношения парового и жидкостного потоков при работе массообменных аппаратов и др. Большое значение имеет выбор распределителей для жидкости и пара. Для колонн, задействованных в процессе ректификации, выбрана регулярная насадка IRG «Инжехим», имеющая высокие технические характеристики. Определены диаметры и высота насадки в колоннах.

Ключевые слова: ректификация, бензиловый спирт, массообменный аппарат, энергозатраты, эффективность, регулярная насадка

THE MAIN DIRECTIONS OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION AT THE STAGE OF RECTIFICATION IN THE PRODUCTION OF BENZYL ALCOHOL

Shibitova N.V., Lugovoy S.S., Murushkin D.V., Cherikova K.V.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: natanik@vstu.ru

The main directions for improving the quality and reducing energy consumption in mass transfer devices of the stage of rectification of technical benzyl alcohol obtained from benzyl chloride, due to the improvement of production technology and the use of a highly efficient nozzle in rectification columns, are considered. Studies on the choice of the optimal mode of operation of the equipment at the rectification plant were carried out using the PRO-II simulation program and the program developed by the authors. The research was carried out in order to assess the impact of various process parameters, as well as to optimize the operation modes of the distillation unit, ensuring minimal energy costs. The boiling points of the pure components included in the feed stream at pressures below atmospheric are calculated, and the dependence of the boiling point in the cubic liquid depending on the composition is found. Based on the obtained comparative research results for different pressures in two distillation columns, the optimal option was chosen – in the first column 62 mmHg, in the second column 45 mmHg. A review of scientific, technical and patent literature has shown that when developing new nozzle designs, specialists take into account operating modes, the amount of liquid retained, the ratio of steam and liquid flows during the operation of mass transfer devices, etc. The choice of distributors for liquid and steam is important. For the columns involved in the rectification process, a regular IRG Injection nozzle with high technical characteristics was selected. The diameters and height of the nozzle in the columns are determined.

Keywords: rectification, benzyl alcohol, mass transfer apparatus, energy consumption, effectiveness, regular nozzle

Бензиловый спирт (БС) пользуется широким спросом в различных отраслях промышленности, например в производствах пластмасс, дезинфицирующих средств, пищевых добавок, ликероводочных изделий, а также в косметологии, фармацевтике и др.

Основными производителями БС являются Германия, Китай, США, Россия и Франция. Российская Федерация обеспечивает БС внутренний рынок и является экспортером этого продукта в такие страны, как Индия, Украина, Казахстан, Молдова, Финляндия, Азербайджан [1, 2].

Одним из известных способов получения бензилового спирта является омыление хлористого бензила. Производство БС включает в себя стадии карбонизации; синтеза бензилового спирта [3]; отпарки азеотропа и ректификации бензилового спирта-сырца. Ректификация – наиболее энергозатратный

процесс. Из-за высоких температур разделяемых компонентов на стадии выделения БС процесс проводится под вакуумом, и основными направлениями энергосбережения являются оптимизация давления в колоннах, определение оптимального флегмового числа [4], при котором снижаются затраты на теплоносители, применяемые в теплообменниках (дефлегматоре и кипятильнике).

От правильного выбора контактных элементов в ректификационных колоннах зависит эффективность проведения самого процесса ректификации и габаритные размеры массообменных аппаратов (диаметр и высота), что также влияет на энерго- и ресурсосбережение. Разработанные за последние годы в России различные конструкции насадок [5–7] и массообменных тарелок [8, 9] имеют высокие эксплуатационные показатели, не уступающие зарубежным аналогам. Это способствует их широкому внедрению в производства химической и нефтехимической промышленности и решает вопрос импортозамещения [10].

Цель исследования – уменьшение энергозатрат на стадии ректификации БС за счет оптимизации режимов работы в ректификационных колоннах и выбора наиболее эффективной насадки для определения конструктивных размеров.

Материалы и методы исследования

Выполнено моделирование блока ректификации БС, состоящего из двух колонных аппаратов, с помощью программы PRO-II и программы, разработанной авторами [11], и обзор научной, технической и патентной литературы по современным насадкам [12].

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе выполнено моделирование установки ректификации БС, представленной на рис. 1.

Сырец БС, очищенный от легколетучих примесей, стадии перегонки БС-сырца направляется в сборник 3. Массовая доля бензальдегида (БАД) в сырце БС должна быть не более 0,03 % мас. Из сборника 3 сырец БС насосом поз. 9 непрерывно подается в отпарную ректификационную колонну 1 через подогреватель 4. Температура низа колонны 1 обеспечивается подачей водяного пара давлением до 8,0 кгс/см² в межтрубное пространство кипятильника 5. Отпарная колонна 1 работает без флегмы.

Пары из верхней части колонны 1, содержащие в своем составе в основном БС, очищенные от дибензилового эфира (ДБЭ), непрерывно направляются в ректификационную колонну 2 на дальнейшее выделение технического БС. Кубовые из низа колонны 2 непрерывно выводятся на отпарку остаточного БС из кубовых с целью получения дибензилового эфира (ДБЭ). Колонна 2 снабжена кипятильником 8, куда подается пар с давлением до 8,0 кгс/см² для подогрева.

Пары, содержащие БС и легколетучие компоненты, из верхней части колонны 2 попадают в теплообменник-конденсатор 6 и конденсируются подачей хладагента (оборотная вода) в трубное пространство. Далее конденсат из фазоразделителя 7 поступает в сборник 10. Конденсат, поступающий в сборник 10, представляет собой фракцию БС, отвечающую при анализе качественным показателям технического БС (ТУ 2632-206-0576348-95).

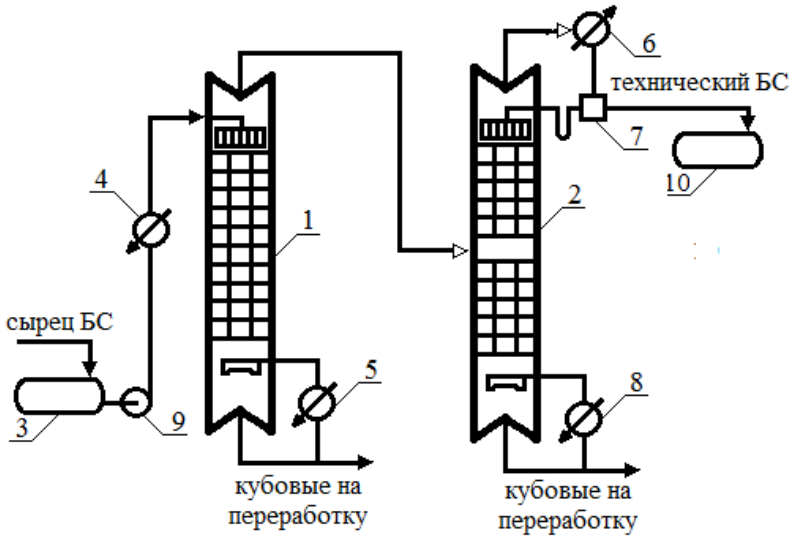


Рис. 1. Двухколонная ректификационная система получения БС

Таблица 1

Температуры кипения компонентов (расчетные) [11]

Компоненты исходной смеси	Температуры кипения (Т), °С					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
1. ОХТ	160,80	74,86	79,67	82,61	87,41	90,64
2. ХБ	179,00	94,02	98,79	101,70	106,46	109,66
3. БАД	178,85	91,92	96,75	99,71	104,54	107,79
4. БС	205,50	121,22	125,99	128,91	133,65	136,85
5. ДБЭ	288,30	194,63	200,02	203,31	208,65	212,24
6. Вода	100,00	36,16	39,87	42,14	45,81	48,28

Примечание. P_1 = 760 мм рт. ст., P_2 = 45 мм рт. ст., P_3 = 55 мм рт. ст., P_4 = 62 мм рт. ст., P_5 = 75 мм рт. ст., P_6 = 85 мм рт. ст.

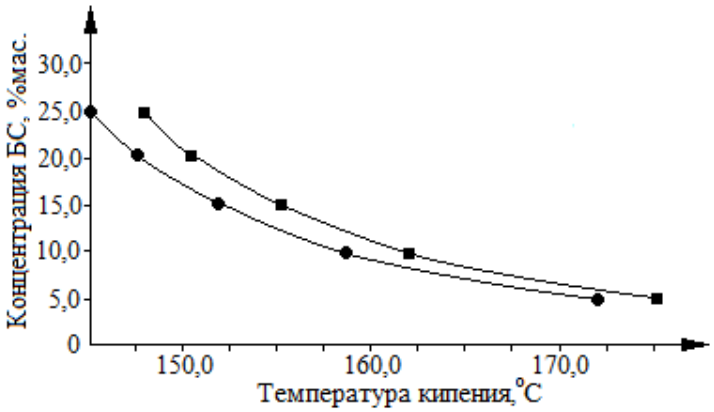


Рис. 2. Влияние состава кубовой жидкости на температуру кипения (2-я колонна):
● – при давлении верха колонны 45 мм рт. ст.; ■ – при давлении верха колонны 55 мм рт. ст.

Так как в состав сырца БС входят 6 высококипящих компонентов (о-хлортолуол (ОХТ), хлористый бензил (ХБ), бензальдегид (БАД), бензиловый спирт (БС), дибензиловый эфир (ДБЭ) и вода), с температурой кипения от 100 до 288 °С, процесс ректификации технического БС проводится под вакуумом. Очевидно, что основным параметром, определяющим энергозатратность процесса, является выбор давления в каждой колонне, при котором энергетические затраты будут минимальными. В табл. 1 приведены расчетные значения температур кипения ОХТ, ХБ, БАД, БС, ДБЭ и воды при давлениях ниже атмосферного.

Были проанализированы данные табл. 1 по температурам кипения чистых компонентов (Т), входящих в исходную смесь при различных давлениях (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6). Сделанные предварительные расчеты составов (потоки дистиллята и кубовых остатков с каждой колонны) в разных соотношениях позволили выбрать давления для проведения процесса ректификации БС в 1-й колонне – 75 и 62 мм рт. ст., во 2-й колонне – 55 и 45 мм рт. ст.

Так как на 2-й колонне выделяется товарный продукт, для этого необходимо установить диапазон устойчивой работы для получения заданного качества БС.

На рис. 2 показана зависимость температуры кипения в кубовой части 2-й колонны от концентрации БС. Повышение температуры кипения до 159 °С нежелательно, так как при этом средняя движущая сила теплового процесса в кипятильнике уменьшается, что неизбежно будет приводить к увеличению расхода теплоносителя.

Для проведения процесса моделирования выбраны исходные данные, приведенные в табл. 2. Исследование выполнено для двух вариантов, и входной поток на 2-ю колонну подается в паровой фазе.

Таблица 2

Исходные данные

Входные параметры	I вариант	II вариант
1. Подача сырца БС, кг/ч	1600,00	1600,00
2. Концентрация компонентов в сырце БС, % мас. – ОХТ – ХБ – БАД – БС – ДБЭ – Вода	 0,010 0,007 0,025 88,98 10,96 0,023	 0,010 0,007 0,025 88,98 10,96 0,023
3. Давление в колонном аппарате, мм рт. ст. – 1-я колонна – 2-я колонна	 75 55	 62 45
Выходные параметры	I вариант	II вариант
1. Состав технического БС,% мас. (по ТУ 2632-206-0576348-95) – БС – ДБЭ (не более) – Вода (не более)	 99,90 0,02 0,10	

Большое влияние на режимы работы ректификационной колонны оказывает точка ввода исходного потока и его температура. При моделировании процесса ректификации в качестве параметра оптимизации выбиралась температура подачи исходной смеси. Установлено, что при увеличении температуры питания снижается тепловая нагрузка на кипятильник, при этом изменяется число теоретических тарелок для укрепляющей и исчерпывающей части колонны. Для заданного разделения исходной смеси необходимо в 1-й колонне – 8 теоретических тарелок, во 2-й колонне – 10 теоретических тарелок.

Сравнение результатов моделирования по двум вариантам представлено в табл. 3.

Установлено также, что при снижении давления на двух колоннах (сравнение проводится для двух вариантов) уменьшаются энергозатраты в теплообменниках: на кипятильниках на 1-й и 2-й колоннах при использовании пара с температурой 169,80 °С на 75 т/год и оборотной воды в дефлегматоре на 2-й колонне на 456 т/год.

В последнее время при проектировании и реконструкции в ректификационных колоннах все чаще устанавливается регулярная насадка с разнообразной структурой. Применение такой насадки позволяет не только увеличить производительность и уменьшить размеры оборудования, но и снизить гидравлическое сопротивление и таким образом изменить температурные режимы и, соответственно, сократить расходы теплоносителей.

Для выявления узких мест на действующем производстве при эксплуатации производственного оборудования с целью энерго- и ресурсосбережения необходим комплексный подход [13], включающий технологический аудит, проведение необходимых экономических и технологических расчетов, подтверждающих целесообразность принятых технических решений по модернизации; для разработки новых энергоэффективных аппаратов должна быть создана производственная база с мощным научным потенциалом.

В работе [14] описаны особенности распределения газового и жидкостного потоков в насадочной колонне при пленочном режиме и влияние неравномерности распределения фаз по сечению аппарата на эффективность массообмена. Предложена математическая модель для слоя насадки, разделенного на продольные зоны, с разной структурой потоков.

Для эффективной работы массообменного аппарата с различными типами насадок и распределительными устройствами необходимо знать его удерживающую способность. Разработана методика [15] расчета задерживания жидкой фазы в распределителях для колонн разного диаметра с учетом переходных процессов, возникающих при подаче в аппарат.

Важным при работе колонны является не только выбор и правильная установка регулярной насадки [16], но и размещение необходимой конструкции распределителей для жидкого и парового потоков для создания равномерности распределения.

Таблица 3

Параметры проведения процесса ректификации при разных давлениях

	I вариант		II вариант	
	1-я колонна 75 мм рт. ст.	2-я колонна 55 мм рт. ст.	1-я колонна 62 мм рт. ст.	2-я колонна 45 мм рт. ст.
1. Материальный баланс, кг/ч – поток на входе – поток дистиллята – кубовый поток	 1600,00 1399,22 200,78	 1399,22 1382,22 17,00	 1600,00 1398,60 201,60	 1398,60 1382,18 16,42
2. Температура, °С – верха колонны – на входе – низа колонны	 135,80 124,00 155,40	 126,10 134,92 155,70	 131,20 122,00 150,90	 121,50 130,20 151,90
3. Флегмовое число	–	0,33	–	0,30
4. Тепловая нагрузка, Мккал/ч – на дефлегматор – на кипятильник	 – 0,1877	 0,2133 0,0293	 – 0,1847	 0,2127 0,0276
5. Расход воды на дефлегматор, кг/ч (вода $t_{вх}$ = 25 °С, $t_{вых}$ = 35 °С) 6. Поверхность теплообмена, м^2 (расчетная)	 –	21329,64 11,35	– 	21272,61 11,93
7. Расход пара на кипятильник, кг/ч (пар t = 169,80 °С) 8. Поверхность теплообмена, м^2 (расчетная)	382,88 43,17	59,72 5,97	376,90 35,05	56,32 4,80

Созданная в ГИПХ перекрестноточная насадка [17] обеспечивает регулирование прохождения потоков пара и жидкости при разных нагрузках через специальные сечения за счет секционирования. Описано новое контактное устройство [17], при установке которого улучшается работа распределителя и обеспечивается равномерность орошения насадки при изменяющихся нагрузках жидкости.

Были проведены исследования регулярной насадки [18], в которой пар распределяется по кольцевым каналам и равномерно контактирует со стекающей пленкой жидкости, не образуя застойных зон, за счет чего сопротивление в насадке уменьшается.

Авторами [19–21] разработаны новые конструкции насадок, выполненные из материалов с изменяющимися свойствами при различных температурах, что позволяет изменять режимы работы оборудования и увеличивать производительность.

Для установки в ректификационных колоннах на стадии ректификации БС выбрана регулярная насадка ИВЦ «Инжехим» – Ingechim Regular Gofr. Высота эквивалентная теоретической тарелки (ВЭТТ) для этой насадки равна 0,6 м [22]. По исходным данным (табл. 2) для II-го варианта определены высота насадки в 1-й колонне H = 4,8 м и диаметр D = 1,0 м; высота насадки во 2-й колонне H = 6,0 м (подача исходного потока в среднюю часть аппарата) и диаметр D = 1,0 м.

Заключение

С помощью программы PRO-II и программы [11] проведены исследования работы стадии ректификации БС. На основании анализа полученных результатов моделирования выбраны оптимальные режимы работы и рассчитаны необходимые диаметры и высота регулярной насадки Ingechim Regular Gofr в колоннах в соответствии с исходными данными для получения БС заданного качества. Выбранный наименее энергозатратный вариант позволяет сократить расход пара на 75 т/год и оборотной воды на 456 т/год.

Список литературы

1. Агентство DISCOVERY Research Group. [Электронный ресурс]. URL: https://drgroup.ru/Analiz-rynka-spirta-benzilovogo-v-Rossii.html (дата обращения: 14.12.2021).

2. ЭкспортВ. Поставки за границу. [Электронный ресурс]. URL: https://exportv.ru/zavod/spirt-benzilovyy-ot-proizvoditelya.html (дата обращения: 14.12.2021).

3. Бензиловый спирт. [Электронный ресурс]. URL: https://xumuk.ru/encyklopedia/502.html/ (дата обращения: 14.12.2021).

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. М.: Альянс, 2014. 752 с.

5. ООО «Научно-производственная компания «КЕДР-89». [Электронный ресурс]. URL: http://kedr89.ru/ (дата обращения: 16.12.2021).

6. Технологический инжиниринговый холдинг ПЕТОН. [Электронный ресурс]. URL: http://www.peton.ru/ru/about/ (дата обращения: 16.12.2021).

7. Российский научный центр «Прикладная химия (ГИПХ)». Ректификация и дистилляция. Расчеты ректификационных насадочных колонн. [Электронный ресурс]. URL: https://giph.su/rectification/ (дата обращения: 17.12.2021).

8. Молоканова Л.С., Шибитова Н.В., Колоскова В.В. Современные конструкции массообменных тарелок // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 9. С. 9–13.

9. Шибитова Н.В., Михалев Д.О., Попова А.Д. Новые конструкции переливных устройств для массообменных тарелок колонных аппаратов // Современные наукоёмкие технологии. 2018. № 9. С. 145–149.

10. Лебедев Ю.Н., Чекменев В.Г., Вихорев М.Б. Импортозамещающее оборудование для нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Химическая техника. 2015. № 1. С. 26–30.

11. Голованчиков А.Б., Шибитова Н.В., Шибитов Н.С., Прохоренко Н.А., Черикова К.В. Программа для расчета насадочной ректификационной колонны непрерывного действия // Свид. о гос. регистрации программы РФ для ЭВМ № 2021661377. Правообладатель ФГБОУ ВО ВолгГТУ. 2021.

12. Регулярная насадка для процессов абсорбции и ректификации. [Электронный ресурс]. URL: https://tisys.ru/upload/uf/58e/ (дата обращения: 17.12.2021).

13. Фарахов М.И., Лаптев А.Г. Энергоэффективное оборудование разделения и очистки веществ в химической технологии // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 9. С. 152–158.

14. Фарахов Т.М., Лаптев А.Г. Зонная модель структуры потоков в тепло- и массообменных насадочных аппаратах // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 4 (40). С. 95–102.

15. Леонтьев В.С. Расчет переходных процессов в ректификационных колоннах с регулярными насадками при ступенчатом изменении концентраций в потоке питания // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 3.; URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Leontiev/Leontiev_7.pdf (дата обращения: 20.12.2021).

16. Леонтьев В.С. Расчет задержки жидкой фазы в колоннах с упругими регулярными насадками и многоточечными распределителями // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 3.; URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Leontiev/Leontiev_6.pdf (дата обращения: 20.12.2021).

17. Чуракова С.К., Сидоров Г.М., Резяпов Р.Н., Богатых К.Ф. Модернизация ректификационного оборудования с использованием перекрестноточных насадочных контактных устройств // Мир нефтепродуктов. 2013. № 11. С. 29–34.

18. Мисюля Д.И., Протасов С.К. Экспериментальные исследования регулярной насадки для массообменных аппаратов // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2014. № 3 (167). С. 117–120.

19. Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Черикова К.В., Шибитова Н.В., Залипаева О.А., Кочарян Р.С. Насадка для тепло- и массообменных процессов // П. м. РФ № 196444. Патентообладатель ФГБОУ ВО ВолгГТУ. 2020.

20. Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Залипаева О.А., Шибитова Н.В., Смольская Д.О. Насадка для тепло- и массообменных процессов // П. м. РФ № 198655. Патентообладатель ФГБОУ ВО ВолгГТУ. 2020.

21. Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Залипаева О.А., Шибитова Н.В., Смольская Д.О. Насадка для тепло- и массообменных процессов // П. м. РФ № 201929. Патентообладатель ФГБОУ ВО ВолгГТУ. 2021.

22. Башаров М.М., Лаптева Е.А. Модернизация промышленных установок разделения смесей в нефтегазохимическом комплексе. Монография / Под ред. А.Г. Лаптева. Казань: Отечество, 2013. 297 с.

СТАТЬИ

УДК 372.881.1

В ПОИСКАХ МОТИВИРУЮЩЕГО ФОРМАТА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ИНОЯЗЫЧНЫХ ЗАНЯТИЯХ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Абрамова Н.В., Ессина И.Ю.

ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия», Саратов, e-mail: nataklenin@mail.ru, essina@rambler.ru

Статья посвящена происходящим изменениям в системе высшего образования в условиях цифровой трансформации. Авторы акцентируют свое внимание на особенностях учебного дистанционного процесса. Актуальность статьи обусловлена необходимостью исследования целесообразности и эффективности дистанционного обучения и применяемых цифровых технологий в учебном процессе вуза. Анализируются преимущества и недостатки онлайн-обучения в современном высшем образовании по сравнению с традиционной моделью обучения. На основании проведенного анкетирования среди обучающихся первого курса Саратовской государственной юридической академии авторами сделан вывод о том, что большинство обучающихся положительно относятся к дистанционному обучению. Авторы поэтапно описывают собственный опыт использования дидактических средств на занятиях по иностранному языку. Демонстрируются преимущества отдельных методик на различных этапах работы. В статье раскрывается особенность их применения при дистанционном обучении на занятии по иностранному языку. Рассматриваются способы повышения мотивации и эффективности обучения будущих специалистов, анализируется структура данного онлайн-обучения. Особенности способов мотивации исследуются сквозь призму их практической реализации. Авторами обобщается практический опыт использования «Incident-study» как инновационного метода. Выявляются признаки и существенные характеристики этого метода. Принципы реализации данного метода изучаются в статье с точки зрения использования в дистанционном обучении.

Ключевые слова: дистанционное обучение, информационные технологии, традиционное обучение, интерактивность, высшее образование, цифровое обучение, мотивация, иностранный язык, инновационный метод, образовательный контент

IN QUEST OF MOTIVATING FORMAT OF DISTANCE LEARNING IN FOREIGN LANGUAGE CLASSES IN THE CONDITIONS OF MODERN HIGHER EDUCATION

Abramova N.V., Essina I.Yu.

Saratov State Law Academy, Saratov, e-mail: nataklenin@mail.ru, essina@rambler.ru

The article is devoted to the ongoing changes in higher education system of digital transformation context. The main emphasis made by the authors is based on the features of the educational distance process. The significance of the article is the feasibility and effectiveness of distance learning and the digital technologies used in the educational process. The advantages and disadvantages of online learning in modern higher education system especially compared with the traditional model of education are analyzed. Based on the questionnaire conducted among the 1st year students of the Saratov State Law Academy, the authors concluded that the majority of students have a positive attitude to distance learning. The authors describe in details their own experience in the application of digital technologies and didactic means in foreign language classes at the Saratov State Law Academy. The advantages of them are demonstrated at different stages of work. The article reveals the peculiarity of didactic means of distance learning using in a foreign language lesson. Ways to increase the motivation and effectiveness of training of future specialists are considered, the structure of this online training is analyzed. The features of these motivation means are studied through the prism of their practical implementation. The authors summarize the practical experience of using “Incident-study” as an innovative method. The signs and essential characteristics of this method are revealed. The principles of implementation of this method are studied in the article from the distance learning point of view.

Keywords: distance learning, information technology, traditional learning, interactivity, higher education, digital learning, motivation, foreign language, innovative method, educational content

В наше время идет процесс развития дистанционного обучения. Информатизация образования приобрела особую актуальность в связи с пандемией. В настоящий момент большинство высших учебных заведений используют в педагогическом процессе дистанционные технологии, при которых обучающиеся оказались в незнакомой ранее информационно-образовательной среде, отдалены от преподавателя в пространстве, но общаются между собой при помощи средств телекоммуникации.

Цель нашей работы – исследовать целесообразность и эффективность дистанционного обучения в условиях современной парадигмы высшего образования, а также мотивирующие задания для эффективного процесса обучения иностранному языку. В качестве преимуществ дистанционного обучения нужно отметить доступность по-

лучения высшего образования без отрыва от производства и возможности дифференцированного и индивидуального обучения для всех обучающихся. Лица с ограниченными возможностями здоровья получают шанс обучаться в любом вузе страны. Учеба с применением информационных технологий отличается интерактивностью, так как используются активно-деятельностные формы обучения. Онлайн-обучение дает возможность каждому обучающемуся дистанционно участвовать в олимпиадах, конкурсах, конференциях, организованных вузами нашей страны и зарубежными вузами.

Рассмотрим отрицательные стороны дистанционного обучения. Основной минус такого обучения состоит в том, что у обучающегося нет возможности лично обратиться к преподавателю за советом. Дистанционное обучение не мотивирует обучающихся сравнивать свои результаты с другими однокурсниками как на учебных занятиях в аудитории, например, при устных ответах, выступлениях с докладами на конференциях и семинарах и т.д. Преподаватель не может сразу определить, какие моменты вызвали трудности у обучающихся, чтобы ещё раз объяснить неусвоенный материал. Необходимо современное техническое и программное оснащение, что требует материальных затрат как со стороны вуза, так и со стороны обучающихся.

Материалы и методы исследования

Для данного исследования были использованы теоретические и экспериментальные методы, методы сравнительного анализа, анкетирование, изучение научной литературы, наблюдение.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами было проведено анкетирование обучающихся первого курса Саратовской государственной юридической академии. Исследование было направлено на изучение того, насколько изменилось отношение обучающихся к изучению иностранного языка при дистанционном обучении. В опросе приняли участие 64 обучающихся. Респонденты должны были ответить на следующие вопросы:

1. Как проходит работа по освоению иностранного языка в период дистанционного обучения?

А) больше и медленнее; Б) быстрее и легче; В) процесс обучения такой же, как при традиционном офлайн-обучении; Г) не могу организовать работу при онлайн-обучении. (Результат: 30 % – обучение дольше и медленнее, 35 % – легче и быстрее, 20 % – ничего не изменилось в процессе обучения, 15 % – испытывают большие сложности при онлайн-обучении, не могут организовать свою работу.)

2. Переживаете и волнуетесь ли Вы за результат своего обучения иностранному языку при дистанционном образовании?

А) намного больше волнений и переживаний за освоение дисциплины; Б) меньше волнений, чем в традиционном обучении; В) абсолютно нет волнений и переживаний; Г) переживания и волнения такие же, как в традиционном обучении. (Результат: 55 % – больше волнений, 28 % – меньше переживают, чем при офлайн-обучении, 11 % – совсем не переживают, 6 % – такие же переживания и волнения, как и в традиционном обучении.)

3. Испытываете ли Вы чувство усталости и повышенной утомляемости, проводя долгое время перед экраном компьютера при дистанционном изучении дисциплины «Иностранный язык»?

А) испытываю сильное чувство утомляемости и усталости; Б) испытываю меньше усталости, чем при традиционном обучении; В) не испытываю чувство усталости и утомляемости. (Результат: 48 % – испытывают сильное чувство утомляемости и усталости, 40 % – испытывают меньше усталости и утомляемости, 12 % – совсем не испытывают чувство усталости и утомляемости.)

4. Мотивирует ли Вас дистанционный формат?

А) да, предпочитаю учиться в онлайн-формате; Б) предпочитаю обучение в офлайн-формате; В) нет разницы между двумя типами обучения; Г) предпочитаю смешанную форму обучения. (Результат: 35 % – да, предпочитаю учиться в онлайн-формате, 30 % – предпочитают обучение в офлайн-формате, 7 % – нет разницы между двумя типами обучения, 28 % – предпочитают смешанную форму обучения.)

5. Назовите моменты, которые, на ваш взгляд, негативно отражаются на эффективности процесса обучения в онлайн-формате. (Результат: 60 % – нет мотивирующего общения с сокурсниками и преподавателями, 8 % – чувствуют себя неуверенно при включенной камере, 15 % – испытывают сложности в том, чтобы задать преподавателю вопросы онлайн, 17 % – технические проблемы, перебои в работе интернета, низкая скорость интернета.)

Результаты анкетирования показали, что большинство обучающихся положительно относятся к дистанционному обучению. Однако существует ряд вопросов, указанных респондентами, который ведет

к пролонгированию временного отрезка обучения, при котором нарушается режим сна и отдыха, активно повышается тревожность, наблюдается физическое и психическое расстройство, снижение зрительной активности вследствие продолжительного времени нахождения перед монитором компьютера и снижению двигательной активности. Таким образом, цифровое обучение – это масштабная трансформация в обществе, в котором используются современные информационно-коммуникационные технологии. Цифровизация дает безграничные возможности обучающимся в процессе обучения, развивает креативность, творческий подход к решениям проблем. Традиционные лекционные и семинарские занятия при онлайн-обучении заменяются видеолекциями, платформами для онлайн-обучения, такими как Zoom и т.д., что делает процесс обучения интерактивным и инновационным.

В Саратовской государственной юридической академии для обучения используется платформа Zoom, а также созданы специальные порталы для очной и заочной форм обучения. Используя интернет-платформу Zoom, кафедра иностранных языков ведет поиск наиболее эффективного представления дидактического материала для повышения мотивации студентов, расширения знаний вузовской педагогики. С целью выявления трудностей в работе с учебным порталом, а также с целью проверки эффективности данного подхода нами было проведено анкетирование с обучающимися 1 курса. Им был задан вопрос: «Насколько эффективно был усвоен учебный материал по темам «Criminal Law», «Civil Law», «Constitutional Law», размещенный на портале». Ответы распределились следующим образом: безусловно, да – 63%; в некоторой степени – 24%; нет – 10%; затруднились ответить – 3%. Результат показал, что использование данных учебных порталов совместно с традиционными занятиями эффективно, об этом свидетельствуют и результаты успеваемости обучающихся.

Главная цель дистанционного обучения – это создание инновационных методов и технологий обучения, которые соответствуют телекоммуникационному общению. Следует сформировать устойчивую мотивацию к дистанционному обучению у будущих специалистов и улучшать результаты учебной деятельности. Этому будет способствовать объединение накопленных методов, личного опыта и современных технологий. Многие исследователи считают, что на дистанционных курсах нельзя использовать только материалы традиционного очного формата. Современные преподаватели активно ищут разнообразные формы и приемы в процессе дистанционного обучения. При этом они сталкиваются с проблемами, которые между собой во многом схожи. Одна из них – соответствие разным сторонам речи: контекстуальной, упорядоченной и формальной при онлайн-формате обучения. Здесь прослеживается и профессиональная направленность обучения и контекстуальная сторона коммуникативного процесса. Зачастую при современном дистанционном обучении можно увидеть хаотичность, неупорядоченность использования современных цифровых технологий в учебном процессе. Следует отметить, что в некоторых случаях преподаватели не знают, какую пользу можно извлечь от применения новых информационных технологий, какие дидактические, психолого-педагогические вопросы они помогают решить.

Использование на занятии по иностранному языку современных средств и форм – важный фактор системы дистанционного обучения, который способствует сетевому взаимодействию между преподавателем и обучающимися. Среди них можно выделить электронные учебники, тесты, тренажеры по грамматике, учебные электронные порталы, вебинары, веб-конференции и т.д. Существует большое количество интерактивных средств обучения, приложений для образовательных проектов. Среди них Mentimeter – платформа для создания презентаций, встреч, мероприятий. Quizzzz – платформа для обмена информацией, викторин. Quizlet – платформа для работы с дидактическим материалом с целью легкого запоминания любой информации. Padlet – запись и обмен учебными аудиофайлами. Данные средства включают интерактивные задания, повторять которые можно много раз и в любом темпе.

Научно-методический Совет СГЮА обсуждает и реализует на практике варианты решения насущных проблем вузовской педагогики: подготовить специалистов разносторонне развитых, способных усваивать юридические науки, выражать свое отношение к полученным знаниям. Следует отметить, что воплощение принципа профессиональной активности происходит в два этапа. Первый этап предполагает введение страноведческого дидактического материала, характерного для юридического вуза. Второй этап рассматривает целостную систему англо-американского права. Обучение строится на развитии языковой компетенции и навыков научного профессионального перевода. В настоящее время новые образовательные средства усиливают позна-

вательную активность и расширяют самостоятельную деятельность обучающихся. Высокая самоэффективность может способствовать росту эффективности индивида [1, с. 106]. В частности, организационная и дидактическая составляющая учебного процесса определяет познавательный интерес у обучающихся и максимально развивает творческую инициативу. Метод Incident-study используется для описания реальных социальных ситуаций. Под этим методом понимается комплект учебных материалов (печатные, аудио, видео и т.д.). Обучающийся должен проанализировать, разобрать ситуацию, определить проблему и найти решения. А.П. Панфилова отмечает следующие характеристики для подобных методов: «использование задания на основе фактических проблем; минимальная степень зависимости обучающихся друг от друга, наличие у каждого права на правильные и неправильные ответы, взаимный обмен информацией; многоальтернативность решений, принципиальное отсутствие единственного решения; организатор занятия проводит обучаемых через все этапы сценария и исполняет функции эксперта, катализатора учебного процесса и тренера» [2, с. 35]. Работая с технологией метода Incident-study на иноязычном занятии, необходимо учесть некоторые особенности, например: 1) задача, поставленная перед обучающимися, не должна иметь однозначного ответа, так как они нацелены на поиск различных истин и должны хорошо ориентироваться в поставленной проблеме; 2) при использовании этого метода обучающиеся также овладевают навыками профессиональной активности, что явно подходит по своим мотивационным установкам для этого рода деятельности [3, с. 410]. Метод Incident-study направлен на решение конкретных задач, а именно:

– разработать схему и дальнейший план для принятия верного решения; – уметь применять полученный опыт и знания из других областей науки;

– уметь принять верное решение в условиях недостаточной информации.

Каждый участник учебного процесса должен решить актуальную правовую проблему, для которой необходимо творческое решение [4 , с. 75].

По мнению Г.К. Селевко, разные «методы развивают аналитические умения; практические умения; творческие умения; коммуникативные умения; социальные умения» [5, с. 78]. Исследование, проводимое нами, ориентировано не только на сегодняшний день, но и на будущее. Наша работа показывает, как организованное развитие дидактического материала, повысит мотивацию, творческую активность, что в результате окажет влияние на познавательную активность и на рост профессиональной подготовки обучающегося. Сущность самостоятельной работы в умении создать готовый продукт или получить информацию без посторонней помощи. Преодолевать трудности при получении информации – в этом и есть глубокий смысл, так как учебный процесс становится более динамичным, интересным за счет приближенности материала к реалиям жизни.

Итак, ситуация на сегодняшний день такова, что дистанционный формат вживается в процесс обучения с невероятной скоростью и надо в предельно короткие сроки интегрировать дидактический материал, носящий преимущественно мотивирующий характер. Необходимо вовлечь обучающихся в поиск мотивирующего формата, а именно дистанционно, акцентируя внимание на поиск нового в учебной деятельности.

Нами предложены задания по тематическому принципу, рассчитанные на несколько этапов. Семинарские занятия, которые тематически связаны со сферой юриспруденции, представлены следующим материалом: Law; Legal Profession; Criminology; Civil Procedure, Family Law. На начальном этапе идет знакомство с лексическим материалом, где обучающиеся самостоятельно развивают навыки перевода, овладевают навыками анализа иноязычного текста.

Итак, первый этап – обучение переводу, обсуждение различий построения текстового материала, анализ заголовков журнальных и газетных статей юридической направленности. «Необходимо решить проблемы как лингвистического, так и юридического характера, поскольку именно язык служит главным инструментом передачи информации, законодательной техники, правоприменительной деятельности и оформления правовых категорий» [6, с. 258]. Второй этап – определение грамматических особенностей слов и выражений. Метод Incident-study нами представлен на третьем этапе по теме: «Уголовное право» небольшим рассказом с заданиями в формате – Reply-choice-making. Обучающийся внимательно просматривает его и выбирает основные элементы для трансформации текстового материала, что определяет степень понимания решения задачи. Четвертый этап – анализ, решение и отправной элемент – дискуссия как метод группового взаимодействия всех участников образовательного процесса. При выполнении последовательных действий каждого этапа, нужно учитывать, что тематические задания для юристов

должны быть информативны, приближены к реалиям профессиональной деятельности. Представленные нами задания reply-choice-making следующие:

Stage 1 – Practice translation for specific information (Этап 1 – перевод с целью определения основной информации)

A man was arrested. He was charged with the crime of drug addiction. Two officers testified that he had "track" marks on the defendant's arms and wrists. They wanted him to admit to his past drug usage. The accused said that he was not an addict. The marks were from an allergic reaction. The trial court instructed the jury that it could find him guilty. There was a proof that he was an addict. The jury did not believe the defendant's denials, and found him guilty. The jury based their point of view on the presented track marks. The court sentenced him to six months imprisonment. He appealed, claiming cruel treatment which is prohibited by Amendments of the United States Constitution. Could the decision be reversed on appeal?

Stage 2 – Define grammar peculiarities (Этап 2 – определение грамматических особенностей)

was charged, test, drug usage, accuse him guilty, imprisonment, sentence, unusual punishment

Stage 3 – Practice: Possible decisions (Этап 3 – практика: поиск возможных решений)

1. No, because the arrest is based on the regular use of illegal narcotics. 2 No, because the state has the power to forbid the use of narcotics within its borders. 3. Yes, because the statute makes it criminal to use illegal drugs. 4. Yes, because the statute punishes having the illness of drug addiction, it is like to punish a man for having a cold. It is cruel and unusual punishment.

Stage 4 – Discussion and conclusion (Этап 4 – обсуждение и заключение)

Подобный формат представления учебного материала мотивирует обучающихся на языковую догадку, стимулирует поиск нужного ответа, что, безусловно, расширяет вокабуляр и творческий потенциал.

Заключение

Мы пришли к определенным выводам, которые состоят в следующем: обучающимся необходимо получать мотивирующий материал, вызывающий интерес и любопытство. Представленный нами материал – своего рода энергия, подталкивающая обучающегося к достижению конечного позитивного результата. Все задания нацелены на внутренние ресурсы обучающегося: завладеть их вниманием, активизировать интерес на учебных занятиях. Авторы считают недопустимым в образовательном процессе предоставлять формальную и немотивирующую информацию, которая тормозит развитие творческого начала. Проведенное исследование показало разнообразные возможности совершенствования управления иноязычной деятельностью как средство мотивирующего поиска в образовательном процессе. Поэтому необходимо отработать и усвоить грамматические, лексические нормы иностранного языка, а также культурологические особенности иноязычного общения. «Обучаемые должны знать, что необходимо соблюсти требования объективности, логической последовательности, недвусмысленности, с использованием соответствующих языковых средств и средств организации учебного процесса» [7, с. 74]. Из сказанного можно сделать вывод о том, что разработанный нами метод Incident-study является мотивирующим форматом и нацелен на развитие личности обучающегося.

Список литературы

1. Никитская М.Г., Толстых Н.Н. Зарубежные исследования учебной мотивации: XXI век // Современная зарубежная психология. 2018. Т. 7. № 2. С. 100–113.

2. Панфилова А.П. Инновационные педагогические технологии. Активное обучение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 192 с.

3. Литвинюк А.А. Мотивационные ориентации молодых специалистов в сфере науки, высшего образования и высоких технологий // Управленческие науки в современном мире: сборник докладов научной конференции. Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. 2020. С. 407–412.

4. Ессина И.Ю., Абрамова Н.В. Формирование правовой культуры обучающихся как педагогический феномен / В книге: Развитие современного вуза: новые методы и технологии. Нагорнова А.Ю., Виниченко М.А., Ли Н., Алексеева И.А., Байдецкая Е.А., Лямзин М.А., Орлова Г.В., Исаев А.В., Бубнова Е.Ю., Трофимова Т.Г., Туровский А.В., Ессина И.Ю., Абрамова Н.В., Кондрашихин А.Б., Пивень В.В., Челомбитко С.И., Селезнёв А.А., Казакевич Т.В., Ритчик В.И., Ряснянский С.В. и др. Коллективная монография. Отв. ред. А.Ю. Нагорнова. Ульяновск, 2021. С. 64–76.

5. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: учебное пособие. М.: Народное образование, 1998. 256 с.

6. Максимова С.Ю., Мацюпа К.В. Необходимость совершенствования языковых навыков в сфере права // Вестник Саратовской государственной юридической академии. 2018. № 4 (123). С. 255–262.

7. Барышникова С.Н. Овладение навыками письменной речи в процессе формирования коммуникативной компетенции // Наука и общество. 2017. № 1 (27). С. 73–75.

УДК 376.3

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ СУБЪЕКТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ИНКЛЮЗИВНЫХ КЛАССАХ

[1]Алпатова Н.С., [2]Федосеева Е.С., [2,3]Фролова С.В.

[1]НОУ ВО «Московский социально-педагогический институт», Москва, e-mail: alpatova.ns@mail.ru;
[2]ЧОУ ВО «Московский университет им. С.Ю. Витте», Москва, e-mail: feska@mail.ru;
[3]ГБОУ «Школа № 2097», Москва, e-mail: frolova-s80@mail.ru

В статье актуализируется проблема инклюзивного образования, которое предполагает эффективное взаимодействие между нормотипичными детьми и обучающимися с ограниченными возможностями здоровья. Процесс погружения детей в инклюзивную образовательную среду нередко осложняется негативным отношением со стороны родителей по отношению к ученикам, имеющим ограничения по здоровью, а также отсутствием опыта и соответствующей квалификации у педагогов, администрации школы для работы с «особенными» детьми в условиях инклюзии. Экспериментальное исследование было направлено на изучение особенностей взаимодействия между основными субъектами образовательного процесса в инклюзивных классах и на создание психолого-педагогических условий по оптимизации взаимоотношений между ними. Выявлены различия в психологическом климате инклюзивных и общеобразовательных классов, которые проявляются в психоэмоциональном состоянии и степени психологической комфортности учителей и обучающихся, в содержательных характеристиках отношения учащихся к школе и учителей к различным категориям обучающихся. К психолого-педагогическим условиям оптимизации взаимоотношений между педагогами, обучающимися с нормативным развитием и с ограниченными возможностями здоровья можно отнести подготовку всего кадрового состава школы для работы с детьми с отклонениями в развитии, формирование способности педагогов к анализу и оптимизации взаимоотношений между обучающимися и другими участниками образовательных отношений, привлечение в данный процесс родителей, систематическую работу с обучающимися по преодолению у них предрассудков и стереотипов в отношении «особенных» детей, формирование толерантного отношения к ним для обеспечения комфортного пребывания в стенах школы и успешной реализации принципов инклюзивного образования. По результатам работы были отмечены положительные тенденции во взаимоотношениях всех участников образовательного процесса в инклюзивной среде образовательной организации, повышение уровня положительного отношения к себе, другим и позитивной поведенческой идентичности среди нормотипичных обучающихся и детей с ограниченными возможностями здоровья.

Ключевые слова: психолого-педагогические условия, взаимодействие, субъекты образовательного процесса, инклюзивные классы, обучающиеся, ограниченные возможности здоровья

PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL CONDITIONS ARE MANIFESTED IN THE MAIN SUBJECTS OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN INCLUSIVE CLASSES

[1]Alpatova N.S., [2]Fedoseeva E.S., [2,3]Frolova S.V.

[1]Moscow Social and Pedagogical Institute, Moscow, e-mail: alpatova.ns@mail.ru;
[2]Moscow University named after S.Yu. Witte, Moscow, e-mail: feska@mail.ru;
[3]School No. 2097, Moscow, e-mail: frolova-s80@mail.ru

The article actualizes the problem of inclusive education, which involves effective interaction between normotypical children and students with disabilities. The process of immersing children in an inclusive educational environment is often complicated by the negative attitude of parents towards students with disabilities, as well as the lack of experience and relevant qualifications of teachers and school administration to work with «special» children in an inclusive environment. The experimental study was aimed at studying the features of the interaction of the main subjects of the educational process in inclusive classes and creating psychological and pedagogical conditions for optimizing the relationship between them. Differences in the psychological climate of inclusive and general education classes are revealed, which are manifested in the psycho-emotional state and the degree of psychological comfort of teachers and students, in the meaningful characteristics of the attitude of students to school and teachers to various categories of students. The psychological and pedagogical conditions for optimizing the relationship between teachers studying with normative development and with disabilities include the training of the entire staff of the school to work with children with developmental disabilities, the formation of the ability of teachers to analyze and optimize the relationship between students and other participants in educational relations , involving parents in this process, systematic work with students to overcome their prejudices and stereotypes regarding «special» children, the formation of a tolerant attitude towards them to ensure a comfortable stay within the walls of the school and the successful implementation of the principles of inclusive education. Based on the results of the work, positive trends were noted in the relationship of all participants in the educational process in an inclusive environment of an educational organization, an increase in the level of positive attitude towards oneself, others and positive behavioral identity among normotypical students and children with disabilities.

Keywords: psychological and pedagogical conditions, interaction, subjects of the educational process, inclusive classes, students, disabilities

В образовательной системе Российской Федерации в современных условиях массовое распространение получили инклюзивные практики, обеспечивающие включение обучающихся с различными образовательными возможностями в коллектив нормотипичных сверстников. Данная тенденция представляет собой современную альтернативу традиционной в практике работы образовательных организаций разного уровня, разделению массовой и специальной педагогических систем (Н.А. Максимова, Н.Н. Малафеев, Н.М. Назарова, Т.А. Соловьева, Е.А. Стребелева, Л.М. Шипицына, Н.Д. Шматко и др.).

Идея реализации инклюзивного подхода заключается в необходимости не столько дать образовательные результаты, сколько создать благоприятные условия для социализации, которые предполагают активизацию позитивных отношений в детском коллективе посредством обогащения социального опыта учащихся с ограниченными возможностями и их ровесников, не имеющих выраженных ограничений по здоровью, а также обеспечить всестороннее развитие, формируя нравственные, когнитивные и социальные качества (толерантность, отзывчивость и др.) [1, 2].

В настоящее время проблема инклюзивного образования является первостепенной, что обусловлено рядом обстоятельств и в первую очередь увеличением количества детей с различными вариантами дизонтогенеза (О.С. Никольская, О.И. Кукушкина, Е.Л. Гончарова, О.А. Карабанова, И.А. Коробейников и др.).

Разнообразие категорий обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов в образовательной организации обуславливает процесс вариативности специальных условий [3, 4]. Педагоги, психологи, тьюторы и другие участники образовательных отношений должны знать психологические особенности каждой категории детей с ограниченными возможностями здоровья, уметь проектировать адаптированные образовательные программы.

Инклюзивное образование предполагает эффективное взаимодействие между нормотипичными детьми и обучающимися, имеющими ограниченные возможности здоровья. Данный процесс, нацеленный на максимально благоприятное и постепенное погружение детей в новые для них отношения, как правило, осложняется негативным отношением со стороны родителей к ученикам, имеющим ограничения по здоровью, а также отсутствием соответствующей квалификации у педагогов и администрации общеобразовательного учреждения для работы с «особенными» детьми в условиях инклюзии.

Цель исследования – теоретическое обоснование и экспериментальное исследование особенностей взаимодействия между педагогами, нормотипичными обучающимися и обучающимися, имеющими ограниченные возможности здоровья в инклюзивных классах и создание условий по оптимизации взаимоотношений между ними.

Материалы и методы исследования

Экспериментальное исследование проводилось на базе Государственного бюджетного образовательного учреждения г. Москвы «Школа № 2097» с участием 120 обучающихся в возрасте 7–8 лет: 69 учеников с нормативным развитием и с ограниченными возможностями здоровья из инклюзивных классов, 51 – из обычных классов. Выборка учителей состояла из 17 чел., средний возраст 41 год, средний педагогический стаж группы 16 лет.

Все дети с нормативным развитием обучались по программе «Школа России» в соответствии с ФГОС начального общего образования, а дети с отклонениями в развитии – по адаптированной основной общеобразовательной программе начального общего образования вариант 5.1, 5.2 и 7.1.

В исследовании использовались следующие методы и методики: наблюдение, экспертная оценка, анкетирование; «Цветоассоциативная методика» (А.М. Парачев), проективная методика «Рисунок школы» (адаптированная Н.В. Нижегородцевой). Для поиска корреляций между шкалами был использован коэффициент корреляции Спирмена.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты диагностического исследования показали, что психологический климат в обычных классах отличается большим благоприятным течением (86%) по сравнению с инклюзивными классами (30%). При этом число учеников, ощущающих себя комфортно, меньше на 22% среди детей нормы из инклюзивных классов и на 30% меньше среди обучающихся с отклонениями в развитии [5].

Обучающиеся с отклонениями в развитии испытывают дискомфорт в условиях нахождения с нормотипичными сверстниками из инклюзивных и общеобразовательных классов, что выражается в амбивалентных чувствах по отношению к школе, психологическом дискомфорте, низкой мотивации и преобладании негативных эмоциональных реакций.

Анализ результатов проведения методики «Рисунок школы» позволил выявить, что степень психологической комфортности обучающегося влияет на выбор цветовой гаммы ребёнком, аккуратность выполнения рисунка и, как следствие, на общую результативность.

У детей с высоким показателем комфортности преобладают яркие и светлые цвета, рисунок выполняется аккуратнее, что свидетельствует об эмоционально благополучном отношении к школе и учению, готовности к взаимодействию с учителем. В то же время учащиеся с низким показателем коэффициента комфортности используют больше темных цветов в рисунке, наблюдается небрежность в прорисовке, дети испытывают тревогу и страх по отношению к школе и имеют трудности в общении с учителем и одноклассниками.

Показатели по параметру «Цветовая гамма» являются статистически значимыми для категорий детей с отклонениями в развитии, нормотипичных детей из инклюзивных и обычных классов. Так, обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья используют яркие и светлые тона в рисунке на 13% меньше по сравнению с детьми нормы из инклюзивных классов и на 37% меньше по сравнению с учениками с нормативным развитием из обычных классов. Учащиеся с нормативным развитием из инклюзивных классов в общем эмоциональном состоянии ощущают себя менее комфортно, чем обучающиеся нормы из общеобразовательных классов. Также стоит отметить, что у большинства нормотипичных детей из общеобразовательных классов (59%) в рисунке преобладают яркие цвета и максимально высокие баллы по данному параметру среди других групп детей.

Ни один ребенок с отклонениями в развитии не имеет высокие показатели по параметру «Линия и характер рисунка». Более половины (67%) обучающихся данной категории имеют низкие баллы. Этот показатель больше на 16% по сравнению с детьми с нормативным развитием из инклюзивных классов и на 20% больше по сравнению с нормотипичными учениками из общеобразовательных классов. Показательно, что дети с отклонениями в развитии выполняют рисунок менее аккуратно, что может быть следствием психофизиологических нарушений таких детей.

Большинство детей с ограниченными возможностями (67%) имеют средние баллы по параметру «Сюжет рисунка», почти треть из них имеют низкие показатели. Обучающиеся с нормативным развитием из инклюзивных классов (54%) также имеют средние баллы по данному параметру, высокие показатели наблюдаются у 37% учеников. Обращает на себя внимание тот факт, что большинство детей нормы из общеобразовательных классов (59%) имеют высокий показатель по данному параметру, что является наибольшим процентом по сравнению с остальными группами. Следовательно, у детей нормы из общеобразовательных классов рисунки имеют более яркий и разнообразный сюжет как по сравнению с детьми нормы из инклюзивных классов, так и детьми с ограниченными возможностями здоровья. В то же время и для детей нормы из инклюзивных классов, и для детей с отклонениями в развитии больше характерна тенденция к средним показателям по данному параметру.

Можно заключить, что нормотипичные сверстники из общеобразовательных классов имеют более благоприятное отношение к школе по сравнению с детьми с нормативным развитием из инклюзивных классов. Большинство детей с ограниченными возможностями здоровья (67%) имеют неблагоприятное отношение к школе в разной степени выраженности, которое проявляется в виде тревоги и страха.

Результаты диагностики психологической комфортности педагогов позволили выявить, что наибольшие значения коэффициента комфортности наблюдаются среди учителей общеобразовательных классов (100%), нежели инклюзивных (56%). При этом 33% учителей инклюзивных классов имеют показатель единицу, которая является границей между зонами комфорта и дискомфорта.

Было выявлено, что отношение к обучающимся из общеобразовательных классов со стороны учителей характеризуется проявлением толерантной и принимающей позиции. В инклюзивных классах преобладает неблагоприятное отношение к ученикам, причем к большей части детей с нормативным развитием из данных классов учителя имеют благоприятное отношение (70%), в то время как к обучающимся с ограниченными возможностями здоровья преобладает неблагоприятное отношение (56%).

В процессе исследования установлены гендерные различия в отношении учителя к обучающимся: учителя лучше относятся к девочкам, чем к мальчикам ($rs = 0{,}216$, при $\rho \leq 0{,}05$). При этом выявлена взаимосвязь: чем благоприятнее отношение учителя к ученику, тем большая вероятность наличия у этого обучающегося высокой мотивации к обучению в школе. Установлено, что отношение ребёнка к школе зависит от отношения учителя к нему ($rs = -0{,}246$, при $\rho \leq 0{,}05$).

Следует отметить, что каждый участник образовательных отношений сталкивается с проблемой создания необходимых условий для обеспечения эффективности учебно-воспитательного процесса в инклюзивной среде, к которым можно отнести: кадровый потенциал и тьюторское сопровождение, создание доступной среды и проектирование образовательного пространства с учетом особых образовательных потребностей ребенка и в соответствии с требованиями федеральных образовательных стандартов основного начального и общего образования к адаптированным основным образовательным программам и т.д.

В этой связи педагогам следует уделять внимание активизации профессиональных компетенций, проявляющихся в способности к анализу и урегулированию взаимоотношений между обучающимися и другими участниками образовательных отношений. Успешность работы в данном направлении напрямую зависит от сложившейся ситуации общения, характера трудностей, проявляющихся в общении, наличии коммуникативных и иных барьеров, обусловленных дефектом в развитии ребенка и психологической склонности обучающихся к межличностным контактам.

Практика работы в инклюзивных классах показала, что реализацию превентивных мер необходимо начинать задолго до появления «особого» ребенка в классе общеобразовательной школы. С родителями нормотипичных обучающихся необходимо проводить целенаправленную работу по разъяснению значимости воспитания у их детей культуры межличностного общения и терпимого отношения к другому. При этом важно, чтобы педагог в собственных убеждениях и действиях демонстрировал пример толерантного и уважительного отношения к другим, показывал позитивный образец гуманного взаимодействия с семьей, был компетентным и гибким в различных ситуациях межличностного взаимодействия.

Межличностное восприятие всеми участниками образовательных отношений осуществляется во время пребывания ребенка в образовательной организации как в процессе занятий, уроков, так и вне организованного формата обучения. Положительному принятию детей друг другом способствуют интересные и разнообразные занятия, обеспечивающие возможность двигаться и работать интеллектуально: игровые задания и упражнения, коммуникативно-ситуативные задания, задания с элементами моделирования, сказка и драматизация, разного рода развлекательно-воспитательные упражнения и т.п.

Рассмотрим содержание нескольких занятий, направленных на оптимизацию взаимоотношений между обучающимися с нормативным развитием и ограниченными возможностями здоровья.

Первое занятие «Знакомство и самопрезентация» проводилось с целью формирования и повышения толерантности в общении обучающихся нормы и обучающихся с отклонениями в развитии, их сплочения.

В результате проведения занятия дети получили возможность понять преимущества толерантного взаимодействия в творческой деятельности, осознать ценность собственного мнения, отличного от других, побыть на месте «особенного», «иного», убедиться в наличии у разных, непохожих друг на друга людей множества общих, объединяющих черт.

Занятие включало несколько следующих упражнений:

1) «Рисовальная гимнастика». Это разминка, задачей которой было подготовить участников перед предстоящим занятием и обеспечить «введение в тему». В результате этого упражнения дети получили эмоциональный заряд, сложилась хорошая, дружественная атмосфера, началась выработка толерантного отношения друг к другу по принципу «все равны»;

2) «Калейдоскоп» – это упражнение-игра продолжило создание комфортного микроклимата в группе. Ребята увидели, что, несмотря на различия, у них есть много общего, объединяющего;

3) «А я считаю…» – данное упражнение способствовало осознанию возможности сосуществования различных мнений, уважительного, терпимого отношения к противоположным взглядам, умению отстаивать свою позицию;

4) «Элли в стране чудес» – упражнение-сказка познакомило ребят с понятием «стереотип». В ходе обсуждения истории было выяснено происхождение стереотипов и предрассудков, их положительные и отрицательные роли в жизни.

Второе занятие на тему «Мы разные, но мы – вместе» проводилось с целью формирования представлений о понятии «толерантность», о важности мирного сосуществования различий; формирования установок на сотрудничество, побуждения к сопереживанию по отношению к «особенным» детям, а также предотвращения негативных стереотипов по отношению к ним.

В качестве основного средства для достижения цели нами были выбраны просмотр и обсуждение видеороликов о детях

с ограниченными возможностями здоровья на тему «Мы вместе». Это позволило создать непринуждённую, доброжелательную атмосферу занятия, где каждый ребенок имел возможность высказаться. В такой ситуации дети учились выслушивать друг друга, не перебивать, терпеливо относиться к одноклассникам, высказывавшим противоположное мнение.

В ходе занятия обучающиеся узнали о жизни людей с отклонениями в развитии, об их правах и возможностях, о современных формах и методах их обучения и перспективах трудоустройства, о специфике совместного обучения в обычной школе и о том, что все дети имеют равные права. В ходе обсуждения ребятами были сделаны верные выводы. Все пришли к согласию о том, как важно жить дружно, что неправильно относиться к не таким, как ты, людям с предубеждением, что приемлемо только доброжелательное отношение к «особенным» детям.

В конце занятия была проведена игра-тест «Насколько вы терпимы?». Итоги игры показали, что обучающимся часто не хватает вежливости и нужно учиться сдерживать себя для того, чтобы конструктивно разрешать конфликтные ситуации.

В этой связи каждому специалисту (тьютору, психологу, социальному педагогу), деятельность которого предполагает взаимодействие с детьми, испытывающими различного рода трудности в процессе социализации, необходимо осуществлять работу по формированию толерантного отношения к детям с ограниченными возможностями здоровья. Сюда мы включаем информирование детей о сущности толерантных отношений, ориентацию на общечеловеческие ценности, гуманизм, создание ситуаций для сопереживания положительных эмоций по поводу достижения эффективного взаимодействия с детьми с отклонениями в развитии и т.д.

Завершающим этапом экспериментальной работы была проверка ее эффективности и подведение итогов с целью изучения произошедших изменений в поведении обучающихся и выявления их мнений о проведенных занятиях.

Обобщая результаты эмпирического исследования по оптимизации взаимоотношений между обучающимися нормы и ограниченными возможностями здоровья, отметим, что:

– для достижения высокого уровня воспитанности, толерантности у нормотипичных детей по отношению к детям с отклонениями в развитии обязательно нужно учитывать в учебно-воспитательном процессе социокультурную среду данного учреждения, а также состав каждого классного коллектива;

– потребность в принятии «особенных» обучающихся может быть восполнена, если учебно-воспитательная работа будет нацелена на развитие их компетенции, характеризующейся пониманием и принятием другого человека как равного, при терпимом отношении к каждому.

Заключение

Выявлены различия в психологическом климате инклюзивных и общеобразовательных классов, которые проявляются в психоэмоциональном состоянии и степени психологической комфортности учителей и обучающихся, в содержательных характеристиках отношения учащихся к школе и учителей к различным категориям обучающихся, в том числе и с ограниченными возможностями здоровья.

В ходе реализации экспериментальной работы были созданы наиболее благоприятные психолого-педагогические условия для оптимизации взаимоотношений между обучающимися нормы и обучающимися с ограниченными возможностями здоровья посредством формирования толерантного отношения к «особенным» детям. По результатам работы были отмечены положительные тенденции во взаимоотношениях нормотипичных обучающихся и детей с отклонениями в развитии, повышение уровня положительного отношения к себе и другим, позитивной поведенческой идентичности.

Современные тенденции вызывают острую потребность педагогов в повышении квалификации и приобретении профессиональных компетенций, позволяющих эффективно осуществлять организацию и управление процессом формирования отношений в ученическом коллективе таким образом, чтобы каждый обучающийся мог проявить себя и свои способности в определенном виде деятельности, научился относиться с уважением к другим, независимо от их особенностей и состояния здоровья, а при необходимости оказывать помощь и выбирать адекватный способ взаимодействия с ними.

При условии обеспечения подготовки всего кадрового состава школы с соответствующим повышением квалификации для работы с обучающимися с отклонениями в развитии, привлечения в данный процесс родителей, администрации школы, систематической работой с обучающимися возможна конструктивная работа и успешная реализация принципов инклюзивного образования.

Список литературы

1. Максимова Н.А. Формирование компетентности педагогов в процессе дополнительного профессионального образования для осуществления инклюзивного образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Кемерово, 2021. 23 с.

2. Соловьева Т.А. Системный подход к организации включения младших школьников с ограниченными возможностями здоровья в общеобразовательную среду: автореф. дис. ... докт. пед. наук. Москва, 2019. 42 с.

3. Брыкин Ю.В., Фролочкина Д.Ю., Моисеенко В.В. Основные аспекты технологизации образовательного процесса при реализации инклюзивного подхода в обучении // Гуманитариум. 2018. № 1 (6). С. 8–10.

4. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 7.02.2022).

5. Фролова С.В. Специфика взаимоотношения учителей с обучающимися в инклюзивных классах // Современные векторы развития образования: актуальные проблемы и перспективные решения: материалы XI Международной научно-практической конференции (Москва, 25 января 2019 г.). М.: 5 за знания, Московский педагогический государственный университет, 2019. С. 344–348.

УДК 376.4

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД В ФОРМИРОВАНИИ КОММУНИКАТИВНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ДЕЙСТВИЙ У ОБУЧАЮЩИХСЯ С ЗАДЕРЖКОЙ ПСИХИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Данилова А.М., Подвальная Е.В., Шишкова М.И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный психолого-педагогический университет», Москва,
e-mail: am-danilova@yandex.ru, heliopile@yandex.ru, margarita.i.shishkova@gmail.com

Одной из важнейших задач специального (коррекционного) образования является повышение качества процесса обучения детей с ограниченными возможностями здоровья, в частности школьников с задержкой психического развития. По мнению авторов статьи, особое внимание следует обратить на использование междисциплинарного подхода в процессе обучения школьников с задержкой психического развития. Активное использование междисциплинарного подхода позволяет педагогам в полной мере решать задачи формирования универсальных учебных действий. Особую роль в развитии и обучении школьников с задержкой психического развития имеют коммуникативные универсальные учебные действия. Включение в образовательный процесс специальных приемов, основанных на междисциплинарном подходе, способствует повышению познавательной активности школьников с задержкой психического развития, расширению их знаний по различным предметам, позволяет повысить уровень речевого развития и коммуникативную активность, предоставляет обучающимся возможность использовать приобретенные умения в новых условиях, что положительно сказывается на формировании у школьников целостной картины окружающего мира. В статье рассматривается междисциплинарный подход как система интеграции знаний, получаемых обучающимися с задержкой психического развития в процессе изучения дисциплины «Окружающий мир». Раскрываются структурные компоненты коммуникативных универсальных учебных действий. Выделяются особенности коммуникативных учебных действий обучающихся начальных классов с задержкой психического развития. Показаны организационно-педагогические условия формирования коммуникативных универсальных учебных действий у школьников с задержкой психического развития. Приведены примеры организации учебного процесса с использованием междисциплинарного подхода.

Ключевые слова: специальное образование, междисциплинарный подход, эффективность обучения, учебная дисциплина «Окружающий мир», коммуникативные универсальные учебные действия, задержка психического развития

INTERDISCIPLINARY APPROACH IN FORMATION OF COMMUNICATIVE UNIVERSAL LEARNING ACTIVITIES OF STUDENTS WITH MENTAL DEVELOPMENT DELAY

Danilova A.M., Podvalnaya E.V., Shishkova M.I.

Moscow State University of Psychology & Education, Moscow,
e-mail: am-danilova@yandex.ru, heliopile@yandex.ru, margarita.i.shishkova@gmail.com

One of the most important tasks of special (correctional) education is to improve the quality of the education process for children with special educational needs, in particular schoolchildren with mental development delay. According to the authors of the article, special attention should be paid to the use of an interdisciplinary approach in the process of teaching students with mental development delay. The active use of an interdisciplinary approach allows teachers to fully solve the problems of forming universal learning activities. Communicative universal learning activities play a special role in the development and education of schoolchildren with mental development delay. The inclusion in the educational process of special techniques based on an interdisciplinary approach helps to increase the cognitive activity of schoolchildren with mental development delay, expand their knowledge in various subjects, improves the level of speech development and communicative activity, provides students with the opportunity to use the acquired skills in new conditions, which has a positive effect on the formation of a holistic picture of the world around schoolchildren. The article considers an interdisciplinary approach as a system for integrating knowledge acquired by students with mental development delay during the studying of discipline «The World around». Structural components of communicative universal learning activities are disclosed. The features of communicative learning activities of primary school students with mental development delay are highlighted. The organizational and pedagogical conditions for the formation of communicative universal learning activities of schoolchildren with mental development delay are shown. Examples of the educational process organization with using an interdisciplinary approach are given.

Keywords: special education, interdisciplinary approach, learning effectiveness, communicative universal learning activities, academic subject «The World around», mental development delay

Междисциплинарный (метапредметный) подход в системе современного образования подразумевает рассмотрение того или иного явления, не ограничиваясь рамками какой-либо одной научной области. На протяжении последних десятилетий междисциплинарный подход находится в центре внимания достаточно большого количества специалистов (М.Н. Берулава, С.А. Бешенков, И.М. Василькова, В.Н. Максимова, Н.В. Попова, Г.К. Селевко, Е.Е. Смирнов, А.В. Усова, Г.Ф. Федорец, Л.А.

Шестакова и др.). Так, М.Н. Берулава указывает на значимость дидактической интеграции в образовании, определяющей процесс и результат обучения. А.Я. Данилюк, раскрывая понятие междисциплинарности и интеграции образования, обращает внимание на последовательный перевод сообщений с одного учебного языка на другой под руководством педагога. В ряде исследований междисциплинарный подход рассматривается как процесс и результат создания чего-то цельного; как слияние в одном синтезированном курсе (теме, разделе программы) элементов разных учебных предметов; соединение научных понятий и методов разных дисциплин в общенаучные понятия и методы познания. При разнообразии взглядов исследователей на проблему изучения междисциплинарного подхода существует и консолидированное мнение по данному вопросу. Ученые и методисты едины в том, что междисциплинарный подход следует рассматривать как важное дидактическое условие повышения научно-теоретического уровня обучения и развития творческих способностей школьников, а также как условие совершенствования всего учебного процесса [1, 2].

Анализ реализации в системе отечественного образования междисциплинарного подхода как системы интеграции знаний и формирования коммуникативных универсальных учебных действий у обучающихся с задержкой психического развития в контексте внедрения федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) нового поколения.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования были использованы такие методы, как анализ общей и специальной психолого-педагогической литературы по изучаемой проблеме; анализ, систематизация и обобщение опыта сложившейся практики организации и осуществления процесса обучения школьников с задержкой психического развития; педагогический мониторинг.

Междисциплинарный подход дает возможность раскрывать и реализовывать более глубокий уровень взаимодействия между двумя или несколькими учебными дисциплинами, целенаправленно использовать методологию и понятийный аппарат нескольких учебных курсов для изучения центральной темы (проблемы, события) с концентрацией внимания на междисциплинарных связях [3]. Одним из требований к результатам освоения Федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования (ФГОС НОО) является достижение метапредметных результатов, включающих в себя освоение школьниками универсальных учебных действий (познавательных, регулятивных и коммуникативных). Именно они в полной мере способны обеспечить овладение обучающимися межпредметными понятиями и ключевыми компетенциями, составляющими основу умения учиться. Достижение межпредметных результатов затруднительно без реализации междисциплинарного подхода в системе современного образования [4, 5]. Таким образом, использование междисциплинарного подхода как одного из обязательных методических условий организации образовательного процесса, на наш взгляд, может повысить его эффективность, в том числе при решении одной из важнейших задач – формирования у обучающихся универсальных учебных действий (УУД).

Универсальные учебные действия включают в себя широкий спектр различных обобщенных способов действий обучающегося, способствующих его саморазвитию и самосовершенствованию через сознательное присвоение нового социального опыта [6]. От уровня сформированности у обучающегося с задержкой психического развития (ЗПР) универсальных учебных действий зависит способность школьника усваивать новые знания, умения и навыки в соответствии с требованиями Адаптированной основной общеобразовательной программы обучающихся с ЗПР (АООП), участвовать в различных видах самостоятельной деятельности в предметных областях, во внеурочной работе и в системе дополнительного образования.

Коммуникативные универсальные учебные действия (КУУД) являются одним из видов УУД [4, 5]. Под КУУД мы понимаем способность обучающихся начальных классов с ЗПР правильно и последовательно излагать приобретенные знания в различных коммуникативных ситуациях; умение в диалоге выступать как инициатором, так и быть активным его участником; умение последовательно, сообразно ситуации, действовать при общении с взрослыми и сверстниками; владение на элементарном уровне вербальными и невербальными средствами коммуникации, а именно, техникой интонирования, выразительностью и эмоциональностью речевого высказывания.

В работах Д.И. Бойкова, Н.Ю. Боряковой, Т.О. Журавлевой, О.В. Защиринской, С.В. Зориной, Л.В. Кузнецовой, Р.И. Лалаевой, Е.В. Локтевой, Т.С. Матросовой, Е.С. Слепович, Н.В. Серебряковой, Р.Д. Тригер, Е.А. Чернышовой и др. раскрывается специфика коммуникативной сферы детей

с ЗПР. Особый интерес представляют работы О.В. Дроздовой [6], И.А. Коневой и Н.В. Карпушиной [7], Л.Я. Лозован [8], в которых поднимаются вопросы коммуникативного развития данной категории обучающихся. Исследованием вопроса формирования КУУД у обучающихся начальных классов с нормативным развитием занимались Л.Л. Алексеева, О.А. Дроздова, Е.В. Куркина, А.В. Мудрик, В.С. Мухина, И.Е. Сюсюкина, С.Т. Танцоров, И.М. Чередов, М.С. Эльсиева и др. В настоящее время требует глубокого изучения состояние КУУД у обучающихся с ЗПР. В научной и научно-методической литературе нашло широкое отражение описание психолого-педагогических особенностей данной категории детей с ОВЗ, однако недостаточно прослеживается связь между нарушениями когнитивной, речевой и мотивационно-потребностной сфер и уровнем сформированности КУУД у школьников с ЗПР. Особую прикладную значимость представляет разработка технологии формирования КУУД у обучающихся с ЗПР, так как коммуникативные универсальные учебные действия закладываются, развиваются и закрепляются в общении детей с взрослыми и сверстниками в ходе реализации образовательного процесса [9]. С целью оптимизации процесса обучения и воспитания важным представляется повышение эффективности формирования КУУД у школьников с ЗПР через реализацию организационно-педагогических условий, необходимых для успешного освоения и совершенствования коммуникативных действий.

Результаты исследования и их обсуждение

На наш взгляд, КУУД у обучающихся с ЗПР включают в себя следующие структурные компоненты:

– личностно-мотивационный (потребность в общении; наличие устойчивого интереса к общению; выражение чувств, эмоций; умение выразить просьбу, требование, желание и др.);

– когнитивный (уровень осознания и понимания коммуникативной ситуации; понимание намерений, чувств и эмоций партнера, выраженных с помощью вербальных и невербальных средств общения; полнота и верность знаний о нормах и правилах общения и др.);

– деятельностный (умение начать, поддержать и завершить разговор; умение организовать коммуникацию; способность выбрать вид и средство коммуникации; соответствие стиля общения общепринятым нормам и правилам; навыки социального поведения и др.).

Для выявления своеобразия КУУД обучающихся с ЗПР начальных классов в образовательных организациях, осуществляющих обучение школьников по АООП (вариант 7.2) г. Москвы и Московской области, был организован и проведен педагогический мониторинг, в котором приняли участие 52 обучающихся коррекционных и инклюзивных школ. Анализ полученных результатов на начало учебного года позволил выделить следующие особенности КУУД обучающихся начальных классов с ЗПР:

– ограниченное понимание речи педагогов и одноклассников – 7 чел. (13,5 %);

– недостаточное понимание эмоционального состояния другого человека в ходе диалога – 28 чел. (53,8 %);

– затруднения в понимании вопросов и/или в ответах на них из-за ограниченного объема словарного запаса (при этом отмечается, что обучающиеся не всегда переспрашивают, если вопрос или объяснение им непонятны) – 27 чел. (51,9 %);

– малая активность в беседе (вступают в диалог с неохотой, постоянно отвлекаются, не слушают собеседника) – 12 чел. (23,1 %);

– недостаточное использование невербальных средств общения – 3 чел. (5,8 %);

– затруднение в обращении к другому человеку – 8 чел. (15,4 %);

– бедность, односложность ответов на вопросы – 33 чел. (63,5 %);

– недостаточное владение правилами вежливого обращения, речевым этикетом – 29 чел. (55,8 %);

– безразличие к процессу понимания их речи собеседником – 8 чел. (15,4 %);

– коммуникативная активность на уроках ниже, чем при индивидуальной работе с логопедом, дефектологом, педагогом-психологом – 41 чел. (78,8 %);

– низкий уровень активности при необходимости в сотрудничестве, при совместном выполнении учебной задачи (дети с неохотой вступают во взаимодействие, часто принимают как верные, так и неверные варианты решения заданий, предложенные партнером, могут включиться во взаимодействие при активности со стороны партнера по тому или иному виду деятельности) – 13 чел. (25 %);

– низкая способность принятия точки зрения собеседника, чаще – руководство в общении своим собственным мнением – 31 чел. (59,6 %), однако есть школьники, которые высказывают свое мнение редко, даже в тех случаях, когда действия или высказывания собеседника им не нравятся, – 7 чел. (13,5 %).

Полученные результаты выявили необходимость определить условия, необходимые для повышения эффективности работы по формированию КУУД у обучающихся с ЗПР. Определенные нами организационно-педагогические условия представлены в табл. 1.

Реализация междисциплинарного подхода в процессе формирования УУД предполагает знакомство с целостной картиной мира и развитие познавательных интересов школьников, исследовательских и коммуникативных умений [10, 11].

Таблица 1

Организационно-педагогические условия формирования КУУД

Организационно-педагогические условия	Требования к реализации условий
Междисциплинарный подход к формированию КУУД	Организация взаимодействия и сотрудничества специалистов службы психолого-педагогического сопровождения (ППС) с учителями, воспитателями, тьюторами, педагогами системы дополнительного образования. Непрерывность процесса формирования КУУД на протяжении всего периода обучения в начальных классах. Компетентность педагогических кадров и специалистов службы ППС в вопросах использования технологий формирования КУУД. Целенаправленное включение родителей в процесс развития коммуникативных действий. Соблюдение единых требований к речи взрослых. Организация образовательного процесса с использованием интерактивных методов обучения, интегрированных уроков, проектной деятельности и др.
Создание коммуникативно-ориентированной среды	Участие всех специалистов образовательного учреждения, реализующих программу формирования КУУД, в проектировании и создании коммуникативно-ориентированной среды. Включение в урочную и внеурочную деятельность разнообразных практических приемов интенсивной коммуникации. Адаптация методов и приемов развития коммуникации с учетом познавательных и речевых возможностей обучающихся с ЗПР. Обязательный и постоянный контроль речи детей со стороны взрослых. Расширение круга социального общения обучающихся с ЗПР
Реализация индивидуально-дифференцированного подхода в коррекционно-образовательном процессе	Учет при формировании КУУД следующих параметров: – особенностей и уровня сформированности коммуникативных навыков; – особенностей темперамента и типа высшей нервной деятельности; – особенностей характера и личности; – наличия сопутствующих нарушений развития; – социального анамнеза (сиротство, неблагополучная социальная ситуация, билингвизм и др.). Осуществление работы в соответствии со стартовым уровнем сформированности КУУД каждого обучающегося. При необходимости разработка и реализация индивидуальной программы развития КУУД
Организация совместной деятельности обучающегося с взрослыми, обучающегося со школьниками разных возрастных групп, способствующей сглаживанию или преодолению имеющихся коммуникативных трудностей	Реализация принципа последовательности и систематичности предполагает этапность в работе по формированию совместной деятельности обучающихся при развитии КУУД: Этап 1. Формирование КУУД осуществляется в ходе индивидуальной работы на занятиях специалистов (логопеда, дефектолога, педагога-психолога). Этап 2. Автоматизация и закрепление коммуникативных действий осуществляется не только специалистами ППС, но и семьей ребенка с ЗПР. Этап 3. Применение освоенных КУУД организуется в процессе взаимодействия школьников друг с другом под руководством взрослого в микрогруппах и группах. Переход от одного этапа к другому должен осуществляться последовательно

Окончание табл. 1

Организационно-педагогические условия	Требования к реализации условий
Включение коммуникативных ситуаций в различные виды деятельности, характерные для младшего школьного возраста (речевая, учебная, игровая, трудовая, проектная, театрализованная и др.)	Связь речевой практики с игровой, познавательной, практической и другими видами организованной деятельности на уроке и вне его (учебная деятельность, повседневное общение, режимные моменты, практические занятия, игры, поручения, наблюдения с представлением их результатов и др.)
Разнообразие методов и приемов	Различные коммуникативные ситуации естественного общения, специальные упражнения, направленные на обсуждение и решение проблемных ситуаций речевого общения, коммуникативные тренинги, диалогические игры, ИКТ-технологии и др.
Психологическая и эмоциональная комфортность	Яркость, эмоциональность, доброжелательное отношение и интонация общения, атмосфера доверия и поддержки в детском и детско-взрослом коллективе. Создание ситуации успеха для обучающегося в ходе коммуникации. Активизация самостоятельности обучающихся с ЗПР в высказывании своих мыслей и чувств. Подкрепление коммуникативной активности ребенка.

Формирование комплекса коммуникативных универсальных учебных действий у детей с ЗПР осуществляется в процессе освоения всех дисциплин учебного плана АООП НОО обучающимися данной категории с учетом специфики содержания каждого учебного курса. Особое место при решении этих задач занимает междисциплинарный учебный предмет «Окружающий мир». А.А. Плешаков и др. пишут, что «на основе интеграции естественнонаучных, географических, исторических сведений в курсе выстраивается яркая картина действительности, отражающая многообразие природы и культуры, видов человеческой деятельности, стран и народов» [12].

Преподавание окружающего мира обучающимся с ЗПР рекомендуется осуществлять на основе учебно-методического комплекса «Школа России». Авторским коллективом учебно-методического комплекса уже предлагаются задания, которые необходимо выполнить в группе, в паре или с взрослыми, что позволяет педагогу осуществлять работу по формированию КУУД. Например, обучающимся 2-го класса дается задание прочитать в книге «Великан на поляне» рассказ «Разговор в лесу» и разыграть сценку по нему. Третьеклассникам предлагается рассказать с помощью рисунка-схемы, что умеет делать компьютер, а также обсудить значение компьютера в нашей жизни.

На наш взгляд, для формирования КУУД полезным будет использовать материалы рубрики учебника «Обсудим!», которая предлагает обучающимся определенную ситуацию с последующим ее обсуждением всем классом. Например, в 3-м классе предлагается следующая ситуация: «*Вот что один мальчик съел на обед: кашу с сахаром, какао со сладкой булочкой, кусок торта, шоколадку. Хороший у мальчика был обед? Почему? Какие блюда предложите вы?*»

Междисциплинарный подход охватывает несколько дисциплин, комбинирование дисциплин, выбор ведущей дисциплины может быть разнообразным и будет зависеть от изучаемых тем в конкретный временной период и задач, которые ставит перед собой педагог. Сочетание разных учебных предметов позволяет использовать на уроке разнообразные методы и приемы, комбинировать методики этих дисциплин. Так, например, в 4-м классе, при изучении полезных ископаемых («Окружающий мир») рекомендуется включить в структуру урока чтение или прослушивание фрагментов сказки П. Бажова «Серебряное копытце» («Литературное чтение»). Связь с русским языком будет реализовываться через использование материалов таких тем, как «Устаревшие слова», «Фразеологизмы», «Диалог», «Обращение». Выстраивая такой интегрированный урок с охватом трех дисциплин, учитель знакомит школьников с полезными ископаемыми РФ, в том числе с драгоценными и полудрагоценными камнями, их месторождениями, раскрывает

понятие «самоцветы». Из текста литературного произведения дети узнают названия драгоценных и полудрагоценных камней и место их добычи – Уральские горы. Текст сказки построен на диалогах героев, что дает возможность педагогу еще раз поработать над особенностями построения диалогической формы речи. Данная модель изучения материала способствует более успешному формированию КУУД младших школьников с ЗПР.

С учетом выявленных особенностей КУУД детей с ЗПР были разработаны разнообразные приемы педагогической работы для уроков курса «Окружающий мир», основанные на междисциплинарном подходе. В рамках статьи приводятся отдельные приемы, которые были апробированы в экспериментальной работе. Апробация осуществлялась в течение 2021–2022 учебного года, в экспериментальном обучении приняли участие школьники, задействованные в педагогическом мониторинге.

Работа с алгоритмами ответов на вопросы

Данный прием позволяет обучать школьников с ЗПР развернуто и правильно отвечать на вопросы педагога. Рассмотрим это на примере программного материала 4-го класса.

Почему рабочий и колхозница в скульптурной группе Веры Игнатьевны Мухиной держат в руках серп и молот? Свой ответ начни со слов «Рабочий и колхозница в скульптурной группе Веры Игнатьевны Мухиной держат в руках серп и молот, потому что…».

Какие памятники и памятные места Москвы, связанные с войной 1812 года, ты знаешь? Свой ответ начни со слов «Я знаю, что в Москве есть памятные места, связанные с войной 1812 года. Это…».

За что наши предки ценили добрые, умные книги, которые появились на Руси с принятием христианской веры? Свой ответ начни со слов «Наши предки ценили добрые, умные книги, потому что…».

Согласие или опровержение мнения учителя

Этот прием направлен на формирование у школьников с ЗПР развития умения отстаивать свою точку зрения, объяснять и доказывать свою позицию.

«Как вы считаете, почему нельзя употреблять в пищу много конфет, пирожных, булочек, варенья? Я думаю, это связано с тем, что сладостей надо есть поменьше, особенно если имеешь склонность к полноте. В этой пище много углеводов, излишки которых организм превращает в жир и запасает под кожей. Согласитесь или не согласитесь со мной. Докажите свою точку зрения. Начните свой ответ со слов «Да, я согласен с Вами, что сладостей нужно есть поменьше, потому что…» или «Нет, я не согласен с Вами. Сладости можно есть в любом количестве, потому что…».

Оформление заданий, включающих в себя системы «вопрос – алгоритм ответов», может быть представлено в традиционной форме на карточке, доске, а также с помощью информационных компьютерных технологий.

На уроках окружающего мира обучающихся с ЗПР учат самостоятельно составлять вопросы не только к вербальному материалу (предложения, фрагменты текста учебной статьи, аудиозаписи), но и к наглядным средствам обучения (иллюстративный материал учебника, схемы, рисунки, географические карты, слайды учебной презентации и др.).

Типичными для обучающихся с ЗПР являются вопросы, ответ на который требует утверждения, например *«У реки есть начало?», «Москва-река течет в Москве?», «На зеленый свет можно переходить дорогу?»*. На уроках окружающего мира для совершенствования у обучающихся умения составлять вопросы учитель предлагает обратить внимание на те конструкции предложений, которые использовались авторами учебника при составлении этих вопросов. Данное задание педагог дает после знакомства школьников с вопросами учебника и ответов на них, так как этот вид работы предполагает при необходимости использование учебного текста книги, опорных слов, алгоритма ответа.

Анализируя изученный материал, целесообразно задавать учащимся вопросы типа «Какие из предложенных вопросов показались вам наиболее интересными?», «На какие вопросы было тяжело отвечать?» и т.д. Далее педагог предлагает обучающимся попробовать самостоятельно составить вопросы к прочитанному (или просмотренному) материалу в устной или письменной форме. Составленные вопросы задаются одноклассникам.

Варианты использования данного приема могут быть весьма разнообразны. Например, педагог демонстрирует слайд мультимедийной учебной презентации (МУП), на котором размещена таблица (табл. 2) и примерные вопросы («Назови столицу Франции?», «Какая река протекает по территории Франции?», «Кто является главой государства?», «Какими достопримечательностями гордится французский народ?», «Какие сказки французского писателя Шарля Перо ты знаешь?», «Чем знаменит Жак-

Ив Кусто?», «Хотелось бы тебе побывать во Франции? Почему?»).

Обучающиеся отвечают на вопросы об одном из государств, после чего учителем предлагается задание составить (устно) аналогичные вопросы о другом изучаемом государстве. Правильно составленные вопросы школьники задают своим одноклассникам.

Сопоставление вопроса с правильным ответом

Помимо формирования умения самостоятельно составлять и задавать вопрос своим одноклассникам проводится работа по сопоставлению вопроса с правильным ответом, доказательством сделанного выбора. Обучающимся предлагается таблица на слайде МУП, где в первом столбике сформулированы вопросы по теме, а во втором – ответы на них, перепутанные местами (табл. 3). Для детей с ЗПР хорошо дополнить данную таблицу иллюстративным материалом со страниц учебника. Свои ответы школьники могут сравнить с текстом учебника.

Задание может быть усложнено включением заведомо неправильных ответов. Еще одним вариантом работы с таблицей может быть задание, связанное с формулировкой школьниками вопроса к ответу. В качестве помощи некоторым детям может быть предложено первое слово вопроса («Чем...?», «В чем…?», «Какую…?», «Где…?» и т.д.). Данные задания возможно предложить для выполнения в парах, в группах, оно может оцениваться не только педагогом, но и самими обучающимися.

Таблица 2

Пример таблицы для слайда мультимедийной учебной презентации

Страна	Франция	Великобритания
Столица	Париж	Лондон
Река	Сена	Темза
Глава государства	Президент	Королева
Государственный язык	Французский	Английский
Достопримечательности	Собор Парижской богоматери Лувр мост Александра III Эйфелева башня Триумфальная арка	Биг-Бен и британский парламент Букингемский дворец Тауэрский мост Королевские ботанические сады
Знаменитые люди	сказочник Шарль Перо путешественник Жак-Ив Кусто	писатель Джеральд Даррелл писатель Редьярд Киплинг

Таблица 3

Пример задания на сопоставление вопроса с правильным ответом
(тема «Глобус – модель Земли», 2 класс)

Вопросы	Ответы
Что такое глобус?	Северный полюс
Где на глобусе можно найти самую северную точку нашей планеты?	Самая южная точка нашей планеты расположена в нижней части глобуса
Как называется северная точка нашей планеты?	Первые кругосветные путешествия люди совершали на парусных кораблях
Как называется южная точка нашей планеты?	Горизонт – это линия, где небо как будто сходится с землей
Где на глобусе расположена самая южная точка нашей планеты?	В верхней точке глобуса можно найти самую северную точку нашей планеты
Каким цветом на глобусе обозначена суша?	Голубым цветом на глобусе обозначена вода
Что на глобусе обозначено голубым цветом?	Суша на глобусе обозначена желтым, зеленым и коричневым цветом
На чем люди совершали первые кругосветные путешествия?	Южный полюс
Что такое горизонт?	Глобус – это модель Земли

Работа с подстановочными таблицами

Пример подстановочной таблицы раскрывает технологию формирования у обучающихся умения задавать вопросы к тексту учебной статьи, а также помогает лучше понять содержание прочитанного, способствует совершенствованию навыков самостоятельного речевого высказывания с адекватным использованием языковых средств. Количество вопросов в подстановочной таблице и сложность ответов на них должно учитывать особенности познавательного и речевого развития обучающихся с ОВЗ (табл. 4).

Таблица 4

Пример подстановочной таблицы

Вопросы	Ответы
Чем…?	Мужчины занимались рыбной ловлей, охотой, сбором меда
Как…?	Изба древних славян топилась по-черному. У печки не было трубы
Из чего…?	Древние славяне изготавливали лекарства из лекарственных трав
На кого…?	Охотились древние славяне на кабанов, медведей, косуль, зайцев
Какое…?	Для изготовления посуды древние славяне использовали полезное ископаемое – глину

Работа может проходить и без использования подстановочной таблицы. В этом случае школьники записывают в тетради (на листочке) свои вопросы к предложению (абзацу, статье). Затем составленные вопросы проверяются учителем и задаются автором классу.

Приведем примеры вопросов, самостоятельно составленных *обучающимися 4-го класса (вариант АООП 7.2)* к *тексту и иллюстративному материалу учебника по теме «Жизнь древних славян» до проведения коррекционно-педагогической работы (орфография и пунктуация школьников сохранены): «Что ковали кузници?», «Что у них было дома?», «Насили одежду?», «Где живет славяни?», «Вдоме есть домовой?», «У них жили коровы?», «Кто охотились?», «Зачем строят у реки?», «Они катались на лодке?» и др.*

Для организации коммуникативной ситуации на уроке окружающего мира по типу «ученик – ученик» учитель заранее предлагает детям домашнее задание, в ходе выполнения которого обучающиеся читают текст учебника (фрагмент, абзац статьи) и составляют к нему вопросы (устно или письменно).

Отвечать на составленные школьниками вопросы можно и в процессе специально организованных игр. Например, «Лесная почта», «Все ли мы увидели», «Спроси друга», «Знатоки истории» и др. Обучающиеся самостоятельно составляют вопросы (в классе или дома) в соответствии с предложенной учителем темой, записывают их и складывают в конверт (ящик, небольшую коробку). Такие игры могут проводиться как в формате индивидуального соревнования, так и в формате командной борьбы. Командная игра способствует формированию коммуникативных навыков, навыков сотрудничества, воспитанию уважительного отношения друг к другу, умению договариваться, формированию лидерских качеств. Команда или отдельный игрок вытягивают вопрос своих соперников и отвечают на него устно или письменно (в зависимости от правил проведения игры).

Еще один вариант работы по составлению вопросов предполагает наличие иллюстрации (слайда, картины, фотографии). Ситуация, представленная на иллюстрации, является «проблемной». Изображение на картине, с одной стороны, абсурдно, неправдоподобно, неестественно, а с другой – является таковым только на первый взгляд, а при более тщательном рассмотрении вполне жизненно. Например, школьникам предлагается следующая иллюстрация, на которой изображены занятия древних славян с включением, не свойственных тому времени предметов или видов деятельности (обработка земли с использованием трактора, внесение в землю современных удобрений, наличие электрического чайника в избе, разведение страусов и т.д.). При выполнении такого рода упражнений, предполагающих опору на наглядность, педагог предлагает обучающимся рассмотреть иллюстрацию и моделирует ситуацию для обсуждения с помощью вопросов: *Чем занимаются древние славяне? На мой взгляд, древние славяне не удобряли землю, а как считаете вы?* В результате такой работы обучающиеся с ЗПР получают первоначальные навыки учебной коммуникации (обсуждение проблемы, формулировка и высказывание своей точки зрения, умение приводить необходимые доводы для ее подтверждения и др.).

Заключение

Внедрение междисциплинарного подхода в современную систему образования становится необходимостью.

Таблица 5

Результаты мониторинга КУУД в группе младших школьников (52 человека) с ЗПР

Особенности КУУД	До обучения		После обучения	
	чел.	%	чел.	%
Ограниченное понимание речи педагогов и одноклассников	7	13,5	4	7,7
Недостаточное понимание эмоционального состояния собеседника	28	53,8	22	42,3
Затруднения в понимании вопросов и/или в ответах на них из-за ограниченного объема словарного запаса	27	51,9	20	38,5
Малая активность в беседе	12	23,1	7	13,5
Недостаточное использование невербальных средств общения	3	5,8	2	3,8
Затруднение в обращении к другому человеку	8	15,4	5	9,6
Бедность, односложность ответов на вопросы	33	63,5	24	46,2
Недостаточное владение правилами речевого этикета	29	55,8	15	28.8
Безразличие к процессу понимания их речи собеседником	8	15,4	6	11,5
Коммуникативная активность на уроках ниже, чем при индивидуальной работе	41	78,8	36	69,2
Низкий уровень активности при совместном выполнении учебной задачи	13	25	10	19,2
Низкая способность принятия точки зрения собеседника	31	59,6	26	50
Редкое высказывание своего мнения	7	13,5	6	11,5

Междисциплинарное преподавание предполагает активное использование нетрадиционных форм в процессе обучения, что способствует повышению интереса к учебе, развивает мыслительные операции, улучшает коммуникативные навыки обучающихся с ЗПР, формирует умение работать в команде и взаимодействовать друг с другом при решении задач и поиске ответов на вопросы, развивает личные качества школьников. При таком подходе меняется роль педагога в учебном процессе: из транслятора информации он становится партнером и наставником.

Результаты повторного мониторинга, который был проведен после экспериментального обучения, построенного с опорой на предложенные организационно-педагогические условия, выявили положительную динамику в формировании КУУД (табл. 5).

Таким образом, междисциплинарный подход в формировании коммуникативных универсальных учебных действий может способствовать:

– более глубокому пониманию целостной картины окружающего и социального мира обучающимися с ЗПР;

– формированию на более высоком уровне предметных результатов как по учебной дисциплине «Окружающий мир», так и по другим предметам учебного плана;

– более интенсивному и качественному формированию у обучающихся с ЗПР всех компонентов КУУД (личностно-мотивационного, когнитивного, деятельностного).

Список литературы

1. Алиева С.С. Педагогические принципы междисциплинарного образования и диалога // педагогика и психология. 2017. № 24 (21). С. 18–21

2. Кошмина И.В. Межпредметные связи в начальной школе. М.: Владос, 2001. 142 с.

3. Смелова В.Г. Интегративный подход к изучению организма человека в основной школе: учебное пособие. Москва – Берлин: Директ-Медиа, 2020. 456 с.

4. Примерная адаптированная основная общеобразовательная программа начального общего образования обучающихся с задержкой психического развития. М.: Просвещение, 2018. 145 с.

5. ФГОС начального общего образования обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. М.: Просвещение, 2018. 404 с.

6. Дроздова О.А. Развитие коммуникативных универсальных учебных действий младших школьников во внеурочной деятельности. Великий Новгород, 2021. 24 с.

7. Конева И.А., Карпушкина Н.В. Коммуникативные особенности младших школьников с задержанным и нормальным психическим развитием // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2019. Т. 8. № 2 (27). С. 338–341.

8. Лозован Л.Я. Формирование коммуникативных умений младших школьников: монография. Новокузнецк, 2010. 141 с.

9. Тишина Л.А. Технологии коррекционно-развивающей работы на материале учебных текстов в обучении младших школьников с ограниченными возможностями здоровья // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 124–130.

10. Данилова А.М., Шишкова М.И. Возможности интегрирования различных дисциплин в процессе обучения школьников с умственной отсталостью (интеллектуальными нарушениями) // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 87–96.

11. Подвальная Е.В., Шишкова М.И. Развитие коммуникативной функции речи умственно отсталых школьников в учебном диалоге на уроках естествознания // Школьный логопед. 2010. № 2. С. 40–50.

12. Плешаков А.А., Ионова М.А., Кирпичева О.П., Соловьева А.Е. Окружающий мир. Методические рекомендации. 1 класс: пособие для учителей общеобразовательных организаций. 2-е изд. М.: Просвещение, 2014. 143 с.

УДК 37.013:373.2

ФОРМИРОВАНИЕ ЛИДЕРСКИХ КАЧЕСТВ У ДЕТЕЙ СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА СРЕДСТВАМИ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Дубченкова Н.О., Палаткина Г.В.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», Астрахань, e-mail: dubchenkovano@mail.ru, pal9@mail.ru

В данной статье рассмотрено понятие «лидерство», выявлены лидерские качества, характерные для детей старшего дошкольного возраста, определены ведущие средства социально-культурной деятельности, описаны условия, оказывающие влияние в процессе формирования лидерских качеств у старших дошкольников в процессе социально-культурной деятельности. Отмечается, что сегодня, с целью развития лидерских качеств современных детей, в образовательном процессе используется ряд педагогических технологий, что делает социализацию личности ребенка более успешной. Статья повествует о проблеме и условиях формирования лидерских качеств старших дошкольников. Описаны особенности лидерства как группового явления. Обращено внимание на то, что наиболее сензитивным периодом для формирования и развития позитивно направленных лидерских качеств ребенка выступает дошкольный возраст. Особое внимание уделено средствам, раскрывающим основное содержание социально-культурной деятельности, выделены особенности ее организации, а также ряд возможностей, которые позволяют сделать ее более яркой, информационно насыщенной, эмоциональной и запоминающейся. Проведено обобщение нового материала по исследуемой теме, а также введены в научный образовательный оборот средства социально-культурной деятельности, оказывающие влияние на условия успешной реализация процесса формирования выделенных лидерских качеств у детей дошкольного возраста.

Ключевые слова: личность, старший дошкольный возраст, старший дошкольник, лидер, лидерство, лидерские качества, средства социально-культурной деятельности

FORMATION OF LEADERSHIP QUALITIES IN OLDER PRESCHOOL CHILDREN BY MEANS OF SOCIO-CULTURAL ACTIVITIES

Dubchenkova N.O., Palatkina G.V.

Astrakhan State University, Astrakhan, e-mail: dubchenkovano@mail.ru, pal9@mail.ru

This article examines the concept of “leadership”, identifies leadership qualities characteristic of older preschool children, identifies the leading means of socio-cultural activity, describes the conditions that influence the formation of leadership qualities in older preschoolers in the process of socio-cultural activity. It is noted that today, in order to develop the leadership qualities of modern children, a number of pedagogical technologies are used in the educational process, which makes the socialization of the child’s personality more successful. The article tells about the problem and conditions of the formation of leadership qualities of older preschoolers. The features of leadership as a group phenomenon are described. Attention is drawn to the fact that preschool age is the most sensitive period for the formation and development of positively-directed leadership qualities of a child. Special attention is paid to the means that reveal the main content of socio-cultural activity, the features of its organization are highlighted, as well as a number of opportunities that make it more vivid, informative, emotional and memorable. A generalization of new material on the topic under study has been carried out, as well as the means of socio-cultural activities that influence the conditions for the successful implementation of the process of formation of selected leadership qualities in preschool children have been introduced into scientific educational circulation.

Keywords: personality, senior preschool age, senior preschooler, leader, leadership, leadership qualities, means of socio-cultural activity

Преобразования в социально-экономической сфере России определяют новые приоритеты в обществе, формирование неординарных личностей со своей индивидуальностью, способных к взаимодействию в общекультурном пространстве и самоактуализации. В связи с этим современная система образования ориентируется на самоопределение личности, создание условий для формирования и развития инициативного, самостоятельного и ответственного молодого поколения. Эта проблема находит свое отражение в «Концепции Федеральной целевой программы развития образования на 2016–2020 годы», в Федеральном законе «Об образовании в РФ» [1].

Известно, что развивать личностную активность и лидерский потенциал необходимо уже в дошкольном возрасте, так как данный возрастной период является сензитивным для формирования лидерских качеств. Наиболее полно этот процесс происходит в старшем дошкольном возрасте. А.Н. Леонтьев в своих исследованиях отмечал, что в процессе активной деятельности у детей старшего дошкольного возраста происходит формирование адекватной оценки личного успеха, а также устойчивое соотношение мотивов к этой деятельности, что приводит к повышению уровня произвольности и свободы поведения [2].

Проблема изучения феномена лидерства всегда привлекала к себе пристальный интерес и на протяжении уже многих лет находится в центре внимания многочисленных исследователей как отечественных, так и зарубежных – с точки зрения социально-психологической науки. Учеными лидерство рассматривается с различных точек зрения: с точки зрения определения его социальной роли лидера, с точки зрения личностных качеств лидера, конкретных ситуационных компонентов, а также в плане выявления типов лидеров и стилей лидерства.

В психологии лидерство определяется как способность личности доминировать и оказывать влияние в системе межличностных отношений в группе. Педагогика рассматривает лидерство как влияние лидера на других членов группы для решения общих задач. Рассматривая лидерство с точки зрения социологии, ученые трактуют данное понятие как отдельный механизм социальной интеграции личности или как социальный статус отдельных категорий граждан.

Сегодня, с целью развития лидерских качеств современных детей, мы стараемся обеспечить успешную социализацию, используя целый спектр педагогических технологий в образовательном процессе [3]. Именно цифровые технологии вызывают наибольший интерес, а также являются более удобными в современном образовательном процессе.

Анализ исследований, посвященных данной проблеме, позволил выделить следующие лидерские качества: инициативность, ответственность, самостоятельность, организаторские способности, упорство в достижении цели, умение привлечь и заинтересовать сверстников, готовность быть первым во всем, умение устанавливать правила и др. Общение выступает одним из главных условий развития лидерских качеств у подрастающего поколения. Именно в процессе общения появляется возможность установить эмоциональный контакт как между сверстниками, так и с взрослыми, в результате которого ребенок усваивает необходимые для жизни правила поведения в социуме [4].

Ключевым компонентом развивающего социально-педагогического пространства, которое отвечает за формирование лидерских качества у современных детей, является разноплановая содержательная деятельность, в которую включен ребенок.

Целью исследования является выявление особенностей развития лидерских качеств современных детей дошкольного возраста средствами социально-культурной деятельности.

Согласно поставленной цели в ходе нашего исследования были применены следующие методы изучения феномена лидерства: интерпретативный, структурно-функциональный и компаративистский.

Применяя интерпретативный метод, мы провели анализ научно-методической литературы и рассмотрели труды учёных по вопросам успешной самореализации личности детей дошкольного возраста и формирование у них активной жизненной позиции посредством социально-культурной деятельности, выделены основные особенности развития лидерских качеств детей в социально-культурной среде [5].

Структурный метод был реализован в процессе изучения социально-культурной деятельности, особенностей реализации образовательного процесса в рамках социально-культурной среды как одного из метода развития лидерских качеств современных детей дошкольного возраста.

Необходимость применения компаративистского метода обусловлена проведением сравнительного анализа положительных и отрицательных аспектов применения современных средств социально-культурной деятельности в процессе становления лидерских качеств старших дошкольников в период современной трансформации и цифровизации общества.

Проблему изучения феномена лидерства, формирования лидерских качеств личности, в том числе у старших дошкольников, рассматривали в своих трудах ряд отечественных и зарубежных ученых: Е.А. Аркин, Г.К. Ашин, К. Берд, Е. Богардус, И.В. Волков, Л. Картери, Л.И. Кривченко, Е.С. Кузьмин, И.Р. Колтунова, Б.П. Парыгин, Л.И. Уманский и др. Исследователи убеждены, что активное участие личности в деятельности, способность получить и овладеть необходимыми знаниями и умениями, стремление к саморазвитию способствует формированию личностных качеств, включая лидерские [6].

Учеными признается значимость развития лидерских качеств у детей уже с дошкольного возраста, в то же время возникает проблема выбора конкретных способов, а также средств их становления, которые отражаются лишь в отдельно взятых современных исследованиях ведущих педагогов.

Современная образовательная практика в дошкольной организации показывает, что наметились явные противоречия:

– между возникающей необходимостью развития ряда лидерских качеств у старших дошкольников и неполной разработанностью данной проблемы в теории и практике дошкольной педагогики;

– между потребностью в формировании лидерских качеств у дошкольников, проявляющихся в разнообразных формах самореализации и недостаточностью использования форм и средств социально-культурной деятельности в дошкольной практике.

Данные противоречия побуждают к развитию социально-культурной среды, включение дошкольников в различные формы социально-культурной деятельности и использование соответствующих средств (инструментов), обеспечивающих развитие лидерских качеств у старших дошкольников.

Понятию лидерства посвящены многочисленные теоретические и эмпирические исследования в области психологии, педагогики, социологии и ряда других наук.

В психологии понятие «лидерство» (от англ. leader – ведущий, идущий впереди) определяется как способность личности доминировать и оказывать влияние в системе межличностных отношений в группе [7]. Педагогика рассматривает понятие «лидерство» как влияние лидера на других членов группы для решения общих задач. В социологии лидерство трактуется в двух концепциях: как ведущее социальное положение отдельно взятых личностей в классе, партии, государстве; как ведущий механизм социальной глобализации и интеграции воздействия в сфере управления.

Развивать личностную активность и лидерский потенциал необходимо уже в детском возрасте, так как данный возрастной период является сензитивным для формирования лидерских качеств. Наиболее полно это происходит в старшем дошкольном возрасте. В процессе социальной деятельности у современных детей формируется соотношение мотивов деятельности, а также возникает адекватная оценка успеха, что приводит к повышению уровня произвольности и свободы поведения. Активное участие личности в деятельности, способность получить и овладеть необходимыми знаниями и умениями, стремление к саморазвитию способствует формированию личностных качеств, включая лидерские.

Под лидерскими качествами мы понимаем совокупность интегральных свойств личности, способной взаимодействовать с малой группой, работать с информацией, координировать деятельность других, организовывать и вести за собой, достигать общегрупповых целей и задач [8].

Изучив исследования ряда ученых (Г.К. Ашин, И.В. Волков, Е.С. Кузьмин, Б.П. Парыгин, Л.И. Уманский и др.), мы выделили лидерские качества, присущие детям дошкольного возраста. К ним относятся: инициативность, ответственность, самостоятельность, организаторские способности, упорство в достижении цели, умение вести сверстников за собой, за своей идеей, готовность быть первым во всем, умение устанавливать правила и др. [9].

Лидерские качества дошкольников формируются и развиваются в разных видах деятельности: игровой, познавательно-исследовательской, коммуникативной, продуктивной, трудовой, музыкально-художественной, двигательной. Деятельность детей является гарантом формирования лидерских качеств.

Дошкольное образование сегодня рассматривается с позиций социокультурного подхода. Так, эффективным видом деятельности в дошкольной образовательной организации выступает социально-культурная.

Социально-культурная деятельность – целенаправленный процесс, основной задачей которого выступает создание оптимальных условий для всестороннего развития, самоутверждения, самореализации и самоорганизации конкретной личности или группы в целом.

Воспитание ребенка средствами социально-культурной деятельности – первенствующие задачи социализации, которая обеспечивает культурное развитие личностных качеств дошкольника, его саморазвитие и самоопределение [10]. В связи с этим организация социально-культурной деятельности в дошкольных образовательных организациях является важным условием эффективности процесса становления лидерских качеств у старших дошкольников.

Необходимо отметить, что для старших дошкольников общение со сверстниками или педагогом является одним из главных условий, оказывающих влияние на развитие именно таких качеств, как лидерские. Ведь именно в процессе общения появляется возможность установить эмоциональный контакт между ребенком и взрослым, между сверстниками, при котором ребенок усваивает конкретные правила поведения.

Социально-культурная деятельность осуществляется при помощи определенных средств. Средства дают возможность организовать социально-культурную деятельность дошкольников, раскрыть ее содержание, наполнить ее информацией, эмоциями, яркими впечатлениями.

Для становления и развития лидерских качеств у старших дошкольников главным условием выступает создание таких ситуаций, при которых ребенок может перенять основы лидерского поведения от окружающих его людей. Примером таких ситуаций могут быть дидактические или театрализованные игры, сюжетно-ролевые игры

или игры-драматизации, различного рода соревнования или просто наблюдения за деятельность или поведением взрослых.

По мнению Т.Д. Киселевой и Ю.Д. Красильникова, средства социально-культурной деятельности решают задачи по созданию необходимых условий для отдыха, творчества и просвещения [11]. Они выделяют основными средствами средства массовой информации и коммуникации.

В.А. Монастырский рассматривает педагогические средства социально-культурной деятельности как «инструменты», оказывающие эмоциональное воздействие [11].

М.А. Ариарский определяет средства социально-культурной деятельности не только как источник создания наиболее благоприятной социально-культурной среды, оказание эмоционально-идейного влияния на подсознание, чувства и поведение детей, включение детей-лидеров в культурный мир, посредством освоения, а после создания, сохранения и распространения ряда выделенных культурных ценностей, но и как духовно-нравственные и моральные, в частности и материальные, виды деятельности [12]. К таким средствам ученый относит общение, игру, развлечения, самодеятельность.

Существует несколько подходов к классификации средств социально-культурной деятельности в дошкольном образовании, в зависимости от того, что было заложено в основу этой классификации. В соответствии с условиями дошкольного образования педагогические средства социально-культурной деятельности делятся на средства воспитания, организаторские и технические средства, наглядные и технические средства, литературу, художественную самодеятельность, искусство и спорт, а также средства СМИ (печатные издания, телевидение, радио, интернет-ресурсы).

П.И. Пидкасистый дает следующую классификацию: *знаковые средства духовно-нравственной культуры* (которые обеспечивают не только сохранность информации, но и ее циркуляцию), *средства внешней и внутренней коммуникации* (выступают основой для ориентации в социально-культурном обществе, дают объяснение причинно-следственным связям, возникающим в природе и обществе), *средства эмоционально-интеллектуальной деятельности* (оказывают влияние на воспитание ряда навыков, конкретных привычек, установок и убеждений, а также всецелое личностное развитие дошкольников) [13].

В.В. Туев дает следующую классификацию педагогических средств социально-культурной деятельности для развития лидерских качеств старших дошкольников: печатные (к ним относится популярная, художественная, научная, а также политическая литература), устные (к ним относится постановка сценической речи, а также живое слово), технические (включающие компьютерную технику, средства аудио- и видеовизуализации), наглядные (представленные уникальными фото, плакатами, афишами, в отдельном случае экспонатами), комплексные (к ним относятся культурно-массовые мероприятия, различного вида игры и развлечения, а также общение как отдельный вид деятельности), художественные (включающие декоративно-прикладное искусство, художественно-изобразительное искусство, а также театральное, музыкальное (хоровое) искусство) [14].

Условия выбора средств социально-культурной деятельности будут влиять на определение перечисленных далее условий для успешной реализации процесса выявления и развития лидерских качеств старших дошкольников:

1. Осознанное взаимодействие конкретной образовательной организации с родителями дошкольника, выражающееся в процессе деятельности, обеспечивающей целостность процесса становления лидерских качеств детей.

2. Совершенствование социально-культурной среды дошкольной образовательной организации как пространства для самореализации и самоопределения детей старшего дошкольного возраста.

3. Включение дошкольников в различные виды деятельности, являющиеся ведущими в дошкольном образовании.

4. Использование средств социально-культурной деятельности в процессе вырабатывания лидерских качеств у старших дошкольников.

5. Педагогическое сопровождение, обеспечивающее психолого-педагогическую помощь и поддержку дошкольников в процессе формирования лидерских качеств и личности в целом [15].

Перечисленные условия указывают на необходимость обращения серьезного внимания воспитателя на ребенка, создание ситуации для возможности проявления им собственной активности, а также формирования его качеств, присущих лидеру. Нами было выявлено, что необходимо оказывать помощь старшим дошкольникам в достижении наивысшего уровня социально-культурной зрелости, которая определяет их потребность в развитии в себе необходимых лидерских качества, а также сформировать у них активную жизненную позицию, а также эффективно использовать свои воз-

можности в процессе социально-культурной деятельности.

Активная детская деятельность выступает необходимым условием для фиксации у детей следующих лидерских качеств: ответственности, настойчивости, организаторских способностей, успешной познавательной деятельности, стремления везде и во всем быть первым, умения договариваться и устанавливать свои правила в конкретной игре. Проведя анализ, мы выделили характерные черты, присущие ребенку-лидеру, ими выступили такие качества, как активность и любознательность, самостоятельность и подвижность, уверенность и решительность, эмоциональность и смелость в процессе социально-культурной деятельности.

Лидер в эпоху цифровых технологий должен обладать хорошими коммуникативными навыками, четкими, прямыми и эффективными [15]. В детском возрасте приобрести данные навыки помогает игра, которая в свою очередь выступает основным условием использования цифровых технологий в процессе развития лидерских качеств современных детей. С возникновением компьютерной игры в жизни ребенка появляется возможность подготовить его к жизни в информационном веке, что может оказать позитивное воздействие на умственное развитие и развитие основных лидерских качеств, таких как инициативность, любознательность, настойчивость, трудолюбие и ответственность.

Сегодня информационные компьютерные технологии можно считать тем новым способом передачи знаний, который соответствует качественно новому содержанию воспитания и обучения, а также развития лидерских качеств ребенка, повышающим эффективность организации образовательного процесса.

Проведенное теоретическое исследование по проблеме формирования лидерских качеств у детей старшего дошкольного возраста средствами социально-культурной деятельности позволяет сделать вывод о том, что данный вопрос является своевременным, так как в период дошкольного детства происходит становление личностных качеств ребенка и его личности в целом. Именно в старшем дошкольном возрасте наиболее актуально формировать лидерские качества, поскольку в этом возрасте усваиваются правила и нормы общения, интенсивно развиваются социальные и нравственные чувства, сочетаются процессы самосознания с самопознанием, демонстрируются достоинства и их доказательство. Последующая учебная деятельность также будет зависеть от степени формирования лидерских качеств.

Список литературы

1. Акмурзиева Г.Б., Дубченкова Н.О. Социально-культурная активность как основа формирования лидерских качеств // Педагогическое образование: вызовы XXI века: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти академика В.А. Сластенина / Под ред. Е.В. Андриенко, Л.П. Жуйковой. Астрахань, 2019. С. 172–179.

2. Рябова Е.В., Черевкова Т.М., Сундетова Д.Г., Лосева Ю.Н., Курманова А.Р. Формирование коммуникативных способностей у детей старшего дошкольного возраста на национальных традициях // Гуманитарные исследования. 2015. № 3 (55). С. 128–132.

3. Bondarchuk O.Yu. Psychological technology of working with shy preschoolers. Colloquium-journal. 2021. No. 6–2 (93). P. 10–12. DOI: 10.24412/2520-6990-2021-693-10-12.

4. Дубченкова Н.О. Развитие лидерских качеств у старших дошкольников как условие социализации // Педагогическая наука и образование в диалоге со временем: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В.А. Пятина / Ред.-сост. И.А. Романовская. Астрахань, 2020. С. 140–143.

5. Волков В.И. Культурно-досуговая деятельность: перспективы развития и проблемы регулирования: учебное пособие. М.: Изд-во «Перо», 2008. 178 с.

6. Киселева Т.Г., Красильников Ю.Д. Основы социально-культурной деятельности: учебник. М.: МГИК, 2015. 219 с.

7. Ариарский М.А. Социально-культурная деятельность как предмет научного осмысления. СПб.: Арт-студия «Концерт», 2008. 792 с.

8. Лауткина С.В., Селезнева И.Н. Взаимосвязь характеристик общения, самооценки и межличностного статуса у детей дошкольного возраста // Ярославский педагогический вестник. 2021. № 2 (119). С. 96–103. DOI: 10.20323/1813-145X-2021-2-119-96-103.

9. Палаткина Г.В. Мультикультурное образование: равные возможности и равные права // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2015. № 2 (97). С. 32–36.

10. Юрченко И.В. Психологическое сопровождение адаптации детей к условиям дошкольного образовательного учреждения путем вовлечения в процесс детей старшего возраста, имеющих проблемы эмоционально-волевого развития // Девятнадцатые Чередовские чтения: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Омск, 20 мая 2021 года). Омск: ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», 2021. С. 197–202.

11. Туев В.В. Социально-культурная деятельность в таблицах и схемах: учебное пособие для студентов специальности 053100 «Социально-культурная деятельность» / Сост. В.В. Туев; КемГУКИ, АлтГАКИ. Барнаул: Изд-во АлтГАКИ, 2006. 87 с.

12. C. Kane. Gerald, Digital Transformation' Is a Misnomer. It's not about digital or transfor-mation. It's about adaptation. Sloanreview.mit.edu. [Электронный ресурс]. URL:http://sloanreview.mit.edu/article/digital-transformation-is-a-misnomer/?utm_source. (дата обращения: 12.01.2022).

13. Друмя Ю.А., Плетенева И.Ф. Диагностика уровня сформированности у старших дошкольников представлений о целостном образе лидера // Евразийский союз ученых. 2015. № 4–5 (13). С. 129–131.

14. Likert R., Likert Ja.G. A Method for Coping with Conflict in Problem-Solving Groups. Group & Organization Management. 1978. Vol. 3. No 4. P. 427–434. DOI: 10.1177/105960117800300406.

15. Рогина Е.А. Система дополнительного образования в ДОУ как одна из форм формирования успешной личности дошкольника // Актуальные проблемы образования: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции (Саранск, 15–16 апреля 2021 года). Саранск: Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева, 2021. С. 70.

УДК 37.01:374.32:796.8:796.011.1

УРОВЕНЬ СФОРМИРОВАННОСТИ ДУХОВНО-НРАВСТВЕННЫХ КАЧЕСТВ СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СМЕШАННЫМ БОЕВЫМ ЕДИНОБОРСТВОМ

[1]Емельяненко Ф.В., [1,2]Кондаков В.Л., [1]Кормакова В.Н., [1]Балышева Н.В.

[1]ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: kondakov@bsu.edu.ru;

[2]ФГКОУ ВО «Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина», Белгород

Цель исследования – выявить уровень сформированности духовно-нравственных качеств личности спортсменов смешанного боевого единоборства (СБЕ). Исследование проходило на базе МАУ «Спортивная школа олимпийского резерва имени Александра Невского» (Российская Федерация, Белгородская область, г. Старый Оскол). В констатирующем эксперименте приняли участие 50 человек (48 юношей и 2 девушки) в возрасте 10–16 лет. Методы исследования: теоретический анализ и обобщение научных источников и литературы; эмпирические методы; констатирующий эксперимент; методы математической статистики. Экспериментальным путем установлен уровень сформированности духовно-нравственных качеств личности спортсменов СБЕ. По результатам проведенного эксперимента можно заключить, что уровень сформированности духовно-нравственных качеств у большинства участников исследования, спортсменов СБЕ, находится на низком уровне; определены основные направления и ценностные основы духовно-нравственного развития и воспитания, которые необходимо интегрировать в систему подготовки спортсменов СБЕ. Наше исследование доказало возможность определить уровень сформированности духовно-нравственных качеств личности спортсменов СБЕ 10–16 лет с помощью использованных методик. Полученные нами результаты исследования доказали, что в настоящее время в системе подготовки в СБЕ работа по духовно-нравственному воспитанию проводится бессистемно и эпизодически. Данное обстоятельство указывает на целесообразность: во-первых, включить в программу подготовки бакалавров по направлению 49.03.01 «Физическая культура» в дисциплину «Педагогика физической культуры» тему «Духовно-нравственное воспитание спортсменов»; во-вторых, предусмотреть в дополнительных профессиональных программах повышения квалификации и переподготовки «Физическая культура и спорт» углубленное изучение методики организации и алгоритма реализации программы воспитания духовно-нравственных качеств личности спортсменов; в-третьих, дать научное обоснование и разработать методику организации такой работы в системе подготовки СБЕ, при этом содержание духовно-нравственного развития и воспитания, на наш взгляд, должно опираться на базовые национальные ценности.

Ключевые слова: духовность, нравственность, духовно-нравственное воспитание, молодежь, спортсмены, смешанное боевое единоборство (СБЕ)

THE LEVEL OF FORMATION OF SPIRITUAL AND MORAL QUALITIES OF ATHLETES ENGAGED IN MIXED MARTIAL ARTS

[1]Emelyanenko F.V., [1, 2]Kondakov V.L., [1]Kormakova V.N., [1]Balysheva N.V.

[1]Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: kondakov@bsu.edu.ru;

[2]Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after I.D. Putilin, Belgorod

The purpose of the study: to identify the level of formation of spiritual and moral qualities of the personality of athletes of mixed martial arts (MMA). The study was conducted on the basis of the "Alexander Nevsky Olympic Reserve Sports School" (Russian Federation, Belgorod region, Stary Oskol). The ascertaining experiment involved 50 people (48 boys and 2 girls) aged 10–16 years. Research methods: theoretical analysis and generalization of scientific sources and literature; empirical methods; ascertaining experiment; methods of mathematical statistics. Experimentally, the level of formation of the spiritual and moral qualities of the personality of the athletes of the SBE was established. Based on the results of the experiment, we can conclude: that the level of formation of spiritual and moral qualities in the majority of the study participants, athletes of the MMA, is at a low level; the main directions and value bases of spiritual and moral development and education that need to be integrated with the system in the training of athletes of the MMA are determined. Our research has proved the possibility to determine the level of formation of the spiritual and moral qualities of the personality of athletes aged 10–16 years with the help of the methods used. The research results we have obtained have proved that currently, in the training system at the SBU, work on spiritual and moral education is carried out haphazardly and episodically. This circumstance indicates the expediency: firstly, to include in the bachelor's degree program in the direction of 49.03.01 "Physical culture" in the discipline "Pedagogy of physical culture" the topic "Spiritual and moral education of athletes"; secondly, to provide in additional professional training and retraining programs "Physical Culture and Sport" an in-depth study of the methodology of organization and algorithm of implementation of the program of education of spiritual and moral qualities of athletes; thirdly, to give a scientific justification and develop a methodology for organizing such work in the training system of the MMA, while the content of spiritual and moral development and education, in our opinion, should be based on basic national values.

Keywords: spirituality, morality, spiritual and moral education, youth, athletes, mixed martial arts (MMA)

Одной из приоритетных государственных задач Российской Федерации в настоящее время является духовно-нравственное воспитание обучающейся молодежи. Духовно-нравственное воспитание призвано помочь молодым людям понять себя, найти свою социокультурную нишу, проектировать жизненные стратегии. В государственных нормативно-правовых документах и сферах деятельности, направленных на формирование гражданской идентичности и самоидентичности, духовно-нравственных ценностей российской молодежи, сформулирован запрос на формирование личности, владеющей нравственно-этическими нормами, готовой нести ответственность за судьбу своей страны. Важнейшими источниками нравственности являются образование, наука, искусство, религия, семья, труд, природа, национальные и региональные культурные традиции, нравственные идеалы и нормы.

Образованию сегодня отводится важная роль в духовно-нравственной консолидации российского общества, его сплочении перед лицом внешних и внутренних негативных факторов, включая бездуховность, эгоизм и потребительское отношение к жизни некоторой части молодежи. Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации» предусматривает единство обучения и воспитания как сфер деятельности, направленных на духовно-нравственное развитие личности, создание условий для самоопределения и социализации обучающихся на основе социокультурных, духовно-нравственных ценностей и принятых в обществе правил, норм поведения в интересах человека, семьи, общества и государства.

Таким образом, перед современным российским образованием стоит задача – способствовать овладению обучающейся молодежью компетенциями развития и саморазвития личности, основу которых составляют жизненные, социальные, семейные и духовно-нравственные ценности. Система духовно-нравственного воспитания и развития молодежи призвана объединить все эти факторы в целях грамотного педагогического сопровождения образовательной деятельности молодых людей.

Цель исследования – выявить уровень сформированности духовно-нравственных качеств личности спортсменов СБЕ.

Материалы и методы исследования

Исследование проходило на базе МАУ «Спортивная школа олимпийского резерва имени Александра Невского» (Российская Федерация, Белгородская область, г. Старый Оскол). В констатирующем эксперименте приняли участие 50 чел. (48 юношей и 2 девушки) в возрасте 10–16 лет. Методы исследования: теоретический анализ и обобщение научных источников и литературы; эмпирические методы; констатирующий эксперимент; методы математической статистики.

В качестве основных диагностических методик были использованы: «Диагностика нравственной самооценки» (Л.Н. Колмогорцева), направленная на выявление уровня нравственной самооценки: высокого, среднего или низкого; методика «Исследование терпимости», направлена на изучение уровня выраженности терпимости человека; методика «Шкала совестливости» (В.В. Мельников, Л.Т. Ямпольский), предназначена для измерения степени уважения к социальным нормам и этическим требованиям; методика «Личностная агрессивность и конфликтность» (Е.П. Ильин, П.А. Ковалев), позволяет определить позитивную агрессивность, негативную агрессивность как обобщенный показатель конфликтности.

Результаты исследования и их обсуждение

Проблема духовно-нравственного воспитания и развития личности в настоящее время вызывает особый интерес и широко представлена в современной психолого-педагогической науке. Результаты проведенных исследований представлены в трудах ученых Д.А. Бобкова [1], Н.Н. Гатиловой [2], М.А. Бондаренко [3], А.Б. Купрейченко и А.Е. Воробьевой [4] и др. Нравственность неразрывно связана с осознанием жизненных, социальных и личностных ценностей, нетерпимости к действиям и влияниям, представляющим угрозу жизни человека, его физическому и нравственному здоровью, духовной безопасности личности, умением им противостоять. Потребность творить, любовь к Отечеству – важнейшие свойства и качества каждого гражданина, который прилагает усилия для успешного процветания страны.

В Концепции духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина России дефиниции «духовно-нравственное развитие личности» и «духовно-нравственное воспитание личности» представлены следующим образом: духовно-нравственное развитие личности – осуществляемое в процессе социализации последовательное расширение и укрепление ценностно-смысловой сферы личности, формирование способности человека оценивать и сознательно выстраивать на основе традиционных моральных норм и нравственных идеалов отношение к себе, другим людям, обществу, государству, Отечеству,

миру в целом; «духовно-нравственное воспитание личности гражданина России – педагогически организованный процесс усвоения и принятия обучающимся базовых национальных ценностей, имеющих иерархическую структуру и сложную организацию. Носителями этих ценностей являются: многонациональный народ Российской Федерации, государство, семья, культурно-территориальные сообщества, традиционные российские религиозные объединения (христианские, прежде всего в форме русского православия, исламские, иудаистские, буддистские), мировое сообщество» [5].

Вслед за З.К. Исмаиловой с соавт. (2015) считаем, что «воспитание – это педагогически организованный процесс, в основе которого лежит внешнее воздействие, в то время как развитие – это, прежде всего, объективный процесс и результат внутренних последовательных количественных и качественных изменений физических и духовных сил человека» [6].

Духовно-нравственное воспитание личности является сложным многоплановым процессом, который неотделим от содержания жизни человека во всей своей полноте и противоречивости, от семьи, общества, культуры, человечества в целом, от страны проживания и культурно-исторической эпохи, формирующей образ жизни народов и сознание каждого конкретного человека [7].

Духовно-нравственное воспитание гражданина России является также одним из ключевых условий инновационного развития страны. Характер экономического и духовно-нравственного развития российского общества находится в прямой зависимости от стратегических национальных интересов и гражданской позиции каждого гражданина независимо от его социального и профессионального статуса; от мотивационной сферы, приоритетов, нравственных убеждений, пропагандируемых духовных ценностей. Важно обратить внимание: важнейшим условием дальнейшего развития и расцвета современной России является формирование «гармонично развитой общественно активной личности, сочетающей в себе духовное богатство, моральную чистоту и физическое совершенство» [8].

Однако приходится констатировать, что, несмотря на установленные российским законодательством жизненные ценности и приоритеты, у некоторых российских граждан пока не сложилась четко выраженная система ценностных ориентиров, способствующих объединению россиян в единую историко-культурную и социальную общность. Это противоречит вековой истории России, у народов которой в непрерывных испытаниях на протяжении тысячелетия формировался и укреплялся духовный стержень, основанный на справедливости, добродетели, жертвенности, взаимопомощи, коллективизме, стойкости, выносливости, культе семьи, преданности Родине.

В настоящее время под влиянием различных факторов: средств массовой информации, ресурсов глобальной сети Интернет, современной киноиндустрии и др. – «навязываются» чуждые российскому обществу либеральные ценности вседозволенности; пропагандируются жестокость, насилие, сексуальная распущенность, алкоголь, девиантное поведение и другие виды духовно-нравственного растления. В связи с этим происходит утрата многих общечеловеческих ценностей, падение общего уровня культуры, моральная деградация определенной части российского общества. Особенно пагубно пропаганда либеральных ценностей отражается на духовно-нравственном облике молодежи, среди которой распространение приобретают гражданская и общественная пассивность, эгоизм, безответственность, иждивенческие настроения, девальвация понятий долга, чести, совести, служения Отечеству [9].

«В целях осуществления прорывного развития Российской Федерации, а также для раскрытия таланта каждого человека» Указом Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» В.В. Путин постановил «определить национальными целями развития РФ на период до 2030 года: сохранение населения, здоровья и благополучия людей; возможности для самореализации и развития талантов; комфортную и безопасную среду для жизни...». В данном документе одним из целевых показателей, характеризующих достижение национальных целей к 2030 г., в рамках национальной цели «Сохранение населения, здоровье и благополучие людей», обозначено «увеличение доли граждан, систематически занимающихся физической культурой и спортом, до 70 процентов». Известно, что на формирование духовно-нравственных черт характера молодежи, прежде всего подростков, огромное влияние оказывают занятия спортом [10, 11]. Однако следует отметить, что занятия спортом не всегда идут во благо занимающимся. Часто подростки-спортсмены попадают под влияние различных неформальных молодежных групп и движений [12, 13]. На их нравственный облик в значительной степени влияет далекое от совершенства информационное пространство, что грозит потерей идентичности, моральной несостоятельности личности [14, 15].

В последние годы в различных странах мира прослеживается тенденция универсализации спортивных единоборств. Одним из таких новых видов спорта в России являются смешанные боевые единоборства (СБЕ), более известные за рубежом, как ММА. Правилами соревнований в СБЕ разрешается применение всего многообразного арсенала спортивных приемов и действий: как ударных (бокс, каратэ, тхэквондо и др.) и бросковых (вольная и греко-римская борьба, самбо и др.), так и болевых (самбо, джиу-джитсу, дзюдо и др.). СБЕ представляют собой не только совокупность теоретической, технической, тактической, физической и психической подготовленности спортсмена, но также воплощают в себе широкий спектр духовно-нравственных качеств, интеллектуальных способностей, которые детерминируют идеалы гуманизма [14]. В этом относительно молодом для нашей страны виде спорта пока только идет формирование нравственного кодекса, ритуалов и духовных традиций.

Как отмечают В.М. Воронов с соавт. (2015), в настоящее время необходимо акцентировать внимание на том факте, что духовно-нравственное воспитание спортсменов, специализирующихся в СБЕ, составляет основу их нравственного поведения, в основе которого, в свою очередь, лежат не сами поступки, а глубинные побудительные мотивы, которые управляют этими поступками [15]. Воспитание духовно-нравственных качеств в системе подготовки СБЕ – это целостный процесс развития личности, основанный на усвоении духовно-нравственных знаний, навыков духовно-нравственного взаимодействия, духовно-нравственной саморегуляции и самореализации с учетом психолого-педагогических условий и факторов [16]. В качестве основных детерминант гуманистического начала СБЕ следует рассматривать в данном аспекте понятия «духовность», «нравственность», «спорт», поскольку содержание спортивной деятельности представляет собой слагаемые компонентов спортивной тренировки и духовно-нравственных качеств личности спортсмена, реализующих идеалы гуманизма [17, 18]. В то же время необходимо обратить особое внимание на духовно-нравственное развитие личности спортсмена в системе подготовки в СБЕ. К сожалению, в настоящее время эта работа проводится бессистемно, эпизодически. [16, 17].

В связи с усилением проявлений активности радикальных националистических группировок (это особенно заметно в последнее десятилетие на Украине, в Прибалтике, Республике Беларусь и Казахстане), под воздействием которых существенно меняется процесс формирования ценностных ориентаций молодежи, в том числе в спортивной сфере, остро назрела необходимость принятия серьезных мер, направленных на решение данной проблемы на постсоветском пространстве.

Практический опыт образовательной деятельности свидетельствует, что необходимо комплексное научно-методическое обоснование организации воспитания духовно-нравственных качеств личности спортсменов в рамках тренировочного процесса в СБЕ.

Анализ результатов, полученных с помощью диагностики по методике «Диагностика нравственной самооценки», позволил выявить, что недостаточный уровень (низкий и ниже среднего) самооценки нравственных качеств отмечался у 14% и 53% занимающихся, тогда как средний уровень показали 26% спортсменов, а высокий уровень наблюдался лишь у 7% единоборцев.

Тест на определение терпимости, уважения к чужому мнению и толерантности показал, что для 61% занимающихся СБЕ характерен средний уровень терпимости. Таких спортсменов можно охарактеризовать как имеющих способность твердо отстаивать свои убеждения, но в других условиях, при необходимости, они могут изменять свои убеждения. В то же время данная группа спортсменов способна на излишнюю резкость, неуважительное отношение к собеседнику, и в таких ситуациях могут выиграть спор у собеседника, имеющего слабый характер. Не в полной мере умеют отстаивать свою точку зрения, не умеют выдвигать убедительные аргументы.

Данные, полученные при помощи методики «Шкала совестливости», показали степень уважения к социальным нормам и этическим требованиям. Так, уровень совестливости «ниже среднего» обнаружен у 46% спортсменов, средний уровень у 36%, и только у 9% показатели совестливости находятся на уровне «выше среднего».

С помощью методики «Личностная агрессивность и конфликтность» (Е.П. Ильин, П.А. Ковалев) был определен уровень позитивной агрессивности (по шкалам «наступательность (напористость)», «неуступчивость»): у 10% занимающихся СБЕ – средний уровень и у 90% уровень «ниже среднего», негативной агрессивности (по шкалам «нетерпимость к мнению других», «мстительность») – 100% спортсменов имеют высокий уровень негативной агрессии; обобщенный показатель конфликтности (по шкалам «бескомпромиссность», «вспыльчивость», «обидчивость», «подозрительность»): для

56% спортсменов характерен «средний уровень» конфликтности и для 44% уровень «выше среднего».

По результатам проведенного эксперимента можно заключить, что уровень сформированности духовно-нравственных качеств у большинства участников исследования спортсменов СБЕ находится на низком уровне.

Заключение

На основании проведенного теоретического и эмпирического исследования, обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что перед тренерами-преподавателями стоит проблема воспитания и развития духовно-нравственных качеств личности спортсменов, в том числе занимающихся различными видами единоборств. Наше исследование доказало возможность определить уровень сформированности духовно-нравственных качеств личности спортсменов СБЕ 10–16 лет с помощью использованных методик. Полученные нами результаты исследования доказали, что в настоящее время в системе подготовки в СБЕ работа по духовно-нравственному воспитанию проводится бессистемно и эпизодически.

Данное обстоятельство указывает на целесообразность, во-первых, включения в программу подготовки бакалавров по направлению 49.03.01 «Физическая культура» в дисциплину «Педагогика физической культуры» темы «Духовно-нравственное воспитание спортсменов»; во-вторых, в дополнительных профессиональных программах повышения квалификации и переподготовки «Физическая культура и спорт» углубленного изучения методики организации и алгоритма реализации программы воспитания духовно-нравственных качеств личности спортсменов; в-третьих, дать научное обоснование и разработать методику организации такой работы в системе подготовки СБЕ, при этом содержание духовно-нравственного развития и воспитания, на наш взгляд, должно опираться на базовые национальные ценности.

Список литературы

1. Бобков Д.А. Критерии формирования системы нравственных ценностей у студентов-юристов // Образование и саморазвитие. 2013. № 1 (35). С. 124−128.

2. Гатилова Н.Н., Меньшиков В.М., Хохлова А.Б. Духовно-нравственное воспитание в истории европейского образования (историко-педагогический анализ) // Научные ведомости БелГУ. Серия: Гуманитарные науки. 2013. № 27 (170). С. 223–231.

3. Бондаренко М.А. Воспитание нравственных качеств у студентов вузов: на примере отечественной литературы: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. Москва, 2006. 24 с.

4. Купрейченко А.Б., Воробьева А.Е. Нравственное самоопределение молодежи. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2013. 480 с.

5. Данилюк А.Я., Кондаков А.М., Тишков В.А. Концепция духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина России в сфере общего образования. Российская академия образования. М.: Просвещение, 2014. 23 с.

6. Исмаилова З.К., Байбаева М.Х., Сапаров А.Б. Основные категории педагогики – развитие, воспитание, обучение, образование // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 937–940.

7. Мамаева В.А. Духовно-нравственное развитие личности гражданина Российской Федерации // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». [Электронный ресурс]. URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014005562 (дата обращения: 04.01.2022).

8. Матвеев Л.П. Теория и методика физической культуры: учебник для институтов физической культуры. М.: Спорт, 2021. 520 с.

9. Острикова С.А. Духовно-нравственное воспитание студенческой молодежи как приоритетная задача формирования личности современного специалиста // Вестник Белгородского университета потребительской кооперации. БУПК. 2006. № 2 (17). С. 327–332.

10. Хузина Г.К., Валиуллина И.О. Роль физической культуры и спорта в духовном воспитании личности // Актуальные исследования. 2020. № 4 (7). С. 62–64.

11. Ротенберг А.Р. Педагогическая система управления личностным ростом спортсменов-единоборцев: автореф. ... докт. пед. наук. Санкт-Петербург, 2007. 49 с.

12. Табурченко П.А. Криминологические особенности насильственной преступности спортсменов // Вестник БГУ. 2015. № 3. С. 173–176.

13. Коротовских А.В. Криминологическая характеристика преступлений в области спорта // Молодой ученый. 2021. № 42 (384). С. 98–100.

14. Воронов В.М. Прогнозирование и отбор в системе подготовки спортсменов, специализирующихся в смешанных единоборствах: автореф. дис. … канд. пед. наук. Тамбов, 2018. 24 с.

15. Воронов В.М., Горелов А.А., Сущенко В.П., Хлопецкий А.П. О психомоторных и духовно-нравственных детерминантах спортивного отбора в смешанные единоборства // ТиПФК. 2015. № 2. С. 54–56.

16. Исмагилова Ю.С. Психолого-педагогические детерминанты формирования духовно-нравственных качеств курсантов вузов ФСИН России: автореф. дис. ... канд. псих. наук. Тамбов, 2010. 25 с.

17. Кондаков В.Л. Управление формированием направленности личности школьника (на материале физической культуры): дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. Белгород, 2000. 190 с.

18. Кормакова В.Н. Гуманно-личностный подход как ценностное основание физического воспитания ребенка // Материалы VI международной научно-практической конференции «Здоровье для всех». Пинск: ПГУ, 2015. С. 106–109.

УДК 378.1

УСПЕШНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ОБУЧАЮЩИХСЯ В ГРУППЕ КАК ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЕКТНОЙ КУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

[1]Коптева М.В., [2]Веденеева Г.И., [2]Кривотулова Е.В.

[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», Воронеж, e-mail: mar_kop81@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, e-mail: galina5423@mail.ru

Представлен материал по проблеме формирования проектной культуры обучающихся в условиях современного информационного общества. Проектная культура рассматривается во взаимосвязи с информационной культурой и информационной грамотностью. Организация проектной деятельности с применением информационных технологий характеризуется на основе учебных занятий с обучающимися среднего профессионального образования, в работе с которыми используется проектный метод обучения. Указан развивающий потенциал метода проектов, способствующий развитию таких качеств мышления, как самостоятельность, системность и критичность. Участие в проектной деятельности обеспечивает возможность приобретения навыков группового взаимодействия, умения сотрудничать в группе и другие качества, характеризующие проектную культуру. Динамика показателей сотрудничества обучающихся определяется в числе других методов через наблюдение. В процессе наблюдения преподаватель отмечает, как студенты взаимодействуют друг с другом, выявляет их умение оказывать помощь другим, стимулировать на выполнение проекта. Как показывает практика, успешное взаимодействие в группе во многом зависит от информационной грамотности участников проекта. Владение навыками работы с компьютерной техникой, умением определять источники информации, умением анализировать полученные сведения позволяет участнику проекта быть интеллектуально состоятельным. В процессе реализации всей проектной деятельности формируется проектная культура обучающихся, способствующая самореализации обучаемого, обеспечивает возможность стать конкурентоспособным специалистом на рынке труда.

Ключевые слова: проектная культура, проектная деятельность, метод проектов, информационная грамотность, сотрудничество

SUCCESSFUL COOPERATION OF STUDENTS IN A GROUP AS AN IMPORTANT COMPONENT OF PROJECT CULTURE IN THE CONDITIONS OF THE MODERN INFORMATION SOCIETY

[1]Kopteva M.V., [2]Vedeneeva G.I., [2]Krivotulova E.V.

[1]Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, e-mail: mar_kop81@mail.ru;

[2]Voronezh State University, Voronezh, e-mail: galina5423@mail.ru

The material on the problem of the formation of the project culture of students in the conditions of the modern information society is presented. Project culture is considered in conjunction with information culture and information literacy. The organization of project activities with the use of information technology is characterized on the basis of training sessions with students of secondary vocational education, in work with which the project method of teaching is used. The developing potential of the project method is indicated, which contributes to the development of such qualities of thinking as independence, consistency and criticality. Participation in project activities provides an opportunity to acquire group interaction skills, the ability to cooperate in a group, and other qualities that characterize a project culture. The dynamics of indicators of student cooperation is determined, among other methods, through observation. In the process of observation, the teacher notes how students interact with each other, reveals their ability to help others, to stimulate the implementation of the project. As practice shows, successful interaction in a group largely depends on the information literacy of project participants. Possession of skills in working with computer technology, the ability to identify sources of information, the ability to analyze the information received allows the project participant to be intellectually wealthy. In the process of implementing all project activities, a project culture of students is formed, which contributes to the self-realization of the student, provides an opportunity to become a competitive specialist in the labor market.

Keywords: project culture, project activity, project method, information literacy, cooperation

Реформирование отечественного образования ввиду социальных изменений в обществе привело к инновационным преобразованиям в образовательной сфере. Одним из актуальных направлений такого реформирования является обновление форм, содержания и методов обучения специалистов на основе стандартов нового поколения, которые, в свою очередь, основаны на компетентностном подходе [1].

Особое значение приобретает научно-исследовательская деятельность обучающихся в связи с возрастанием требований работодателей к профессиональным компетенциям выпускников. Научно-исследовательская деятельность позволяет сфор-

мировать самостоятельность, системность и логичность мышления, исследовательские способности, творческий потенциал. К числу видов научно-исследовательской деятельности в системе образования относится проектная деятельность, направленная на решение учебной задачи, значимая для всех, кто участвует в проекте. Успех этой деятельности во многом будет зависеть от уровня сформированности проектной культуры обучающихся. Одной из важных составляющих проектной культуры является сотрудничество участников при выполнении проекта в группе.

Цель исследования направлена на выявление роли проектной деятельности в процессе применения информационных технологий в формировании у обучающихся умений сотрудничать друг с другом. К задачам исследования относятся: 1) уточнить понятие «проектная культура»; 2) определить роль метода проектов в развитии познавательной активности и личностных качеств обучающихся; 3) определить динамику формирования умений обучающихся сотрудничать в процессе выполнения совместного проекта с помощью метода наблюдения.

Материалы и методы исследования

В настоящее время на всех ступенях образования усиливается внимание к развитию форм организации учебной деятельности – проектной деятельности и типу организационной культуры – проектной культуры, в связи с чем в педагогической практике ведется поиск педагогических условий формирования и развития проектной культуры личности в образовательном процессе.

Понятие «проектная культура» все чаще рассматривают, анализируют и описывают в своих трудах многие ученые и исследователи в области психологии, педагогики, истории. Каждый ученый интерпретирует это понятие по-разному. О.И. Генисаретский писал, что проектная культура «это и реальность проектируемой среды обитания, и концепция, определяющая направленность проектных усилий, и система ценностей, идеал, питающий самосознание дизайнерского сообщества, его творческий жест в отношении к жизни» [2]. При рассмотрении данного понятия в своих трудах исследователь выделяет экологическую, образожизненную, аксиологическую составляющую, а также указывает связи проектирования с социальной, экологической, культурной сферой общества.

Проектную культуру во многих исследованиях связывают с разными видами культуры. Э.Р. Хаматгалеев в своих работах сравнивал, но не отождествлял проектную культуру с проектной деятельностью. Но, по его мнению, «проектная культура, как и проектная деятельность, – аспект общей культуры личности, наддеятельностное качество, обязательно предполагающее культурно-исторический подход к формированию и развитию. Развивая проектную культуру личности, мы развиваем личностные качества (процесс культурно-исторического развития личности)» [3]. Проектная культура поясняется как средство понимания, развития и последствий самой деятельности. Современные исследователи придерживаются идеи развития проектной культуры личности при помощи современных средств и в процессе самой проектной деятельности.

В последнее время все больше внимания педагоги учреждений среднего профессионального образования на своих занятиях уделяют применению метода проектов в процессе преподавания различных дисциплин. Учитывая, что «среднее профессиональное образование направлено на решение задач интеллектуального, культурного и профессионального развития человека и имеет целью подготовку квалифицированных рабочих или служащих и специалистов среднего звена по всем основным направлениям общественно полезной деятельности» [4], образовательный процесс все больше направлен на развитие проектной деятельности обучающихся.

В современном мире практически любая профессиональная деятельность не обходится без информационных технологий. Большую роль играет применение таких технологий и в образовательном процессе, в том числе и при организации проектной деятельности. Компьютерные технологии способствуют активизации самостоятельной деятельности обучающихся, позволяют представить результат своих проектных работ с помощью современного мультимедийного оборудования. Соглашаясь с мнением Т.В. Зозули, можно сделать вывод, что активное внедрение современных методов и технологий, в том числе и информационных, направленных на раскрытие, реализацию и развитие индивидуальных способностей обучающихся и личностных качеств, путём формирования проектной культуры, позволит сделать акцент в педагогической деятельности на проектирование познавательной активности обучающихся [5].

С применением компьютерной техники учебный процесс становится более привлекательным, формирует познавательный интерес, порождает потребность личности

использовать различные современные компьютерные средства, обеспечивающие формирование информационной компетентности обучающихся. Начальным этапом формирования указанной компетентности является информационная грамотность. По мнению Н.К. Хомич, «информационная грамотность – это совокупность компетенций для получения, понимания, оценки, адаптации, генерирования, хранения и представления информации для анализа проблем и принятия решений» [6]. О.А. Евсеев отмечал следующие характеристики информационной грамотности: понимание потребности в аккуратной и значимой информации, определение источников информации и использование успешных стратегий поиска информации, анализ полученной информации, а также определял данное понятие как «социально-педагогическую характеристику обучающегося, отражающую его инструментальную и когнитивную деятельность в процессе поиска и работы с информационными ресурсами» [7].

С учетом приведённых определений под информационной грамотностью мы будем понимать знания и умения по работе с информацией: её получения, анализа и оценки, обеспечивающие успех деятельности. Информационная грамотность помогает обучающимся быть интеллектуально состоятельными для того, чтобы поделиться своими знаниями с другими, выдвигать идеи и предлагать пути решения при выполнении проекта на учебных занятиях в группе.

Любой проект обучающегося должен выполняться с целью презентации своих достижений в индивидуальном и коллективном освоении содержания и методов избранных областей знаний, демонстрации способности проектирования, осуществления результативной проектной деятельности. Применяя современные возможности новых информационных технологий, ресурсов информационной сети в создании учебных проектов, обучающиеся могут получать практически неограниченный объем информации для разработки и планирования своего проекта.

Как показало исследование, проектный метод обучения реализует проблемное обучение, позволяет обучать самостоятельному, системному мышлению и деятельности, самоорганизации, дает возможность обучить групповому взаимодействию при использовании новых информационных технологий, а также обеспечивает сотрудничество участников проекта как важной составляющей проектной культуры. *Сотрудничество* в обучении, согласно мнению Г.М. Коджаспировой и А.Ю. Коджаспирова, представляет собой «совместную, взаимосвязанную деятельность учащихся и учителей, построенную на демократических принципах, ориентированную на достижение осознаваемых, личностно значимых целей как учениками, так и учителями» [8].

Результаты исследования и их обсуждение

При организации работы над проектом на занятиях Воронежского техникума строительных технологий студенты готовят индивидуальные работы, коллективные учебные проекты, создают компьютерные объекты, сайты электронных учебных ресурсов по профессиональным модулям, которые ежегодно участвуют в конкурсах проектов, конференциях и становятся победителями или призерами на районных мероприятиях компьютерного творчества. При работе над проектом, студенты лучше усваивают учебную информацию с большим интересом, идя в ногу со временем, используя передовые информационные технологии. В подтверждение вышесказанному приведем пример проекта создания приложения, демонстрирующего возможности применения дополненной реальности в обучении. Для создания проекта студенты разработали мобильную платформу, при помощи платформы дополненной реальности Vuforia AR SDK и среды Unity. Работа была внедрена в учебный процесс при изучении состава системного блока на занятиях учебной дисциплины «Основы архитектуры, устройство и функционирование вычислительных систем» при демонстрации 3D-модели системного блока поверх картинки объекта в учебном пособии, что позволило при изучении материала детально и со всех сторон ознакомиться с составом устройства, чего не сделать при рассмотрении картинки. Данный проект был выполнен студентами 4 курса специальности «Прикладная информатика (по отраслям)» и принимал участие в конкурсе проектов в рамках фестиваля «Неделя информатики – 2020».

Приведем пример проекта «Создание робота с помощью платформы для программирования-ARDUINO», который занял призовое место во Всероссийской очно-заочной научно-практической конференции для преподавателей и студентов в 2018 г. Проект был выполнен студентами 3 курса специальности «Прикладная информатика (по отраслям)» при помощи информационных технологий и специальной платформы Arduino Nano, построенной на микроконтроллере ATmega328 (Arduino Nano 3.0). В проекте были подробно опи-

саны этапы программирования платформы при помощи специального программного обеспечения Arduino, а простейший робот был выполнен из подручных материалов, с подключением к ней дополнительных модулей, запрограммированных на выполнение простейших команд, например движение вперед, назад и развороты. Целью данного проекта являлось развитие творческих навыков, навыков программирования, при создании более сложных программируемых моделей, которые могут пригодиться и в повседневной и профессиональной деятельности будущего техника-программиста. Робототехника предполагает анализ проблемы с нескольких точек зрения, а также использование критического мышления для сбалансирования плюсов и минусов каждого решения, что стимулирует к самостоятельному развитию творческой мыслительной деятельности, информационной грамотности студентов. Поэтому очень важно было внедрить в учебный процесс робототехнику на специальностях, связанных с IT-технологиями.

На студенческих конференциях были представлены и другие проекты обучающихся, например проекты по информационной безопасности, которые выполняли студенты 3 курса по специальности «Прикладная информатика (по отраслям)», «Информационные системы (по отраслям)». Темы для проектов были выбраны самые разнообразные, охватывающие проблемы распространения компьютерных вирусов, проблемы защиты информации в сети, мошенничество и кражу в интернете и т.д. Цель данных проектов – рассмотреть со студентами наиболее распространенные проблемы информационной безопасности и найти способы их решения с помощью современных методов и средств защиты информационных ресурсов, что также стимулировало развитие информационной грамотности обучающихся.

В ходе успешного выполнения указанных и многих других проектов, а также в процессе выполнения курсовых и дипломных проектов, техники-программисты:

– получили дополнительные умения и навыки в области IT-технологий, что повысило уровень освоения профессиональных компетенций;

– выработали навыки самостоятельного поиска и обработки необходимой информации;

– повысили мотивацию к учёбе и выбранной профессии;

– проявили интерес к научному поиску;

– повысили свою самооценку;

– получили возможность для дальнейшего развития творческих способностей;

– выработали коммуникативные навыки, навыки сотрудничества, умение работать в коллективе;

– приобрели навыки самопрезентации, представления своей работы в различных формах с использованием информационно-коммуникационных технологий.

Для отслеживания динамики формирования навыков и умений, характеризующих проектную культуру обучающихся, нами, прежде всего, использовался метод наблюдения. Например, при изучении навыков сотрудничества при использовании информационных технологий в ходе выполнения проекта в группе из 45 обучающихся фиксировались данные на начальном этапе деятельности и после (на выходе). С этой целью использовался бланк наблюдений, в котором каждая цифра означает число случаев проявления умения сотрудничать друг с другом в проектной деятельности. Так как выполнение проекта осуществлялось в течение 10 занятий, то данные об умении сотрудничать в группе также фиксировались на 1-й неделе занятий и на 10-й. В итоге наблюдатель получил следующие данные (таблица).

На 10-й неделе занятий нами было отмечено увеличение числа обучающихся, умеющих оказывать помощь, стимулировать других и т.д. На рис. 1 представлена диаграмма, на которой можно оценить рост показателей умения сотрудничать в группе, зафиксированных на последней неделе выполнения проекта, наблюдаемый у всех обучающихся.

Данные наблюдателя (1-я и 10-я неделя занятий)

Умения сотрудничать	Кол-во случаев на 1-й неделе занятий	Кол-во случаев на 10-й неделе занятий
Стимулирует одногруппников к работе	26	38
Оказывает помощь другим	29	40
Не ищет привилегий для себя при выполнении трудных заданий	25	35
Не стремится присвоить рациональные идеи других себе	23	32

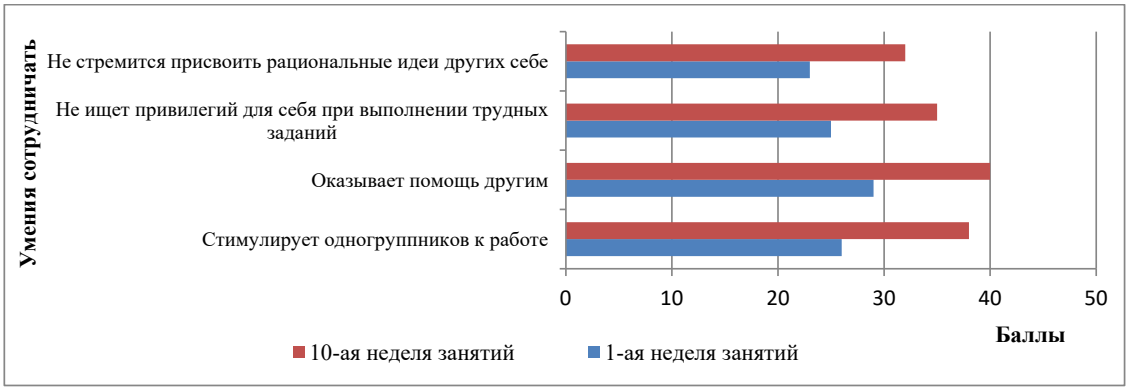


Диаграмма роста показателей умения сотрудничать

Для построения диаграммы число случаев проявления умения работать в команде было соответственно переведено в баллы, т.е. 1 случаю соответствует 1 балл, 2 случаям – 2 балла и т.д. Если случаев было 40 и более, фиксировалось 40 баллов.

Диаграмма суммарных показателей изучаемого умения позволяет также выявить тех обучающихся, которые значительно уступают другим. Эти данные преподаватель использует в дальнейшей индивидуальной работе с обучающимися.

Заключение

Формирование проектной культуры, важной составляющей которой является сотрудничество обучающихся в процессе совместной деятельности под руководством педагога, в среднем профессиональном образовании мы видим в необходимости использования передовых педагогических технологий. Несомненно, использование только одной технологии не может привести к желаемому результату, поэтому целесообразно сочетание различных методов, приемов организации обучения для формирования собственно проектной культуры будущих специалистов среднего звена в условиях реализации новых стандартов. Это способствует развитию современного образовательного пространства, которое позволит мотивировать будущего специалиста как к учебной, так и к профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Государственная программа развития образования в Российской Федерации 2013–2020 г. М., 2012. С. 54.

2. Генисаретский О.И. Методологические и гуманитарно-художественные проблемы дизайна: автореф. дис. … докт. искусств. М., 1990. 36 с.

3. Хаматгалеев Э.Р. Технология развития проектной культуры учащихся. Книга 1: концепция, содержание этапов, приёмы: учебно-методическое пособие. Барнаул: «Книга. Ру», 2019. 168 с.

4. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об образовании в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2021). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 12.02.2022).

5. Зозуля Т.В. Формирование проектной культуры обучающихся СПО в условиях реализации ФГОС 3+ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://infourok.ru/statya-na-temu-formirovanie-proektnoy-kulturi-obuchayuschihsya-spo-v-usloviyah-realizacii-fgos-1449253.html. (дата обращения: 12.02.2022).

6. Хомич Н.К. Информационная грамотность как компонент информационной культуры студентов // Дидактика сетевого урока. Материалы III международной научно-практической онлайн-конференции. 2020. С. 81–85.

7. Евсеев А.О. Информационная грамотность и компетентность как составляющие информационной культуры в современном образовании // Информатизация образования. 2013. № 2 (71). С. 77–85.

8. Коджаспирова Г.М., Коджаспиров А.Ю. Педагогический словарь: для студ. высш. и сред. пед. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2000. 176 с.

УДК 378.1

БАЗОВАЯ ШКОЛА И ВУЗ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Николаева А.Д., Неустроева А.Н.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: annette2001@yandex.ru

В статье рассматривается опыт открытия базовых школ при кафедре начального образования Педагогического института Северо-Восточного федерального университета, предметом исследования стало содержание работы базовых школ как ресурсных центров подготовки будущих учителей начальных классов. В статье раскрыты основные цели и задачи их деятельности, актуализированные на современном этапе внедрения корпоративного обучения в профессиональном образовании, которые трансформируют базовые школы из площадок педагогической практики студентов в региональные исследовательские центры. В статье изложен собственный опыт открытия базовых школ при университете, включая процедуры разработки и утверждения соответствующей документации, содержания планов совместной работы и др. Авторами раскрыт новый формат взаимодействия вуза и базовой школы, определены возможные перспективные направления работы со студентами как будущими учителями в сотрудничестве преподавателя вуза и учителя-наставника, а также в рамках взаимодействия студенческих проектных команд. В данной статье использованы исключительно теоретические методы анализа фактической информации, обобщения, наблюдения, изучения документации. Статья может быть интересна преподавателям и методистам, студентам педагогической направленности профессиональной подготовки в организации опытной работы с базовыми школами.

Ключевые слова: базовая школа, педагогическая практика, вуз, социальное партнерство, практико-ориентированность обучения, корпоративное обучение

BASIC SCHOOL AND UNIVERSITY: NEW CHALLENGES AND PROSPECTS

Nikolaeva A.D., Neustroeva A.N.

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: annette2001@yandex.ru

The article considers the experience of opening basic schools at the Department of Primary Education of the Pedagogical Institute of North-Eastern Federal University, the subject of the study was the content of the work of basic schools as resource centers for the training of future primary teachers. The article discloses the main goals and objectives of their activities, updated at the current stage of corporate training in vocational education and which transform basic schools from sites of pedagogical practice of students to regional research centers. The article describes the own experience of opening basic schools at the university, including procedures for developing and approving relevant documentation, the content of joint work plans, etc. The authors describe a new format of interaction between the university and the basic school, identified possible promising areas of work with students as future teachers in cooperation between the university teacher and the mentor teacher, as well as in the framework of interaction between student project teams. This article uses exclusively theoretical methods of analyzing factual information, summarizing, observing, studying documentation. The article may be of interest to teachers and methodologists, students of the pedagogical orientation of professional training in organizing experimental work with basic schools.

Keywords: basic school, pedagogical practice, university, social partnership, practical orientation of training, corporate training

В соответствии с распоряжением Министерства просвещения России № Р-118 «Об утверждении Программы развития педагогических образовательных организаций высшего образования, находящихся в ведении Министерства просвещения Российской Федерации на 2021–2024 годы» на современном этапе развития российской вузовской системы профессионального педагогического образования вновь актуализирована практика организации тесного сотрудничества вуза со школами в направлении усиления практикоориентированности профессиональной подготовки будущих педагогов. Как обозначил С.С. Кравцов, взаимодействие педагогического вуза и региона становится сегодня ключевым ресурсом реализации государственной политики в сфере образования, поскольку только в процессе системного и содержательного взаимодействия школы и вуза достигается их взаимообогащение, взаимовлияние, взаимоусиление ресурсов, как кадровых, материально-технических, научно-методических и пр., что и обеспечивает необходимый качественный скачок в развитии региональных образовательных систем.

С одной стороны, взаимодействие со школой вузами осуществлялось всегда, без организации практики невозможно представить систему подготовки студентов к будущей педагогической деятельности. Внедрение современных ФГОС ВО по педагогическому направлению способствовало значительному увеличению количества часов в учебном плане на прохождение различных видов практики (не менее 2160), что позволило преодолеть дефицит практических навыков, который имел место, по мнению работодателей, у выпускников

вузов до внедрения деятельностных стандартов. С другой стороны, мы понимаем, что формат взаимодействия со школой только как площадкой для педагогической практики студентов уже не соответствует современным требованиям.

Актуальные задачи, поставленные перед российским педагогическим сообществом, обусловливают поиск новых форм взаимодействия вуза и школы на современном этапе, переход от традиционного понимания базовой школы как площадки профориентации и педагогической практики студентов к пониманию трансформации образовательной организации в региональный исследовательский ресурсный центр, место открытого образования. В чем заключаются указанные изменения в сотрудничестве вуза и школы? Какие шаги необходимо предпринять педагогам для создания такого функционального образовательного пространства?

Материалы и методы исследования

В данной статье использованы исключительно теоретические методы анализа фактической информации, обобщения, наблюдения, изучения документации.

Результаты исследования и их обсуждение

Базовые школы на данном этапе становятся региональными проектно-исследовательскими центрами, площадками для проведения актуальных фундаментальных и прикладных исследований в сфере образования. Современная базовая школа трансформируется в пространство познания, новых информационных технологий, среду открытого образования. Несомненно, что данная трансформация не будет возможна без сформированности готовности администрации и педагогического коллектива базовой школы к внешним и внутренним изменениям, выходу из зоны комфорта, готовности к поисковой и творческой командной работе со студентами и преподавателями вуза по внедрению образовательных инициатив. В свою очередь, со стороны вуза не должно иметь места перекладывания обязанностей по педагогической практике на учителей и наставников базовых школ, а рекомендовано постоянное сотрудничество и формирование команд единомышленников по определенным научным проблемам, исследовательским проектам.

В традиционном понимании базовая школа понимается как школа, выступающая в качестве базы для всех видов практики в соответствии с договорами практики, основной задачей которой является и профориентация школьников на педагогическую профессию. Действительно, ранняя профориентация школьников, как правило, сводится по сей день к раннему профессиональному просвещению, тогда как более продуктивным является применение парадигмы деятельностного подхода, когда школьники вовлечены в профессионально-ориентированную деятельность, что повышает мотивацию на приобретение новых знаний, а также способствует формированию профессиональных компетенций, умений и навыков. Базовая школа в полной мере должна стать площадкой для выявления и развития педагогической одаренности школьников, в том числе путем проектной или исследовательской деятельности, что обеспечивает усиление непрерывности педагогического образования [1].

Новый формат коллаборации вуза со школой уже способствует апробации в школе различных инноваций и образовательных инициатив, новых технологий обучения и воспитания, диктуемых потребностью современной педагогической практики или науки, открытию площадки для исследовательских проектов студентов и стажировки учителей и преподавателей. В базовой школе может проходить постоянно требуемая разработка и экспертиза новых образовательных программ, учебных модулей, рабочих программ дисциплин подготовки. Повышенный научно-методический уровень педагогов позволит осуществлять более компетентно эту экспертную работу. Кроме того, только в тесном взаимодействии со школами должны инициироваться и действовать научные школы, которые будут не только исходить из направления научной деятельности вузовских сотрудников, а исходить из актуальной проблематики конкретной базовой школы, которая может выступать ресурсным центром сетевого взаимодействия образовательных организаций по изучаемой теме. Отметим, что инициаторами исследовательской работы должны выступать сами педагоги, что и является основной целью трансформации современной системы образования, поскольку сегодня наиболее дефицитарной компетенцией учителей является способность исследовать и проектировать в рамках собственной практической ежедневной педагогической деятельности. До новых стандартов образования в качестве итоговой аттестации студентов проводился государственный экзамен на выбор студента, позднее же обязательным условием проведения итоговой государственной аттестации стало выполнение выпускной квалификационной работы. Очевидно, что целью обязательного выполнения является привитие учителям

навыков исследовательской деятельности, формирования методологической культуры педагога. Именно методологическая культура учителя позволяет решать педагогические задачи, находить эффективные и новаторские пути их решения. В условиях нового формата взаимодействия школы и вуза появляются новые возможности для расширения материально-технических ресурсов, программного обеспечения, развития научно-исследовательской работы учащихся, расширение наукоемкости ученических исследований, оказание содействия в подготовке к сдаче выпускниками ЕГЭ по учебным предметам и поступлению в ссузы и вузы, оказание методической и научной поддержки в организации образовательного процесса.

В соответствии с новыми описанными новациями в обеспечении взаимодействия школ и вуза при кафедре начального образования Педагогического института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова в 2021 г. были открыты две базовые школы. Обе школы относятся к городскому округу «г. Якутск» и являются школами-лидерами в сфере начального общего образования в Республике Саха (Якутия). Несомненно, выбор базовой школы начинается с человеческого фактора, который связан, прежде всего, с готовностью администрации и в первую очередь учительского состава к совместной работе со студентами и преподавателями, желанием двигаться в ногу со временем и развиваться, отсутствием страха перед изменениями и реформированием традиционного уклада школьной жизни, а также единым пониманием общих целей и задач в работе с младшими школьниками и в подготовке будущей смены учителей начальных классов, осознанием своей причастности и ответственности к данному процессу. Как показала практика, гибкость и мобильность, активность педагогического коллектива напрямую зависит от позиции руководства, в частности от личности заместителя директора, ответственного за начальную школу. Авторитет и инновационный настрой руководителя способствует тому, что весь учительский коллектив находится в постоянной работе по совершенствованию образовательного процесса, создает атмосферу истинного поиска и творчества, доброжелательности и открытости образовательной организации относительно соучастия студентов и преподавателей вуза, которые становятся не объектами стороннего наблюдения по принципу «они – мы», а создается единое понятие «мы» как единомышленники, которые идут к одной цели, сотрудничая [2].

В условиях разработки собственного опыта взаимодействия кафедры с базовыми школами нами определен некоторый алгоритм административного регламента открытия базовой школы при вузе:

1. Интеграция деятельности с муниципальными органами управления, в ведении которых находятся образовательные организации, утверждение плана и договоров о сотрудничестве, включая вопросы прогнозирования потребностей в педагогических кадрах, ответственности за контрольные цифры приема и трудоустройства выпускников, поиск путей привлечения молодых специалистов на должность учителя и создание системы поддержки и сопровождения молодых учителей в их карьерном росте, определение механизмов стимулирования опытных учителей-наставников и пр. [3].

2. Определение и согласование совместных перспектив с педагогическими коллективами возможных базовых школ, оценка и анализ материально-технических, кадровых, программных ресурсов образовательных организаций, выявление «лица» будущей базовой школы, включая приоритетное направление как ресурсного центра в программе подготовки педагогических кадров.

3. Разработка и утверждение нормативно-правовой документации по открытию базовой кафедры вуза в образовательных организациях, в том числе разработка и согласование Положения о базовой кафедре (школе) с ответственными структурными подразделениями университета, заключение утвержденных договоров о педагогической практике и соглашения о базовой кафедре, должностных инструкций и трудовых договоров сотрудников, планов и программ, графика совместной работы.

4. Подготовка итоговой документации в виде выписки о решении Ученого совета института и затем Ученого совета университета об открытии базовой кафедры (школы), передача принятой документации в образовательную организацию и муниципальный орган управления.

5. Создание сетевого взаимодействия базовых кафедр с другими школами республики, выступающими традиционно базами педагогической практики при кафедре в соответствии с заключенными ранее договорами сроком на 5 лет [4].

Как видим, открытие не представляет столь сложной процедуры в случае предварительного согласования совместной деятельности вуза, муниципального органа управления и школы. Как уже было сказано выше, «лицо» базовой кафедры зависит от содержания планируемой совместной

работы, в которой ресурсы образовательной организации в подготовке будущих учителей могут быть наиболее эффективны. Так, к примеру, МОБУ СОШ № 17 г. Якутска является одной из центральных школ города, расположена в активно застроенном в последние годы новом центральном микрорайоне, в связи с чем на основе потребности населения микрорайона определено поликультурное содержание основной образовательной программы общего образования, т.е. классы с русским и якутским языком обучения. Причем школа ставит перед собой задачу, исходя из превалирующего контингента детей саха национальности – формирование этнокультурной идентификации детей саха в условиях городской русскоязычной среды. Выбор МОБУ СОШ «Саха гимназия» был обусловлен тем, что школа осуществляет углубленное обучение предметам на родном якутском языке, создается особое этноцентрированное образовательное пространство в условиях городской среды, причем школа является организатором и лидером сетевого взаимодействия городских и сельских национальных школ с родным якутским языком обучения. Школа обладает значительными ресурсами по подготовке учителей национальных начальных школ для республики, что и стало основным условием выбора данной базовой кафедры [5].

В обеих базовых школах создается своего рода полигон для апробации образовательных инициатив, где актуальные инновации образования исследуются и проходят экспериментальную апробацию в реальных практических условиях. Так, курсовые и выпускные квалификационные работы студентов готовятся по заказу базовой школы или на ее базе для школ – участников сетевого взаимодействия в формате научный руководитель (преподаватель) – студент (может быть проектная группа студентов) – учитель-наставник. Исследования студентов приобретают прикладной характер, выходят на конкретный образовательный продукт, который будет востребован актуальной педагогической практикой и может привести к развитию реального интереса будущих учителей к научно-исследовательской деятельности. Причем интересен тот факт, что проектные команды студентов ориентированы на разработку не только проектов в рамках одного профиля подготовки, но и в русле междисциплинарных исследований будущих учителей разных ступеней общего образования и направленности подготовки. Так, к примеру, инициируются студенческие проекты по медико-психолого-педагогическому взаимодействию, проекты по преемственному естественнонаучному образованию

Как видим, в рамках новой коллаборации вуза и школы раскрываются новые перспективы сотрудничества:

− разработка и реализация актуальных учебных курсов;

− развитие научно-исследовательских работ с привлечением обучающихся и преподавателей;

− организация и проведение мастер-классов, консультаций, практических занятий, мастер-классов ведущих учителей-практиков;

− участие в конференциях, днях открытых дверей в университете;

− организация научных семинаров, круглых столов и конференций по профилю деятельности базовой кафедры;

− проведение практик и стажировок в базовой школе;

− руководство курсовыми и дипломными работами обучающихся;

− проведение мероприятий по профессиональной ориентации обучающихся;

− содействие трудоустройству выпускников;

− совместная экспертная разработка учебных планов подготовки бакалавров и магистров по соответствующим направлениям подготовки;

− разработка и реализация программ дополнительного профессионального образования и др. [6].

Указанные направления деятельности составляют основное содержание разработанной в сотрудничестве вуза и базовой школы дорожной карты взаимодействия, мероприятия которой объединены в обобщенные ключевые линии совместной деятельности. По каждой ключевой линии работы могут создаваться временные гибкие проектные группы из учителей и сотрудников школы, преподавателей вуза, учащихся и студентов, методистов и тьюторов, психологов, медицинских работников и др. Более того, данная проектная деятельность выходит в нашем опыте кафедры начального образования СВФУ за пределы самих базовых школ посредством действующего сетевого сотрудничества национальных школ республики, ресурсным центром которого является МБОУ «Саха гимназия». Таким образом, данная базовая школа становится площадкой взаимодействия и сотрудничества вуза со всеми участниками сетевого сообщества, благодаря чему создается единое образовательное пространство поиска новых образовательных смыслов, целей, технологий.

Одним из важнейших компонентов совместной деятельности является разработка и внедрение современных гибких инстру-

ментов мониторинга и оценки результатов проводимой работы по основным направлениям. Ожидаемые результаты от коллаборации вуза и базовой школы будут, несомненно, иметь резонанс в региональной системе образования, начиная с трансфера результатов научной деятельности в практику образования, повышения качества реализуемых образовательных программ, персонализации профориентационной работы и подготовки более профессионально ориентированных абитуриентов, решение проблемы кадрового дефицита, создания условий для профессионального роста и карьеры педагогов республики.

Заключение

Таким образом, современная система корпоративного обучения специалистов непосредственно затронула и профессиональное педагогическое образование, хотя связь со школами многие годы имела место в реализации образовательных программ. Тем не менее тенденции персонализации и развития субъект-субъектной парадигмы в подготовке будущих учителей способствуют поиску новых современных форм сотрудничества вуза и школы, включая формы наставничества, тьюторства, коучинга, которые направлены на формирование актуальных компетенций будущих учителей, снижают риски развития профессиональных дефицитов у выпускников и помогают формированию единого профессионального пространства развития и самореализации педагогов.

Список литературы

1. Намсинк Е.В. Корпоративная подготовка педагогов в образовательном пространстве современной отечественной школы // Научный форум: Педагогика и психология: Сборник статей по материалам XIII международной научно-практической конференции (Москва, 07–14 декабря 2017 г.). М.: ООО «Международный центр науки и образования», 2017. С. 68–75.

2. Оконешникова Н.В., Сакердонова А.С. Педагогическая практика в профессиональной подготовке будущих учителей начальных классов. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. 100 с.

3. Романюк Л.В., Скударёва Г.Н. Муниципальное управление образованием как фактор поддержки развития педагогического образования // Знание. Понимание. Умение. 2014. № 3. С. 223-234.

4. Прокопьев М.С. Организация корпоративного электронного обучения в педагогическом вузе // Современное образование: традиции и инновации. 2020. № 2. С. 172–176.

5. Neustroeva A.N., Pavlova E.P., Borisova T.M., Okoneshnikova N.V., Sidorova E.E. The role of pedagogical practice in the employment of bachelors of the University (experience of the Ammosov North-Eastern Federal University – NEFU, Russia). Espacios. 2018. Vol. 39. No. 40. P. 18.

6. Девятова И.Е. Развитие педагогического потенциала учителя в системе корпоративного обучения // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров, 2016. Вып. 3 (28). С. 138–146.

УДК 796.85

ПРЕДПОСЫЛКИ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ В РОССИИ ВОЕННО-ПРИКЛАДНОГО ВИДА СПОРТА «АРМЕЙСКИЙ РУКОПАШНЫЙ БОЙ»

Ольденбургер Р.Ф.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: oldenburger.roma@mail.ru

Выявлены предпосылки становления и развития в России армейского рукопашного боя как вида спорта. Утверждается, что, несмотря на высокую значимость и широкое распространение в стране данного вида спорта, в научной литературе не нашел отражения вопрос предметного исследования предпосылок его становления и развития. Раскрыты исторические предпосылки становления и развития армейского рукопашного боя как вида спорта, отражающие особенности исторической эволюции нашей страны после социалистической революции 1917 г., кардинальные изменения характера ведения боевых действий и методики подготовки войск к данному виду боевых действий, а также формирования национальной системы физической культуры и спорта в СССР. Определены социально-культурные предпосылки становления и развития армейского рукопашного боя в России, обусловленные тем обстоятельством, что спортивно-боевое единоборство органично вписывалось в идеологический контекст формирования советского человека и стало важным элементом обучения трудящихся масс. Показан вклад в создание рассматриваемых предпосылок таких пропагандистов и организаторов спортивно-боевых единоборств, как В.А. Спиридонов, А.А. Харлампиев, В.С. Ощепков, Н.Н. Ознобишин, В.П. Волков, А.А. Кадочников и др. Обоснована методическая составляющая социально-культурных предпосылок становления и развития в России армейского рукопашного боя как спортивного направления в период с 1920-х по 1970-е гг.

Ключевые слова: становление и развитие, вид спорта, армейский рукопашный бой, Россия

PREREQUISITES FOR THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE MILITARY-APPLIED SPORT “ARMY HAND-TO-HAND COMBAT” IN RUSSIA

Oldenburger R.F.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: oldenburger.roma@mail.ru

The prerequisites for the formation and development of army hand-to-hand combat as a sport in Russia are revealed. It is argued that despite the high importance and widespread use of this sport in the country, the issue of a substantive study of the prerequisites for its formation and development has not been reflected in the scientific literature. The historical prerequisites for the formation and development of army hand-to-hand combat as a sport are revealed, reflecting the features of the historical evolution of our country after the socialist revolution of 1917, cardinal changes in the nature of warfare and methods of training troops for this type of combat, as well as the formation of the national system of physical culture and sports in the USSR. The socio-cultural prerequisites for the formation and development of army hand-to-hand combat in Russia are determined, due to the fact that sports and martial arts fit seamlessly into the ideological context of the formation of the Soviet man and became an important element of training.

Keywords: formation and development, sport, army hand-to-hand combat, Russia

В настоящее время возрастает интерес к истокам и особенностям развития национальных видов спорта в России, в особенности тех, которые способствуют военно-физической подготовке подрастающего поколения. В обстановке актуализации национальных ценностей особое место занимает армейский рукопашный бой (АРБ) как вид спорта, родившийся в нашей стране. Изучение истории развития АРБ имеет большое значение для выстраивания системы патриотического воспитания современной молодежи [1; 2], а также для стимулирования ее к занятиям рукопашным боем. Рассматривая историю АРБ как военно-прикладного вида спорта, целесообразно показать исторические и социально-культурные предпосылки его становления и развития в России. Как свидетельствует анализ научной литературы, данная проблема не получила должного освещения в историко-педагогических исследованиях или же до сих пор рассматривалась главным образом фрагментарно.

Цель исследования – определение предпосылок становления и развития в России армейского рукопашного боя как военно-прикладного вида спорта.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач был использован комплекс методов исследования: теоретический анализ литературы и практики организации АРБ; изучение передового опыта тренировочного процесса; наблюдение; беседа; обобщение.

Результаты исследования и их обсуждение

В современных войсковых подразделениях тактика рукопашного боя включена в программу подготовки военнослужащих [3; 4]. А точкой отсчета АРБ как военно-прикладного вида спорта в России принято считать 1979 г.: проведение в Каунасе 1-го чемпионата ВДВ. Позже АРБ был успешно внедрен в программу обучения и стал основной составляющей форм физической подготовки военнослужащих.

Исторические предпосылки становления и развития АРБ связаны с исторической эволюцией России после социалистической революции 1917 г. и детерминировались следующими факторами:

− формирование новых, социалистических общественных отношений;

− потребность в защите социалистических завоеваний от внешних угроз;

− изменение характера ведения боевых действий, модернизация армии и совершенствование методики подготовки войск к рукопашному бою (развитие вооружения, боевой техники и способов ведения боя потребовало более высокого уровня физической подготовленности военнослужащих) [5; 6].

Исторические предпосылки становления и развития АРБ включают, на наш взгляд, следующие аспекты:

1) формирование новой школы военно-физической подготовки воинов в годы Гражданской войны на основе нормативных документов: Полевой устав (1918 г.), программа занятий по рукопашному бою в РККА (1919 г.), «Руководство по штыковому бою» (1919 г.), первое официальное руководство по физической подготовке РККА и допризывной молодежи (1923 г.) и др.;

2) создание в начале 1920-х гг. спортивных секций и обществ, в которых изучались способы защиты и нападения без оружия, владение холодным оружием (например, в 1923 г. в спортивном обществе «Динамо» работала секция самозащиты под руководством В.А. Спиридонова);

3) формирование национальной системы физической культуры, базирующейся на социалистической идеологии;

4) военизация советской системы физического воспитания в 1920–1940-х гг. и широкое приобщение населения к военно-прикладным видам спорта [7].

В 1950–1970-х гг. в связи с модернизацией боевой техники, тактики ведение боевых действий, порядка комплектования личного состава Вооруженных сил, с многочисленными локальными войнами пересматривались способы обучения воинов при разработке новых организационно-методических рекомендаций и указаний по рукопашной подготовке военнослужащих. Таким образом, международная и военно-политическая ситуация вокруг СССР, научно-технический прогресс, заставлявший модернизировать Вооруженные силы и изменять тактику ведения боевых действий, – все это в конечном итоге стимулировало поиск путей качественной подготовки личного состава к рукопашному бою.

Социально-культурные предпосылки возникновения АРБ как вида спорта в России обусловлено тем обстоятельством, что спортивно-боевое единоборство создавало широкие возможности для развития физических (быстрота и ловкость, сила, гибкость, выносливость) и морально-волевых качеств. Все это вписывалось в идеологический контекст формирования советского человека и стало важным элементом военно-физического воспитания трудящихся масс. Однако рукопашный бой развивался сложно и противоречиво.

После социалистической революции вместе с царскими пережитками под опалу попали старинный русский бой, все школы рукопашного и штыкового боя, системы подготовки дореволюционной армии и сотрудников царской полиции. Жизненно необходимы были новые школы рукопашного боя, особенно в условиях высокой криминогенности 1920-х гг. Шло изучение и анализ приемов и методов ведения уличного боя криминальными элементами, попытка синтезирования этого опыта с английским боксом, французской борьбой и восточными единоборствами. Например, Н.Н. Ознобишин, на основе анализа боевых единоборств Франции, Англии и Японии, «дворово-хулиганской концепции» ведения уличной драки, изучения статистики футбольных травм и др., пришел к выводу, что английский бокс не помогает в реальном бою, джиу-джитсу – это только элемент рукопашного боя, а восточные приемы надавливания на болевые точки неэффективны, особенно в зимних условиях ношения противником теплой одежды. При боевом столкновении необходимо уделять особое внимание расстоянию: на дальней дистанции нахождения противника применять огнестрельное оружие (не изображая из себя мастера единоборств); на средней дистанции эффективны поставленные удары ногами (в первую очередь из французской борьбы сават); на ближней дистанции – удары кулаком и локтями; если соперники сблизились вплотную – приемы джиу-джитсу [8]. Однако тираж руководства Н.Н. Ознобишина «Искусство рукопашного боя» (1930 г.) был изъят и полностью уничтожен, поскольку

у власти было опасение использования этой боевой системы против сотрудников НКВД. Не исключено, что это была попытка устранения более сильного конкурента для самбо.

В 1920–1970-х гг. четко прослеживается развитие методической составляющей социально-культурной предпосылки возникновения АРБ как военно-прикладного вида спорта в России. Анализ содержания и направленности развития методической мысли совершенствования в нашей стране АРБ в рассматриваемый период представлен в таблице.

Анализ методической составляющей социально-культурной предпосылки возникновения АРБ как вида спорта в России в 1920–1970-х гг. свидетельствует о том, что в 1930-х гг. благодаря усилиям Н.Н. Ознобишина и В.С. Ощепкова была разработана новаторская по тому времени система спортивно-боевого единоборства. Она включала в себя такие направления спортивной борьбы, как дзюдо и самбо. Была существенно дополнена принципами, способами ведения рукопашного и огневого боя.

Объективным фактором, оказавшим значительное влияние на развитие спортивно-боевого единоборства в нашей стране, стал всесторонний анализ и системное использование при подготовке военнослужащих неоценимого опыта, полученного в войне против японцев на озере Хасан и реке Халхин-Гол, в войне с белофиннами и в годы Великой Отечественной войны. В первую очередь изменилась система рукопашно-боевой подготовки советских солдат, которые должны были уметь применять полученные навыки в борьбе с вооруженным или не вооруженным противником, в атаке или в ходе оборонительных действий. В 1950–1980-х гг. дальнейшее развитие Вооруженных Сил СССР обострило проблему подготовки военнослужащих к рукопашному бою, что детерминировало организацию соревнований по «рукопашному двоеборью». Одновременно с этим стали проводиться состязания по фехтованию на карабинах. С 1952 г. под влиянием научно-технической революции в Советской армии перестали проводиться состязания по спортивному рукопашному бою. Но события на острове Даманский вновь заставили вернуться к этому вопросу. В конце 1970-х гг. боевые действия в Афганистане заставили модернизировать занятия по спортивному рукопашному бою, которые стали проводиться комплексно. При этом внимание было сосредоточено на тренировочном направлении. Отрабатывались действия в условиях, близким к боевым. Проведение в 1979 г. первого чемпионата по АРБ стало возможным благодаря предшествовавшей этому многолетней практике и экспериментам с различными видами единоборств. Среди призывного контингента тщательно отбирались спортсмены-разрядники и призёры соревнований по боксу, борьбе, самбо, дзюдо и т.д. Методичная работа бойцов и командиров дала толчок к зарождению АРБ.

Отметим, что существенное влияние на факт появления в СССР АРБ оказало развитие физической культуры и спорта в стране. Советское руководство уделяло пристальное внимание распространению ценностей физической культуры среди населения в довоенные годы, включая его в деятельность многочисленных добровольных спортивных обществ, в выполнение нормативов комплекса ГТО, в разнообразные мероприятия спортивного и физкультурно-массового характера. В 1930–1940-е гг., в связи с военизацией физической культуры, особую популярность у молодежи получили военно-прикладные виды спорта, в том числе единоборства. Вступление Советского Союза в начале 1950-х гг. в международное спортивное движение, спортивное противостояние между СССР и США в 1950–1980-х гг., выдающиеся победы советских спортсменов – все это стимулировало дальнейшее развитие физической культуры и спорта в нашей стране, способствовало формированию чувства гордости за страну и сопричастности к ее великим достижениям, создавало благоприятную почву для определения идейно-мировоззренческой основы АРБ как национального вида спорта. Претендовавшее на этот статус самбо не могло в полной мере выполнить данный объективный заказ, сформировавшийся в стране. В 1970–1980-е гг. в СССР стали подпольно возникать многочисленные секции единоборств под названием «карате», «боевое самбо» и др., а в 1980-е гг. получили развитие школы боевых искусств: А.А. Кадочникова, который за основу своего стиля взял систему самозащиты В.А. Спиридонова и дополнил её ударной техникой ног, а также приёмами из спортивной борьбы самбо; Г.В. Попова, основавшего в середине 1980-х гг. школу боевого искусства ЧОЙ, т.е. «честь, отвага, интеллект», и включавшей в себя элементы ушу, айкидо, бокса, карате и других боевых единоборств; возникшей на рубеже 1980–1990-х гг. школы «СЭН'Э» Т.Р. Касьянова (переводится как SENE – the System of Effective Neutralization of Enemy – система эффективной нейтрализации противника). Сам Тадеуш Рафаилович считает днем рождения Школы «СЭН'Э» 10 сентября 1969 г., когда впервые надел кимоно своего наставника А.Б. Штурмина. Школа «СЭН'Э» также базировалась на технической основе различных видов единоборств, в первую очередь – корейского [11].

Развитие методической составляющей социально-культурной предпосылки возникновения АРБ как вида спорта в России (1920–1970-е гг.)

Десятилетия	Автор, год издания	Идеи, результат
1920-е гг.	А.А. Ивашкевич и др., 1924 г. В.А. Спиридонов, 1928 г.	Использование приемов французской борьбы и элементов восточных единоборств (нажатие на болевые точки). Но пособие было малопригодным в условиях уличной драки. Попытка объединить джиу-джитсу с техникой французской борьбы
1930-е гг.	В.С. Ощепков, 1930 г. Н.Н. Ознобишин, 1930 г. Ф. Шабалин и др., 1938 г.	В программе представлены базовые принципы спортивной тренировки по различным видам единоборств, а также штыковому бою и силовой подготовке. Гармонизирована ударная и борцовская техники в единый комплекс прикладного характера. Разработана система боя, предполагающая учет дистанции нахождения противника и применения соответствующих средств поражения: огневой бой на дальней дистанции; психологическая завязка поединка, рукопашный бой на ближней дистанции. Даны методические рекомендации по различным видам физической подготовки военнослужащих и применению боевых средств поражения
1940-е гг.	В.П. Волков,1940 г. [9]. Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Красной армии,1941 г. Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Красной армии,1942 г. Н.Н. Симкин,1944 г. К.Т. Булочко,1945 г. [10]. Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Красной армии,1941–1945. Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Советской армии,1948 г.	Учебное пособие, разработанное для сотрудников спецслужб, правоохранительных органов представляло собой подробную инструкцию обучению системе борьбы без оружия. На основе анализа опыта советско-финской войны внесены коррективы в методику подготовки бойцов в аспекте ведения рукопашного боя в зимних условиях. Выделены средства подготовки к рукопашному бою, штыковому бою, бою невооруженного с вооруженным, приемы использования огневых средств и др.; разработана комплексная тренировка в условиях преодоления полосы препятствий и ведения боя. Основанная на практическом опыте использования различных приемов и средств ведения ближнего боя, инструкция стала методической основой работы специалистов, готовящих резерв Красной армии. Практическая энциклопедия войскового разведчика. Адаптация существующих систем подготовки военнослужащих к ведению рукопашного боя на основе анализа опыта боевых действий в годы Великой Отечественной войны. Разработаны разделы «Рукопашный бой» и «Преодоление препятствий», ставшие самостоятельными разделами физической подготовки войск
1950-е гг.	Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Советской армии,1954 г. Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Советской армии,1959 г.	Дана классификация приемов рукопашного боя: 1. Приемы боя карабином (автоматом, винтовкой). 2. Приемы боя армейским ножом. 3. Приемы боя пехотной лопатой. 4. Безоружный бой. Недостатком данной системы было то обстоятельство, что тестовые упражнения были построены так, что приемы рукопашного боя, кроме штыкового боя, становились невостребованными для сдачи итогового теста. По сути, они в процессе подготовки давались как второстепенные или вообще не давались как ненужные. Реализована идея комплексности в ходе физической подготовки военнослужащих. Усилена динамика в действиях бойцов. Применение различных средств поражения противника сведено в один раздел физической подготовки военнослужащих
1960-е гг.	Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Советской армии,1966 г.	Изменена программа физической подготовки военнослужащих на основе анализа опыта Великой Отечественной войны и происходящей модернизации армии
1970-е гг.	Авторский коллектив Управления боевой подготовкой Советской армии, 1978 г.	Обновились принципы и последовательность овладения военнослужащим характера ведения рукопашного боя в сочетании с применением огнестрельного оружия

Заключение

Итак, в исследовании выявлены исторические предпосылки становления и развития в России АРБ как вида спорта, носящего военно-прикладной характер. Такие предпосылки были обусловлены объективными особенностями развития социалистического общества в нашей стране; сложным диалектическим характером экономической и политической ситуации довоенных и послевоенных лет; потребностью в защите социалистического Отечества и военно-физической подготовке молодежи и кадров для органов внутренних дел; необходимостью интеграции национальных видов спорта и создания универсального единоборства. Социально-культурные предпосылки возникновения АРБ как военно-прикладного вида спорта в современной России органично связаны с развитием спорта в СССР, с организаторской, спортивной и методической деятельностью таких выдающихся подвижников военно-физической подготовки в нашей стране, как В.А. Спиридонов, А.А. Харлампиев, В.С. Ощепков, Н.Н. Ознобишин, В.П. Волков, Н.Н. Симкин, К.Т. Булочко, А.А. Кадочников и др. Важнейшую роль сыграло развитие методической составляющей социально-культурной предпосылки возникновения АРБ как вида спорта в России (1920–1970-е гг.), определившей совершенствование содержания и способов обучения приемам защиты и нападения, синтезировавшей новаторские идеи из арсенала мировых видов единоборств, адаптированной к реальной боевой деятельности, отработанной на многонациональной российской почве, а также возникновение в 1980-х гг. школ боевого искусства.

Список литературы

1. Ольденбургер Р.Ф., Ирхин В.Н. Особенности развития армейского рукопашного боя в Белгородской области // Физическая культура и спорт: проблемы и перспективы развития: материалы V международной студенческой научно-практической конференции (Тирасполь, 10–11 апреля 2014 г.). Тирасполь: Издательство Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко, 2014. С. 85–87.

2. Кузин П.А. Содержание и методика подготовки учащихся общеобразовательных организаций Министерства обороны Российской Федерации по разделу «Спортивные единоборства и рукопашный бой» на основе армейского рукопашного боя: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Санкт-Петербург, 2019. 22 с.

3. Обвинцев А.А., Ашкинази С.М., Пашута В.Л. Становление рукопашного боя в России как раздела подготовки военнослужащих // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. 2013. № 2. С. 60–67.

4. Картамышев Д.А. Пути совершенствования обучения рукопашному бою в Вооружённых Силах Российской Федерации с учётом опыта подготовки в армиях зарубежных стран: дис. ... канд. пед. наук. Санкт-Петербург, 2017. 179 с.

5. Коньков В.С. Боевая система рукопашного боя спецназа. М.: Рипол Классик, 2014. 174 с.

6. Черкесов Р.М. Скоростно-силовая подготовка занимающихся рукопашным боем в процессе совершенствования техники прямого удара рукой: дис. ... канд. пед. наук. Краснодар, 2021. 142 с.

7. Камнев Р.В., Карасев А.Г. Этапы становления и развития боевых систем рукопашного боя // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2015. № 6 (124). С. 87–90.

8. Ознобишин Н.Н. Искусство рукопашного боя. М.: Издательство Народного комиссариата внутренних дел РСФСР, 1930. 234 с.

9. Волков В.П. Курс самозащиты без оружия Самбо: учебное пособие для школ НКВД. М.: Издание школьно-курсового отделения отдела кадров НКВД СССР, 1940. 320 с.

10. Булочко К.Т. Физическая подготовка разведчика. М.: Военное издательство народного комиссариата обороны, 1945. 45 с.

11. Рыбкин В.В. Центральная школа каратэ. М.: Книга по требованию, 2013. 480 с.

УДК 378.18

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ МЕДИАЦИЯ АДАПТАЦИОННОГО КОНФЛИКТА КУРСАНТОВ ПЕРВОГО ГОДА ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ВОЕННОГО ВУЗА

Редун Р.Г.

ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко», Краснодар, e-mail: rredun@bk.ru

Исполняя требования гуманизации и индивидуализации обучения, современная система высшего военного образования вынуждена решать не только проблемы, связанные с академической успеваемостью курсантов, но и проблемы личностного характера, к которым относится и развитие адаптационных конфликтов, возникающих у поступивших на первый курс. Автор статьи предлагает для решения адаптационного конфликта применять педагогическую медиацию, в связи с чем актуализирует вопросы разработки ее структурных компонентов. Педагогическая медиация как процесс, отвечающий запросам гуманизации, персонализации и индивидуализации высшего военного образования, рассматривается как деятельность педагога-медиатора, направленная на координацию и солидарность каждого обучающегося с новой социальной средой и референтной группой, при активном и конструктивном участии всех сторон и субъектов, активизирующих адаптационный конфликт. При этом акцент делается на том, что системного обоснования данному феномену в педагогическом дискурсе пока не дано. Теоретический анализ и проведенное на базе ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко» экспериментальное исследование, представленные в данной статье, позволяют вычленить ее основные элементы, а именно: содержательные, функциональные, технологические, критериально-диагностические.

Ключевые слова: медиация, гуманизация образования, педагогическая медиация, адаптационный конфликт, концептуальные основания

PEDAGOGICAL MEDIATION OF THE ADAPTATION CONFLICT OF FIRST-YEAR CADETS IN THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF A MILITARY UNIVERSITY

Redun R.G.

Krasnodar Higher Military School. Army General S.M. Stemenko, Krasnodar, e-mail: rredun@bk.ru

Fulfilling the requirements of humanization and individualization of training, the modern system of higher military education is forced to solve not only problems related to the academic performance of cadets, but also problems of a personal nature, which include the development of adaptive conflicts that arise among first-year students. The author of the article proposes to use pedagogical mediation to solve the adaptation conflict, in connection with which he actualizes the development of its conceptual foundations. Pedagogical mediation as a process that meets the needs of humanization, personalization and individualization of higher military education is considered as the activity of a teacher-mediator aimed at coordinating and solidarity of each student with a new social environment and a reference group, with the active and constructive participation of all parties and subjects that activate the adaptation conflict. At the same time, the emphasis is on the fact that the conceptual justification for this phenomenon in the pedagogical discourse has not yet been given. Theoretical analysis and experimental research carried out on the basis of the Krasnodar Higher Military School named after A.I. Army General S.M. Shtemenko", presented in this article, allow us to isolate these grounds, namely: meaningful, functional, technological, criteria-diagnostic.

Keywords: mediation, humanization of education, pedagogical mediation, adaptation conflict, conceptual foundations

Проблема нивелирования адаптационного конфликта в условиях перехода из общеобразовательной школы в систему вузовского образования в педагогической науке рассматривается достаточно давно. Она представлена в диссертационных исследованиях А.А. Сергеевой (2018 г.) [1], О.А. Матайс (1999 г.) [2], В.Н. Соловьева (2003 г.) [3] и др., отражающих вопросы адаптации студентов первых курсов к условиям обучения в вузе.

Тема специфики адаптационного конфликта и его разрешения в условиях военного вуза рассматривалась в работах Б.В. Кузнецова (2015 г.) [4], М.И. Матайс (2020 г.) [5], Н.Н. Ивашко (2019 г.) [6] и др.

Объединяет все вышеперечисленные научные исследования одно – они рассматривают вопросы адаптации в контексте проблем обучающихся. При этом активного поиска путей и методов работы преподавателей вузов с ситуацией адаптационного конфликта в процессе анализа научной литературы нами не обнаружено.

Считаем необходимым отметить, что современная система высшего образования – это сложная конструкция, которая формируется из отдельных взаимосвязанных между собой компонентов. Трансформации, которым она подвергается в последние десятилетия, актуализируют различные проблемы, находящиеся в прямой зависимости от социальных вызовов.

Однако, несмотря на все проводимые реформы и модернизации, ключевой фигу-

рой в данной конструкции остается педагог и его профессиональная деятельность, в связи с чем проблемы оценивания эффективности педагогической деятельности являются достаточно актуальными в наши дни.

Значимым фактором, влияющим на эффективность педагогической деятельности по нивелированию адаптационного конфликта, является наличие у самого педагога навыков медиаторской деятельности. «Медиация (от лат. mediare – посредничать) – форма внесудебного разрешения споров с помощью третьей нейтральной, беспристрастной стороны – медиатора (посредника). Под медиацией в условиях системы высшего образования подразумевается специальный вид деятельности педагога по нормализации отношений между конфликтующими» [7].

В связи с недостаточной изученностью педагогического феномена медиации целью исследования является разработка концептуальных оснований педагогической медиации адаптационного конфликта курсантов первого года обучения в военном вузе.

Материалы и методы исследования

Работа состояла из аналитического исследования научной литературы и экспериментального изучения проблемы, в ходе которых были аргументированы отдельные элементы педагогической медиации.

Суть педагогической медиации заключается в том, что результаты регулирования конфликта отвечают интересам всех конфликтующих сторон. В решение проблемы оппоненты вовлечены на равных условиях, которые создают понимание силы влияния каждой из сторон на конечный результат, следовательно, удовлетворяют обоюдные интересы и индивидуальное понимание справедливости.

На уровне учебного коллектива медиация обеспечивает доступность требований и мнений противоположных сторон друг для друга, определят преимущества позиций конфликтующих, находит точки соприкосновения. Озвученные медиативные процедуры позволяют избежать глубоких кризисов и поддерживать устойчивое развитие.

Медиация, в контексте регулирования развивающихся конфликтов, формирует отношения сотрудничества между конфликтерами, либо цивилизовано прекращает эти отношения, сводит их к необходимому минимуму.

В представленной статье мы останавливаемся на педагогической медиации как процессе, отвечающем запросам гуманизации, персонализации и индивидуализации высшего военного образования. В то же время следует отметить низкую степень изученности в научном дискурсе данного процесса, что объясняется:

− неадаптированностью процесса медиации к условиям военной организации;

− требованием строгой добровольности участия в процессе медиации конфликтующих сторон;

− отсутствием специалистов в сфере медиации в военных организациях, в том числе в вузах.

В контексте данного исследования педагогическую медиацию в конфликтной ситуации адаптации курсантов первого года обучения в военном вузе мы будем рассматривать как деятельность педагога-медиатора, направленную на координацию и солидарность каждого обучающегося с новой социальной средой и референтной группой, при активном и конструктивном участии всех сторон и субъектов, активизирующих адаптационный конфликт.

Нам видится актуальной именно проблема, связанная с уточнением основных элементов педагогической медиации, осуществляемой педагогом военного вуза, так как именно он не только является базовой единицей процедуры нивелирования адаптационного конфликта, но и выступает в качестве беспристрастной стороны, не заинтересованной в дальнейшем развитии конфликта.

В первую очередь были подвергнуты анализу наиболее востребованные направления педагогической медиации, определяющие, по сути, ее содержание. Базой исследования стало ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко». При проведении опроса был применен метод индивидуального интервью. В экспериментальную группу вошли 56 офицеров – сотрудников училища.

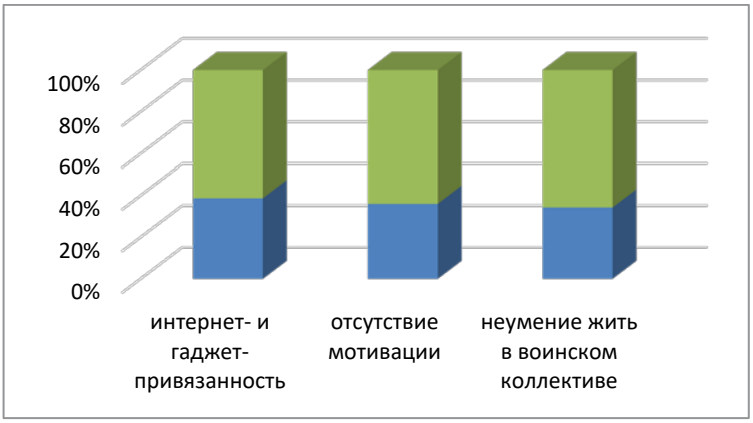
Тематические блоки опроса:

1. Какие трудности приходится преодолевать для устранения проблем адаптационного периода курсантов первого года обучения.

2. Какие негативные последствия для обучающихся скрыты в адаптационном конфликте.

3. Какие способы и методы работы по регулированию адаптационного конфликта используют участники опроса.

Итак, основная трудность, которую приходится преодолевать на первом году обучения курсантов, это гаджет- и интернет-привязанность, ее отметили 63,2% опрошенных; на отсутствие осознанной мотивации к обучению в военном вузе указали 56,4% респондентов; на неумение жить в воинском коллективе акцентировали внимание 52,2% опрошенных (соотношение желаемого результата с фактическим представлено на рисунке).



Показатели соотношения желаемого результата с фактическим по ответам респондентов на первый вопрос

По второму вопросу респонденты преимущество отдали трудностям, связанным с учебой и освоением новой учебной информации – 100%, причем эти проблемы, в зависимости от индивидуальных особенностей, могут затягиваться до окончания второго курса – 72,6% опрошенных, а также коммуникативным трудностям – 87,3%.

Кроме того, 84% респондентов отметили, что те курсанты, которые испытали затяжной адаптационный конфликт на первом году обучения (затянулся более чем на полгода), начинают испытывать проблемы с профессиональным определением на 4 курсе (дневник индивидуальных наблюдений). Они повторно решают для себя проблему необходимости получения военного образования и возможности перехода в военный вуз.

Опрашиваемые отметили, что на четвертом курсе для продолжения обучения в гражданском вузе отчисляются ежегодно 1–2 курсанта

По третьему вопросу приоритетными оказались ответы: беседы (индивидуальные и групповые), плановая социально-психологическая диагностика, просмотр обучающе-воспитывающих фильмов и телепередач.

Анализ полученных ответов позволил сформулировать содержательное наполнение медиативной деятельности, направленной на решение адаптационного конфликта: переустройство социальной жизни (режим), принципов общежития и коммуникативного взаимодействия; развитие новых образовательных навыков, навыков работы и обучения в группе, понимание иерархии взаимодействия в военной среде; развитие педагогической и медиативной компетентности педагогов военного вуза.

Функции педагогической медиации адаптационных конфликтов курсантов первого года обучения определяются, исходя из содержательных характеристик:

− профилактическая – предупреждение дальнейшего развития конфликтной ситуации – своевременное распознавание признаков конфликтной ситуации, выявление факторов развития конфликта (социальных и личностных); владение методами профилактики социальных конфликтов: социальных (социально-педагогическое планирование развития военного коллектива; планирование профессиональной карьеры; формирование навыков диалога; поощрение за успехи, справедливое, обоснованное взыскание и пр.) и личностных (метод согласия, который обусловливает привлечение к участию потенциальных противников в совместной деятельности; метод доброжелательности, инициирующий развитие эмпатии, понимания внутренних состояний других людей; метод уважения репутации партнера – допускает общение с конфликтером с позиции утверждения его достоинств; метод недопущения дискриминации – предполагает недопустимость общественного признания одного человека над другим в любой ипостаси; метод одобрения и др.);

− протективная – обеспечение удовлетворения интересов сторон конфликта – обеспечение вступления в диалог с конфликтующими сторонами, определение возможностей уступок с обеих сторон; владение методами реализации компромисса, поиска альтернативы;

− интеграционная – инициирующая объединение индивидов с группой – актуальная диагностика возможностей интеграции индивида в группу и коллектив военного вуза; владение методами дивергенции, трансформации и конвергенции;

− коррекционная – автономизирует индивидов, признает их индивидуальность и ценность для референтной группы и расширяет поле свободы и увеличивает бремя ответственности перед социумом – реальное подтверждение права индивида на личную жизнь и личное пространство; владение методами самоопределения, самоактуализации, саморефлексии.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные мониторинговые мероприятия позволили выделить и технологическую составляющую процесса педагогической медиации адаптационных конфликтов, реализуемую через систему следующих мероприятий.

1. Диагностические – проводятся медиатором во взаимодействии со службой психологической поддержки и офицерами курса по мере необходимости, определяют факторы развития адаптационных конфликтов и уровень адаптированности курсантов первого года обучения к образовательной среде военного вуза.

2. Прогностические – реализуются службой психологической поддержки военнослужащих с целью предвидения дальнейшего развития ситуации адаптационного конфликта.

3. Регулирующие – создаются и разрабатываются службой психологической поддержки с участием офицеров курса с целью преодоления курсантами адаптационных проблем и поддержания позитивного эмоционального состояния.

Не менее значимые вопросы связаны с определением критериев эффективности педагогической медиации. Мы согласны с научной позицией Г.П. Ивановой [8], которая считает, что критерием оценки эффективности должны выступать признаки, характеризующие эффективности деятельности. Проанализировав работы, исследующие эффективность педагогической деятельности (Б.Н. Герасимов [9], О.В. Евтихов [10], Г.П. Иванова [11], О.А. Круковская [11], О.А. Мосина [12] и др.), мы определили следующие критерии, демонстрирующие уровень эффективности педагогической медиации адаптационного конфликта к условиям военного вуза.

I. Личностно-психологический критерий, характеризуется такими показателями, как:

− принятие себя в новой социальной роли;

− самооценка готовности к обучению в военном вузе;

− удовлетворенность образовательной деятельностью.

II. Мотивационно-коммуникативный критерий, отражает такие показатели, как:

− принятие ценностей коллектива;

− социальное самочувствие;

− способность к межличностному взаимодействию.

III. Социально-профессиональный критерий, включает такие показатели, как:

− принятие уставных норм и правил;

− готовность к профессиональной деятельности;

− социальный климат учебного коллектива.

Выявленные в ходе исследования критерии позволят фиксировать качественные трансформации, происходящие с курсантами первого года обучения в ракурсе адаптационного конфликта.

Проведенное исследование позволяет резюмировать, что на современном этапе развития высшего военного образования разработка и реализация процесса педагогической медиации является своевременной, поскольку отвечает новым образовательным запросам и принципам организации российской армии.

Таким образом, основными элементами педагогической медиации адаптационных конфликтов курсантов первого года обучения в образовательной среде военного вуза являются: содержательные, функциональные, технологические и критериально-диагностические.

Заключение

Рассматривая возможности военного вуза по разработке и реализации педагогической медиации адаптационных конфликтов курсантов первого года обучения, мы пришли к выводу об их достаточной готовности. Так, исходя из имеющихся руководящих документов, а именно ежегодного «Решения начальника Краснодарского высшего военного училища имени генерала армии С.М. Штеменко на организацию военно-политической работы», пункта «Совершенствование навыков должностных лиц военного училища по вопросам организации военно-политической работы», можно резюмировать, что в вузе имеется материальная и методическая возможность организации педагогической работы направленной на освоение медиативной деятельности и по совершенствованию навыков должностных лиц военного училища по вопросам: ввода в строй молодых офицеров (выпускников военно-учебных заведений) и практического освоения ими должностных обязанностей; в системе профессионально-должностной подготовки офицеров, в ходе сборов, самостоятельной

подготовки, инструкторско-методических и показных занятий, при освоении обязанностей; в ходе реализации дополнительных программ повышения квалификации и (или) переподготовки и др.

Безусловно, что данная работа нуждается в научном и методическом сопровождении, разработке программ повышения квалификации для педагогических кадров и программ медиации адаптационного конфликта для курсантов, что мы предполагаем сделать в дальнейшем.

В целом представленное исследование не претендует на окончательную завершенность. Оно требует более детальной проработки в теоретическом контексте и проведения серии экспериментальных и формирующих исследований.

Список литературы

1. Матайс О.А. Формирование готовности старшеклассников к обучению в вузе в условиях начальной инженерной школы: дис. … канд. пед. наук. Оренбург, 1999. 154 с.

2. Сергеева А.А. Выбор стратегии взаимодействия преподавателя и студента на этапе адаптации к образовательному процессу педагогического вуза // Разработка учебно-методического обеспечения для внедрения инновационных методов обучения при реализации ФГОС ВО: материалы XIV научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, магистрантов, соискателей ТГПУ им. Л.Н. Толстого (Тула, 18–19 декабря 2018 г.) / Под общ. ред. В.А. Панина. Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2018. С. 360–362.

3. Соловьев В.Н. Адаптация студентов к учебному процессу в высшей школе: дис. … докт. пед. наук. Ижевск, 2003. 449 с.

4. Кузнецов Б.В. Адаптация курсантов первого курса к образовательному процессу военизированных учебных заведений средствами физической культуры (на примере Воронежского института ГПС МЧС РФ): автореф. дис. … канд. пед. наук. Санкт-Петербург, 2015. 214 с.

5. Матайс М.И., Редун Р.Г. Социально-педагогические аспекты адаптационного конфликта // Лучшая научно-исследовательская работа 2020: сборник статей XXIX Международного научно-исследовательского конкурса (Пенза, 15 декабря 2020 г.) / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: «Наука и просвещение», 2020. С. 165–167.

6. Ивашко Н.Н. Педагогические условия успешной адаптации курсантов к образовательной среде вуза ФСИН России // Теория и практика научных исследований: психология, педагогика, экономика и управление. 2019. № 2 (6). С. 25–32.

7. Рябинина Е.В. Медиация в работе педагога высшей школы // Образование и наука. 2015. № 2 (121). С. 52–61.

8. Иванова Г.П., Шакирова Э.Ф. Диагностика уровней сформированности социальной активности учащихся // Акмеология. 2013. № 3 (47). С. 35–39.

9. Методология и технологии в образовательных процессах: монография / Под общ. ред. Б.Н. Герасимова. Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2021. 112 с.

10. Шинкевич В.Е., Евтихов О.В., Маслодудова Н.В., Молоков В.В. Совершенствование процесса формирования профессиональной компетентности сотрудников органов внутренних дел: акмеологический аспект. Красноярск: Сибирский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2018. 196 с.

11. Балыгина Е.А., Иванова Г.П., Круковская О.А. Функциональность системы управления образовательной деятельностью: принципы, критерии и показатели функционирования // Социальные отношения. 2019. № 3 (30). С. 7–26.

12. Мосина О.А., Хазова С.А., Редун Р.Г. Концептуальные проблемы обеспечения личностно развивающего эффекта военно-профессионального образования // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 6.; URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=30441 (дата обращения: 17.02.2022).

УДК 378.147.227

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Сивцева Т.В.

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

Цифровизация сферы образования требует от обучающихся навыков владения и использования современных информационных технологий в образовательной деятельности. Статья посвящена вопросу готовности преподавателей и студентов автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (далее СВФУ) к осуществлению эффективной образовательной деятельности средствами информационно-образовательной среды (ИОС) в рамках изучения социально-экономических дисциплин в соответствии с ФГОС нового поколения. Цель исследования связана с повышением уровня эколого-экономической компетентности студентов технических специальностей средствами ИОС. Создан и апробирован диагностический инструментарий для выявления уровня готовности преподавателей вуза и студентов автодорожного факультета СВФУ к использованию средств ИОС. В результате онлайн-опроса выявлены основные проблемы, с которыми сталкиваются преподаватели при взаимодействии с обучающимися, среди которых можно выделить следующие: работа средствами информационно-образовательной среды, знание дидактических средств и технологий дистанционного обучения, умение организовать онлайн- и офлайн-обучение с использованием различных приложений и программ. Результаты проведенного исследования позволили нам прослеживать повышение уровня эколого-экономической компетентности студентов автодорожного факультета СВФУ по блокам социально-экономических дисциплин с использованием средств ИОС.

Keywords: эколого-экономическая компетентность, дистанционное образование, информационно-образовательная среда, дидактические средства

INCREASING THE LEVEL OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC COMPETENCE OF STUDENTS BY MEANS OF THE INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Sivtseva T.V.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: sivtseva-t@mail.ru

Digitalization of the education sector requires students to possess and use modern information technologies in educational activities. The article is devoted to the issue of the readiness of teachers and students of the Faculty of Motor Transport of the Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov (hereinafter NEFU) to carry out effective educational activities by means of the information and educational environment (IEE) in the framework of the study of socio-economic disciplines in accordance with the Federal State Educational Standard of the new generation. The purpose of the study is to increase the level of ecological and economic competence of students of technical specialties by means of IEE. Diagnostic tools have been created and tested to identify the level of readiness of university teachers and students of the NEFU Faculty of Roads to use IEE tools. As a result of the online survey, the main problems that teachers face when interacting with students are identified, among which the following can be distinguished: working by means of the information and educational environment, knowledge of didactic means and distance learning technologies, the ability to organize online and offline learning using various applications and programs. The results of the study allowed us to trace the increase in the level of ecological and economic competence of students of the NEFU Faculty of Roads in the blocks of socio-economic disciplines using the means of IEE.

Keywords: ecological and economic competence, distance education, information and educational environment, didactic tools

В системе высшего технического образования процессу цифровизации образования уделяется особое внимание. Одной из задач, принятой Правительством Российской Федерации по цифровой экономике до 2024 г., подчеркивается необходимость повышения уровня информированности и цифровой грамотности населения – увеличить до 40% использование цифровых технологий и ресурсов. Кроме этого, в рамках национального проекта «Образование» (2019–2024 гг.) предусмотрен ряд проектов, которые будут способствовать развитию эколого-экономических компетенций педагогов: «Молодые профессионалы», «Цифровая образовательная среда».

Целью данного исследования является повышение уровня эколого-экономической компетентности студентов средствами ИОС при обучении социально-экономических дисциплин в автодорожном факультете СВФУ.

Материалы и методы исследования

Опираясь на мнения российских и региональных исследователей, следует отме-

тить, что понятие эколого-экономическая компетентность в условиях цифровизации образования базируется на таких понятиях, как ИКТ-компетентность, информационная компетентность, и включает в себя цифровую грамотность [1, 2]. Развитие данного направления отражено в работе Д.Ж. Марковича, который рассматривает проблему подготовки педагогов в динамически развивающихся аспектах новой концепции экологического образования [3], И.Д. Зверев уделяет внимание развитию непрерывного экологического образования в условиях [4]. Рассматривая исследования в области информатизации образования в сфере высшего образования, следует отметить то, что эколого-экономическая компетентность развивается по направлению использования цифровых технологий и электронных средств обучения. Так в исследованиях Е.З. Власовой [5] особое внимание уделяется эффективной подготовке будущих специалистов к использованию электронного обучения. Цифровизация задает новый вектор развития северных территорий, открывая безграничные возможности для развития и коммуникации, обучения специалистов в области педагогики [6]. Следует отметить, что региональными авторами накоплен богатый опыт в области цифровизации образования северных регионов, подготовке педагогов к использованию элементов электронного обучения в арктических регионах, аспектами которых занимается научная школа Е.А. Барахсановой [7–9].

Также при рассмотрении развития эколого-экономической компетентности студентов технического направления были учтены главные принципы экологического образования и воспитания: единства познания, переживания, действия; прогностичности; междисциплинарности; целенаправленности общения студентов с окружающей средой. Содержательный блок дисциплин определяет содержание экологической и экономической компетентности студентов и условия, способствующие формированию данной компетентности.

Проанализировав российский опыт цифровизации образования и развития цифровой экономики, в рамках данного исследования эколого-экономическую компетентность мы рассматриваем в следующем аспекте: готовность и способность использовать ресурсы в образовательной деятельности, создавать образовательный контент для реализации электронного обучения, налаживать совместную работу и взаимодействие с использованием опосредованных технологий, реализовывать потенциал цифровой образовательной среды.

Результаты исследования и их обсуждение

В исследовании приняли участие студенты автодорожного факультета. Соотношение преподавателей и студентов в рамках исследования – 20 преподавателей и 100 студентов (очной и заочной форм обучения). На первом этапе был определен уровень эколого-экономической компетентности, который проводился на базе опросника, разработанного аналитическим центром НАФИ «Цифровая грамотность российских педагогов. Готовность к использованию цифровых технологий в учебном процессе». Согласно методике, оцениваются 22 компетенции, которые сгруппированы по блокам: 1. Профессиональные обязанности (16 баллов); 2. Цифровые ресурсы (12 баллов); 3. Преподавание и учеба (16 баллов); 4. Оценка учащихся (12 баллов); 5. Расширение прав, возможностей и самостоятельности учащихся в учебном процессе (12 баллов); 6. Развитие эколого-экономической компетентности обучающихся (20 баллов). Максимальный балл по всем блокам составляет 88 баллов.

На втором этапе был проведен опрос методом экспертной оценки по выявлению положительного и отрицательного опыта по использованию электронного обучения и элементов дистанционных образовательных технологий в период пандемии среди преподавателей и обучающихся автодорожного факультета по блоку социально-экономических дисциплин. Респонденты выражали свое мнение и выделяли по 5 положительных и отрицательных факторов, описывали их и располагали в порядке убывания по степени важности (оценивали от 0 до 5, где 0 – не имеет значения, 5 – очень важно).

В результате анализа оценки уровня эколого-экономической компетентности преподавателей и студентов автодорожного факультета СВФУ с учетом использования средств ИОС в образовательном процессе были получены следующие данные, описанные в табл. 1.

Средний показатель эколого-экономической компетентности протестированных педагогов оказался незначительно выше (на 4,5 %), чем у обучающихся автодорожного факультета. Однако если проанализировать каждый блок в отдельности, то мы наблюдаем небольшое превалирование средних баллов у обучающихся по блоку 2 и 6.

В блок 1 входит: профессиональное сотрудничество, рефлексия, общение с использованием средств ИОС, непрерывное повышение квалификации в области использования технологий дистанционного обучения. Ввиду того, что студенты еще находятся в процессе обучения, показатель по этому уровню значительно ниже, чем у преподавателей.

Таблица 1

Результаты оценки уровня эколого-экономической компетентности студентов и преподавателей с учетом использования средств ИОС в образовательном процессе

Название блоков	Преподаватели (средний балл)	Студенты (средний балл)
Блок 1. Профессиональные обязанности (16 баллов)	10	5
Блок 2. Цифровые ресурсы (12 баллов)	6	8
Блок 3. Преподавание и учеба блока социально-экономических дисциплин (16 баллов)	11	9
Блок 4. Оценка обучающихся (12 баллов)	8	5
Блок 5. Расширение прав, возможностей и самостоятельности обучающихся в образовательном процессе (12 баллов)	5	5
Блок 6. Развитие эколого-экономической компетентности обучающихся (20 баллов)	10	14
ИТОГ (Максимум 88 баллов):	50	46

В блоке 2 «Цифровые ресурсы», включающем компетенции по умению отбирать образовательные ресурсы, создавать и пользоваться цифровым контентом, обеспечивать защиту личных данных, наблюдается небольшое преимущество (на 8,3 %) у студентов.

Для блока 6, «Развитие эколого-экономической компетентности обучающихся», характерно привитие информационной грамотности, создание и ответственное использование цифрового контента (у студентов наблюдается уровень выше на 20 %). Это может быть обусловлено тем, что студенты лучше владеют отбором цифровых материалов, обеспечивают защиту своих данных.

Согласно данным по блоку 3 и 4, у преподавателей наблюдается уровень выше на 12,5 % и 33,3 % соответственно. Организация учебного процесса обучающихся с использованием цифровых технологий, в том числе совместная работа и проектная деятельность, характерны для блока 3. Блок 4 включает в себя получение обратной связи, мониторинг прогресса обучаемых и анализ полученных данных. У преподавателей наблюдается уровень выше, что свидетельствует о наличии большего педагогического опыта в работе с обучаемыми.

Блок 5 находится на одинаковом уровне у всех опрошенных. Для него характерно управление образовательным процессом и вовлечение в него обучаемых, активизация познавательных способностей.

Вторым этапом был выявлен положительный и отрицательный опыт по использованию средств ИОС в период пандемии среди преподавателей и студентов. Результаты представлены в табл. 2.

Данный этап исследования позволил определить проблемы и перспективы развития реализации дистанционного обучения, необходимые для дальнейшего развития цифровизации образования. Так, среди положительных факторов выделены следующие:

1. Высокая эффективность. Педагоги поставили данный фактор на первое место по важности, это обусловлено тем, что высокая эффективность образовательного процесса может достигаться за счет использования наглядных мультимедийных материалов и возможности повторять и просматривать материалы в любое удобное время. Обучающиеся поставили данный фактор на третье место, определив, что учебный процесс становится достаточно просто отслеживать как им самим, так и преподавателю.

2. Общение вне зависимости от местонахождения. Обучающиеся отмечали, что могут подключиться к занятию или выполнять задания из любой точки мира, где есть подключение к сети Интернет. Преподаватели акцентировали внимание на общении с коллегами из других городов и стран, проведение совместных исследований.

3. Низкая стоимость и экономическая эффективность. Преподаватели и студенты были единогласны по поводу этого фактора, рассчитанный коэффициент (0,32 и 0,3) свидетельствует о невысоком уровне согласованности. Это значит, что данный фактор не имеет важного и приоритетного значения в обеих группах.

Таблица 2

Оценка положительных и отрицательных факторов использования средств ИОС при дистанционном обучении в период пандемии обучающимися и преподавателями

Ранг	Преподаватели		Студенты	
	Факторы	%	Факторы	%
Положительные факторы				
1	Высокая эффективность	70%	Доступность и индивидуализация обучения	80%
2	Общение вне зависимости от местонахождения	50%	Общение вне зависимости от местонахождения	75%
3	Доступность и индивидуализация обучения	30%	Высокая эффективность	20%
4	Низкая стоимость и экономическая эффективность	50%	Низкая стоимость и экономическая эффективность	50%
5	Экологичность	25%	Экологичность	50%
Отрицательные факторы				
1	Качество и сложность разработки образовательных материалов	85%	Мотивация и самоорганизация	60%
2	Необходимое оборудование и умение с ним работать	80%	Качество и сложность разработки образовательных материалов	80%
3	Проблемы с доступом к сети Интернет	75%	Проблемы с доступом к сети Интернет	70%
4	Отсутствие личного контакта с преподавателем/студентом	90%	Отсутствие личного контакта с преподавателем/студентом	95%
5	Мотивация и самоорганизация	15%	Необходимое оборудование и умение с ним работать	20%

4. Доступность и индивидуализация обучения. Данный фактор набрал больше всего процентов у студентов – 80%. Студентов привлекает возможность обучаться у первоклассных преподавателей со всего мира. Онлайн-обучение позволяет выбирать удобное для себя время, место для обучения и программу под свой собственный темп. У преподавателей данный фактор находится на 4 месте, его важность составляет 30%.

5. Экологичность. Самый низкий уровень приоритета. Однако некоторые опрошенные отмечают, что с переходом в электронный формат сокращается вырубка деревьев.

В ходе данного исследования также были выявлены наиболее важные отрицательные факторы реализации электронного обучения. Эти данные наиболее ценные, так как позволяют определить траекторию дальнейшего развития. Рассмотрим интерпретацию отрицательных факторов:

1. Качество и сложность разработки образовательных материалов. Наиболее значимый негативный фактор у преподавателей (85%). Они отмечают, что каждый преподаватель должен освоить большое количество различных программ и платформ, нет единой платформы. Необходимо готовить каждое занятие с технической точки зрения, а также удерживать внимание обучаемых дистанционно. Студенты же отмечают (2 место), что качество материалов бывает низким, иногда отсутствует наглядность и интерактивность, что оказывает большое влияние на качество обучения.

2. Необходимое оборудование и умение с ним работать (80%). Преподавателям гораздо сложнее организовать образовательный процесс без необходимого оборудования, в том числе и программного обеспечения, для подготовки материалов. У студентов данный фактор является менее значимым, что обусловлено использованием в том числе мобильных устройств для обучения.

3. Отсутствие личного контакта с преподавателем. Фактор находится по рангу на 3 месте. С точки зрения преподавателей личный контакт позволяет контролировать овладение знаниями, больше взаимодействовать. Студенты отмечают, что важным является общение с преподавателем и одногруппниками.

4. Проблемы с доступом к сети Интернет. Данный фактор находится на 4 месте в обеих группах, но говорит о важности данной проблемы. Не на всей территории Якутии есть бесперебойный доступ к сети со скоростью, необходимой для передачи

видео- и аудиоинформации. Также бывают обрывы связи и нестабильное соединение.

5. Мотивация и самоорганизация. Занимает первое место среди факторов у студентов. В процессе дистанционной работы студенты отмечали, что не могут сосредоточиться во время лекций, тем более что всегда есть соблазн заглянуть в социальные сети или заняться другими делами. Они отмечали низкую мотивацию студентов при онлайн-взаимодействии, проблемы в активизации их активности.

Преподаватели хорошо справились с заданиями по блокам «Преподавание и учеба», «Профессиональные обязанности». В плане развития внимание стоит уделить работе с средствами ИОС и цифровыми ресурсами, развитию эколого-экономической компетентности студентов в образовательном процессе с использованием средств ИОС. Таким образом, преподаватели и студенты демонстрируют средний уровень активности в применении цифровых технологий в педагогической деятельности.

Согласно полученным данным мы приходим к выводу о том, что эколого-экономическая компетентность педагогов и студентов находится на среднем уровне, о чем свидетельствуют результаты исследования. Помимо этого, полученный опыт по работе средствами ИОС при организации дистанционного обучения определил позитивные и негативные моменты, которые необходимо учитывать при цифровой трансформации образования в СВФУ. Благодаря выявленным позитивным и негативным факторам от использования средств ИОС в образовательном процессе, необходимо совмещать и рационально использовать полученные знания и накопленный опыт.

Заключение

Результаты исследования могут быть использованы для проведения дальнейшей планомерной методической работы для внедрения актуальных стратегий, новых образовательных технологий, инструментов и образовательных решений. Итоги исследования показали, что педагогическим коллективам необходимо уделять внимание цифровым технологиям в расширении и углублении опыта работы с использованием средств ИОС, нацеленной на развитие эколого-экономической компетентности студентов в вузе. Для этого руководителям образовательных организаций, преподавателям необходимо учитывать специфику цифрового образования и активно использовать дидактический потенциал ИОС в условиях цифровой трансформации образования.

Список литературы

1. Барахсанова Е.А., Сивцева Т.В. Цифровая информационная подготовка студентов в контексте актуализации потенциала этнопедагогики // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 15. № 2. С. 6–13.

2. Сорочинский М.А., Никулина С.В. Анализ и сущность понятия «Цифровая компетентность педагога» // Перспективы науки. 2020. № 6 (129). С. 186–188.

3. Маркович Д.Ж. Глобализация и экологическое образование // Социологические исследования. 2001. № 1. С. 17–23.

4. Зверев И.Д. Приоритеты экологического образования // Развитие непрерывного экологического образования: материалы Первой Московской научно-практической конференции по непрерывному экологическому образованию. М.: МНЭПУ, 1995. С. 16–22.

5. Власова Е.З., Гончарова С.В., Государев И.Б., Жуков Н.Н., Ильина Т.С., Карпова Н.А. Методология и технологии электронного обучения:монография / Под научной ред. Е.З. Власовой. СПб.: Издательство ООО «НИЦ АРТ», 2019. 122 с.

6. Сивцева Т.В. Обеспечение образовательного процесса в вузе при дистанционном обучении // Актуальные вопросы научного знания: материалы межрегионального тематического сборника с международным участием / Под ред. В.Г. Дегтяря, В.П. Клочкова, Ф.Ф. Харисова. Курган, 2020. С. 483–487.

7. Варламова В.А., Барахсанова Е.А. Формирование информационной компетентности будущих педагогов в условиях двуязычия // Образование в течение всей жизни: непрерывное образование в условиях глобализации: материалы Международного научно-образовательного форума «Education, forward». 2015. С. 102–105.

8. Barakhsanova E.A., Golikov A.I., Sorochinskiy M., Lukina T., Ilina E., Nikitina E.V. Implementation of the master program «corporate e-learning» in the online interaction of Russian universities. Espacios. 2018. T. 39. No. 20. P. 36.

9. Barakhsanova E.A., Varlamova V.A., Vlasova E.Z., Nikitina E.V., Prokopyev M.S., Myreeva A.N. Vocational training of school teachers in yakutia's universities through the principle of regionalization (c ase study of the methodology of teaching natural science to prospective teachers). Espacios. 2018. T. 39. No. 20. P. 35.

УДК 372.862

О СОДЕРЖАТЕЛЬНОМ АСПЕКТЕ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ ТЕОРЕМЫ КРОНЕКЕРА – КАПЕЛЛИ В КУРСЕ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ

Фокин Р.Р.

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

Из трех аспектов процесса обучения (содержательного, методического, прагматического) в статье затрагивается именно содержательный. Описывается метод улучшения доказательства теоремы Кронекера – Капелли в курсе линейной алгебры. В результате строится оптимальное доказательство в смысле понимания его студентами. Результат не претендует на какой-либо вклад непосредственно в математическую науку, это научный педагогический результат. В статье рассматривается значительное количество учебных пособий по линейной алгебре. Для каждого пособия строится контекст доказательства этой теоремы, то есть кроме содержания доказательства рассматривались содержательные темы, понятия и теоремы, с помощью которых производилось рассматриваемое доказательство. На основе анализа всех этих контекстов логико-математическими методами был построен оптимальный контекст доказательства теоремы Кронекера – Капелли (в смысле понимания его студентами). Для оптимизации использовался метод декомпозиции, аналогичный применяемому в структурном программировании: проект не должен содержать больших программных модулей (в составе более 10 операторов), большие модули должны разбиваться на части. В результате теорем и понятий будет большее количество, но при этом они будут легче для понимания. Описанная процедура может быть применена к любой другой математической теореме, поскольку логические особенности доказательства теоремы Кронекера – Капелли никак с этой процедурой не связаны.

Ключевые слова: математика, обучение рассуждать, линейная алгебра, дружественность обучения, теорема, доказательство, оптимизация контекста, декомпозиция

ON THE CONTENT ASPECT OF THE STUDY OF MATHEMATICAL PROOF BY THE EXAMPLE OF THE KRONECKER-CAPELLI THEOREM IN THE COURSE OF LINEAR ALGEBRA

Fokin R.R.

Military Space Academy named after Mozhayskiy, Saint Petersburg, e-mail: rrfokin@yandex.ru

Of the 3 aspects of the learning process (substantive, methodological, pragmatic), the article touches on the content one. A method for improving the proof of the Kronecker – Capelli theorem in the course of linear algebra is described. As a result, an optimal proof is constructed in the sense of students' understanding of it. The result does not claim any contribution directly to mathematical science, it is a scientific pedagogical result. The article discusses a significant number of textbooks on linear algebra. For each manual, the context of the proof of this theorem is constructed, that is, in addition to the content of the proof, substantive topics, concepts and theorems were considered, with the help of which the proof in question was produced. Based on the analysis of all these contexts by logical and mathematical methods, the optimal context of the proof of the Kronecker – Capelli theorem was constructed (in the sense of understanding it by students). For optimization, a decomposition method similar to that used in structural programming was used: the project should not contain large program modules (consisting of more than 10 operators), large modules should be divided into parts. As a result, there will be more theorems and concepts, but at the same time they will be easier to understand. The described procedure can be applied to any other mathematical theorem, since the logical features of the proof of the Kronecker – Capelli theorem have nothing to do with this procedure.

Keywords: mathematics, learning to reason, linear algebra, learning friendliness, theorem, proof, context optimization, decomposition

Изучение математики школьником и студентом имеет целью, в частности, научить их корректно рассуждать и доказывать в смысле парадигмы математической науки. Отсюда большая проблема в обучении математике и актуальность настоящей статьи.

Выделяют три аспекта обучения: 1) содержание обучения (чему учить?); 2) методика обучения (как учить?); 3) прагматика обучения (зачем учить?). Цель настоящего исследования – выявление методов улучшения результатов обучения рассуждать и доказывать путем изменения содержания доказательств теорем. Методику и прагматику обучения настоящая статья не затрагивает.

Материалы и методы исследования

Основные материалы настоящего исследования – это существующие учебные курсы линейной алгебры, отличающиеся способами доказательства теоремы Кронекера – Капелли. Основные методы настоящего исследования:

1. Выявление в каждом пособии контекста доказательства теоремы Кронекера – Капелли (ТКК) – способа ее доказательства и непосредственно связанных с ним понятий и теорем.

2. Классификация этих контекстов и построение оптимального контекста, исходя из цели нашего исследования.

Замечания. Представленные в статье методы не способны полностью решить поставленную выше проблему, они лишь способствуют ее решению. В большей степени нами применяются эвристические и индуктивные методы, дедуктивные применяются реже, поэтому результаты допускают плюрализм в их интерпретации.

Результаты исследования и их обсуждение

Весьма полезными для настоящей статьи были методы корректировки содержания различных математических курсов [1–3], предложенные нашими коллегами. Цель состояла в том, чтобы новое содержание курса легче понимал студент. Для этого корректировалась вся система понятий и теорем такого курса. Ими рассматривались курсы дифференциальных уравнений, уравнений математической физики, вычислительных методов, общий курс математики. Статьи [4, 5] показывают особую важность подобной деятельности именно в настоящее время, когда из-за динамичных изменений социальной среды и психологии человека резко возросли трудности в изучении математики.

Задача данной статьи имеет особенность – изменить сложный для понимания фрагмент некоторого учебного курса, а не весь курс, например упростить доказательство ТКК в курсе линейной алгебры (КЛЛ). Для этого нет необходимости корректировать весь КЛЛ, достаточно выявить и скорректировать контекст ТКК. В статье [6] выявлено около десятка подобных проблемных фрагментов в различных математических курсах. Описанная ниже процедура для ТКК может быть применена к любому другому фрагменту математического курса, поскольку логические особенности доказательства ТКК никак с этой процедурой не связаны.

Статья [7] для облегчения понимания при обучении студента программированию советует не использовать больших программных модулей, содержащих более 10 операторов. Большие программные модули нужно подвергать декомпозиции – разбивать на несколько малых, использующих друг друга. Это принцип структурного программирования, его следует применять и в процессе профессионального программирования. Аналогично следует сложную теорему с длинным доказательством подвергать декомпозиции на несколько простых теорем с коротким доказательством. Одно длинное определение сложного понятия следует преобразовать в несколько коротких определений простых понятий. В результате понятий и теорем станет больше, но каждое из них станет проще для понимания. Это и есть основной метод корректировки сложного фрагмента учебного курса.

$$AX=B, \text{ где } A \in \mathbf{R}^{mXn}, X \in \mathbf{R}^{nX1}, B \in \mathbf{R}^{mX1}, \quad (1)$$

$$a_{j1}\, x_1 + \ldots + a_{jn}\, x_n = b_j, \quad (2)$$

где $x_i=x_{i1}$ при $i=1...n$, $b_j=b_{j1}$ при $j=1...m$,

$$C=[A|B],\ C \in \mathbf{R}^{mXn+1}. \quad (3)$$

Пусть имеется (1) – система m линейных уравнений с n неизвестными над **R** – действительными числами, хотя все приведенные ниже рассуждения истинны и для **C** – комплексных чисел. При $i = 1...n$ вместо x_{j1} будем писать x_i – это неизвестные. При $j = 1...m$ вместо b_{j1} будем писать b_j – это свободные члены системы. Тогда (2) – это j-е уравнение системы (1). Если система (1) имеет хотя бы одно решение, то говорят, что она совместна. Если к матрице A справа присоединить столбец B, то получится (3) матрица C, A называют матрицей системы (1), B – называют ее расширенной матрицей.

Теорема 1 (Кронекера – Капелли): система (1) совместна $\Leftrightarrow$ rank A = rank C = r – обозначим это число так. Здесь rank – ранг соответствующей матрицы. Эта теорема имеет два следствия:

Следствие 1.1: $r = n \Rightarrow$ система (1) имеет единственное решение.

Следствие 1.2: $r < n \Rightarrow$ система (1) имеет бесконечное множество решений. При этом n-r неизвестных объявляются свободными. Это означает, что им могут быть присвоены любые значения. Остальные r неизвестных объявляются главными, это означает, что каждое из них может быть выражено через свободные неизвестные.

$$x_1 A_1 + \ldots + x_n A_n = B, \quad (4)$$

где $A_1 ... A_n$ – столбцы A.

Система (1) может быть представлена в эквивалентной форме (4), что позволяет легко доказать теорему 1 в одну из сторон ($\Rightarrow$). Пусть $x_1=p_1, ..., x_n=p_n$ – решение системы (1)–(4), где $p_1, ..., p_n$ – некоторые числа, тогда $p_1 A_1 + ... + p_n A_n = B \Rightarrow B - p_1 A_1 - ... - p_n A_n = O$, где O – m-мерный нулевой столбец. Прибавление к некоторому столбцу матрицы другого ее столбца, умноженного на любое

число – это одно из так называемых элементарных преобразований матрицы (не меняющих ранг матрицы). К последнему столбцу B матрицы C применим n раз такое элементарное преобразование, получим последовательность матриц одинакового ранга:

$$C=[A|B]=[A_1|A_2| \dots |A_n|B]$$

$$[A_1|A_2| \dots |A_n|B-p_1A_1]$$

$$\dots$$

$$[A_1|A_2| \dots |A_n|B-p_1A_1-\dots-p_nA_n]=[A|O]$$

Отсюда, rank C = rank [A|O], но также rank [A|O] = rank A, следовательно, rank C = rank A, что и требовалось доказать.

Доказательство теоремы 1 в другую сторону (⇐) не столь очевидно. Теперь дано, что rank A = rank C = r, нужно доказать, что система (1)–(4) эквивалентна в смысле множества решений другой системе, совместность которой почти очевидна. Вводится понятие элементарных преобразований над системой (1)–(4) в смысле неизменности множества решений системы: 1) перестановка двух уравнений; 2) умножение уравнения на ненулевое число; 3) сложение уравнения с другим, умноженным на любое число; 4) исключение из системы уравнения со всеми нулевыми значениями коэффициентов и свободного члена. Эти преобразования уравнений эквивалентны соответствующим преобразованиям расширенной матрицы системы: 1) перестановка двух строк; 2) умножение строки на ненулевое число; 3) сложение строки с другой, умноженной на число; 4) исключение из матрицы нулевой строки. Можно аналогичные преобразования проводить и над столбцами матрицы системы, при этом мы переходим к новой эквивалентной системе неизвестных x_1', ..., x_n', поскольку существуют взаимно-однозначные отображения между старой и новой системами неизвестных.

$$[A'|A''|B'] \text{ при } r<n, \qquad (5)$$

где $A' \in \mathbf{R}^{rXr}$, det $A' \neq 0$, A' – треугольная, $A'' \in \mathbf{R}^{rXn-r}$, B' – r-мерный столбец;

$$[A'|B'] \text{ при } r=n, \qquad (6)$$

где $A' \in \mathbf{R}^{rXr}$, det $A' \neq 0$, A' – треугольная, B' – r-мерный столбец.

Автор статьи при обучении в вузе на лекции по КЛЛ встретился с таким доказательством ТКК: по мнению лектора, очевидно, что, используя только указанные выше 4 операции над строками расширенной матрицы системы (1), всегда можно расширенную матрицу преобразовать при r < n к виду (5) и при r = n к виду (6).

$$A' X = B', \qquad (7)$$

$$[A'|A''] X = B' . \qquad (8)$$

При r = n система приобретет вид (7), поскольку det $A' \neq 0$, то в данном случае существует единственное решение. При r < n система приобретет вид (8). В этом случае разобьем столбец X на верхнюю $X^{1\dots r}$ и нижнюю $X^{r+1\dots n}$ части – это тоже столбцы. В $X^{1\dots r}$ входят неизвестные $x_1 \dots x_r$, в $X^{r+1\dots n}$ – $x_{r+1} \dots x_n$.

$$A' X^{1\dots r} + A'' X^{r+1\dots n} = B', \qquad (9)$$

$$A' X^{1\dots r} = B' - A'' X^{r+1\dots n}. \qquad (10)$$

Теперь систему можно представить в виде (9). Неизвестные $x_{r+1} \dots x_n$ объявим свободными и подставим вместо них произвольные числа, тогда m-мерный столбец $A'' X^{r+1\dots n}$ будет состоять из чисел, перенесем его в правую часть системы, и она приобретет вид (10), где r уравнений и r неизвестных $x_1 \dots x_r$, их мы объявим главными. Поскольку det $A' \neq 0$, то в данном случае существует единственное решение системы (10), следовательно, $x_1 \dots x_r$ выражаются единственным образом через $x_{r+1} \dots x_n$.

Таким образом, теорема 1 доказана также в другую (⇐) сторону. Треугольный вид матрицы A' не использовался, хотя при det $A' \neq 0$ матрицу A' можно преобразовать к треугольному виду по методу Гаусса. Доказательство не плохое, поскольку попутно доказаны следствия 1.1 и 1.2 к этой теореме. Однако начало доказательства формально отсутствует, поскольку очевидность – это не математический научный термин. В некоторых случаях виды расширенных матриц (5) и (6) невозможно получить без операции перестановки двух столбцов матрицы системы, а лектором говорилось только об операциях со строками. Если также разрешить операцию перестановки столбцов, то преобразование к видам (5) и (6) становится возможным. Таким образом, математически ложное утверждение выдавалось студентам за очевидное.

В статье [6] можно найти около десятка подобных примеров. Следовательно, можно говорить о сложившемся стиле обучения точным наукам, сущностью которого является некорректное декларирование очевидности. Оно подразделяется на 2 типа: 1) декларируется очевидность ложного утверждения; 2) декларируется очевидность истинного утверждения, доказательство которого очень сложное. В обоих случаях у большого количества студентов развивается комплекс неполноценности при изучении данной дисциплины.

Школьники и студенты учатся рассуждать и доказывать: 1) на примерах воспри-

нятых ими корректных рассуждений и доказательств; 2) на основе обобщения этих примеров; 3) на основе конкретизации сделанных выводов и построения собственных рассуждений и доказательств. За более чем 30 лет преподавания точных наук в вузах автор наблюдал большое количество студентов, для которых количество воспринятых корректных рассуждений и доказательств за все время обучения (включая среднюю школу) было очень малым (возможно, нулевым). Соответственно, в своем личностном развитии до обобщения они в принципе дойти не могли. У такого студента неизбежно формируется *механизм выживания в вузе*, включающий навыки подсказки, списывания и более сложные инструменты. Ниже приведен пример реализации такого инструмента, который можно назвать *псевдологикой*. Его реализации могут быть различными, суть в том, что если логики у студента в наличии нет, то для выживания ему необходимо ее каким-то инструментом псевдологики заменить. Тысячи наблюдений автора за ответами студентов на практических занятиях и экзаменах по точным наукам указывают, что большое количество студентов считает, что логика – это особый стиль речи и письма; например: дана непрерывная на **R** функция... требуется доказать ее разрывность во всех точках трехмерного пространства... Это не попытка обмануть педагога. За это студента нельзя наказывать. Такой студент считает, что это и есть логика. После окончания вуза человек продолжает псевдологику считать логикой и, например, становится жертвой мошенников. Псевдологика частично базируется на научной математической основе: 1) по Гильберту существуют различные логики, в том числе и такие, которые не покажутся адекватными; 2) существуют теоремы Геделя о неполноте практически всех логик. Существуют и психологические компоненты псевдологики.

Заметим, что часто в учебных пособиях [8–10], куда входит линейная алгебра, упоминают формулировку ТКК, но не приводят ее доказательства. Это допустимо. Большое количество доказательств в небольшом учебном курсе неизбежно приводит к снижению их качества. Не воспринятые студентом рассуждения и доказательства приносят большой вред на пути его личностного развития. В пособии [11] тоже лишь упоминается формулировка ТКК, но при этом присутствует с доказательствами весь контекст самого оптимального доказательства этой теоремы. В таких условиях построение доказательства ТКК в обе стороны можно было бы в книгу включить в качестве упражнения для студентов.

Пособие [12] содержит доказательство ТКК, которое автор настоящей статьи изучал, будучи студентом. Авторы пособий физически не могут сами доказать все теоремы из них. Они берут эти доказательства из других пособий такими, как они есть, с достоинствами и недостатками. Пособия [13, 14] содержат упоминавшийся выше оптимальный в смысле понимания студентами контекст доказательства ТКК. Напоминаем, пособие [11] тоже содержит этот контекст, но лишь частично. Что же входит в этот контекст, кроме ТКК и ее доказательства? Например, теорема о том, что если система (1) имеет квадратную матрицу A и det A≠0, тогда система (1) имеет единственное решение. Однако эта ветвь контекста нам пока не интересна из-за отсутствия идей о том, что можно было бы там изменить, чтобы доказательство ТКК стало бы короче. Другая ветвь рассматриваемого контекста – тема «Ранг матрицы». В пособиях [11, 13, 14] в эту тему добавлено понятие базисного минора прямоугольной матрицы – это один из миноров, реализующих ранг этой матрицы. Строки и столбцы, входящие в базисный минор, называют базисными. Заметим, что в результате само определение ранга матрицы становится легче понимаемым, оно становится нагляднее (это порядок минора, на который можно прямо указать). Доказывается теорема о базисном миноре. После этого доказательство теоремы 1 в нетривиальную сторону (⇐) становится совсем коротким, но в нем доказательства следствий 1.1 и 1.2 – таково содержание пособий [13, 14]. Нам известно, как исправить этот недостаток относительно следствий. Нужна совсем простая модернизация доказательства ТКК, приводимого в пособиях [13, 14]. Ниже мы приводим описание нашего модернизированного оптимального контекста (МОК) доказательства ТКК.

Теорема 2 (О базисном миноре): Имеется матрица и ее базисный минор, тогда:

1) базисные строки матрицы линейно независимы. Аналогично для базисных столбцов; 2) любая не базисная строка матрицы есть линейная комбинация ее базисных строк. Аналогично для столбцов матрицы.

***Модернизированное доказательство теоремы 1 в нетривиальную сторону* (⇐)**

У матрицы A есть базисный минор порядка r. Строки расширенной матрицы можно переставлять и столбцы матрицы системы можно переставлять. Поэтому мы можем считать, что базисные строки имеют номера 1...r и базисные столбцы имеют номера 1...r. Всякая не базисная строка расширенной матрицы есть линейная ком-

бинация ее базисных строк – строк с номерами 1...r. Проводя элементарные операции над строками расширенной матрицы с номерами r+1...n, мы сделаем эти строки нулевыми, такие строки из расширенной матрицы можно удалить.

$$[A'|A»|B'] \text{ при } r<n, \qquad (11)$$

где $A' \in \mathbf{R}^{rXr}$, $\det A' \neq 0$,

$A'' \in \mathbf{R}^{rXn-r}$, B' – r-мерный столбец;

$$[A'|B'] \text{ при } r=n, \qquad (12)$$

где $A' \in \mathbf{R}^{rXr}$, $\det A' \neq 0$,

B' – r-мерный столбец.

В результате преобразованная система будет эквивалентна исходной и расширенная матрица преобразованной системы будет при $r < n$ иметь вид (11) и при $r = n$ иметь вид (12). Далее повторяется то же самое содержание, что идет после формул (5) и (6) до слов «Таким образом, теорема 1 доказана также в другую (⇐) сторону». Не надо повторять только слова о треугольном виде матрицы A', он в доказательстве не используется и не нужен.

В пособии [15] ТКК выводится из теоремы Фредгольма о совместности системы линейных уравнений. В теме «Ранг матрицы» сначала вводятся понятия ранга по столбцам и ранга по строкам, затем доказывается их равенство. Вводится понятие ранга матрицы. Доказывается теорема о ранге матрицы. Контекст доказательства ТКК в пособии [15] значительно сложнее для понимания, чем в пособии [14]. Однако нельзя не учитывать того, что читатель пособия [15] получает значительно более разнообразную информацию о большем количестве теорем, понятий и их связи между собой.

Заключение

1. Цель настоящего исследования – выявление методов улучшения содержания доказательств математических теорем и результатов обучения студентов рассуждать и доказывать. Некоторые из таких методов выявлены и практически описаны. Выявить все такие методы невозможно. Следовательно, цель настоящего исследования достигнута.

2. Оптимизирован контекст доказательства ТКК при изучении КЛЛ. При этом использовались логико-математические методы. Однако полученный результат не математический, а педагогический.

3. Введенное в статье понятие и определяемое им явление выживания студента в вузе представляет собой педагогическую реальность, ее в перспективе необходимо изучать.

Список литературы

1. Булекбаев Д.А., Морозов А.В. Формирование и развитие навыков вычислительного эксперимента у обучающихся на примере исследования динамической системы // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2017. № 659. С. 202–209.

2. Булекбаев Д.А., Катранов А.Г., Морозов А.В. Формирование компетенций в курсе математики // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2015. № 648. С. 192–201.

3. Морозов А.В. О некоторых проблемах содержания курса дифференциальных уравнений // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 1. С. 73–78.

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. Социальные, психологические и методические причины трудностей изучения математики и программирования современными студентами // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4. С. 138–142.

6. Фокин Р.Р. О содержательном аспекте обучения математике и информатике в современной высшей школе // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6 (2). С. 340–344.

7. Фокин Р.Р. Декомпозиция и структурирование алгоритмов и программ С++ при изучении информатики в высшей школе // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11 (2). С. 417–421.

8. Николаева Н.И. Линейная алгебра. Векторная алгебра. Аналитическая геометрия: Конспект лекций. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. 88 с.

9. Ильязова Д.З. Линейная алгебра и аналитическая геометрия. Теория и практика: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2014. 171 с.

10. Гредасова Н.В., Корешникова М.А., Желонкина Н.И., Корчемкина Л.В., Полищук Е.Г., Иванов В.М., Андреева И.Ю. Линейная алгебра: учебное пособие / Науч. ред. докт. физ.-мат. наук, проф. А.Н. Сесекин. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. 88 с.

11. Брылевская Л.И., Лапин И.А., Ратафьева Л.С. Аналитическая геометрия и линейная алгебра: учебное пособие / Под общ. ред. Л.С. Ратафьевой. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2016. 156 с.

12. Конев В.В. Линейная алгебра: учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2018. 65 с.

13. Умнов А.Е. Аналитическая геометрия и линейная алгебра: учебное пособие. М.: МФТИ, 2020. 544 с.14. Канатников А.Н., Крищенко А.П. Аналитическая геометрия. Учебник для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 388 с.

14. 15. Карчевский Е.М., Карчевский М.М. Лекции по линейной алгебре и аналитической геометрии: учебное пособие / Науч. ред. докт. физ.-мат. наук, проф. Н.Б. Плещинский. Казань: Издательство Казанского университета, 2019. 303 с.

УДК 378.147:372.8

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ «ДЕБАТЫ» КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Щеголева А.В.

ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова», Краснодар, e-mail: kvvaul@mil.ru

Статья посвящена анализу образовательной технологии «Дебаты» и ее применению в практике преподавания иностранного языка в военном вузе. Автор описывает использование данной технологии с целью формирования внутренней мотивации к изучению иностранного языка за счет выбора актуальной темы, носящей проблемный характер; тщательной подготовки команд, а также многоплановости самого мероприятия. Данные факторы позволяют создать естественную образовательную среду, когда участники, работая над содержанием кейса (системы доказательств своей позиции), получают удовольствие от процесса познания. Автор рассматривает технологию на примере дебатов на английском языке по теме «Женщины в авиации: за или против?». Выбор темы обусловлен сменой стереотипов общественного сознания, переосмыслением роли и месте женщины в обществе и вооруженных силах. Описана фасилитирующая роль преподавателя, выступающего в роли тьютора и осуществляющего помощь участникам в поиске информации, проводя с ними мозговой штурм, обучая правилам написания речи для спикеров и навыкам ведения дискуссии. Статья также содержит результаты опроса участников об эффективности использования интерактивной технологии «Дебаты» с целью повышения мотивации к изучению иностранного языка.

Ключевые слова: обучение иностранному языку, образовательная технология «Дебаты», внутренняя мотивация, иноязычная коммуникативная компетенция, навыки ведения дискуссии, военный вуз

EDUCATIONAL TECHNOLOGY DEBATE AS A WAY OF INCREASING MOTIVATION FOR LEARNING A FOREIGN LANGUAGE

Schegoleva A.V.

Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, e-mail: kvvaul@mil.ru

The article is devoted to the analysis of the Educational Technology Debate and its application in teaching a foreign language at a military university. The author describes the use of this technology in order to form internal motivation for learning a foreign language by means of choosing a problematic actual topic, careful preparation of participating teams, as well as the diversity of the event itself. These factors make it possible to create a natural educational environment when participants, working on the content of a case (a system of evidence to generate proof), enjoy the process of cognition. The author illustrates the technology describing the debates in English on the topic *Women in Aviation: Pros and Cons.* The choice of the topic is due to the change of stereotypes of public consciousness and the role and place of women in the society and the Armed Forces. The facilitative role of a teacher who is also a team tutor is described. The teacher helps the participants to find necessary information, uses brainstorming techniques for developing ideas, teaches speakers how to make a speech. The article also contains the results of a survey on the effectiveness of the interactive debate technology in order to increase motivation to learn a foreign language.

Keywords: teaching English, educational technology Debate, intrinsic motivation, foreign language communicative competence, discussion skills, military university

Интерес к дебатам как образовательной технологии, используемой в учебной и внеучебной деятельности, в практике преподавания различных дисциплин, в том числе при обучении иностранному языку, не угасает с тех пор, как в 1993 г. Международным институтом «Открытое общество» была разработана и внедрена программа «Дебаты», которая была предназначена для реализации следующих целей: «способствовать становлению гражданского общества и развитию навыков жизнедеятельности в демократическом обществе; формировать уважительное отношение к различным взглядам; развивать партнерские отношения и умения работать в команде, способность концентрироваться на сути проблем, отстаивать непопулярные идеи» [1]. Участие в дебатах помогает развивать навыки ведения дискуссии, обмена мнениями и идеями, эффективной коммуникации, а также расширяет кругозор, развивает критическое мышление и интеллектуальные способности. Дебаты, проводимые на иностранном языке, способствуют формированию иноязычной коммуникативной компетенции и повышают уровень мотивации к изучаемому предмету.

Цель статьи – рассмотреть образовательную технологию «Дебаты» на примере ее использования в практике обучения английскому языку курсантов Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков. Материалом для исследования

послужили работы методистов и педагогов, использующих технологию «Дебаты» при обучении иностранному языку, а также авторская разработка дебатов по теме «Women in Aviation: Pros and Cons / Женщины в авиации: за и против».

Материалы и методы исследования

Основные методы исследования – теоретический анализ литературы, педагогическое наблюдение, опрос. Новизна исследования заключается в обосновании использования технологии «Дебаты» с целью повышения уровня мотивации к изучению иностранного языка в военном вузе.

Результаты исследования и их обсуждение

Большое внимание к образовательной технологии «Дебаты» объясняется ее эффективностью и многоплановостью применения. Так, например, Н.С. Белобородова, Н.А. Мельникова рассматривают данную технологию как форму развития критического мышления студентов колледжа, которое позволяет взглянуть на ситуацию с позиции другого, принимая во внимание точку зрения окружающих и ставя себя на их место; учит находить противоречия и использовать все доступные средства для решения проблемы; оценивать последствия действий, убеждений и идей [2]. Исследования О.А. Литовченко, Н.Е. Поповой показали большой потенциал данной технологии для формирования универсальных учебных действий (общекультурных, интеллектуальных, исследовательских, коммуникативных, ораторских, граждановедческих [3], они также способствуют формированию коммуникативной компетентности будущих педагогов профессионального обучения и мотивируют их к изучению дисциплин, связанных с будущей специальностью [4]. Дебаты могут выступать в качестве предметно-языкового интегрированного обучения. Отмечается эффективность данной личностно-ориентированной технологии, способствующей вовлечению обучающихся в процесс получения знаний, повышению уровня мотивации к изучению иностранного языка и развитию навыков межличностного общения и сотрудничества. Sayed Ahmed и Ali Alasmari [5], а также Letizia Cinganotto [6] отмечают важную роль дебатов при обучении всем видам речевой деятельности на иностранном языке: аудированию, говорению, чтению и письму. Участники дебатов имеют возможность расширить словарный запас, они также развивают умение выступать публично, слушать и слышать собеседника, выражать и отстаивать определенную точку зрения, приводя для этого аргументы и подкрепляя их примерами.

Словарь Т.Ф. Ефремовой дает следующее определение понятию «дебаты»: «публичные споры при обсуждении чего-л., обмен мнениями по каким-л. вопросам» [7]. В повседневной жизни мы часто вступаем в споры – это неформальные дискуссии, возникающие часто стихийно и проходящие без всяких правил. Формальные дебаты используются в политической жизни, в том числе предвыборных кампаниях, на заседаниях государственных структур, в судебном процессе, в средствах массовой информации, бизнесе и научной деятельности. Специально организованные формальные дебаты, когда две команды проводят спор по поводу предложенного тезиса, могут проводиться при организации как учебной, так и внеучебной деятельности.

Л.А. Турик, анализируя дебаты, отмечает, что данная технология развивает системное видение проблемы, логику, умение выражать свои мысли, вести полемику; у участников игры растет степень уверенности в себе, совершенствуется умение создавать систему аргументов и контраргументов, работать в команде [1]. В основе дебатов лежат следующие принципы: уважение к оппоненту (критикуется точка зрения, а не люди), честность в аргументах, а также принцип приобретения знаний, когда обучение важнее, чем победа. Участники игры делятся на две команды: утверждающая (Affirmative) и отрицающая (Negative). Спикеры каждой из команд должны аргументировать свою точку зрения на проблему и убедить судей в преимуществе своей позиции. Подготовку к игре осуществляет тьютор – тренер, формирующий команды, помогающий спикерам корректировать доказательства для обоснования позиции команды; он проводит мозговой штурм, обсуждая аргументы и контраргументы. Порядок проведения дебатов отличается в зависимости от формата. Наиболее распространенные – классические дебаты Карла Поппера, Парламентские дебаты, дебаты Линкольна – Дугласа, а также различные модифицированные дебаты. Важный этап успешных дебатов – выбор темы, которая должна быть актуальной, проблемной, отвечать интересам участников, быть значимой и перспективной для обсуждения; она также должна отличаться четкостью и конкретностью формулировки. Каждой команде следует представить систему доказательств для обоснования своей позиции – кейс, в состав которого входит актуальность темы и ее многоаспектное аргументирован-

ное обоснование с различных точек зрения, подкрепленное аргументами и фактами, а также статистическими данными. При этом аргументы должны быть, с одной стороны, очевидны, а с другой – нетривиальны. В большинстве случаев формат дебатов предусматривает наличие перекрестных вопросов, когда каждому участнику предоставляется возможность отвечать на вопросы спикера-оппонента. Данный раунд может как быть использован для уточнения информации и разъяснения позиции, так и носить провокационный характер для снижения значимости аргументации оппонентов.

Самая главная и сложная часть при подготовке кейса – аргументация. В процессе разработки доказательной базы необходимо заранее продумать, точны ли приводимые сведения, нет ли в них противоречий, можно ли привести подходящие примеры для иллюстрации и насколько весомые возражения могут возникнуть у оппонентов. Таким образом, каждая из команд еще на этапе подготовки к дебатам проводит мозговой штурм, в процессе которого создается как пакет аргументов, так и пакет контраргументов. Спикерам следует тщательно готовиться к выступлению, продумав весь его ход, так как самый лучший экспромт – хорошо подготовленный. Речь должна быть записана, но нельзя все читать, это не произведет должного впечатления. Начинать следует с приветствия в адрес другой команды, судей и зрителей. Используя метод «зацепки», можно начать выступление с необычного вопроса или сравнения, кратко изложить суть проблемы с использованием личного опыта. Во время публичного выступления можно пользоваться сигналами внимания, задав риторический вопрос аудитории, или сослаться на известное всем событие, напоминание о котором вызовет определенный отклик. Удачно подобранная цитата добавит вес выступлению, а предложения-связки между его частями придадут речи четко структурированный характер. Поза, жесты, паузы и модуляция голоса несут не только эмоциональную, но и смысловую нагрузку. Процесс игры в дебаты строго регламентирован, таймкипер следит за соблюдением правил. Судьи, наблюдая за ходом дискуссии, принимают решение о степени убедительности каждой из команд, оценивают работу спикеров и комментируют свое решение.

Проведение дебатов на иностранном языке – один из аспектов в многогранной работе кафедры, направленной на повышение интереса к изучению иностранного языка в военном вузе. Учитывая, что содержание обучения может выступать важным мотивационным фактором, преподаватели большое внимание уделяют отбору аутентичного текстового материала, отражающего интересы обучающихся [8], создаются условия для профессионального речевого общения за счет использования инновационных квазипрофессиональных технологий, сочетающих как учебные черты, так и элементы будущей профессиональной деятельности [9], кардинально меняется организация и способы оценки самостоятельной работы по предмету [10–12], разработаны пособия по внеаудиторному практикуму, мотивирующие обучающихся к самостоятельной работе по усвоению базового материала и повышающие степень личной ответственности за конечный результат [13]. Все это способствует повышению мотивации к изучению иностранного языка и формированию иноязычной коммуникативной компетенции.

Рассмотрим более подробно систему подготовки и проведения дебатов на английском языке в Краснодарском высшем военном авиационном училище летчиков. Учитывая, что предмет обсуждения должен быть актуален, носить проблемный характер и представлять интерес для участников, было предложено подготовить дебаты на тему «Women in Aviation: Pros and Cons». Выбор темы обусловлен следующими факторами: смена стереотипов общественного сознания, переосмысление роли и места женщины в обществе и вооруженных силах. Возможность стать военным летчиком перестает быть уделом только мужчин. Ежегодно, начиная с 2017 г., в училище осуществляется набор девушек, которые обучаются по четырем направлениям: управление военно-транспортными самолетами, истребителями, штурмовиками и самолетами дальней авиации. Нами была выдвинута гипотеза, что предложенная тема не сможет оставить равнодушным никого из участников дискуссии.

Для успешного проведения дебатов на английском языке необходимо было сформировать команды из курсантов с достаточно высоким уровнем владения иностранным языком. Учитывая, что ежегодно на конкурсной основе происходит отбор в группу по подготовке офицеров по профилю военной специальности с получением дополнительной квалификации переводчика в сфере профессиональной коммуникации, было решено предложить будущим военным переводчикам принять участие в дебатах. Идеальным вариантом было бы сформировать женскую утверждающую и мужскую отрицающую команды, но из-за недостаточного количества

девушек, хорошо владеющих английским языком, пришлось подобрать смешанную команду Affirmative, объяснив, что данным участникам необходимо отстаивать положение о том, что женщины могут занять достойное место в военной авиации (даже если их реальная точка зрения не совпадает с данным тезисом). Собрать команду Negative оказалось несложно, так как практически любой курсант мужского пола отрицательно относится к самой идее получения профессии военного летчика девушками. Далее был проведен инструктаж о формате и порядке проведения дебатов, а также выбраны спикеры (по два от команды). Преподаватель, являясь тьютором, на протяжении всей подготовки к игре выступал в роли фасилитатора, осуществляя помощь в поиске информации, проводя мозговой штурм с представителями разных команд, объясняя правила написания речи для спикеров, приводя примеры аргументации и контраргументации.

В связи с тем, что целью проводимых нами дебатов было совершенствование навыков устной речи и повышение мотивации к изучению иностранного языка, мы остановились на учебном формате дебатов. Был утвержден следующий порядок:

1. Вступительное слово преподавателя (приветствие участников и членов жюри, информация о порядке проведения дебатов).
2. Презентация о женщинах-летчицах 588 полка ночных бомбардировщиков, известных как Night Witches / Ночные ведьмы (в качестве устно-речевой разминки для разогрева аудитории).
3. Спикер 1 команды Affirmative (до 4 минут).
4. Спикер 1 команды Negative (до 4 минут).
5. Перекрестные вопросы (члены команды поочередно задают вопросы оппонентам и отвечают, приводя контраргументы).
6. Спикер 2 команды Negative (опровергает аргументы оппонентов, выдвигая контраргументы и подводит итог по ключевым вопросам).
7. Спикер 2 команды Affirmative (подводит итог основным положениям, давая ответ на аргументы команды соперников, подкрепляя контраргументы цифрами и фактами).
8. Выступление жюри, подведение итогов и оценка работы команд.
9. Песня Night Witches группы Sabaton в исполнении курсантов.
10. Feedback. Письменный опрос участников дебатов об отношении к данному формату внеаудиторного мероприятия по иностранному языку и его месте в системе языковой подготовки.

Залог успеха любого занятия – тщательно подготовленное методическое обеспечение. Всем участникам был предоставлен раздаточный материал, содержащий фразы, которыми следует пользоваться при обращении к аудитории, оппонентам и судьям; перечень аргументов за / против профессии летчика (Pros and Cons of Being a Pilot), список качеств, которыми должен обладать летчик (Qualities Required to Become a Pilot), умений и навыков, необходимых каждому летчику (Soft and Hard Pilot Skills). Это так называемый Active Vocabulary Bank, т.е. активный словарь, без знания которого невозможно правильно сформулировать мысль на английском языке из-за недостатка лексического запаса.

Подготовка к дебатам и само мероприятие позволили создать естественную образовательную среду, в которой участники старались глубже изучить тему обсуждения и получали удовольствие от приобретения знаний. Таким образом, осуществлялся процесс формирования внутренней мотивации к изучению иностранного языка, под которой мы понимаем совокупность мотивов, заложенных в учебной деятельности. Это мотивы, связанные с содержанием и самим процессом учения в отличие от внешней мотивации, когда побудительные причины деятельности не связаны непосредственно с ее содержанием, а задания выполняются ради получения награды или избегания наказания [14]. Внутренняя познавательная мотивация не только является важным условием академической успеваемости, но и, как отмечают Т.О. Гордеева, О.А. Сычев, Е.Н. Осин, выступают фактором психологического благополучия, удовлетворенности жизнью; когда обучающимся «в целом наиболее присущи внутренние мотивы, связанные с удовольствием от учебной деятельности и стремлением достичь в ней успеха» [15, с. 45]. Опрос участников дебатов, проведенный после подведения итогов, показал высокую степень интереса обучающихся к данной образовательной технологии. Всем участникам было предложено выразить в процентах, до какой степени данная форма занятий мотивирует их к изучению иностранного языка. Один из респондентов ответил, что на 85%, двое – на 80%, остальные участники считают, что данная интерактивная игровая технология на 100% мотивирует к изучению иностранного языка. Более того, все участники отметили актуальность темы и желание участвовать в дебатах в дальнейшем. В качестве возможных тем для будущих дискуссий были предложены следующие:

1. Противостояние США и России.
2. Военная и гражданская авиация.

3. Рода современной авиации и какая авиация лучше.

4. Смешанные экипажи.

5. Роль российской авиации в Сирийском конфликте.

Данный перечень свидетельствует, с одной стороны, о профессиональной направленности интересов будущих летчиков, а с другой, о желании обсуждать проблемные вопросы на английском языке, что подтверждает эффективность описанной технологии и правильность выбранного вектора в работе кафедры, создающей специальные условия для формирования внутренней мотивации к изучению иностранного языка.

Участникам также было предложено перечислить факторы, которые отрицательно сказались на степени подготовки к дебатам. Все отметили недостаток информационных ресурсов. Кроме того, нехватка свободного времени и загруженность в связи с исполнением служебных обязанностей (наряды, командировки, строевая подготовка) также оказали некоторое негативное влияние на качество подготовки отдельных участников, которые не смогли до конца проявить свой потенциал.

Принимая во внимание эффективность рассматриваемой технологии, мы считаем, что перспективным направлением может быть использование дебатов не только во внеаудиторных мероприятиях среди обучающихся с высоким уровнем владения иностранным языком, но и во время аудиторных занятий на заключительном этапе изучения темы после усвоения базовой лексики и необходимых грамматических структур. Преподавателю, выбравшему данную форму занятия, следует подготовить методическое сопровождение в виде разноуровневых опор для участников дебатов.

Заключение

1. Применение современных образовательных технологий позволяет сделать учебный процесс более продуктивным, эффективным, интересным, информационно насыщенным.

2. Участие в дебатах помогает развивать навыки ведения дискуссии, обмена мнениями и идеями, эффективной коммуникации, а также расширяет кругозор, способствует развитию интеллектуальных способностей, критического мышления.

3. Дебаты, проводимые на английском языке, способствуют формированию иноязычной коммуникативной компетенции, расширению словарного запаса и беглости речи, совершенствуют навыки всех видов речевой деятельности.

4. Тот факт, что все участники внеаудиторного мероприятия по иностранному языку проявили активность в обсуждении интересующего их вопроса и выразили желание в дальнейшем участвовать в дебатах, свидетельствует о большом потенциале использования данной образовательной технологии с целью повышения уровня мотивации к изучению иностранного языка.

Список литературы

1. Турик Л.А. Теоретические и прикладные аспекты методической работы педагога дополнительного образования. Педагогическая технология «дебаты»: учебное пособие / Л.А. Турик, Д.П. Ефимченко. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство «Юрайт», 2019. 184 с.

2. Белобородова Н.С., Мельникова Н.А. Дебаты как форма развития критического мышления студентов колледжа // Мир науки, культуры, образования. 2016. .№ 6 (61). С. 73–75.

3. Литовченко О.А., Попова Н.Е. Технология «дебаты» как основа формирования универсальных учебных действий учащихся // Педагогическое образование в России. 2016. № 8. С. 118–122.

4. Vaganova O.I., Tsyganova L.V., Chelnokova E.A., Lapshova A.V., Turchina L.A. Technology “Debate” as a tool for communicative development. Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9. No 27. P. 367–375.

5. Ahmed S., Alasmari A. Using Debate in EFL Classes: Debate and technology to develop English skills. English Language Teaching. 2013. Vol. 6. No. 1. P. 147–152.

6. Cinganotto L. Debate as a teaching strategy for language learning. Lingue Linguaggi. 2019. Vol. 30. P. 107–125.

7. Значение слова «дебаты». Толковый словарь. [Электронный ресурс]. URL: https://rustxt.ru/dict (дата обращения 01.02.2022).

8. Щеголева А.В. Реализация основных принципов отбора текстового материала при обучении иностранному языку / Наука современности: проблемы и решения: сборник научных статей. Научный ред. М.В. Веденькина. М., 2019. С. 108–114.

9. Щеголева А.В., Шпальченко Э.П. Оптимизация формирования профессионально-коммуникативной компетенции при обучении авиационному английскому языку // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 3. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=30911 (дата обращения: 14.02.2022).

10. Щеголева А.В., Анисимова Е.С. Изменение содержательной стороны внеаудиторного практикума по английскому языку и способов его оценки // Концепт. 2016. № S7. С. 70–76. URL: http://e-koncept.ru/2016/76094.htm (дата обращения: 14.02.2022).

11. Щеголева А.В. Методико-педагогический эксперимент по изменению содержания и способов оценки самостоятельной работы по иностранному языку в военном вузе // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. 2020. Т. 6 (72). № 1. С. 67–75.

12. Колесникова А.Ю., Чижикова С.Н. Содержание и оценка внеаудиторного практикума в качестве источника внутренней мотивации к изучению иностранного языка // Международный сборник научных трудов. Краснодар: КВВАУЛ, 2021. С. 137–143.

13. Воробец Л.В., Чижикова С.Н. Английский язык. Внеаудиторный практикум. Краснодар: КВВАУЛ, 2018. 94 с.

14. Словарь по педагогической психологии. [Электронный ресурс]. URL: https://1303.slovaronline.com (дата обращения 02.02.2022).

15. Гордеева Т.О., Сычев О.А., Осин Е.Н. Внутренняя и внешняя учебная мотивация студентов: их источники и влияние на психологическое благополучие // Вопросы психологии. 2013. № 1. С. 35а–45.