

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 1,007
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,308

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, Алов В.З. (Нальчик); д.т.н., доцент, Аршинский Л.В. (Иркутск); д.т.н., профессор, Ахтулов А.Л. (Омск); д.т.н., профессор, Баёв А.С. (Санкт-Петербург); д.т.н., профессор, Баубеков С.Д. (Тараз); д.т.н., профессор, Беззубцева М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.-м.н., профессор, Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., профессор, Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.-м.н., профессор, Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., профессор, Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., профессор, Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., профессор, Горбатько С.М. (Москва); д.т.н., профессор, Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., профессор, Далингер В.А. (Омск); д.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, Загrevский О.И. (Томск); д.т.н., профессор, Ибраев И.К. (Караганда); д.т.н., профессор, Иванова Г.С. (Москва); д.х.н., профессор, Ивашкевич А.Н. (Москва); д.ф.-м.н., профессор, Ижуктин 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, Кузьякина В.В. (Владивосток); д.т.н., доцент, Кузьяков 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, Скрышник О.Н. (Иркутск); д.п.н., профессор, Собынин Ф.И. (Белгород); д.т.н., профессор, Страбыкин Д.А. (Киров); д.т.н., профессор, Сугак Е.В. (Красноярск); д.ф.-м.н., профессор, Тактаров Н.Г. (Саранск); д.п.н., доцент, Тутолмин А.В. (Глазов); д.т.н., профессор, Умбетов У.У. (Кызылорда); д.м.н., профессор, Фесенко Ю.А. (Санкт-Петербург); д.п.н., профессор, Хола Л.Д. (Нерюнгри); д.т.н., профессор, Часовских В.П. (Екатеринбург); д.т.н., профессор, Ченцов С.В. (Красноярск); д.т.н., профессор, Червяков Н.И. (Ставрополь); д.т.н., профессор, Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., профессор, Шарифеев И.Ш. (Казань); д.т.н., профессор, Шишков В.А. (Самара); д.т.н., профессор, Щипицын А.Г. (Челябинск); д.т.н., профессор, Яблокова М.А. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент, Хайдаров А.Г. (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 = 1,007.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,308.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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 – 28.02.2023

Дата выхода номера – 31.03.2023

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. 27,25

Тираж 1000 экз.

Заказ СНТ 2023/2

Подписной индекс ПА037

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (1.2.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.3, 2.5.5, 2.5.7, 2.5.8)

СТАТЬИ

| | |
|---|----|
| О ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ РЕАЛИЗАЦИИ ДОСТАВКИ ТОВАРОВ <i>Алхимова Д.С., Салпагаров С.И.</i> | 9 |
| НЕСТАНДАРТНЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ <i>Болотнов А.М., Купцова А.Ф.</i> | 17 |
| МОДЕЛЬ С ЛАТЕНТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЙТИНГОВЫХ ОЦЕНОК <i>Братищенко В.В.</i> | 23 |
| МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ <i>Гладких Т.Д.</i> | 30 |
| ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЕРВИЧНОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ КОНЕЧНОСТЕЙ <i>Головин М.А., Янковский В.М., Клименко Ф.Н., Черникова М.В., Фогт Е.В., Суфэльфа А.Р., Петраускас М.В., Щербина К.К.</i> | 36 |
| ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИСКУССТВЕННЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА АКТИВАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ НА ИНТЕРПОЛИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ <i>Дударов С.П., Папаев П.Л., Маркин И.С.</i> | 45 |
| К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРЕБЫВАНИЯ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ <i>Иванова Н.А., Кубанских О.В., Карбанович О.В., Махина Н.М., Беднаж В.А.</i> | 53 |
| МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА <i>Ивацук О.А., Гончаров Д.В., Федоров В.И., Гурьянова О.И.</i> | 59 |
| НЕКОРРЕКТНАЯ ЗАДАЧА АНАЛИЗА РИСКА ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Извеков Ю.А., Кадченко С.И., Грачева Л.А., Боброва И.И., Трофимов Е.Г.</i> | 66 |
| МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДОБЕШИ В ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ПОЛЯХ ГАЛУА <i>Калмыков И.А., Чистоусов Н.К., Калмыков М.И., Духовный Д.В., Юрданов Д.В.</i> | 71 |
| УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ В МОДЕЛЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Лебедев В.И.</i> | 77 |

| | |
|---|-----|
| ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОЛИВА <i>Правосудов А.Р., Ямашкин С.А.</i> | 83 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС НА ОСНОВЕ КУСОЧНО-ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ <i>Ромм Я.Е., Джанунц Г.А.</i> | 88 |
| ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССОРА С МИКРОПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ В MICROSOFT EXCEL <i>Страбыкин Д.А.</i> | 102 |
| РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ РИСКА ИНСАЙДЕРСКИХ УГРОЗ <i>Фадюшин С.Г.</i> | 111 |
| ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ BIM-ПРОЕКТА ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРОЕКТА <i>Шалина Д.С., Тихонов В.А., Степанова Н.Р.</i> | 116 |

Педагогические науки (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)

СТАТЬИ

| | |
|--|-----|
| РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ НАГЛЯДНОГО ОБУЧЕНИЯ В ТРУДАХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЕДАГОГОВ КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА <i>Гараева Е.А.</i> | 124 |
| ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКА ИНЖЕНЕРНОГО ВУЗА В ПАРТНЕРСТВЕ С РАБОТОДАТЕЛЯМИ <i>Горшкова О.О.</i> | 129 |
| ЦИФРОВЫЕ НАВЫКИ КАК КОМПОНЕНТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ: ГОТОВ ЛИ УЧИТЕЛЬ? <i>Егоров К.Б., Захарова В.А., Половина И.П.</i> | 135 |
| МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ, ОСНОВАННАЯ НА НЕПРЕРЫВНОЙ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СТУДЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА <i>Закиева Р.Р.</i> | 144 |
| «МЕТОД ДУБЛИРОВАНИЯ» В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ <i>Колесников Д.Е., Саблина М.А., Богданова Н.В.</i> | 149 |
| МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРЕАТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ <i>Крутова О.В., Крутова И.А.</i> | 154 |
| ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГРУЗИНСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ОБ ОБЩЕМ ОБРАЗОВАНИИ <i>Маркова О.В.</i> | 159 |

| | |
|---|-----|
| ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ | |
| <i>Рябова Е.В.</i> | 164 |
| РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДИДАКТИКИ | |
| <i>Старыгина С.Д., Нуриев Н.К.</i> | 169 |
| САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ В ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ | |
| <i>Сухарев А.И., Ланищикова Г.А., Позднякова Т.Ю.</i> | 179 |
| О ВЫБОРЕ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРАКТИКУМА ПО ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКЕ | |
| <i>Тутынина О.И., Беспалько А.А., Мазниченко В.В.</i> | 185 |
| МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ | |
| <i>Ульянов В.Ю., Гришин С.Е., Зверева К.П., Норкин И.А., Клоктунова Н.А.</i> | 190 |
| РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ КОРРЕКЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ | |
| <i>Чернобровкин В.А., Карлова Ю.В., Мужилевская Д.В., Барбина В.Д., Чернобровкина М.В.</i> | 198 |
| ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МЫШЛЕНИЕ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА: ПОНЯТИЙНЫЙ АНАЛИЗ И ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ | |
| <i>Чигиринская Н.В., Григорьева О.Е., Бочкин А.М., Андреева М.И.</i> | 205 |
| ЦЕННОСТНОЕ САМООПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИЧНОСТИ С ПОЗИЦИЙ НАУЧНОЙ РАЦИОНАЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ | |
| <i>Яковлева Н.Ф.</i> | 212 |

CONTENTS

Technical sciences (1.2.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.3, 2.5.5, 2.5.7, 2.5.8)

ARTICLES

| | |
|--|----|
| ABOUT SOFTWARE TOOLS FOR THE GOODS DELIVERY IMPLEMENTATION <i>Alkhimova D.S., Salpagarov S.I.</i> | 9 |
| NON-STANDARD INTERVAL OPERATIONS IN SOLVING APPLIED PROBLEMS <i>Bolotnov A.M., Kuptsova A.F.</i> | 17 |
| MODEL WITH LATENT PARAMETERS FOR ANALYSIS OF RATINGS <i>Bratischenko V.V.</i> | 23 |
| THE DEPENDABILITY MODEL OF THE INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM <i>Gladkikh T.D.</i> | 30 |
| ADDITIVE TECHNOLOGIES IN PRIMARY LIMB PROSTHETICS <i>Golovin M.A., Yankovskiy V.M., Klimenko F.N., Chernikova M.V., Fogt E.V., Sufel'fa A.R., Petrauskas M.V., Scherbina K.K.</i> | 36 |
| INTERPOLATION OF ONE-DIMENSIONAL AND MULTIDIMENSIONAL NONLINEAR DEPENDENCIES BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS OF RADIAL BASIS FUNCTIONS. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE CHOICE OF THE ACTIVATION FUNCTION ON THE INTERPOLATING ABILITY <i>Dudarov S.P., Papaev P.L., Markin I.S.</i> | 45 |
| ON THE DESIGN OF A MICROCLIMATE MONITORING SYSTEM IN THE PREMISES OF STAY OF THE ELDERLY <i>Ivanova N.A., Kubanskikh O.V., Karbanovich O.V., Makhina N.M., Bednash V.A.</i> | 53 |
| COMPREHENSIVE ASSESSMENT METHOD OF AGRICULTURAL TERRITORIES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN TERMS OF THE GREENHOUSE EFFECT DYNAMICS <i>Ivashchuk O.A., Goncharov D.V., Fedorov V.I., Guryanova O.I.</i> | 59 |
| INCORRECT PROBLEM OF RISK ANALYSIS OF HAZARDOUS OBJECTS OF A METALLURGICAL ENTERPRISE <i>Izvekov Y.A., Kadchenko S.I., Gracheva L.A., Bobrova I.I., Trofimov E.G.</i> | 66 |
| MATHEMATICAL MODELS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DOBESHI WAVELET TRANSFORM IN INTEGER GALOIS FIELDS <i>Kalmykov I.A., Chistousov N.K., Kalmykov M.I., Dukhovnyy D.V., Yurdanov D.V.</i> | 71 |
| DEVELOPMENT MANAGEMENT IN MODELS OF DYNAMIC SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS <i>Lebedev V.I.</i> | 77 |
| INTERNET OF THINGS: ORGANIZATION OF AUTOMATED IRRIGATION <i>Pravosudov A.R., Yamashkin S.A.</i> | 83 |

| | |
|---|-----|
| SIMULATION OF THE GLONASS NAVIGATION SATELLITES' MOTION BASED ON PIECEWISE INTERPOLATION SOLUTION OF THE CAUCHY PROBLEM FOR A DIFFERENTIAL SYSTEM | |
| <i>Romm Ya.E., Dzhanunts G.A.</i> | 88 |
| A FUNCTIONAL MODEL OF A TRAINING MICROPROCESSOR WITH A MICROPROGRAMMABLE ARCHITECTURE IN MICROSOFT EXCEL | |
| <i>Strabykin D.A.</i> | 102 |
| DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIAGNOSING THE RISK OF INSIDER THREATS | |
| <i>Fadyushin S.G.</i> | 111 |
| VISUAL REPRESENTATION OF BIM PROJECT IMPLEMENTATION TO SIMPLIFY PROJECT LIFE CYCLE MANAGEMENT | |
| <i>Shalina D.S., Tikhonov V.A., Stepanova N.R.</i> | 116 |

Pedagogical sciences (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)

ARTICLES

| | |
|--|-----|
| THE DEVELOPMENT OF THE THEORY AND PRACTICE OF VISUAL EDUCATION IN THE WORKS OF DOMESTIC TEACHERS OF THE LATE XIX – EARLY XX CENTURIES | |
| <i>Garaeva E.A.</i> | 124 |
| FORMATION OF COMPETENCIES OF A GRADUATE OF AN ENGINEERING UNIVERSITY IN PARTNERSHIP WITH EMPLOYERS | |
| <i>Gorshkova O.O.</i> | 129 |
| DIGITAL SKILLS AS COMPONENTS OF FUNCTIONAL LITERACY: IS THE TEACHER READY? | |
| <i>Egorov K.B., Zakharova V.A., Polovina I.P.</i> | 135 |
| MODEL OF EDUCATIONAL QUALITY MANAGEMENT BASED ON CONTINUOUS OBJECTIVE ASSESSMENT OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF A TECHNICAL UNIVERSITY STUDENT | |
| <i>Zakieva R.R.</i> | 144 |
| THE “DUPLICATION METHOD” IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE USING VIDEO MATERIALS | |
| <i>Kolesnikov D.E., Sablina M.A., Bogdanova N.V.</i> | 149 |
| METHODS OF LEARNING CREATIVE TECHNICAL THINKING OF THE PERSONALITY | |
| <i>Krutova O.V., Krutova I.A.</i> | 154 |
| FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF GEORGIAN LEGISLATION ON GENERAL EDUCATION | |
| <i>Markova O.V.</i> | 159 |
| ERGONOMIC TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF COORDINATION ABILITIES OF JUNIOR SCHOOLCHILDREN | |
| <i>Ryabova E.V.</i> | 164 |

| | |
|--|-----|
| DEVELOPMENT OF A THEORETICAL AND METHODOLOGICAL INSTRUMENTAL DIGITAL PLATFORM OF DIDACTICS <i>Starygina S.D., Nuriev N.K.</i> | 169 |
| INDEPENDENT WORK OF STUDENTS IN A PRACTICE-ORIENTED LEARNING MODEL <i>Sukharev A.I., Lanschikova G.A., Pozdnyakova T.Yu.</i> | 179 |
| ON THE CHOICE OF TASKS FOR A WORKSHOP ON PROBABILITY THEORY AND MATHEMATICAL STATISTICS <i>Tutykina O.I., Bespalko A.A., Maznichenko V.V.</i> | 185 |
| STUDY OF ALUMINUM ALLOY ROLLING OIL ANTIFRICTION PROPERTIES BY ULTIMATE REDUCTION METHOD <i>Ulyanov V.Yu., Grishin S.E., Zvereva K.P., Norkin I.A., Kloktunova N.A.</i> | 190 |
| DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES CORRECTIONAL AND PEDAGOGICAL SUPPORT CHILDREN WITH DISABILITIES <i>Chernobrovkin V.A., Karlova Yu.V., Muzhilevskaya D.V., Barbina V.D., Chernobrovkina M.V.</i> | 198 |
| METHODOLOGICAL AND METHODICAL FOUNDATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL INTELLECTION OF A FUTURE ENGINEER <i>Chigirinskaya N.V., Grigoreva O.E., Bochkina A.M., Andreeva M.I.</i> | 205 |
| VALUE SELF-DETERMINATION OF THE INDIVIDUAL FROM THE STANDPOINT OF SCIENTIFIC RATIONALITY OF VARIOUS TYPES <i>Yakovleva N.F.</i> | 212 |

СТАТЬИ

УДК 658:004

**О ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ РЕАЛИЗАЦИИ
ДОСТАВКИ ТОВАРОВ****Алхимова Д.С., Салпагаров С.И.***ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва,**e-mail: salpagarov-si@rudn.ru*

В статье рассматриваются наиболее распространенные современные сервисы автоматизации и оптимизации процессов логистики в компаниях, прямо или косвенно занимающихся доставкой товаров. В частности, рассмотрены такие программные средства для автоматизации доставки, как Maxoptra, Delans, ЯКурьер, Мегалогист, Advantum Контроль доставки, МАППА, Яндекс Маршрутизация, 1С: TMS Логистика и Relog. В работе представлен сравнительный анализ функционала данных программных средств поиска и прокладывания маршрутов на карте в целях организации рационального процесса доставки товаров. В рамках проведенного анализа составлена сравнительная характеристика компьютерных программ для осуществления транспортировки, по таким критериям, как наличие мобильного приложения для курьера, системы оповещения клиентов, возможности автоматического планирования внутригородских и междугородних маршрутов на несколько дней вперед, использования тарифного калькулятора для расчета доставки по геофонам, контроля отклонения в расписании, состояния груза и температурного режима при транспортировке, поддержка работы с электронным документооборотом и системами GPS-мониторинга, возможности учета промежутков работы и отдыха и вознаграждений водителей. В данной работе предложена система, в которой собраны все критерии наиболее известных программных средств доставки. Система построена по принципу запрос-ответ. В качестве запроса пользователь должен сформировать четкое описание, что необходимо конкретной компании для успешной доставки товаров. В качестве ответа система выводит наиболее подходящий сервис доставки. Помимо технических характеристик в систему дополнительно введены данные о стоимости по владению каждого из указанных программных средств, что позволит наиболее полно оценить экономическую эффективность принятого решения.

Ключевые слова: задача о доставках, доставка, программы для доставки, логистика, логистические процессы, критерии выбора сервисов доставки

**ABOUT SOFTWARE TOOLS
FOR THE GOODS DELIVERY IMPLEMENTATION****Alkhimova D.S., Salpagarov S.I.***People Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: salpagarov-si@rudn.ru*

The article discusses the most common modern services for automation and optimization of logistics processes in companies directly or indirectly engaged in the goods delivery. In particular, such software tools as Maxoptra, Delans, YaCourier, Megalogist, Advantum Delivery Control, MAPPA, Yandex.Routing, 1С: TMS Logistics and Relog are investigated. The article provides a comparative analysis of these software tools functionality for searching and laying routes on the map in order to organize a rational process of goods transportation. As part of the analysis, a comparative characteristic of computer software for transportation has been compiled according to such criteria as the availability of a mobile application for a courier, a customer notification system, the possibility of intra-city and intercity routes automatic planning for several days in advance, the use of a tariff calculator to compute delivery cost adjusted for geo-fences, control of schedule deviations, the cargo and temperature conditions during the transportation, support for working with electronic document management and GPS monitoring systems, the possibility of accounting for work and rest periods and driver rewards. This paper proposes a system in which all the criteria of the most well-known software tools of delivery are collected. The system is based on the request-answer principle. As a request, the user should form a clear description of what is needed for a particular company to successfully deliver the goods. As a response, the systems output the most suitable delivery service. In addition to the technical characteristics, the cost of ownership of each of these software products has been added to the system, which will allow the fullest assessment of the cost-effectiveness of the decision.

Keywords: delivery problem, delivery, application for delivery services, logistics, logistic processes, criteria for choosing a delivery service

Сегодня, не выходя из дома, можно приобрести любой товар, тогда как до широкого распространения интернет-магазинов для этого требовалось затратить гораздо больше усилий и времени, и, что немаловажно, товар обходился, как правило, дороже. Интернет-магазины обладают неоспоримым преимуществом – они предлагают огромный ассортимент товаров, который не смог бы в себе уместить ни один крупный магазин. Следует также отметить,

что онлайн-покупки получают все большее признание ввиду того, что покупатель получает возможность спокойно изучить всю информацию о товаре, его характеристики, а также ознакомиться с отзывами о товаре. Еще один важный момент – покупатель не подвержен уговорам продавца, который обычно старается навязать наименее продаваемый товар. В некоторых жизненных ситуациях неоспоримым достоинством выступает возможность покупки товара ано-

нимно. Таким образом, можно констатировать, что покупки через интернет-магазины имеют массу преимуществ перед розничными магазинами, ввиду чего становятся все более распространенными.

За последние годы, в связи с возникновением и распространением коронавирусной инфекции, люди стали заметно чаще при онлайн-покупке товаров делать выбор в пользу курьерской доставки на дом или в ближайший к месту жительства транзитный пункт.

В связи с повышенным спросом на транспортировку грузов любого типа и размера (от одежды до крупногабаритной мебели) возросли ожидания и требования клиентов к качеству предоставляемых услуг, в особенности к такому фактору, как сроки доставки. Особенно важен временной критерий для компаний, занимающихся доставкой скоропортящихся продуктов питания, лекарств и продуктов первой необходимости.

В настоящее время практически невозможно обеспечивать развитие своего бизнеса без функционала доставки товаров. Однако внедрение и успешная интеграция услуг доставки грузов в экосистему предприятия несет определенные трудности для компаний. Есть два способа организации процесса доставки: первый – создание собственного отдела доставки, второй – сотрудничество со сторонней курьерской службой. Для организации собственного отдела доставки необходимо учесть затраты на человеческие, технические и транспортные ресурсы. Если компания предпочитает второй путь, то необходимо очень тщательно подойти к поиску подрядчика, готового взять на себя ответственность за процесс транспортировки и доставки товаров клиентам с учетом рисков. Выбор сторонней курьерской службы доставки может принести ряд дополнительных неудобств компаниям, реализующим доставку товаров, требующих особых условий хранения и перевозки (хрупкие, скоропортящиеся, со специфическими запахами и т.д.) [1].

Особую трудность на пути подготовки условий для процесса доставки в компании представляет необходимость обеспечения возможности транспортировки товаров из крупных городов в регионы, например для развития доставки за пределы Москвы или Санкт-Петербурга у компаний есть три пути. Во-первых, можно пользоваться услугами единого подрядчика во всех регионах. Однако это также может вызвать некоторые трудности, поскольку довольно трудно найти бизнес-партнера, который будет предоставлять курьерские услуги на всех желаемых территориях, при этом будет делать

это на высоком уровне. Во-вторых, можно выбирать наиболее устраивающего подрядчика в каждом регионе и сотрудничать с несколькими курьерскими компаниями одновременно. Но это также не самый оптимальный вариант, поскольку управлять бизнес-процессами в данном случае будет сложнее, ведь диапазон необходимого контроля будет в разы обширнее. Для крупных компаний путь обеспечения высокого качества процесса доставки – это открытие собственных филиалов с транспортными отделами в регионах, где осуществляется предпринимательская деятельность.

Помимо взаимодействия с регионами для бизнеса также важно уделить должное внимание готовности компании к работе в условиях повышенного спроса, например, в периоды распродаж, акций или сезонного спроса на ряд товаров. Такие ситуации неизбежны, поэтому стоит заранее подготовить ресурсы предприятия, чтобы работа не прекращалась, а уровень сервиса не снижался вне зависимости от количества поступающих заказов и их географии [2].

В современном мире практически единственный способ повысить качество работы компании, в том числе качество и организованность процесса доставки, это автоматизация. Сегодня существуют целые пакеты приложений, позволяющих автоматизировать процесс как распределения заказов между курьерами, так и составления оптимальных маршрутов доставки, что помогает как экономить трудовые ресурсы, так и сокращать сроки обработки заказа с момента его поступления до момента получения клиентом товара.

Более того, современные программные инструменты предусматривают решение вопроса автоматического расчета стоимости доставки средствами тарифного калькулятора. Данная утилита автоматически рассчитывает стоимость доставки по предварительно заданным параметрам, таким как тарифная зона, масса груза, требуемые сроки и способ доставки, а также включение дополнительных услуг – таких как необходимость подъема груза на этаж, обеспечение хранения товара в определенном температурном режиме во время доставки, подключение услуги страхования доставляемого груза и др. [3].

Таким образом, актуальным становится вопрос, какое из предложенных программных средств наиболее эффективное и надежное? Перейдем к рассмотрению и краткому описанию современных сервисов для служб доставки.

Целью настоящего исследования является обзор и сравнение программных средств

для оптимизации логистических процессов в компаниях, принадлежащих различным областям бизнеса, и проектирование системы, автоматизирующей выбор наиболее подходящего для целей конкретной компании электронного сервиса. Важно заметить, что проведенное исследование было направлено не на выявление наиболее качественного сервиса для организации доставки, а общий анализ функционала логистических платформ и определение сильных – уже развитых – услуг, и слабых сторон приложений и систем доставки, усовершенствование которых будет полезным как для компаний-представителей услуг, так и для их клиентов.

Программы для служб доставки

Сегодня на рынке электронных приложений для служб доставки существует большой выбор решений для компаний, использующих в своей работе доставку товаров.

Большинство из этих приложений имеют схожий функционал. Создатели приложений стараются привлечь клиентов путем добавления уникальных дополнительных функций или усовершенствуя, в основном детализируя, некоторые элементы программы.

Перечислим наиболее популярные у современного бизнеса программы для организации процесса доставки товаров [4].

1. Махортра. Производитель данного программного обеспечения представляет свой продукт как «SaaS (software as a service) сервис для управления логистикой и выездным персоналом». Чтобы пользоваться услугами Махортра, организациям необходимо иметь лишь стабильный доступ к интернету, можно работать с любого устройства, без установки дополнительного программного обеспечения (ПО). Данная программа обеспечивает автоматическое распределение задач между персоналом компаний, выстраивание маршрутов доставки, а также контроль за исполнением задач транспортировки грузов [5].

2. Delans. Программный продукт, представляющий собой облачный сервис, цель которого – оптимизировать логистические процессы у торговых и курьерских компаний. Помимо основной системы Delans-менеджер, ПО предлагает дополнительные функции. Использовать функционал сервиса можно частично – отдельно приобрести мобильное приложение для курьера, Telegram-бота, личный кабинет клиента и т.д. Кроме того, существует возможность добавления услуг при доставке [6].

3. ЯКурьер. Многофункциональная платформа, позволяющая находить эффективные решения задач внешней и внутренней

логистики компании. ПО имеет модульную структуру и функционирует на взаимодействие личного кабинета и мобильного приложения для водителей. Решение подходит компаниям, специализирующимся на оптовых продажах, интернет-торговле, курьерской доставке продуктов [7].

4. Мегалогист. Решение представляет собой TMS-модуль (Transportation Management System – система управления транспортом), который встраивается в программу 1С и позволяет логистам и водителям работать в единой среде. Программа создана с целью управления и улучшения логистики. Этот продукт основывается на платформе 1С: Предприятие, поддерживает все торговые конфигурации [8].

5. Адвантум Контроль Доставки. Облачный сервис для контроля за соблюдением сроков и качества транспортировки грузов, универсальное ПО для управления коммерческим автопарком. Система предоставляет полный доступ к данным о перевозке, как для собственного, так и наемного транспорта, оптимизируя работу отделов логистики. Работа системы акцентирована на контроле температурного режима перевозимого товара и выяснении причин нарушения этого режима [9].

6. МАППА. TMS-система для организации работы собственной службы доставки. Решение является модулем, интегрируемым в систему 1С. Данное ПО позволяет руководителю, логисту и менеджеру локализовать свою работу в одном окне, без выгрузки данных в сторонние системы и таблицы. Решение обеспечивает оперативную обработку заявок клиентов и автоматическое формирование документов по перевозке [10].

7. Яндекс.Маршрутизация. Производитель ПО позиционирует данный продукт как специализированную логистическую платформу, базирующуюся на геоинформационных технологиях компании Яндекс. Сервис обеспечивает построение оптимальных маршрутов с учетом адресов конечных пунктов, загруженности транспортных путей, типов транспортных средств, параметров транспортируемого груза, временных окон доставки, расписания работы складов [11].

8. 1С: TMS Логистика. Данный продукт – это отраслевое решение, направленное на автоматизацию бизнес-процессов транспортной логистики в компаниях, которые организуют перевозку грузов различными видами транспортных средств (ТС). Подходит для организаций, осуществляющих мультимодальные перевозки, региональные и городские транспортировки грузов. TMS предназначена для комплексного

решения задач по оптимизации транспортной логистики и используется как система управления заказами и построения оптимальных маршрутов [12].

9. Relog. Система для оптимизации маршрутов и автоматизации логистики, а также онлайн-мониторинга водителей и курьеров. Предоставляет расширенную статистику перевозок и анализ доставок. Решение будет полезно для дистрибьюторов разнообразного списка категорий грузов: от товаров широкого потребления до стро-

ительных материалов, мебели и фармацевтики, а также для владельцев интернет-магазинов, осуществляющих деятельность в сфере e-commerce, производителей и перевозчиков продуктов питания, компаний по доставке воды. Решение наиболее применимо в организациях, осуществляющих внутригородскую развозку, имеющих не менее 5 машин в автопарке и выполняющих от 30 поставок в день [13].

Результаты анализа функционала сервисов доставки отражены в табл. 1–3.

Таблица 1

Сравнительная таблица функционала сервисов доставки 1/3

| Сервис\ функция | SaaS | Открытый API | Мобильное приложение для курьера | Тарифный калькулятор по геоэонам | Автоматическое оповещение клиентов | Контроль отклонения в расписании | Распределение заказов по срочности | Фотофиксация доставки | Электронный документооборот |
|----------------------------|--------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Махoptra | Да | Да | Да | – | Да | Да | Да | Да | Да |
| Delans | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да |
| ЯКурьер | Да | Да | Да | – | Да | – | – | Да | Да |
| Мегалогист | Нет | Да | Да | – | Да | Да | Да | Да | Да |
| Адвантум Контроль Доставки | Да | Да | Нет | Да | Нет | Да | Да | Да | – |
| МАППА | Да/Нет | – | Да | Да | Да | Да | – | Да | Да |
| Яндекс. Маршрутизация | Да | Да | Да | – | Да | Да | – | – | – |
| 1С: TMS Логистика | Да/Нет | – | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да |
| Relog | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Да |

Таблица 2

Сравнительная таблица функционала сервисов доставки 2/3

| Сервис\ функция | Интеграция со шлагбаумами | Учет пробега и расхода топлива | Настройка зон работы курьеров | Карточки клиента | Включает работу склада (WMS) | Отслеживание стиля вождения | Использование собственных карт | Журнал нарушений | Контроль температуры в рейсе |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|
| Махoptra | Нет | Да | Да | Да | Нет | – | Нет | – | – |
| Delans | Нет | – | Да | Да | Да | Да | Нет | – | – |
| ЯКурьер | Нет | Да | – | Да | Да | Да | Да | – | – |
| Мегалогист | Да | Да | Да | Да | Нет | – | Нет | – | – |
| Адвантум Контроль Доставки | Нет | Да | – | – | Нет | Да | Нет | Да | Да |
| МАППА | Нет | Да | – | Да | Нет | – | Нет | – | – |
| Яндекс. Маршрутизация | Нет | Да | Да | – | Нет | – | Да | – | – |
| 1С: TMS Логистика | Нет | Да | Нет | Нет | Нет | Да | Нет | Да | Да |
| Relog | Нет | Нет | Да | Да | Нет | Нет | Нет | Да | Нет |

Таблица 3

Сравнительная таблица функционала сервисов доставки 3/3

| Сервис\ функция | Контроль состояния груза | Контроль открытия дверей | Поддержка различных способов доставки (вид ТС) | Учет совместимости товаров | Междугородные маршруты | Мониторинг КРІ и прибытия курьера | Контроль загрузки транспорта | Учет промежутков отдыха водителей | Количество пользователей | Минимальная стоимость, руб. |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|
| Махoptra | Да | – | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Не ограничено | 12500 |
| Delans | – | – | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Не ограничено, плата за каждого пользователя | 2950 |
| ЯКурьер | – | – | Да | – | Да | Да | – | Да | Не ограничено, зависит от тарифа | 500 |
| Мегалогист | – | – | Да | – | Нет | Да | Да | Да | Не ограничено | 50000 |
| Авантум Контроль Доставки | Да | Да | – | Да | Да | Да | Да | – | Не ограничено | 500 |
| МАППА | Да | – | – | – | Да | – | Да | Да | Не ограничено | 4500 |
| Яндекс. Маршрути- зация | – | – | Да | – | Да | Да | Да | Да | Не ограничено, зависит от тарифа | 123636 |
| 1С: TMS Логистика | Да | Нет | Да | Да | Да | Да | Да | Да | Регулируется количеством лицензий | 6300 |
| Relog | Нет | Нет | Нет | Да | Нет | Да | Да | Да | Не ограничено | 9000 |

Кроме того, все системы предлагают автоматическое планирование маршрутов, выбор окон доставки, учет пробок, GPS-мониторинг водителей, оптимизацию маршрутов доставки, отчетность и интеграцию с онлайн-кассами и другими бухгалтерскими программами, а также уже применяемыми в компании системами.

Таким образом, составленные табл. 1–3 позволяют сделать вывод, что практически все представленные решения поддерживают возможность автоматического построения и оптимизации маршрутов, использования мобильного приложения для водителя (при этом в основном количество курьеров ограничивается только бюджетом компании – можно подключать сколько угодно пользователей мобильного приложения, но при этом за каждого из них нужно доплачивать), автоматического оповещения клиентов о статусе доставки, GPS-мониторинга водителей. Также распространенным функционалом является обеспечение фотофиксации результатов доставки и электронного документооборота.

Система автоматизированного выбора оптимального сервиса доставки

Проведенный анализ сервисов позволяет сделать вывод, что на современном логистическом рынке существует множество вариантов систем, которые помогают компаниям управлять процессом доставки. Данные сервисы обладают широким набором параметров – некоторые из них присущи нескольким сервисам, а некоторые являются специфичным функционалом конкретной платформы. Этот момент может принести ряд сложностей при выборе наиболее подходящего под специфику работы конкретного бизнеса сервиса. В связи с этим хочется предложить систему, которая на основании требований организации будет автоматически анализировать все платформы по заранее известному списку критериев и рекомендовать наиболее приемлемое по функционалу и стоимости обслуживания приложение.

Опишем модель системы. Важное замечание: цель системы – подобрать платформу для организации логистики на долговремен-

ной основе, а не для разового использования под конкретный заказ.

В систему загружена база данных приложений доставки. Каждая запись имеет ряд предварительно обозначенных критериев. Первично в базе будут только 9 записей (по одной для каждого рассмотренного сервиса доставки), каждая запись обладает критериями, перечисленными в таблицах выше, впоследствии список критериев и количество записей в базе может расширяться. Значение отдельных критериев у записи может оставаться пустым – это будет означать то, что информация о данной функции в сервисе на данный момент отсутствует (тем самым при сравнении данный сервис в любом случае будет проигрывать аналогу с заполненным значением данного поля).

На вход от пользователя системе будет подаваться область бизнеса, в которой работает компания (например, мебельная фирма, доставка воды, производство стройматериалов и т.д.). По ключевым словам, введенной области система будет анализировать, какие товары доставляет компания, и выводить список предположительных товаров на экран, после чего пользователю будет предложено выбрать все или некоторые позиции из списка, а в случае отсутствия подходящего элемента ввести его вручную.

После выяснения объектов перевозки нужно определить географию доставки. Работа с картами будет осуществляться с помощью системы геокодирования и банка адресов. Для этого системе нужны данные о городе, откуда будет осуществляться перевозка, регионах, куда она будет осуществляться, а также о виде доставки (пешая, автоперевозка, ж/д перевозка, авиаперевозка и т.д.) – может быть указано несколько видов доставки. По полученным данным система определит дистанцию перевозки и определит тип доставки: внутригородская, междугородняя, между странами.

Далее нужно будет зафиксировать основные параметры компании: количество сотрудников, транспортных средств, ежедневных заявок. После чего необходимо ввести диапазон стоимости программного обеспечения – то есть сумму денежных средств «ОТ» и «ДО», которую компания готова потратить на внедрение системы автоматизации логистики. Заключительный этап – возможность выбора дополнительных функций. На начальном этапе работы системы список дополнительных функций будет ограничен следующими значениями: приложение для курьера, система оповещения клиентов, контроль графика доставки, учет пробок, GPS-навигация, учет пробега и расхода топлива, отслеживание стиля во-

ждения, контроль работы склада, контроль работы курьеров. По мере выбора дополнительных функций система будет в режиме реального времени выводить пользователю информацию о количестве потенциально подходящих систем.

По полученным данным система будет анализировать имеющиеся значения критериев в базе по каждому сервису и предлагать максимально подходящую платформу для заданной организации.

Все возможные фильтры поиска видны пользователю сразу, и он может заполнять их в любом порядке. На любом этапе пользователь может завершить ввод критериев. Результат работы системы (список подходящих платформ) появляется в фоновом режиме по мере ввода критериев. При этом после получения результатов есть возможность дополнить список введенных критериев и система автоматически запустит поиск заново (рисунок).

Рассмотрим работу системы на примере компании «Аква», занимающейся доставкой воды. При входе в систему пользователю необходимо будет ввести область деятельности: доставка воды. Далее выбрать категорию перевозимого товара из списка, предложенного системой. Таким образом, для области «доставка воды» система предложит пользователю, например, следующий список транспортируемых товаров: питьевая вода, бутилированная вода пластик, бутилированная вода стекло, вода для бытового использования и др. Предположим, что из данного списка мы выберем пункт «питьевая вода» и «бутилированная вода пластик». В данном случае слово «пластик» дает системе сигнал о том, что перевозимые товары не относятся к категории «хрупкое». На следующем этапе для определения географии доставки пользователь вводит местонахождение склада (начального пункта доставки), возможно указать несколько начальных пунктов в разных регионах. По мере ввода названия пункта система будет предлагать возможные адреса с помощью системы геокодирования. Допустим, в нашем примере доставка будет осуществляться из двух пунктов: склад в Домодедово и склад в Лобне. Таким же образом нужно указать и целевые районы доставки, например Москва и Московская область (здесь конкретика не требуется, поскольку для каждой заявки адрес доставки будет отличаться – важно определить именно приблизительную территорию). Далее выбираем тип доставки из списка – автоперевозка, внутригородская и междугородняя – и указываем размер, например, автопарка: 100 транспортных средств.

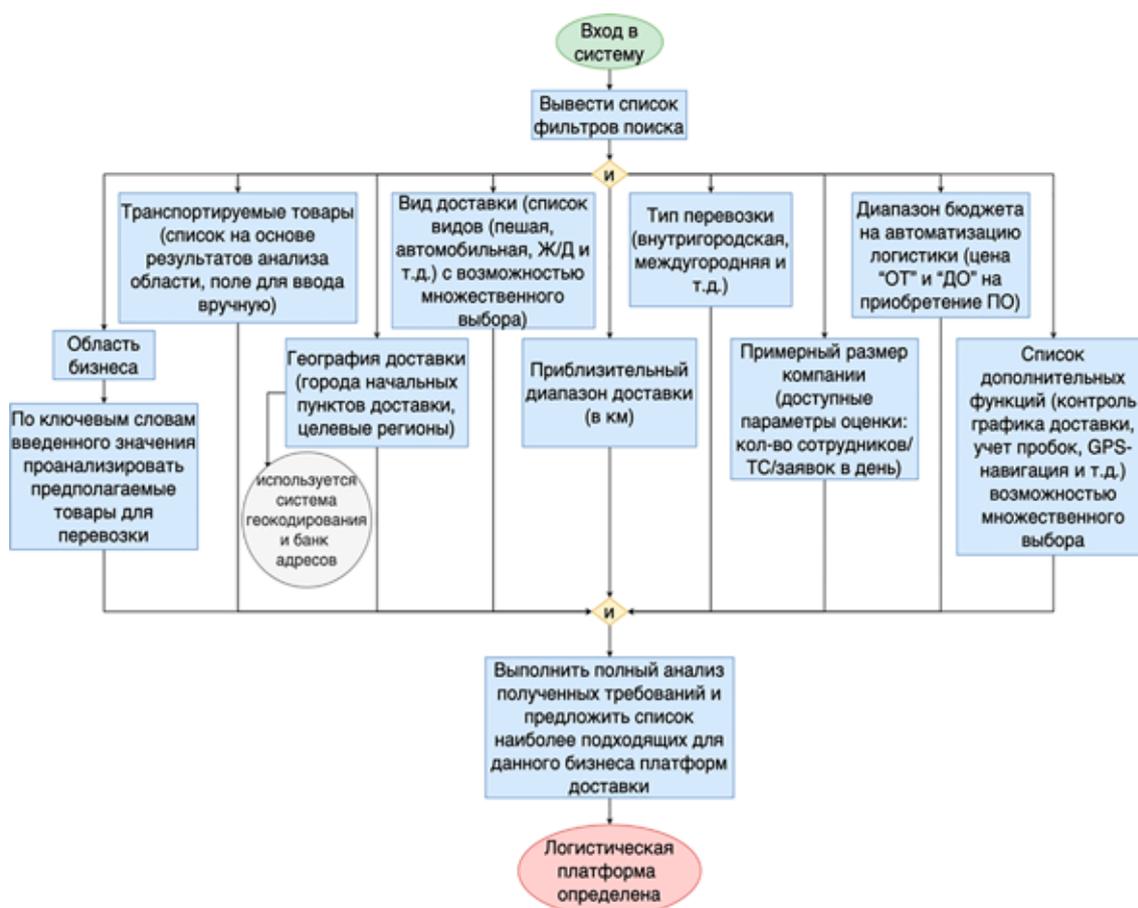


Схема работы рекомендательной системы выбора логистического сервиса

На основании введенных нами данных система будет выбирать предпочтительно те платформы из базы данных, у которых есть возможность осуществления междугородней доставки и контроля автопарка размером не менее 100 транспортных средств, по данным о перевозимых товарах она не будет учитывать критерий совместимости товаров и контроля температуры в ТС. Так как доставка будет осуществляться в области, то необходим учет геозон. Как результат, пользователем от системы будет получен список сервисов, которые обладают перечисленным функционалом.

Результаты исследования и их обсуждение

Хотелось бы обозначить перспективные направления развития для функционала программ доставки и поиска оптимального маршрута. В качестве наиболее важных параметров, которые отсутствуют в текущем функционале исследованных систем, выделим следующие:

1. Во-первых, следует ввести контроль рейтинга как водителя, так и клиентов. Та-

ким образом, клиенты будут оставлять отзыв после получения ими товара, где будут оценивать качество доставки: скорость, заблаговременное оповещение о доставке, скорость и своевременность доставки, вежливость водителя и т.д. Из оценок клиентов будет складываться общая персональная оценка каждого водителя, благодаря чему появится возможность составлять рейтинг водителей конкретной организации. В свою очередь водитель и оператор будет иметь возможность ставить оценку клиенту. Например, если клиент не принял товар без предупреждения или переносил дату доставки более n раз (данный параметр регулирует компания), его рейтинг может испортиться.

2. Одним из основных критериев доставки должно быть обеспечение целостности груза. Безусловно, клиент всегда хочет получать товар в надлежащем состоянии, это должно контролироваться по умолчанию, но в особенности критерий целостности важен для хрупких товаров, лекарств, еды, мебели. Так по составу и типу груза система будет понимать, нужно ли активи-

ровать параметр повышенного требования к целостности груза. Исходя из этого, например, маршруты будут строиться только по главным асфальтированным дорогам, избегая крутых поворотов, серпантинов или бездорожья.

3. При подборе маршрутов необходимо учитывать тип транспортного средства, которое назначается для данного набора заказов. Это важно не только для рационального использования объемов ТС, но и для грамотного построения пути, поскольку существуют дороги, на которые запрещен въезд транспортным средствам более определенного тоннажа или габаритов. Крупнотоннажные ТС не могут проезжать через мосты, имеют право проезжать по некоторым дорогам только в ограниченные промежутки времени и т.д.

4. При подборе заказов по маршруту следует обеспечивать возможность дозагрузки ТС в промежуточных пунктах, расположенных по пути основного маршрута. Бывают случаи, когда товары по заказам хранятся не на одном складе, но более рациональным будет решение добавить заказ в маршрут при условии, что погрузка по этому заказу будет выполнена позже, например после разгрузки части других заказов из данного маршрута – так называемая дозагрузка в промежуточном пункте, чем включать данный заказ в отдельный маршрут. Это сокращает холостой пробег ТС и повышает производительность компании.

Заключение

Спроектированный шаблон системы будет полезен и интересен для логистических компаний, осуществляющих доставку товаров различных категорий, а также разработчиков специализированного ПО в данной области. Поскольку наличие программного сервиса в базе данных рекомендательной системы повышает шансы данного сервиса быть выбранным потенциальным клиентом.

Безусловно, внедрение автоматизации в сфере логистики требует определенных, часто значительно крупных материальных вложений. Однако, как показывает статистика, издержки на приобретение программного обеспечения для организации оптимального процесса доставки окупаются бизнесом уже в первый квартал [14] после начала использования функционала сервиса благодаря тому, что автоматизация логистики позволяет увеличить прибыль за счет повышения эффективности использования кадровых и материальных ресурсов компании. Кроме того, многие поставщики логистического ПО предлагают оплату сервисов в формате подписки. Это может

быть выгодно для малого бизнеса, который не готов сразу потратить крупную сумму на приобретение лицензии на программное обеспечение. Однако для крупных предприятий, в особенности для тех, кто постоянно занимается предоставлением транспортных услуг своим клиентам, единовременная плата за пользование сервисом в форме лицензии – более рентабельный вариант.

В качестве плана на будущее хотелось бы отметить непосредственно создание прототипа и разработку системы автоматизации выбора электронного приложения доставки в виде программного кода.

Список литературы

1. Мобика Кассовые решения. Основные проблемы при организации доставки товаров // Облачный кассовый сервис для вашего бизнеса с любыми типами расчетов через онлайн-кассу «ОБЛАКО-1Ф». [Электронный ресурс]. URL: <https://mobika-online.ru/voprosi/osnovnye-problemy-pri-organizatsii-dostavki-tovarov> (дата обращения: 16.08.2022).
2. Retailer ежедневные коммуникации. Проблемы доставки: правда или миф? [Электронный ресурс]. URL: <https://retailer.ru/problems-dostavki-pravda-ili-mif/> (дата обращения: 18.08.2022).
3. EFSOL. Проблемы бизнеса курьерской доставки, которые решает автоматизация [Электронный ресурс]. URL: <https://efsol.ru/articles/problems-i-resheniya-v-biznese-kurerskoj-dostavki.html> (дата обращения: 18.08.2022).
4. LiveBusiness. Топ 10: программы для служб доставки, 18.08.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.livebusiness.ru/tools/delivery/> (дата обращения: 3.09.2022).
5. Махотра. Онлайн-сервис для управления логистикой, мобильным персоналом и выездными сервисами, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://mahotra.ru> (дата обращения: 3.09.2022).
6. Delans. Комплексная программа для автоматизации логистики и доставки, 2015–2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://delans.ru> (дата обращения: 3.09.2022).
7. ЯКурьер. Срочная доставка, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://yacurier.com> (дата обращения: 3.09.2022).
8. Мегалогист. Программа для управления логистикой в 1С, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://mega-logist.ru> (дата обращения: 8.09.2022).
9. Адвантум. Контроль доставки. Решение для контроля своевременности и качества доставки грузов собственным и привлеченным транспортом. [Электронный ресурс]. URL: <https://advantum.ru/the-delivery-control-new> (дата обращения: 8.09.2022).
10. Маппа. TMS-система для управления доставкой. [Электронный ресурс]. URL: <https://mappa-logistics.ru> (дата обращения: 8.09.2022).
11. Яндекс Маршрутизация. Яндекс Маршрутизация: тарифы. [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/routing/pricing> (дата обращения: 15.09.2022).
12. ИТОВ. 1С:TMS Логистика. Управление перевозками. [Электронный ресурс]. URL: <https://itob.ru/products/1c-tms/> (дата обращения: 15.09.2022).
13. Relog. Космический сервис для оптимизации доставки. [Электронный ресурс]. URL: <https://getrelog.com> (дата обращения: 15.09.2022).
14. Retail.ru. Срок возврата инвестиций в автоматизацию логистики после внедрения 1С:TMS. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/srok-vozvrata-investitsiy-v-avtomatizatsiyu-logistiki-posle-vnedreniya-1s-tms/> (дата обращения: 27.01.2023).

УДК 519.63

НЕСТАНДАРТНЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Болотнов А.М., Купцова А.Ф.*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, e-mail: BolotnovAM@mail.ru*

Авторами предложены правила вычисления средних значений интервальных арифметических операций. Такой подход позволяет получать усредненные интервальные оценки для решения прикладных задач. По сравнению с классической интервальной арифметикой результаты, полученные на основе усредненных операций, имеют меньшую ширину. Алгоритм реализован на языке программирования C++ и протестирован для различных комбинаций взаимного положения двух интервалов относительно нуля. Предлагаемый подход допускает операцию деления на интервалы, содержащие ноль. Приведен пример решения двумерной краевой задачи для потенциала электрического тока в электрохимической системе с интервальными неопределенностями входных параметров. Задача с интервальными коэффициентами решается методом граничных элементов. Решение интегрального уравнения сводится к системе линейных алгебраических уравнений с интервальными коэффициентами методом конечных сумм. Интервальная система уравнений решается методом Гаусса с выбором ведущего элемента по столбцам. Результаты численного решения получены для размерности системы уравнений от 200 до 1600. Представлены графики распределения интервальных функций потенциала и плотности электрического тока по границам области интегрирования. Проведен сравнительный анализ полученных результатов на основе классических, внутренних и усредненных интервальных операций.

Ключевые слова: интервальные вычисления, нестандартные интервальные операции, краевая задача, неопределенность входных параметров, усредненные значения интервальных операций

NON-STANDARD INTERVAL OPERATIONS IN SOLVING APPLIED PROBLEMS

Bolotnov A.M., Kuptsova A.F.*Ufa University of Science and Technology, Ufa, e-mail: BolotnovAM@mail.ru*

The authors propose rules for calculating average values of interval arithmetic operations. This approach makes it possible to obtain averaged interval estimates for solving applied problems. Compared to classical interval arithmetic, the results obtained on the basis of averaged operations have a smaller width. The algorithm is implemented in the C++ programming language and tested for various combinations of the relative position of two intervals relative to zero. The proposed approach allows the operation of division by intervals containing zero. An example of solving a two-dimensional boundary value problem for the electric current potential in an electrochemical system with interval uncertainties of the input parameters is given. The problem with interval coefficients is solved by the boundary element method. The solution of an integral equation is reduced to a system of linear algebraic equations with interval coefficients by the finite sum method. The interval system of equations is solved by the Gauss method with the choice of the leading element by columns. The results of the numerical solution are obtained for the dimension of the system of equations from 200 to 1600. Graphs of the distribution of the interval functions of the potential and electric current density along the boundaries of the integration region are presented. A comparative analysis of the obtained results is carried out on the basis of classical, internal and averaged interval operations.

Keywords: interval calculations, non-standard interval operations, boundary value problem, uncertainty of input parameters, averaged values of interval operations

Учет неопределенности входных параметров при решениях прикладных задач осуществляется различными методами. Интервальный анализ является одной из наиболее изученных и обоснованных теорий. Интервальные вычисления дают возможность учитывать в решениях задач погрешности входных параметров, ошибки дискретизации численных методов, а также ошибки машинного округления действительных чисел. При этом вместо арифметических операций и функций на множестве вещественных чисел используют их интервальные аналоги [1]. В монографии [2] приведены фундаментальные результаты исследований интервальных алгебраических задач и их численных решений. Разработка новых алгоритмов для работы с величина-

ми, содержащими неопределенности, а также их программная реализация способствуют более широкому применению методов интервального анализа в решениях прикладных задач.

В работе впервые предложены и протестированы новые правила интервальных арифметических операций, дающие возможность получать в решениях прикладных задач средние оценки интервального решения. В классической интервальной арифметике (КИА) под интервалом A понимают множество действительных чисел из отрезка $[a_1, a_2]$, где $a_1 \leq a_2$. Одной из важнейших характеристик интервала является его ширина $w(A) = a_2 - a_1$, которая отражает степень неопределенности величины A .

В рамках КИА основные арифметические операции $(+, -, \times, /)$ над интервалами определены следующими правилами:

$$(A + B)_c = [a_1 + b_1, a_2 + b_2];$$

$$(A - B)_c = [a_1 - b_2, a_2 - b_1];$$

$$(A \times B)_c = [\min\{a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2\}, \max\{a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2\}];$$

$$(A / B)_c = A \times [1/b_2, 1/b_1]; 0 \notin B.$$

Индексом c будем обозначать операции, реализованные по правилам КИА, свойства которых хорошо изучены и детально проанализированы в [1, 2]. Применение указанных операций в конкретных задачах приводит к *внешней интервальной оценке* получаемого решения. Примеры практического использования указанных интервальных операций в решениях прикладных задач различной направленности представлены в [3, 4], в том числе в математических моделях, описывающих процессы в электрохимических системах [5–7].

Характерные свойства, присущие КИА, такие как $A - A \neq 0$, $A / A \neq 1$, нередко приводят к недопустимому росту ширины результирующих интервалов, что лишает практической значимости полученные решения.

Обобщенная интервальная арифметика на основе нестандартных интервальных операций, в первую очередь операций вычитания и деления, позволяет уменьшить влияние этих отрицательных свойств. В работах [8, 9] исследуется возможность применения нестандартных (внутренних) интервальных операций, на основе которых формируется *внутренняя интервальная оценка* решения задачи. В этом случае нестандартные операции определяются следующим образом.

Предлагается правило арифметических операций для получения *средних интервальных оценок* решения (введенные операции будем обозначать нижним индексом s):

$$(A * B)_s = \begin{cases} [(\min(M_*) + \min(L_*)) / 2, (\max(M_*) + \max(L_*)) / 2], & * \in \{+, -\} \\ [z_1 (\min(M_*) \times \min(L_*))^{1/2}, z_2 (\max(M_*) \times \max(L_*))^{1/2}], & * \in \{\times, /\} \end{cases} \quad (3)$$

где

$$z_1 = \begin{cases} -1, & \text{если } \min(M_*) < 0 \text{ и } \min(L_*) < 0 \\ 1 & \text{– в противном случае} \end{cases};$$

$$z_2 = \begin{cases} -1, & \text{если } \max(M_*) < 0 \text{ и } \max(L_*) < 0 \\ 1 & \text{– в противном случае} \end{cases}.$$

Введем множество

$$M_* = \{a_1 * b_1, a_1 * b_2, a_2 * b_1, a_2 * b_2\},$$

где $* \in \{+, -, \times, /\}$.

Тогда результат любой арифметической операции $(*)$ в правилах КИА может быть представлен в виде

$$(A * B)_c = [\min(M_*), \max(M_*)]. \quad (1)$$

Введем два дополнительных множества:

$$N_* = \{\min(M_*), \max(M_*)\}; L_* = M_* \setminus N_*.$$

Тогда *внутренние* нестандартные интервальные операции можно определить следующим правилом:

$$(A * B)_v = [\min(L_*), \max(L_*)]. \quad (2)$$

Здесь и далее индексом v будем обозначать внутренние операции.

Материалы и методы исследования

В данном сообщении использованы методы численного и интервального анализа; проведено сравнительное тестирование классических, внутренних и предложенных средних интервальных операций; представлены численные результаты решения краевой задачи с интервальной неопределенностью входных параметров.

Отметим, что в формулах (3) для операций умножения и деления присутствует корень квадратный из произведения двух сомножителей. Тестирование показало, что эти произведения отрицательными быть не могут, поэтому подобный случай в предлагаемом правиле не предусмотрен.

В КИА операция деления на интервал, содержащий ноль, не определена. В предлагаемом алгоритме данная операция не исключается, в том числе допускается случай, когда оба интервала содержат ноль (при этом ноль не совпадает ни с одним из концов интервала); обоснование данного подхода изложено в [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения сравнительного анализа результатов арифметических операций, полученных по трем правилам (1), (2) и (3), протестировано 6 вариантов взаимного расположения двух интервалов *A* и *B* относительно нуля; значения интервалов представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлены результаты применения операций сложения и вычитания к двум интервалам по трем правилам (*c* – классические операции, *s* – средние, *v* – внутренние); после каждого интервала указана его ширина.

Таблица 1

Данные для тестовых расчетов

| № | Variant | A | w(A) | B | w(B) |
|---|----------|-------------|------|------------|------|
| 1 | A>0, B>0 | [1.5, 3] | 1.5 | [0.5, 2.5] | 2 |
| 2 | A<0, B<0 | [-2,-0.5] | 1.5 | [-3,-1] | 2 |
| 3 | A>0, B<0 | [0.5,2.5] | 2 | [-2.5,-1] | 1.5 |
| 4 | 0∈A, B>0 | [-0.5,1.5] | 2 | [0.5,2] | 1.5 |
| 5 | 0∈A, B<0 | [-0.5,1] | 1.5 | [-3, -1] | 2 |
| 6 | 0∈A, 0∈B | [-0.5, 1.5] | 2 | [-1, 0.5] | 1.5 |

Таблица 2

Результаты сложения и вычитания двух интервалов

| № | + | A + A | B + B | A + B = B + A |
|---|----------|------------------|----------|------------------|
| 1 | <i>c</i> | [3, 6]3 | [1, 5]4 | [2, 5.5]3.5 |
| | <i>s</i> | [3.75, 5.25]1.5 | [2, 4]2 | [2.75, 4.75]2 |
| | <i>v</i> | [4.5, 4.5]0 | [3, 3]0 | [3.5, 4]0.5 |
| № | - | A - A | B - B | A - B = -(B - A) |
| 1 | <i>c</i> | [-1.5, 1.5]3 | [-2, 2]4 | [-1, 2.5]3.5 |
| | <i>s</i> | [-0.75, 0.75]1.5 | [-1, 1]2 | [-0.25, 1.75]2 |
| | <i>v</i> | [0, 0]0 | [0, 0]0 | [0.5, 1]0.5 |

Таблица 3

Умножение интервалов

| № | x | A x A | B x B | A x B = B x A |
|---|----------|------------------|------------------|--------------------|
| 1 | <i>c</i> | [2.25, 9]6.75 | [0.25, 6.25]6 | [0.75, 7.5]6.75 |
| | <i>s</i> | [3.18, 6.36]3.18 | [0.56, 2.8]2.24 | [1.06, 5.3]4.24 |
| | <i>v</i> | [4.5, 4.5]0 | [1.25, 1.25]0 | [1.5, 3.75]2.25 |
| 2 | <i>c</i> | [0.25, 4]3.75 | [1, 9]8 | [0.5, 6]5.5 |
| | <i>s</i> | [0.5, 2]1.5 | [1.73, 5.2]3.46 | [0.87, 3.46]2.6 |
| | <i>v</i> | [1, 1]0 | [3, 3]0 | [1.5, 2]0.5 |
| 3 | <i>c</i> | [0.25, 6.25]6 | [1, 6.25]5.25 | [-6.25, -0.5]5.75 |
| | <i>s</i> | [0.56, 2.8]2.24 | [1.58, 3.95]2.37 | [-3.95, -0.79]3.16 |
| | <i>v</i> | [1.25, 1.25]0 | [2.5, 2.5]0 | [-2.5, -1.25]1.25 |
| 4 | <i>c</i> | [-0.75, 2.25]3 | [0.25, 4]3.75 | [-1, 3]4 |
| | <i>s</i> | [-0.75, 0.75]1.5 | [0.5, 2]1.5 | [-0.5, 1.5]2 |
| | <i>v</i> | [-0.75, 0.25]1 | [1, 1]0 | [-0.25, 0.75]1 |
| 5 | <i>c</i> | [-0.5, 1]1.5 | [1, 9]8 | [-3, 1.5]4.5 |
| | <i>s</i> | [-0.5, 0.5]1 | [1.73, 5.2]3.46 | [-1.73, 0.87]2.6 |
| | <i>v</i> | [-0.5, 0.25]0.75 | [3, 3]0 | [-1, 0.5]1.5 |
| 6 | <i>c</i> | [-0.75, 2.25]3 | [-0.5, 1]1.5 | [-1.5, 0.75]2.25 |
| | <i>s</i> | [-0.75, 0.75]1.5 | [-0.5, 0.5]1 | [-0.61, 0.61]1.22 |
| | <i>v</i> | [-0.75, 0.25]1 | [-0.5, 0.25]0.75 | [-0.25, 0.5]0.75 |

Таблица 4

Деление интервалов

| № | / | A / A | B / B | A / B | B / A |
|---|---|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | c | [0.5, 2]1.5 | [0.2, 5]4.8 | [0.6, 6]5.4 | [0.17, 1.67]1.5 |
| | s | [0.71, 1.41]0.71 | [0.45, 2.24]1.79 | [0.85, 4.24]3.39 | [0.24, 1.18]0.94 |
| | v | [1, 1]0 | [1, 1]0 | [1.2, 3]1.8 | [0.33, 0.83]0.5 |
| 2 | c | [0.25, 4]3.75 | [0.33, 3]2.67 | [0.17, 2]1.83 | [0.5, 6]5.5 |
| | s | [0.5, 2]1.5 | [0.58, 1.73]1.15 | [0.29, 1.15]0.87 | [0.87, 3.46]2.6 |
| | v | [1, 1]0 | [1, 1]0 | [0.5, 0.67]0.17 | [1.5, 2]0.5 |
| 3 | c | [0.2, 5]4.8 | [0.4, 2.5]2.1 | [-2.5, -0.2]2.3 | [-5, -0.4]4.6 |
| | s | [0.45, 2.24]1.79 | [0.63, 1.58]0.95 | [-1.58, -0.32]1.26 | [-3.16, -0.63]2.53 |
| | v | [1, 1]0 | [1, 1]0 | [-1, -0.5]0.5 | [-2, -1]1 |
| 4 | c | – | [0.25, 4]3.75 | [-1, 3]4 | – |
| | s | [-1, 1]2 | [0.5, 2]1.5 | [-0.5, 1.5]2 | [-2, 0.67]2.67 |
| | v | [-0.33, 1]1.33 | [1, 1]0 | [-0.25, 0.75]1 | [-1, 0.33]1.33 |
| 5 | c | – | [0.33, 3]2.67 | [-1, 0.5]1.5 | – |
| | s | [-1, 1]2 | [0.58, 1.73]1.15 | [-0.58, 0.29]0.87 | [-1.73, 3.46]5.2 |
| | v | [-0.5, 1]1.5 | [1, 1]0 | [-0.33, 0.17]0.5 | [-1, 2]3 |
| 6 | c | – | – | – | – |
| | s | [-1, 1]2 | [-1, 1]2 | [-1.22, 1.22]2.45 | [-0.82, 0.82]1.63 |
| | v | [-0.33, 1]1.33 | [-0.5, 1]1.5 | [-1, 0.5]1.5 | [-0.67, 0.33]1 |

Для краткости в табл. 2 представлены результаты только первого варианта, так как для всех шести вариантов при сложении и вычитании выводы аналогичны:

а) максимальное значение имеет ширина интервала, полученного по правилу «с»;

б) минимальное значение имеет ширина интервала, полученного по правилу «v»; при этом сложение и вычитание равных интервалов дает результат нулевой ширины;

с) значение ширины интервала, полученного по правилу «s», равно среднему арифметическому значений, полученных по правилам «с» и «v».

В табл. 3 представлены результаты умножения двух интервалов по трем правилам.

В табл. 3 приведены данные расчетов для шести вариантов взаимного расположения интервалов. Выделим две группы результатов: а) варианты 1–3 (интервалы не содержат ноль); б) варианты 4–6 (один или оба интервала содержат ноль). В группе а) для внутренней операции умножения ширина $w(A \times A) = 0$, что может привести к заниженной интервальной оценке получаемого решения задачи.

В табл. 4 представлены результаты деления двух интервалов.

Приведены результаты для шести вариантов. Для операции деления также можно выделить две группы вариантов: а) варианты 1–3 (интервалы не содержат ноль); б) варианты 4–6 (один или оба интервала содержат ноль). В группе б) для КИА деление на интервал, содержащий ноль, не определено. В группе а) для внутренней операции деления ширина $w(A / A) = 0$, что (как и для умножения) приводит к заниженной интервальной оценке решения.

Применение интервальных операций при решении краевой задачи

Для исследования возможности применения усредненных интервальных операций в решении прикладной задачи рассмотрим алгоритм расчета электрического поля в электрохимической системе. Сформулируем краевую задачу в двумерном сечении кругового цилиндра радиуса R_0 ; схема представлена на рис. 1.

Известно, что функция потенциала электрического поля $u(p)$ в области Ω удовлетворяет уравнению Лапласа:

$$\Delta u \equiv \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0; p \equiv (x_p, y_p) \in \Omega. \quad (4)$$

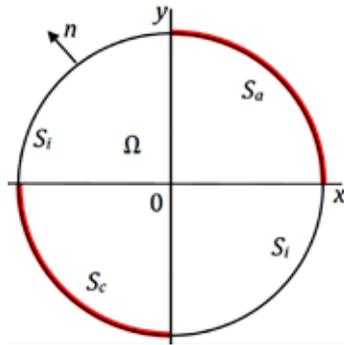


Рис. 1. Схема области интегрирования Ω ; S_a – граница анода, S_c – граница катода, S_i – границы изоляторов, n – вектор нормали к границе области

На границах области сформулируем краевые условия для неизвестной функции:

$$\left(u + \rho_a \sigma \frac{\partial u}{\partial n} \right) \Big|_{S_a} = U_a, \quad (5)$$

$$\left(u + \rho_c \sigma \frac{\partial u}{\partial n} \right) \Big|_{S_c} = U_c, \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{S_i} = 0, \quad (7)$$

где σ – удельная электропроводность среды, $1/(\text{Ом}\cdot\text{м})$; ρ_a, ρ_c – удельные поляризуемости анода и катода, $\text{Ом}\cdot\text{м}^2$; U_a, U_c – потенциалы электродов от внешнего источника тока, В.

Значения электрохимических параметров, входящих в математическую модель (4)–(7), не могут быть измерены точно, так как они зависят от конвекции электролита, газогенерации электродов, температуры и других факторов, не учитываемых в данной постановке. В предлагаемом подходе электрохимические параметры мы будем полагать интервальными величинами.

Численное решение задачи (4)–(7) осуществляется методом граничных элементов [11]. Вначале из (5), (6) выразим производные по нормали:

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{S_a} = \frac{U_a - u}{\rho_a \sigma}; \quad \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{S_c} = \frac{U_c - u}{\rho_c \sigma}. \quad (8)$$

Затем в интегральную формулу Грина

$$\pi u(p) = \int_{S_q} \left(\ln \frac{1}{r(p,q)} \cdot \frac{\partial u}{\partial n_q} - u(q) \frac{\partial}{\partial n_q} \left(\ln \frac{1}{r(p,q)} \right) \right) ds_q$$

подставим вместо $\partial U/\partial n$ соответствующие правые части из (7), (8) и после некоторых тождественных преобразований построим граничное интегральное уравнение

$$\pi u(p) + \int_{S_q} u(q) K(p,q) ds_q = F(p), \quad (9)$$

ядро которого имеет следующий вид:

$$K(p,q) = \begin{cases} \frac{1}{k_1} \ln \frac{1}{r(p,q)} + \frac{\partial}{\partial n} \left(\ln \frac{1}{r(p,q)} \right), & \text{если } q \in S_a; \\ \frac{\partial}{\partial n} \left(\ln \frac{1}{r(p,q)} \right), & \text{если } q \in S_i; \\ \frac{1}{k_2} \ln \frac{1}{r(p,q)} + \frac{\partial}{\partial n} \left(\ln \frac{1}{r(p,q)} \right), & \text{если } q \in S_c. \end{cases}$$

Здесь $k_1 = \rho_a \cdot \sigma / \Theta$, $k_2 = \rho_c \cdot \sigma / \Theta$ – безразмерные величины; $\Theta = 10 \cdot R_0$ – параметр обезмеривания.

На основе метода конечных сумм интегральное уравнение (9) сводится к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), размерность которой равна числу граничных элементов и в проведенных расчетах принималась равной от 200 до 1600. Отметим, что матрица СЛАУ в данном случае является всюду плотной, т.е. не содержит нулевых элементов. Итоговая система с интервальными коэффициентами решалась методом Гаусса с выбором ведущего элемента по столбцу. Обоснования применимости данного метода к интервальным СЛАУ с матрицами, обладающими определенными свойствами, изложены в [2].

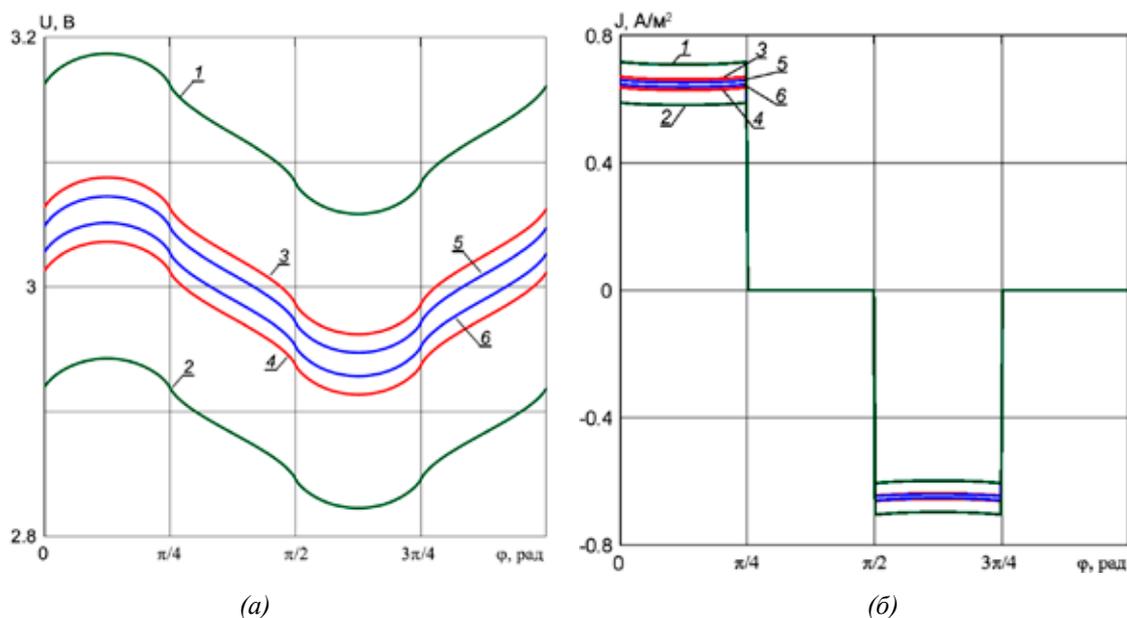


Рис. 2. Распределение интервальных функций потенциала (а) и плотности тока (б) по границе области Ω в зависимости от угла φ на основе: 1, 2 – классической интервальной арифметики; 3, 4 – усредненных операций; 5, 6 – внутренних операций

Расчеты проводились с целью сравнительного анализа результатов, полученных на основе операций КИА (1), нестандартных внутренних операций (2) и усредненных операций (3), предложенных в данной работе. Радиусы интервалов для электрохимических параметров были приняты равными 1% от их средних значений: $U^a = [4.95, 5.05]$; $U_c = [0.99, 1.01]$; $\rho_a = \rho_c = [2.97, 3.03]$; $\sigma = [9.9, 10.1]$. На рис. 2 представлены результаты численного решения задачи (4)–(7).

Из рис. 2 видно, что ширина интервальной функции потенциала, построенной согласно правилам КИА, имеет недопустимо большое значение, которое делает результат малоинформативным. По результатам применения внутренних операций ширина интервального решения может оказаться несколько заниженной.

Заключение

В работе предложены новые, «усредненные» или «средние», интервальные операции, программная реализация и применение которых дает возможность получить средние интервальные оценки решения прикладных задач, где неопределенность присутствует в исходных параметрах изначально. Операции протестированы для различных комбинаций интервалов, расположенных относительно нуля, и апробированы на решении конкретной прикладной задачи из области электрохимии.

Список литературы

1. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 360 с.
2. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: XYZ, 2022. 654 с.
3. Герасименко М.Д., Шестаков Н.В. Интервальная математика и перспективы ее применения в геодезии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 4. С. 38–41.
4. Крюков А.В., Литвинцев А.И. Интервальный анализ электромагнитных полей, создаваемых высоковольтными линиями электропередачи // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 1 (45). С. 89–97.
5. Kumkov S.I., Nikitin V.S., Ostanina T.N., Rudoy V.M. Interval processing of electrochemical data. Computational and Applied Mathematics. 2020. Vol. 380. P. 112961. DOI: 10.1016/j.cam.2020.112961.
6. Хисаметдинов Ф.З. Компьютерное моделирование и визуализация параметров электрического поля катодной защиты подземного трубопровода // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 9. С. 126–130.
7. Болотнов А.М. Компьютерное моделирование потенциальных электрических полей в электролитах на основе интервальных вычислений // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12937> (дата обращения: 10.01.2023).
8. Dimitrova N.S., Markov S.M., Popova E.D. Extended interval arithmetics: new results and applications. Computer Arithmetic and Enclosure Methods: Elsevier Sci. Publishers. 1992. P. 225–232.
9. Болотнов А.М., Бортник С.Ю. О нестандартных интервальных операциях вычитания и деления // Вестник Башкирского университета. 2022. Т. 27. № 1. С. 4–8. DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2022.1.1.
10. Kahan W. A more complete interval arithmetic. Lecture notes for a summer course. University of Toronto. Canada. 1968. P. 1–123.
11. Болотнов А.М., Иванов В.Н., Купцова А.Ф. Алгоритм расчета электрического поля в многоэлементной электрохимической системе // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 3. С. 27–32. DOI: 10.17513/snt.38526.

УДК 519.87:004.89

МОДЕЛЬ С ЛАТЕНТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЙТИНГОВЫХ ОЦЕНОК

Братищенко В.В.*ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет», Иркутск,
e-mail: info@bgu.ru*

Рейтинговые оценки являются распространенным способом исследования в самых разных областях. Применяются рейтинговые оценки для построения рейтингов объектов и настройки советующих систем на основе моделей коллаборативной фильтрации. Построение рейтингов выполняется усреднением оценок. Эта процедура не учитывает индивидуальные склонности субъектов завышать или занижать оценки. Для устранения этого недостатка предлагается алгоритм пересчета оценки в шкалу с усредненными параметрами. Пересчет выполняется на основе сравнения распределения вероятностей рейтинговой оценки с усредненным распределением. Для решения этой задачи предложена стохастическая модель рейтинговой оценки с латентными параметрами, характеризующими оценщика и шкалу объекта оценивания. Предложенная модель является аналогом Partial Credit Model, применяемой в Item Response Theory для обработки результатов тестирования. Разработаны процедуры оценивания латентных параметров методом максимального правдоподобия и проверки адекватности модели на основе дисперсионного анализа. Для пересчета оценок предложен алгоритм, использующий функции распределения вероятностей для шкалы оценки и усредненной шкалы. Приведены результаты обработки большого массива рейтинговых оценок. Вычисления подтверждают адекватность модели рейтинговых оценок и процедуры пересчета оценок. Приведенная методика может быть использована для получения более точных рейтингов.

Ключевые слова: рейтинговые оценки, коллаборативная фильтрация, модели с латентными параметрами, сравнение рейтинговых шкал, Partial Credit Model, Item Response Theory

MODEL WITH LATENT PARAMETERS FOR ANALYSIS OF RATINGS

Bratischenko V.V.*Baikal State University, Irkutsk, e-mail: info@bgu.ru*

Rating are a common way of research in a wide variety of fields. Ratings are used to build items ratings and set up advisory systems based on collaborative filtering models. Ratings are built by averaging the rating marks. This procedure does not take into account the individual propensities of users to overestimate or underestimate. To eliminate this shortcoming, an algorithm for recalculating the mark scale into a scale with averaged parameters is proposed. The recalculation is performed on the basis of a comparison of the probability distribution of the mark score with the average distribution. To solve this problem, a stochastic rating model with latent parameters characterizing the user and the mark scale is proposed. The proposed model is analogous to the Partial Credit Model used in Item Response Theory to process test results. Procedures for estimating latent parameters by the maximum likelihood method and testing the adequacy of the model based on analysis of variance have been developed. To recalculate the estimates, an algorithm is proposed that uses the probability distribution functions for the mark scale and the average scale. The results of processing a large array of ratings are presented. The calculations confirm the adequacy of the ratings model and the ratings recalculation procedure. The above methodology can be used to obtain more accurate ratings.

Keywords: rating scores, collaborative filtering, models with latent parameters, comparison of rating scales, Partial Credit Model, Item Response Theory

Многие сайты собирают рейтинговые оценки фильмов, книг, музыкальных произведений, товаров и многих других объектов. Каждая рейтинговая оценка принадлежит некоторой порядковой шкале, например $\{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$. Обобщение рейтинговых оценок часто представлено в виде усредненных значений. Усреднение является не вполне корректной процедурой, так как порядковые шкалы не являются метрическими. Кроме этого, оценки выполняются разными людьми, которые интерпретируют одну и ту же шкалу по-разному. Обработка таких оценок с учетом подобных различий представляется актуальной задачей.

Для обработки рейтинговых оценок применяются методы коллаборативной фильтрации [1]. Рейтинговая оценка $f_{ur} \in S = \{0, 1, \dots, k\}$ выставляется субъектом $u \in U$ (клиенты, пользователи, ...) объекту $r \in R$ (товары, фильмы, ресурсы, ...). Матрица $\|f_{ur}\|$ является сильно разреженной. Например, один зритель из нескольких тысяч оценивает десятки фильмов из большого их количества. Традиционное применение коллаборативной фильтрации заключается в прогнозировании не заполненных значений f_{ur} , определении степени сходства субъектов и объектов.

Рейтинговые оценки используются для ранжирования объектов. На эту про-

цедуру существенно влияют индивидуальные склонности субъектов к переоценке или недооценке объектов. Возможны ситуации искажения результатов ранжирования в случае существенно неоднородных множеств оценщиков. Если большая часть оценщиков некоторого объекта склонны к завышению оценок, то и средняя оценка будет завышенной. Субъекты, выступающие в основном высокие или в основном низкие оценки, будут значительно искажать результаты ранжирования. Таким образом, разные субъекты применяют разные шкалы, даже если они содержат одинаковое количество градаций. Для корректной статистической обработки таких данных необходимо установить соответствие разных шкал.

Материалы и методы исследования

Традиционно сопоставление шкал связывают с сопоставлением интервалов [2] интегральных характеристик, по которым определяются рейтинги. Кроме этого, соответствие шкал можно определять на основе статистических распределений оценок. Для данных, изучаемых в данной работе, такой подход оправдан статистической однородностью рассматриваемых наблюдений. Для его реализации нужно строить распределения оценок, зависящие как от параметров субъекта, так и от параметров объекта. Подобные распределения применяет Item Response Theory [3] для описания итогов тестирования с учетом латентных параметров, характеризующих трудности тестовых заданий и подготовленность тестируемых.

Среди методов коллаборативной фильтрации отмечается привлекательность моделей [4, 5], которые используют латентные параметры, характеризующие каждого субъекта и каждый объект. В результате существенно снижаются количество оцениваемых параметров и сложность алгоритмов, а также повышается точность моделирования. Подобный подход применяется [4] для решения традиционных задач коллаборативной фильтрации. Отмечается [5] близость моделей Item Response Theory, применяемых для обработки данных тестирования, и латентных моделей коллаборативной фильтрации.

В данной работе предлагается инструмент построения рейтинга объектов, который учитывает индивидуальные особенности применения порядковой шкалы каждым субъектом на основе моделей с латентными параметрами.

Предлагается следующая модель, описывающая получение оценки в виде последовательности шагов. В случае «неудачи» на l -м шаге ($l = 1, \dots, k$) с вероятностью $1 - p_l$ оценка принимается равной $l - 1$, в случае «успеха» с вероятностью p_l испытание продолжается на следующем шаге. Предполагается независимость шагов. Успешно выполнив все шаги, субъект выставляет максимальный балл k . Случайная величина X – итоговая оценка – будет иметь следующее распределение вероятностей:

$$P\{X = x\} = (1 - p_{x+1}) \prod_{l=0}^x p_l, x = 0, \dots, k,$$

где для удобства полагается $p_0 = 1, p_{k+1} = 0$.

Математическое ожидание X можно вычислить в виде следующей суммы:

$$M[X] = \sum_{h=1}^k \prod_{l=1}^h p_l.$$

По аналогии с моделью «Partial Credit» [3], применяемой для анализа результатов тестирования, склонность субъекта u выставлять повышенные оценки будем измерять параметром θ_u , а l -й шаг оценивания объекта r будем характеризовать параметром δ_{rl} . Параметры определяют для субъекта u вероятности шагов оценивания объекта r :

$$p_l(u, r) = \frac{e^{\theta_u}}{e^{\theta_u} + e^{\delta_{rl}}}, l = 1, \dots, k$$

и вероятность оценки:

$$P\{F_{ur} = f_{ur}\} = (1 - p_{f_{ur}+1}(u, r)) \prod_{l=0}^{f_{ur}} p_l(u, r)$$

Очевидно, что, чем больше θ_u , тем сильнее распределение оценки F_{ur} будет смещаться в сторону более высоких оценок. Параметры $\delta_{r1}, \dots, \delta_{rk}$ определяют распределение оценки объекта r при некотором фиксированном θ и могут рассматриваться как характеристики объекта. Предполагается независимость всех шагов оценивания разными субъектами.

Для оценки параметров можно применить метод максимального правдоподобия – найти значения параметров, обеспечивающих максимум вероятности:

$$L = \prod_{i=1}^N P\{F_{u(i)r(i)} = f_{u(i)r(i)}\}$$

наблюдений $\{f_{u(i)r(i)}, i = 1, \dots, N\}$, где $u(i)$ – субъект i -й оценки, $r(i)$ – объект i -й оценки, N – число наблюдений. Перейдем от функции максимального правдоподобия:

$$L = \prod_{i=1}^N \begin{cases} \prod_{l=1}^k \frac{e^{\theta_{u(i)}}}{e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{r(i)l}}}, f_{u(i)r(i)} = k \\ \frac{e^{\delta_{r(i)l}}}{e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{r(i)l}}}, 0 < f_{u(i)r(i)} < k \\ \frac{e^{\delta_{r(i)l}}}{e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{r(i)l}}}, f_{u(i)r(i)} = 0 \end{cases}$$

к ее логарифму:

$$\ln(L) = \sum_{i=1}^N \begin{cases} k\theta_{u(i)} - \sum_{l=1}^k \ln(e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{r(i)l}}), f_{u(i)r(i)} = k; \\ f_{u(i)r(i)}\theta_{u(i)} + \sum_{l=1}^{f_{u(i)r(i)}} \delta_{r(i)l} - \\ - \sum_{l=1}^{f_{u(i)r(i)}} \ln(e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{r(i)l}}), 0 \leq f_{u(i)r(i)} < k; \end{cases}$$

Условием достижения максимума будет равенство нулю частных производных:

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \theta_u} = \sum_{i=1}^N \begin{cases} f_{ur(i)} - \sum_{l=1}^k \frac{e^{\theta_u}}{e^{\theta_u} + e^{\delta_{r(i)l}}}, f_{ur(i)} = k; \\ f_{ur(i)} - \sum_{l=1}^{f_{ur(i)}} \frac{e^{\theta_u}}{e^{\theta_u} + e^{\delta_{r(i)l}}}, 0 \leq f_{ur(i)} < k; \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial \delta_{rl}} = \sum_{i=1}^N \frac{e^{\theta_{u(i)}}}{e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{rl}}} - \sum_{i=1}^N 1. \quad (2)$$

$r(i)=r, f_{u(i)r} \geq l-1$ $r(i)=r, f_{u(i)r} \geq l$

Для решения таких уравнений в IRT предлагается использовать метод Ньютона. В этом методе в итерационной формуле:

$$x^{(s+1)} = x^{(s)} - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})}$$

в числителе используется первая производная логарифма функции правдоподобия, а в знаменателе – вторая:

$$\frac{\partial^2 \ln(L)}{\partial \theta_u^2} = \sum_{i=1}^N \begin{cases} -\sum_{l=1}^k \frac{e^{\theta_u} e^{\delta_{r(i)l}}}{(e^{\theta_u} + e^{\delta_{r(i)l}})^2}, f_{ur(i)} = k; \\ -\sum_{l=1}^{f_{ur(i)}} \frac{e^{\theta_u} e^{\delta_{r(i)l}}}{(e^{\theta_u} + e^{\delta_{r(i)l}})^2}, 0 \leq f_{ur(i)} < k; \end{cases}$$

$$\frac{\partial^2 \ln(L)}{\partial \delta_{rl}^2} = - \sum_{i=1}^N \frac{e^{\theta_{u(i)}} e^{\delta_{rl}}}{(e^{\theta_{u(i)}} + e^{\delta_{rl}})^2}$$

$r(i)=r, f_{u(i)r} \geq l-1$

Отрицательные значения второй производной соответствуют вогнутости функции, что гарантирует сходимость предложенной процедуры поиска значений параметров.

Особенностью предложенной модели является то, что значение вероятностей не изменится, если все латентные параметры изменить на одну и ту же величину.

Для получения начальных значений положим в (1) $e^{\delta_{r(i)}} = 1$. В этом случае параметр вычисляется как логарифм средней оценки субъекта u :

$$\theta_u = \ln \left(\frac{1}{m(u)} \sum_{\substack{i=1: \\ u(i)=u}}^N f_{ur(i)} \right),$$

где $m(u) = \sum_{\substack{i=1: \\ u(i)=u}}^N 1$ – количество оценок субъекта u .

Аналогично полагая в (2) $e^{\theta_{u(i)}} = 1$, получаем:

$$\delta_{r,l} = \ln \left(\frac{n(r, l-1) - n(r, l)}{n(r, l)} \right),$$

где $n(r, l) = \sum_{\substack{i=1: \\ r(i)=r, f_{u(i)} \geq l}}^N 1$ – количество оценок субъекта r , не меньших l .

Если аргумент логарифма равен нулю, то начальное значение параметра приравнивается некоторому отрицательному значению, например $\delta_{r,l} = -5$, что соответствует почти единичной вероятности успеха на l -м шаге оценивания.

Для апробирования модели был выбран набор данных ml-latest-small с рейтинговыми оценками фильмов, который содержит 100 836 оценок для 9 308 фильмов от 610 зрителей. Данный набор данных размещен на сайте Social Computing Research at the University of Minnesota. Оценки включали половинки баллов от 0,5 до 5 и были переведены в целочисленную шкалу от 0 до 9. Для данного набора данных были определены латентные параметры субъектов (зрителей) и объектов (фильмов).

Для оценки адекватности модели предлагается применить дисперсионный анализ. Дисперсионный анализ позволяет оценить зависимость оценок от субъектов и объектов. Для оценки влияния субъектов сравниваются усредненные выборочные дисперсии по субъектам:

$$M_2 = \frac{1}{N-n} \sum_u (f_{ur} - \widehat{f}_{u^*})^2,$$

$$\widehat{f}_{u^*} = \frac{1}{m(u)} \sum_{\substack{k=1: \\ u(k)=u}}^N f_{u(k)r(k)},$$

где n – количество субъектов,

с межгрупповой дисперсией:

$$M_1 = \frac{1}{n-1} \sum_u (\widehat{f}_{u^*} - \widehat{f}_{**})^2, \widehat{f}_{**} = \frac{1}{N} \sum f_{ur}.$$

Статистики M_1 и M_2 являются разными оценками дисперсии одной и той же случайной величины в случае отсутствия влияния субъекта на оценку. Статистика $F = M_1 / M_2$, при условии одинакового нормального распределения и независимости вариаций среди оценок, будет иметь распределение Фишера со степенями свободы $n-1$ и $N-n$. Как и следовало ожидать, проверка подтвердила предположение о наличии влияния субъектов на оценки. Аналогично была подтверждена зависимость оценок от объектов.

По такой же схеме были проверены гипотезы о независимости остатков $f'_{ur} = f_{ur} - M[F_{ur}]$ от субъектов и объектов. Вычисления подтвердили эти гипотезы с доверительной вероятностью, близкой к единице.

Коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (f_{ur} - M[F_{ur}])^2}{\sum (f_{ur} - \widehat{f}_{**})^2}$$

определяет «долю изменчивости», которую описывает модель. Для предложенной модели и массива оценок коэффициент детерминации составил 0,43. Не слишком большое значение коэффициента детерминации показывает, что оценки являются в большой степени случайными, а также в модели не учитывается множество других факторов, например характеристик фильмов и зрителей, оказывающих значимое влияние на формирование оценок. В целом предложенная модель позволяет получить более точные оценки по сравнению с простым усреднением.

Для каждого субъекта рейтинговая оценка будет иметь свое распределение вероятностей. Усреднение таких оценок может приводить к значительным искажениям. Для исключения этого нужен инструмент определения соответствия значений случайных величин с разными распределениями. Для непрерывных величин X и Y можно использовать функцию:

$$y = F_Y^{-1}(F_X(x))$$

где F – функция распределения соответствующей случайной величины. Для дискретных случайных величин такой подход не является точным. Идея следующего ме-

тогда связана с сопоставлением значений двух вариационных рядов с одинаковыми номерами. Для дискретных случайных величин в вариационном ряду одинаковые значения образуют интервал. Сопоставление компонентов вариационных рядов приводит к ситуации, когда интервалу одинаковых значений x будет соответствовать часть вариационного ряда для Y , возможно, с неодинаковыми значениями y . Если вместо вариационных рядов использовать вероятности, то получается следующая схема. Значению x соответствует (рис. 1) интервал $(F_X(x), F_X(x+1)]$. Этому интервалу могут соответствовать несколько значений Y :

$$y_1, y_1 + 1, \dots, y_2$$

$$y_1 : F_Y(y_1 - 1) < F_X(x) \leq F_Y(y_1),$$

$$y_2 : F_Y(y_2) < F_X(x + 1) \leq F_Y(y_2 + 1).$$

Значению x можно поставить в соответствие среднее значение z из интервала, соответствующего интервалу $(F_X(x), F_X(x+1))$. Определим случайную величину Z на основе распределения Y :

$$P\{Z = y_1\} = \frac{F_Y(y_1 + 1) - F_X(x)}{P\{X = x\}}$$

$$P\{Z = y_2\} = \frac{F_X(x + 1) - F_Y(y_2)}{P\{X = x\}}$$

$$P\{Z = z\} = \frac{P\{Y = z\}}{P\{X = x\}}, y_1 < z < y_2$$

$$P\{Z = z\} = 0, z < y_1 \text{ или } z > y_2$$

Значению x ставится в соответствие $M[Z]$.

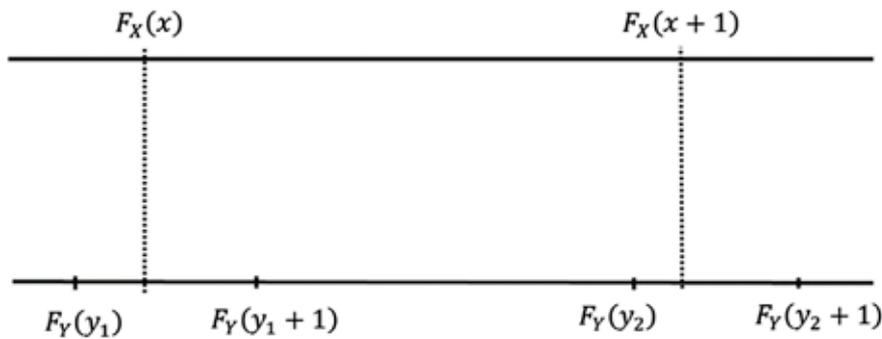


Рис. 1. Соответствие двух шкал на основе сопоставления функций распределения $F_X(x)$ и $F_Y(y)$

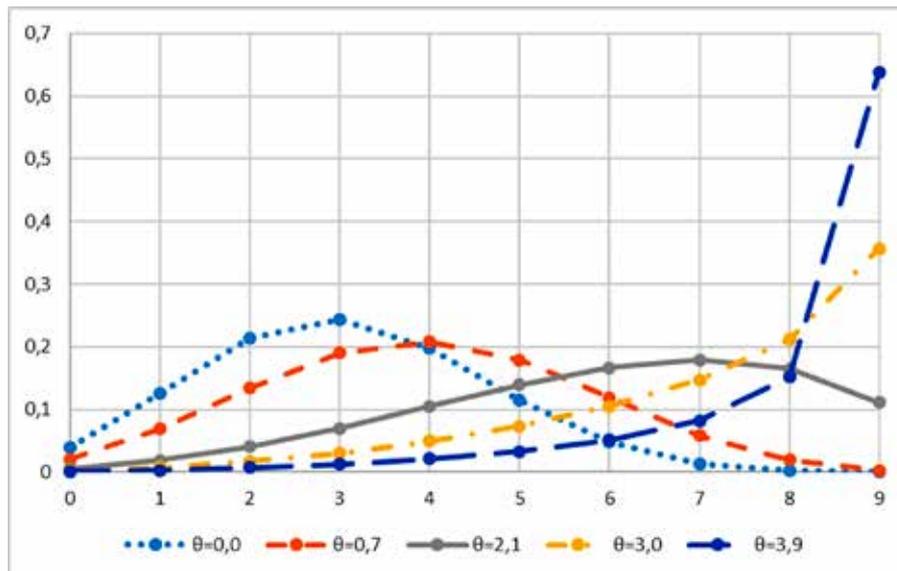


Рис. 2. Распределения вероятностей оценок с одинаковыми латентными параметрами объектов и разными параметрами θ_i субъектов

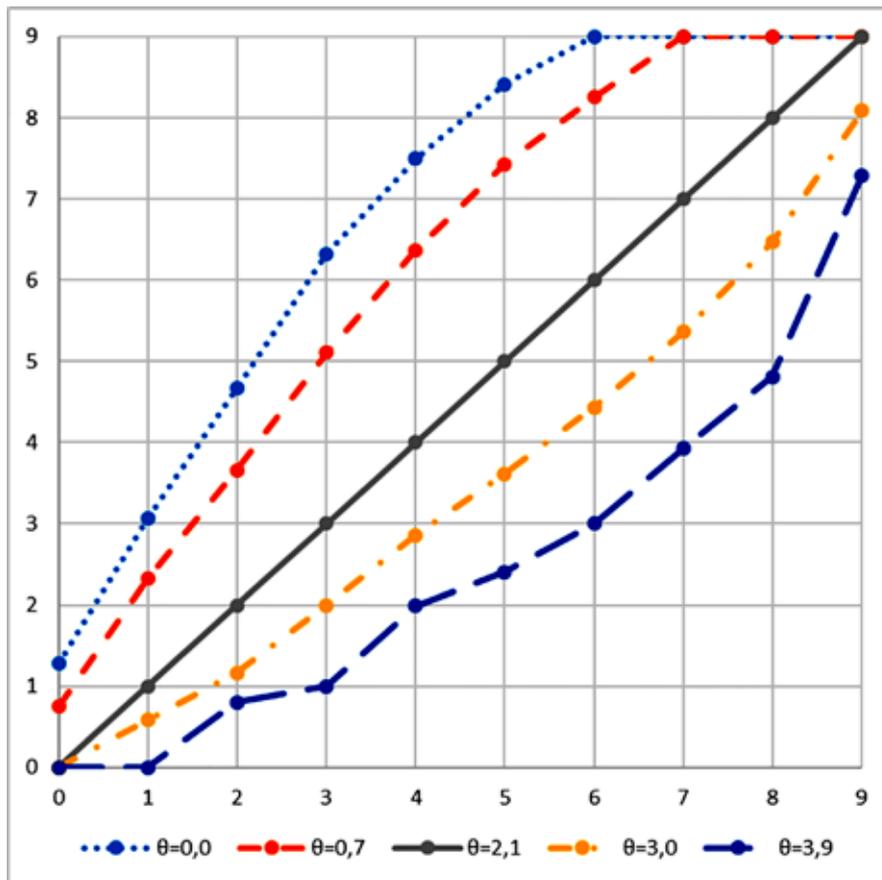


Рис. 3. Преобразование оценок с распределениями для разных параметров θ_u к распределению $\theta_u = 2,1$

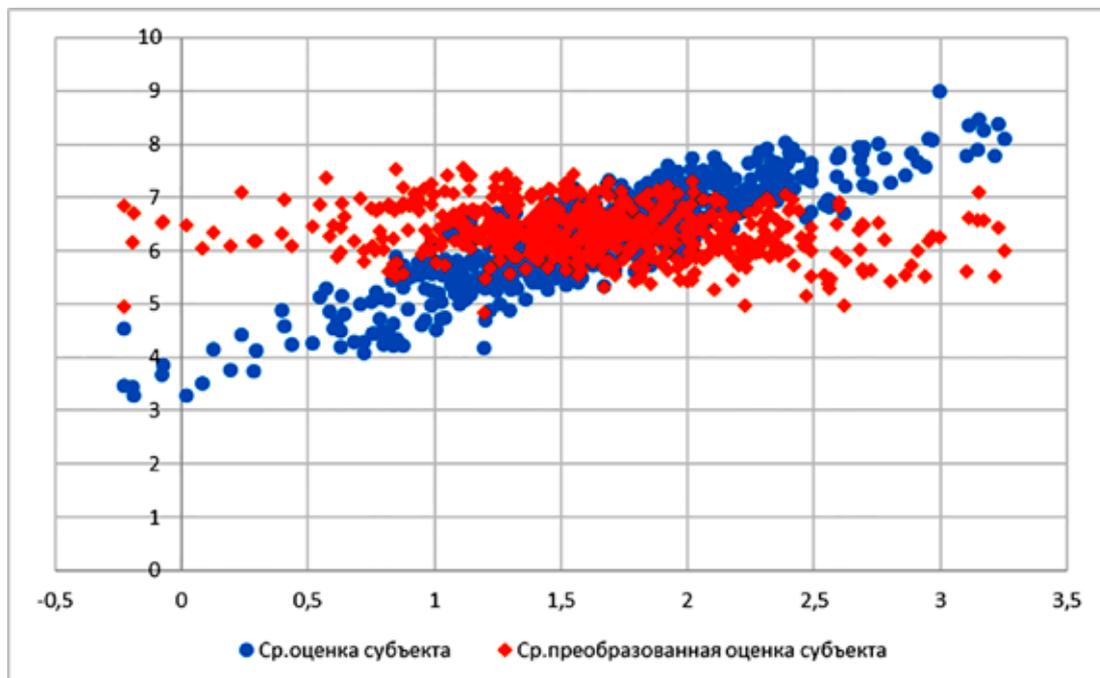


Рис. 4. Разброс усредненных исходных и преобразованных оценок субъектов в зависимости от значений латентного параметра субъекта

Преобразование оценки на основе разности распределений следует проводить для исключения тенденции субъекта ставить завышенные или заниженные оценки. Такая тенденция субъекта определяется его латентным параметром: чем больше параметр θ_u субъекта, тем больше вероятность высокой оценки (рис. 2).

На рисунке 3 приведены преобразования оценок с разными распределениями, ось ординат соответствует исходным оценкам, ось абсцисс – преобразованным. Как было естественно ожидать, преобразование увеличивает оценки субъектов с низким значением латентных параметров – склонных занижать оценки – и уменьшает оценки субъектов с большими значениями латентных параметров – склонных завышать оценки. Пилообразность преобразования для $\theta_u = 3,9$ объясняется неравномерным перекрытием интервалов, соответствующих одинаковым значениям случайных величин с разными распределениями вероятностей.

На рисунке 4 представлена диаграмма разброса исходных и преобразованных оценок в зависимости от значений латентного параметра субъекта. Диаграмма демонстрирует, что преобразование компенсирует смещение оценок под влиянием тенденции субъекта завышать или занижать оценки.

Выводы

Предложенная модель рейтинговых оценок позволила построить вероятностные распределения рейтинговых оценок в зависимости от свойств субъектов и объек-

тов, задаваемых латентными параметрами. Результаты обработки большого множества наблюдений подтверждают адекватность модели. Полученные распределения позволили определить преобразование оценок на основании распределения вероятностей рейтинговой оценки и усредненного распределения. Такое преобразование позволяет исключить субъективность оценок. В предложенную модель можно включить дополнительные параметры субъектов и объектов оценивания для учета факторов, которые могут повысить точность моделирования. Применение предложенной методики пересчета оценок позволяет получить более объективные оценки и более точные рейтинги объектов.

Список литературы

1. Dong X., Yu L., Wu Z., Sun Y., Yuan L., Zhang F. A Hybrid Collaborative Filtering Model with Deep Structure for Recommender Systems. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2017. V. 31(1). DOI: 10.1609/aaai.v31i1.10747.
2. Айвазян С.А., Головань С.В., Карминский А.М., Пересецкий А.А. О подходах к сопоставлению рейтинговых шкал // Прикладная эконометрика. 2011. № 3 (23). С. 13-40.
3. Hamel J.-F., Sébille V., Challet-Bouju G., Hardouin J.-B. Partial Credit Model: Estimations and Tests of Fit with Pmodel. The Stata Journal. 2016. V. 16(2). P. 464–481. DOI: 10.1177/1536867X1601600212.
4. Kumar B. A novel latent factor model for recommender system. JISTEM. Journal of Information Systems and Technology Management. 2016. V. 13. Is. 3. P. 497-514. DOI: 10.4301/S1807-17752016000300008.
5. Bergner Y., Halpin P., Vie J.J. Multidimensional Item Response Theory in the Style of Collaborative Filtering. Psychometrika. 2022. V. 87(1). P. 266-288. DOI: 10.1007/s11336-021-09788-9.

УДК 681.5

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Гладких Т.Д.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: txgl@yandex.ru

В статье представлена модель надежности автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) в период эксплуатации. Предложенная модель построена на основе сети Байеса, что позволяет графически передать архитектуру АСУ, и предназначена для выявления уязвимых элементов системы. Основанием применения сети Байеса для моделирования является необходимость комплексного рассмотрения принципиально различных подсистем: аппаратных средств и программного обеспечения (ПО). Для формирования сети Байеса отдельно получены функции надежности для всех составляющих элементов АСУ: каналов связи в аппаратной части и программных средств системы управления. В качестве показателя надежности использована вероятность безотказной работы системы, которая описывается экспоненциальным законом распределения наработки до отказа. При получении функции надежности (вероятности безотказной работы) программного обеспечения применялась модель Джелинского – Моранды. Данная модель наиболее подходит нашему случаю, так как позволяет рассматривать систему в процессе эксплуатации. Для расчета вероятности безотказной работы ПО использованы данные по наработке между сбоями программного обеспечения средств автоматизации среднего и верхнего уровня реального технологического объекта. Модель безотказности аппаратной части АСУ ТП построена на основе структурных схем. Аппаратная составляющая системы управления рассматривается с учетом уровней автоматизации: нижнего, среднего и верхнего. Для каждого уровня выделены каналы связи, для которых определены средняя интенсивность отказов и вероятность безотказной работы.

Ключевые слова: надежность программно-аппаратных систем, вероятность безотказной работы, модель Джелинского – Моранды, структурные схемы надежности, динамическая сеть Байеса

THE DEPENDABILITY MODEL OF THE INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM

Gladkikh T.D.

Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: txgl@yandex.ru

The article presents a dependability model of an Industrial Control System (ICS) during operation. The proposed model is based on the Bayes network, which allows to graphically convey the architecture of the control system. The model is designed to identify vulnerable elements of the system. The basis for the use of the Bayes network for modeling is the need for a comprehensive consideration of fundamentally different subsystems: hardware and software. To form a Bayesian network, reliability functions were separately obtained for all the components of the control system: communication channels in the hardware and software of ICS. As an indicator of dependability, the reliability function of the system is used, which is described by the exponential law of the distribution of operating time to failure. The Jelinsky – Moranda model was used to obtain the reliability function of the software. This model is most suitable for our case, as it allows us to consider the system during operation. The reliability function of the software is calculated based on the operating time between failures. Failures at the controller and control room level are taken into account. The dependability model of the control system hardware is based on structural schemes. The hardware component is considered taking into account the levels of automation: lower, middle (controller) and upper (control room). Communication channels are allocated for each level, for which the average failure rate and the reliability function are determined.

Keywords: dependability of software and hardware systems, reliability function, Jelinsky – Moranda model, structural schemes, dynamic Bayesian network

Анализ надежности технических объектов позволяет оценить эффективность их работы и выявить уязвимые элементы в системах. Поэтому разработка моделей и методик оценки показателей безотказности является актуальной научно-технической задачей.

Для организаций, эксплуатирующих и проектирующих технические системы, существует необходимость в универсальной интегрированной среде моделирования надежности [1]. Как отмечают авторы статьи [1], для разработки такой среды необходима обширная библиотека разного рода моделей надежности.

Выбор методов оценки надежности технических систем необходимо осуществлять

с учетом специфики анализируемого объекта [2]. Например, в работе [3] отмечается, что для инженеров необходим инструмент оценки надежности, в котором бы отражалась архитектура самого объекта. Модель надежности системы управления не может быть универсальной, так как необходимо учитывать не только архитектуру объекта, но и цель моделирования, доступные данные и др. Так, при разработке моделей надежности систем управления в работах [4, 5] объект исследования был разбит на подсистемы с учетом выполняемых функций.

Известным способом анализа надежности систем управления является применение метода анализа видов и последствий отказов (FMEA) [6, 7], но указанный ин-

струмент не является достаточным и рассматривается как начальный этап оценки безотказности и безопасности объекта на этапе проектирования [8].

Предложенная нами модель рассматривает АСУ ТП в период эксплуатации. Но авторы [1, 3] отмечают, что оценка надежности эксплуатируемых объектов усложнена тем, что показатели надежности являются динамическими, и, следовательно, модель надежности должна использовать данные текущего момента функционирования объекта. Для решения данной проблемы в [1] предлагается метод, основанный на динамической байесовской сети, которая представляет типовую сеть Байеса в функции времени. В рассматриваемом методе время является еще одним рядом данных. Кроме того, применение динамических сетей Байеса позволяет просто и наглядно моделировать надежность и безопасность сложных объектов [9]. С учетом вышесказанного, при разработке модели надежности АСУ ТП необходимо учитывать функциональное назначение составляющих элементов (программные и аппаратные средства), архитектуру (нижний, средний и верхний уровни автоматизации) и динамику изменений в системе (суммарную наработку).

Целью исследования является разработка модели функциональной надежности АСУ ТП. При расчете функциональной надежности учитываются функциональные отказы, под которыми понимаются состояния объекта, при которых система не выполняет какую-либо функцию, например не осуществляет контроль или регистрацию технологического параметра. При функциональном отказе система может быть работоспособной.

Материалы и методы исследования

При моделировании надежности АСУ ТП используем динамическую сеть Байеса, которая позволяет интегрировать модели надежности двух подсистем: программной и аппаратной составляющих системы управления. Для создания сети в нашем случае узлы описываются математически моделями в функции времени.

При разработке модели выделяем программную и аппаратную части, в последней учитываем уровни автоматизации (нижний, средний, верхний). Для указанных подсистем применяются различные средства анализа безотказности. Поэтому вначале создаем отдельно модель надежности программного обеспечения и модель надежности аппаратных средств (с выделением уровней автоматизации), в завершение объединяем полученные модели подсистем в динамическую сеть Байеса.

Модель надежности программных средств. Модель надежности программного обеспечения является частью модели надежности АСУ ТП. Для оценки надежности ПО применяются аналитические и эмпирические методы; используют математический аппарат теории вероятности [10] и математической статистики, теории Марковских цепей [11] и др. [12].

Так как создаваемая модель надежности АСУ ТП динамическая, то и модель надежности ПО должна быть динамической, например, базироваться на модели Шумана или Джелинского – Моранды.

Динамическая модель Шумана в нашем случае непригодна, так как требует знания числа команд на машинном языке в программе; в нашем случае такие данные получить проблематично, так как необходимо учесть ПО среднего и верхнего уровня автоматизации. Безусловно, модель Шумана при наличии исходных данных очень удобна.

Таким образом, при разработке модели надежности ПО использовали модель Джелинского – Моранды [13–15].

Модель Джелинского – Моранды использует данные о периодичности возникновения программных сбоев, которые легко отследить в процессе эксплуатации, и является «моделью роста надежности», так как при исправлении ошибок надежность ПО увеличивается. Данная модель при описании показателей безотказности использует экспоненциальный закон распределения. Функция надежности ПО имеет вид $P(t_i) = \exp(-\lambda_i \cdot t_i)$, где t_i – момент времени после очередного $(i - 1)$ -го восстановления; λ_i – интенсивность отказов (сбоев) программы на i -м интервале работы. Методика расчета интенсивности отказов ПО подробно изложена в литературе, например в [14].

Пример расчета. Для определения интенсивности отказов использованы данные за 198 суток (6,6 мес.) АСУ ТП дожимной насосной станции Южно-Аганского месторождения. Исходные данные по наработке получены с момента обновления ПО, составляют $\tau = [12, 30, 35, 37, 41, 43]$, сут. Возникшие после модернизации АСУ ошибки устранялись перезагрузкой ПО и внесением незначительных корректив в код. Ошибки (сбои) ПО, возникшие в течение суток после модернизации системы, не учтены как возникшие в результате пуско-наладочных мероприятий.

На основе данных рассчитана интенсивность отказов ПО на $i = 7$ интервале эксплуатации, она составила $\lambda_7 = 0,015$ (1/сут). Функция вероятности безотказной работы (функция надежности) ПО на 7-интервале эксплуатации имеет вид: $P(t) = \exp(-0,015 \cdot t)$.



Рис. 1. Структурная схема надежности канала связи по давлению

Модель надежности аппаратных средств. Для описания надежности аппаратных средств применяли метод, основанный на структурных схемах. При разработке структурных схем и математического описания надежности приняли следующие допущения:

- отказ любого элемента вызывает функциональный отказ АСУ ТП, то есть система не выполняет все требуемые функции;

- АСУ рассматривается в период нормальной эксплуатации, то есть для описания показателей безотказности элементов можно применять экспоненциальный закон распределения. Предельное состояние объекта не рассматриваем, так как в процессе эксплуатации АСУ ТП постоянно модернизируется или выполняется восстановление при проведении планового технического обслуживания (ТО) и ремонта; кроме того, составляющие АСУ элементы, как правило, неремонтопригодны, после отказа заменяются исправными;

- средства противоаварийной защиты (ПАЗ) не рассматриваются.

В связи с первым допущением отмечаем, что структурная схема надежности канала связи представляет собой основное (последовательное) соединение элементов. Упрощенная структурная схема для каналов связи нижнего уровня имеет вид: датчик – линия связи – исполнительный механизм. Для среднего/верхнего уровня: контроллер – линия связи – автоматизированное рабочее место (АРМ). Для примера на рис. 1 изображена структурная схема канала регулирования по давлению.

Для получения функции надежности каналов связи рассчитывается интенсивность отказов элементов по формуле $\lambda_i = 1/T_i$, где T_i – средняя наработка до отказа (определяется из паспортов оборудования). Интенсивность отказов канала связи определяется суммой $\lambda_c = \sum \lambda_i$, так как структурная схема надежности описывается основным соединением элементов.

Вероятность безотказной работы канала связи имеет вид:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_{cp} \cdot t}.$$

Рассмотрим расчет надежности для АСУ дожимной насосной станции Южно-Аган-

ского месторождения. На объекте функционируют сепарационные установки, насосный блок с двумя насосными агрегатами.

На основе структурной схемы канала регулирования давления в сепараторе (РС) (рис. 1) определена интенсивность отказов:

$$\begin{aligned} \lambda_{CP} &= \lambda_1 + 2\lambda_2 + \lambda_3 = \\ &= 1 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 0.033 \cdot 10^{-5} + 1,7 \cdot 10^{-5} = \\ &= 2.766 \cdot 10^{-5} \text{ (час}^{-1}\text{)}. \end{aligned}$$

Вероятность безотказной работы канала регулирования давления описывается выражением $P_{PC}(t) = e^{-\lambda_{cp} \cdot t} = e^{-2.766 \cdot 10^{-5} \cdot t}$.

Аналогичным образом рассчитываются показатели безотказности для других каналов связи:

- канал регулирования уровня в сепараторе (LC) $P_{LC}(t) = e^{-2.167 \cdot 10^{-5} \cdot t}$;

- канал сигнализации по давлению в сепараторе (РА) $P_{PA}(t) = e^{-1.346 \cdot 10^{-5} \cdot t}$;

- канал контроля давления на выкиде насоса (PI) $P_{PI}(t) = e^{-2.806 \cdot 10^{-5} \cdot t}$;

- канал контроля температуры подшипников насоса (ТИ) (2 шт.) $P_{TI}(t) = e^{-3.01 \cdot 10^{-5} \cdot t}$;

- канал среднего/верхнего уровня (ПЛК+АРМ) $P_{ПЛК+АРМ}(t) = e^{-2.533 \cdot 10^{-5} \cdot t}$.

При разработке динамической модели надежности аппаратных средств принято следующее:

- техническое обслуживание (ТО) для элементов нижнего уровня автоматизации выполняется одновременно с периодичностью 6 мес. (согласно НТД техническое обслуживание должно проводиться не реже 1 раза в 5–7 мес.);

- периодичность ТО для средств автоматизации среднего и верхнего уровней составляет 12 мес.;

- после аварийного восстановления или ТО достигается исправное состояние системы;
- восстановление происходит мгновенно.

В примере расчета из-за отсутствия данных не учтены аварийные отказы и восстановления после них.

На рис. 2 представлены графики функции надежности для выделенных каналов связи АСУ на интервале наработки 135–240 суток.

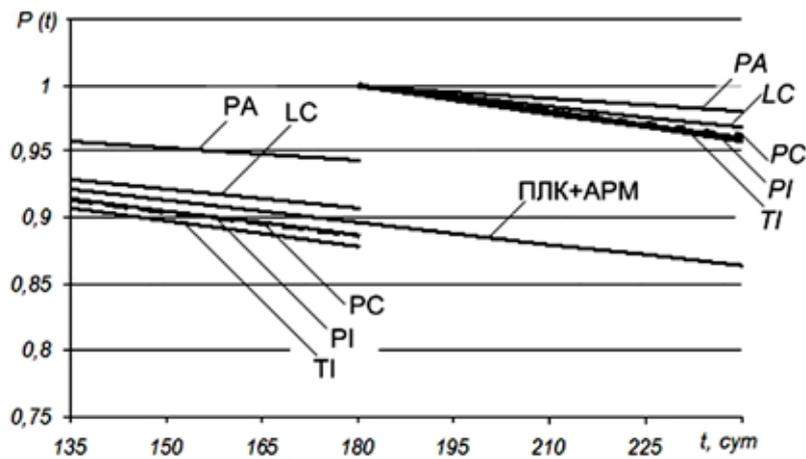


Рис. 2. Функция надежности для аппаратных средств АСУ

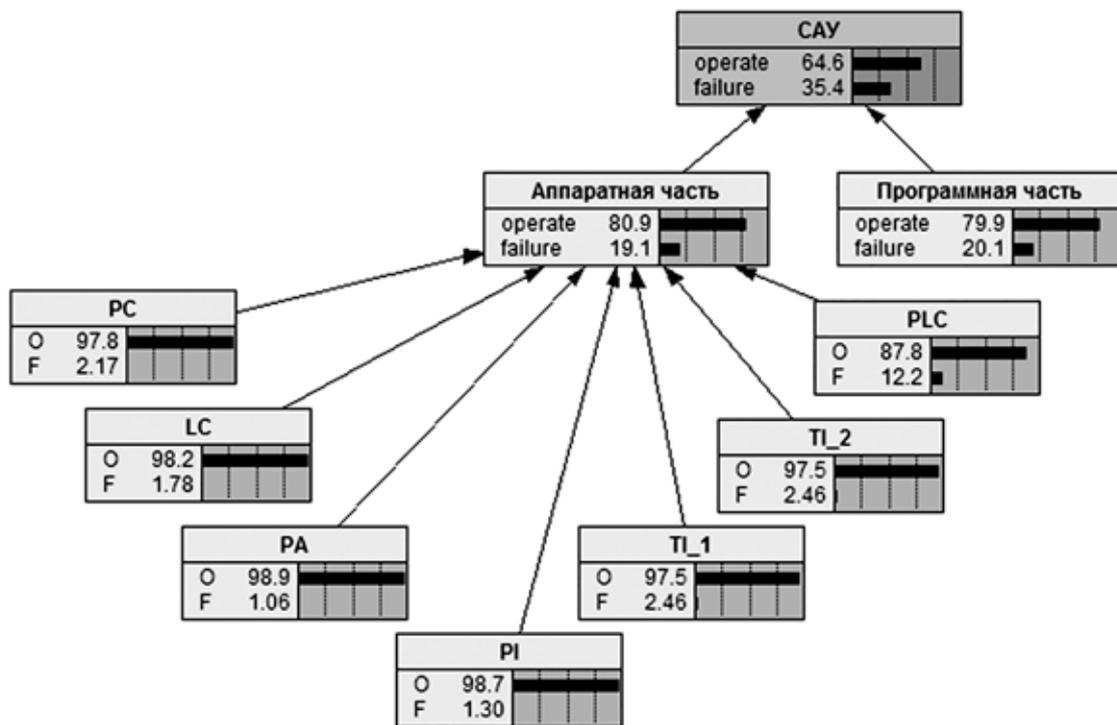


Рис. 3. Сеть Байеса для АСУ ДНС при наработке 213 суток

По графикам видно, что при наработке 180 суток (6 мес.), после планового ТО, каналы связи нижнего уровня восстановлены полностью: $(P_{PC}(180) = P_{LC}(180) = P_{PA}(180) = P_{PI}(180) = P_{TI}(180) = 1)$; при увеличении наработки надежность снижается. Подсистема «ПЛК+АРМ» не восстанавливается на рассматриваемом интервале эксплуатации, ее надежность снижается на данном интервале.

Модель надежности АСУ ТП на базе динамической сети Байеса. Для оценки безотказности АСУ дожимной насосной

станции Южно-Аганского месторождения разработана динамическая сеть Байеса, исходные данные для которой определяются по разработанным моделям надежности ПО и аппаратных средств. Из полученных выше моделей надежности для ПО и аппаратных средств используются выражения функции надежности вида $P_i(t) = \exp(-\lambda_i \cdot t)$, где i – элемент системы.

На рис. 3 представлена сеть Байеса с данными для момента непрерывной работы 213 суток (15 суток 7-го интервала работы ПО).

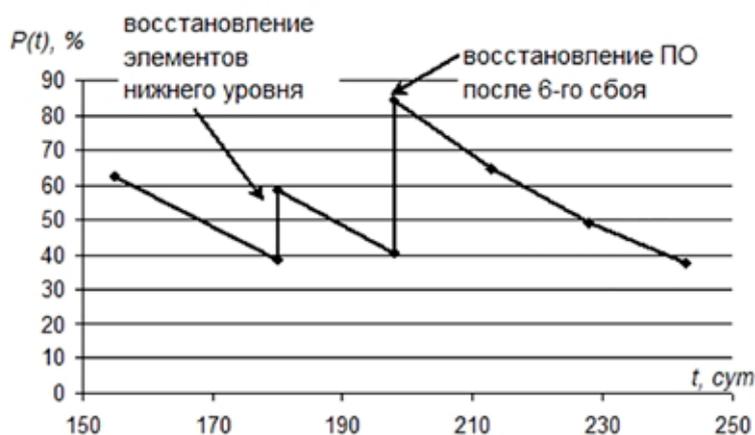


Рис. 4. График функции надежности АСУ ТП

На рисунке 3 использованы следующие обозначения: «O/operate» – вероятность безотказной работы объекта, «F/failure» – вероятность отказа объекта. Для данного момента времени наименьшим значением вероятности безотказной работы характеризуется ПО $P_{\text{ПО}}(213) = 79.9\%$, то есть с большой вероятностью может произойти сбой; среди аппаратных средств наиболее уязвимым местом АСУ является канал связи среднего/верхнего уровня (PLC) $P_{\text{PLC}}(213) = 87.7\%$.

На основе предложенной сети Байеса можно определить вероятность безотказной работы АСУ ТП в функции наработки. На рис. 4 представлен график изменения функции надежности АСУ ТП на интервале наработки 150–250 суток после модернизации. На диаграмме отражено восстановление элементов системы управления при ТО аппаратных средств нижнего уровня автоматизации (при 180 сутках) и после 6-го сбоя программного обеспечения (при 198 сутках).

Заключение

В статье предложена модель надежности, которая позволяет комплексно оценивать безотказность программно-аппаратной системы, какой является АСУ ТП. Разработанная модель является динамической и позволяет оценивать функцию надежности в процессе эксплуатации технических объектов.

Предложенная модель надежности рассматривает аппаратно-программную систему в период нормальной эксплуатации, при которой отсутствуют износные отказы. Тем не менее данную модель можно применить и для процесса приработки и для периода старения системы: в этом случае необходи-

мо применить логнормальное или распределение Вебулла для описания наработки до отказа аппаратных средств.

Достоинствами разработанной модели являются: соблюдение архитектуры АСУ, визуальная реализация в виде сети Байеса, простота получения данных для модели, учет динамики изменения показателей надежности во времени.

Предложенную модель в дальнейшем можно уточнить следующими способами:

- расчетом интенсивности отказов аппаратных средств на основе статистических данных;
- выделением уровней автоматизации для ПО;
- выделением в модели надежности ПО различного типа сбоев, в том числе нарушения безопасности.

Список литературы

1. Qian W., Liu J., Cao Q., Yin X., Xie L. Reliability assessment of car engine based on dynamic Bayesian network, 2016 11th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS). 2016. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICRMS.2016.8050144.
2. Reza H., Pimple M., Krishna V., Hildle J. A Safety Analysis Method Using Fault Tree Analysis and Petri Nets, 2009 Sixth International Conference on Information Technology: New Generations, 2009. P. 1089–1094. DOI: 10.1109/ITNG.2009.183.
3. Boyer G., Pétrin J., Brinzei N., Camerini J., Ndiaye M. Toward Generation of Dependability Assessment Models for Industrial Control System, 2019 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT). 2019. P. 50–59. DOI: 10.1109/IDT.2019.8813373.
4. Andrii A., Ol'ha B., Sergii N. Probabilistic evaluating the reliability of the control system of the unmanned aviation complex, 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 2018. P. 353–357. DOI: 10.1109/DESSERT.2018.8409158.
5. Успенский М.И. Вклад составляющих в надежность функционирования информационной сети СМПП // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2021. № 3. С. 103–121. DOI: 10.31857/S0002331021020138.

6. Kong S., Zhang H., Liao X., Hong D. Reliability-centered optimal design method for flight vehicle control system, 2016 11th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS), 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICRMS.2016.8050056.
7. Babeshko E., Kharchenko V., Gorbenko A. Applying F(I)MEA-technique for SCADA-Based Industrial Control Systems Dependability Assessment and Ensuring," 2008 Third International Conference on Dependability of Computer Systems DepCoS-RELCOMEX, 2008. P. 309–315. DOI: 10.1109/DepCoS-RELCOMEX.2008.23.
8. Bluvband Z., Grabov P. Failure analysis of FMEA, 2009 Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2009. P. 344–347. DOI: 10.1109/RAMS.2009.4914700.
9. Li N., Lu Z., Zhou J. Reliability assessment based on Bayesian networks for full authority digital engine control systems, 2016 11th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS), 2016. P. 1–7. DOI: 10.1109/ICRMS.2016.8050158.
10. Ермаков А.А., Чувашова Д.А. Особенности комплексного оценивания надежности программного обеспечения // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2016. № 15. С. 12–17.
11. Sun L., Gao S., Wang L. An Automatic Test Sequence Generation Method Based on Markov Chain Model. 2021. World Conference on Computing and Communication Technologies (WCCCT). 2021. P. 91–96. DOI: 10.1109/WCCCT52091.2021.00024.
12. Любицын В.Н. Необходимость разработки надежного программного обеспечения как вызов современности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2012. № 23 (282). С. 26–29.
13. Гуров В.В. Практические особенности использования моделей надежности программного обеспечения // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. 2017. Т. 6. № 5. С. 458–465. DOI: 10.1134/S2304487X17050030.
14. Joe H., Reid N. On the Software Reliability Models of Jelinski-Moranda and Littlewood, in IEEE Transactions on Reliability. 1985. Vol. R-34. No. 3. P. 216–218. DOI: 10.1109/TR.1985.5222120.
15. Luo Z., Cao P., Tang G., Wu L. A Modification to the Jelinski-Moranda Software Reliability Growth Model Based on Cloud Model Theory. 2011 Seventh International Conference on Computational Intelligence and Security. 2011. P. 195–198. DOI: 10.1109/CIS.2011.51.

УДК 62-529:51-74:57.087.3

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЕРВИЧНОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ КОНЕЧНОСТЕЙ

^{1,2}Головин М.А., ¹Янковский В.М., ¹Клименко Ф.Н., ^{1,3}Черникова М.В.,
^{1,3}Фогт Е.В., ^{1,3}Суфэльфа А.Р., ¹Петраускас М.В., ¹Щербина К.К.

¹ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта»
Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Санкт-Петербург,
e-mail: golovin@center-albreht.ru;

²ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Санкт-Петербург, e-mail: golovin@center-albreht.ru;

³ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, e-mail: golovin@center-albreht.ru

Применение цифровых технологий в протезировании, в том числе при множественных ампутированных дефектах конечностей, имеет особое практическое значение. Сокращение сроков протезирования, особенно первичного, позволяет и частично компенсировать тяжелое психоэмоциональное состояние после перенесенной травмы, сохранить мотивацию пациента, способствует благоприятному сопровождению лечебно-восстановительных мероприятий, формированию культуры, восстановлению мобильности и способности к самообслуживанию. Цель исследования: разработать компоненты цифровой технологии протезирования конечностей при травмах мирного и военного времени, в том числе до обеспечения протезами по индивидуальной программе реабилитации и абилитации (ИПРА). Для разработки устройств 3D-сканирования усеченной конечности и методов их применения было проведено обследование 173 пациентов ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России с патологиями опорно-двигательной системы, в возрасте от 11 до 88 лет, средний возраст составил 63,6 года. К протезированию лечебно-тренировочными протезами, изготовленными по аддитивной технологии, были допущены 52 пациента. Изготовили 45 протезов нижних конечностей для 32 мужчин (ср. возраст – 47 лет) и 11 женщин (ср. возраст – 62 года) и 9 изделий на верхние конечности для 6 мужчин (ср. возраст – 40,8 лет) и 3 женщин (ср. возраст – 41 год). Протезы голени изготовлены 26 пациентам (ср. возраст – 52,6 лет), протезы бедра – 17 пациентам (ср. возраст – 48,5 лет). Разработаны два стационарных 3D-сканера для съемки культей конечностей и методики их применения, программы для обработки полученных моделей и построения электронных геометрических моделей приемных гильз протезов конечностей, предложен метод 3D-печати из гранул как способ критического сокращения времени изготовления приемной гильзы протеза. Пациенты отметили облегчение фантомных болей, психоэмоционального и физического состояния, были удовлетворены достигнутыми первичными результатами частичного восстановления мобильности и способности к самообслуживанию в ранние сроки после ампутиации и обучения пользованию.

Ключевые слова: реабилитация, 3D-печать, экструзия из сопла, гранулы, 3D-сканирование, протезирование, протез, лечебно-тренировочное протезирование

Источник финансирования. НИОКТР 122012600068-6, АААА-А19-119021490041-4, АААА-А18-118040290197-2.

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN PRIMARY LIMB PROSTHETICS

^{1,2}Golovin M.A., ¹Yankovskiy V.M., ¹Klimenko F.N., ^{1,3}Chernikova M.V.,
^{1,3}Fogt E.V., ^{1,3}Sufelfa A.R., ¹Petrauskas M.V., ¹Scherbina K.K.

¹Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht
of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Saint Petersburg,
e-mail: golovin@center-albreht.ru;

²Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, e-mail: golovin@center-albreht.ru;

³Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, Saint Petersburg, e-mail: golovin@center-albreht.ru

The use of digital technologies in prosthetics, especially with multiple amputation defects of the limbs, is of particular practical importance. Reducing the terms of prosthetics, in particular, primary, allows you to partially compensate for the severe psycho-emotional state after an injury, maintain the patient's motivation, contributes to the favorable support of medical and rehabilitation measures, the formation of a stump, the restoration of mobility and the ability to self-service. Develop components of digital technology for limb prosthetics for peacetime and wartime injuries, including before the provision of prostheses under an individual rehabilitation and habilitation program (IPRA). To develop devices for 3D scanning of a truncated limb and methods for their use, a survey of 173 patients was conducted. G.A. Albrecht of the Ministry of Labor of Russia with pathologies of the musculoskeletal system, aged 11 to 88 years, the average age was 63.6 years. 52 patients were admitted to prosthetics with therapeutic and training prostheses made using additive technology. We made 45 lower limb prostheses for 32 men (average age – 47 years) and 11 women (average age – 62 years) and 9 products for upper limbs for 6 men (average age – 40.8 years) and 3 women (average age – 41 years). Leg prostheses were made in 26 patients (average age – 52.6 years), hip prostheses – in 17 patients (average age – 48.5 years). Two stationary 3D scanners have been developed for imaging limb stumps and methods for their use, programs for processing the obtained models and building electronic geometric models of sockets for limb prostheses, and a method of 3D printing from granules has been proposed as a way to critically reduce the time for manufacturing a socket of a prosthesis. Patients noted the relief of phantom pain, psycho-emotional and physical condition, were satisfied with the achieved primary results of partial restoration of mobility and ability to self-care in the early stages after amputation and learning to use.

Keywords: rehabilitation, 3D printing, nozzle extrusion, granules, 3D scanning, prosthetics, prosthesis, therapeutic and training prosthetics

У авторов отсутствует конфликт интересов.

В настоящее время сохраняется динамика снижения количества инвалидов в России [1]. Однако травматические факторы, приводящие к тяжким повреждениям здоровья, продолжают влиять на динамику причин инвалидности [2].

Современная медицина позволяет сохранять жизнь пациента после получения минно-взрывных и огнестрельных ранений, что приводит к увеличению количества граждан со стойкими выраженными нарушениями здоровья. Одним из подобных увечий является усечение конечности в пределах одного из ее сегментов. Протезирование является неотъемлемой и самой существенной частью процесса реабилитации [3–5]. Результат протезирования представляет наибольшую значимость в структуре оценки оказания реабилитационных услуг. В связи с этим является актуальным вопрос проведения ранней реабилитации данного контингента в условиях локальных вооруженных действий, представленного военнослужащими и мирными жителями, пострадавшими в ходе боевых действий [6–8].

Цель исследования – разработка компонентов цифровой технологии протезирования конечностей при травмах мирного и военного времени, в том числе до обеспечения протезами по индивидуальной программе реабилитации и абилитации (ИПРА).

Материалы и методы исследования

Для разработки устройств 3D-сканирования усеченной конечности и методик их применения было проведено обследование 173 пациентов ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России с патологиями опорно-двигательной системы, пациенты были в возрасте от 11 до 88 лет, средний возраст составил 63,6 года. На следующий этап протезирования допускали пациентов с отсутствием пороков и болезней культей.

Критерием включения в группы исследования явилось наличие ампутации на уровне верхней и средней трети усеченного сегмента конечности (голень, бедро, предплечье, плечо). Критерием исключения были случаи с порочной культей, требующие хирургической подготовки к протезированию. От всех пациентов получено письменное согласие на проведение экспериментального протезирования и обследования с использованием инструментальных и клинических методов. Исследования проводились в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Исследование было одобрено Этическим комитетом при ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России.

В ходе исследования с использованием аддитивной технологии изготовлены лечебно-тренировочные протезы для 55 пациентов: 46 протезов нижних конечностей для 32 мужчин (ср. возраст – 47 лет) и 11 женщин (ср. возраст – 62 года); 9 изделий на верхние конечности для 6 мужчин (ср. возраст – 40,8 лет) и 3 женщин (ср. возраст – 41 год). Протезы голени изготовлены 26 пациентам (ср. возраст – 52,6 лет), протезы бедра – 17 пациентам (ср. возраст – 48,5 лет).

Последовательность и содержание этапов цифровой технологии производства протезов отражены на рис. 1 [9].

Изготовление протеза по цифровой технологии начинают с опроса и осмотра пациента и культы протезируемой конечности [10]. Эта информация может быть получена как при очном осмотре пациента [11], так и с использованием дистанционных технологий [12, 13].



Рис. 1. Основные этапы цифровой технологии производства протезов

3D-сканированию конечности для изготовления приемной гильзы протеза присущи свои особенности [14]. Известно, что при измерении тела сантиметровой лентой, как и при получении негатива сегмента тела по гипсовой технологии, осуществляют предварительную деформацию мягких тканей в соответствии с планируемым распределением нагрузки на сегмент со стороны протезно-ортопедического изделия (ПОИ). Это имеет особое значение при изготовлении приемной гильзы протеза нижней конечности, так как работа мышц культы приводит к локальным изменениям объема усеченного сегмента в процессе управления протезом, тем более под значительными нагрузками, возникающими при ходьбе. Эти особенности перехода от формы культы конечности к форме внутренней поверхности приемной гильзы учитывают и при цифровом моделировании изделия.

Для сканирования использовали 3D-сканер модели Occipital Structure sensor, Канада [15]. Сканирование конечности ручным мобильным сканером производят с расстояния 30–100 см. Соблюдение требуемого разрешения съемки (не менее 640×480 пикселей), освещения, неподвижности объекта сканирования при регистрации данных необходимо для предотвращения эффекта его слияния с близлежащими объектами окружения на получаемой электронной геометрической модели (ЭлГМ).

В зависимости от уровня ампутации при сканировании следует соблюдать углы сгибания и отведения конечности в выше лежащих суставах, аналогично тому, как это делают при изготовлении негатива культы по гипсовой технологии (например,

для культы голени – сгибание 10–15° в коленном суставе) [16].

При 3D-сканировании культы голени использовали разработанную методику применения предварительно установленных на культю закладных элементов, что приводит к минимизации операций корректировки ЭлГМ культы при ее преобразовании в ЭлГМ приемной гильзы – продолжительность этапа моделирования изделия сокращается с 1 ч до 10 мин [17]. Изменение формы объекта съемки при установке закладных элементов позволяет разгрузить костные выступы и участки культы, не приспособленные к восприятию нагрузки. Сканирование культы с надетым трикотажным чехлом с закладными элементами позволяет эффективно распределить нагрузку в гильзе и создать благоприятные условия для пользования протезом.

Съемка бедра производится в вертикальном положении пациента, угол сгибания в тазобедренном суставе естественный, корпус смещен в сторону усеченной конечности для имитации положения проекции общего центра масс между стоп (рис. 2). По показаниям пациента съемку выполняют в смягчающем силиконовом или полимерном чехле, предназначенном для обеспечения комфорта культы в приемной гильзе протеза (лайнере) или без него (рис. 2, б). Съемку ручным 3D-сканером при парных ампутациях на уровне бедра, а также при невозможности опоры на парную конечность выполняют в положении сидя (рис. 2, в). Пациент располагается на краю стула (кушетки), при необходимости – с захватом стационарного объекта для стабильности (например, хват за брус).

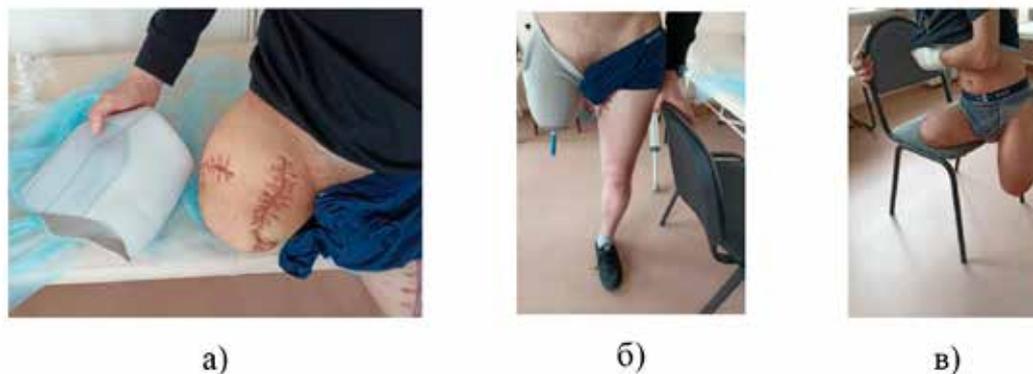


Рис. 2. 3D-сканирование пациента с культей бедра в силиконовом замковом лайнере
 а) надевание лайнера на культю правого бедра в верхней трети; б) пациент с надетым лайнером, корпус смещен в сторону культы для создания проекции центра тяжести медиальнее стопы сохранной ноги; в) 3D-сканирование пациента с парными культями бедра, пациент держится за спинку стула с захватом бруса

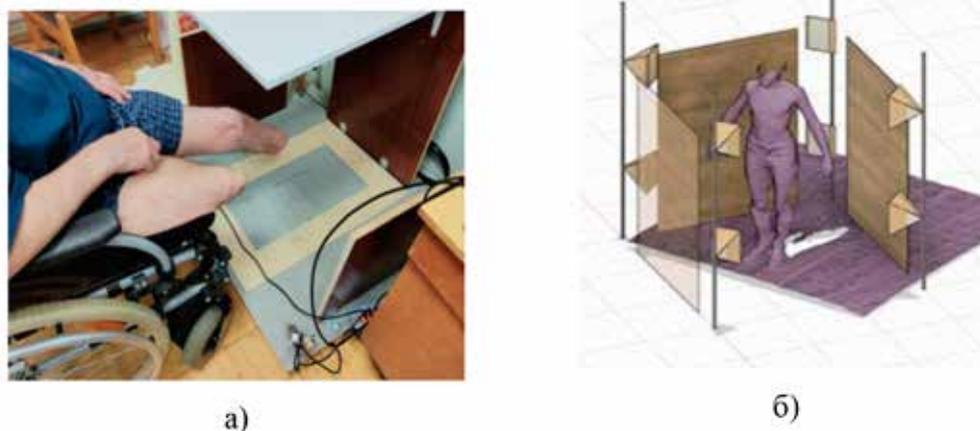


Рис. 3. Стационарная съемка при ампутациях голени и бедра: а) стационарный 3D-сканер голени; а) стационарный 3D-сканер тела человека полностью, в том числе при ампутации бедра

В ходе исследования разработаны стационарные 3D-сканеры (рис. 3). 3D-сканер культи голени (рис. 3, а) обеспечивает съемку усеченного сегмента быстрее 5 с, при этом пациент может находиться прямо в инвалидном кресле-коляске. 3D-сканер человека в полный рост (рис. 3, б) позволяет произвести съемку пациента в вертикальном положении, в том числе после ампутации на уровне бедра. Время съемки составляет 10 с. Малое время съемки обоих 3D-сканеров позволяет значительно снизить вероятность неконтролируемого движения пациента во время регистрации данных, а значит, и риск появления артефактов на получаемой ЭлГМ [14].

После регистрации данных проводят 3D-моделирование приемной гильзы протеза. Особенность этого процесса при моделировании приемных гильз протезов заключается в специфике преобразования исходной ЭлГМ культи в рабочую с указанием на ней основных областей интереса (проекций анатомических ориентиров, костных выступов, зон разгрузки и нагрузки), например, в САПР rodin4D NEO, Франция [18]. При моделировании рабочей модели культи (позитива) проводят анализ модели, можно ввести в программу данные технических требований к изделию и данные пациента (пол, возраст, вес и др.) из заказа [18, 19].

С учетом биомеханических особенностей тканей организма, свойства материалов электронных моделей культи можно задавать в виде математических моделей объектов с линейными, гиперэластичными, неизотропными, эластичными свойствами, используя сведения из научных источников, индуктометрию, метод конечных

элементов, метод решения обратной задачи. Оценку механических свойств модели производят по различным сценариям: моделированием стояния, ходьбы, циклической смены этих локомоторных режимов. Источником данных для анализа являются как научные источники, так и результаты решения обратной задачи кинематики по зарегистрированным параметрам движения человека [20–22]. Условия взаимодействия поверхности кожи, промежуточного слоя (внутренняя приемная гильза, чулок, лайнер) и приемной гильзы разделяют на две группы [23]: 1 – контактные (связанные и не связанные с трением); 2 – сопряженные с посадкой приемной гильзы на культю (надеванием/снятием) [24–26]. Для определения зон и принципов необходимого изменения формы исходных ЭлГМ сегментов тела при разработке по ним электронных моделей ПОИ в ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России были проанализированы и обобщены совокупные знания в области протезирования. База этих знаний и разработанная на ее основе база правил позволили создать электронные шаблоны разметки 3D-моделей различных сегментов тела с отражением на них схем локальных нагрузок и разгрузок со стороны ПОИ [9]. В частности, при 3D-моделировании приемных гильз протеза бедра по 3D-скану культи производят уменьшение периметров на 1 см (редуцирование) и удлиняют дистальную часть позитива (на границе средней и нижней трети) на 5 см [27]. Сформированную ЭлГМ используют для дальнейшего моделирования приемной гильзы протеза с режимом поддержки принятия решения оператора и учетом запланированной установки в нее соединительных элементов.

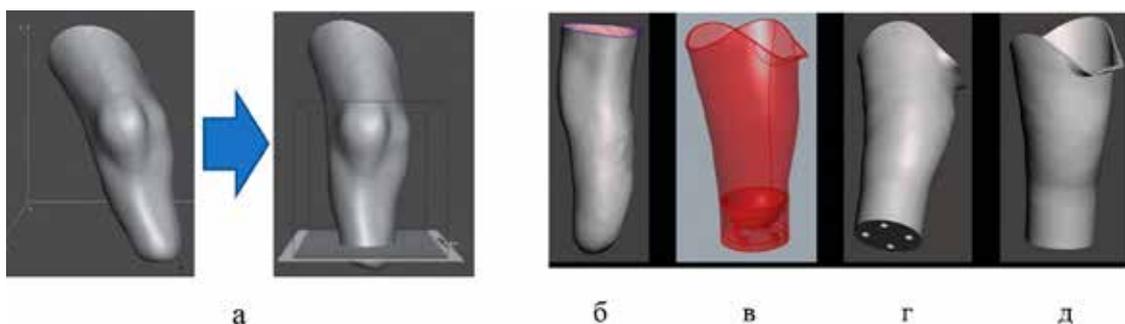


Рис. 4. Основные этапы цифрового моделирования ПОИ

- а) автоматизированная коррекция положения произвольно ориентированной ЭлГМ культы для построения индивидуального узла протеза; б) подготовка ЭлГМ, полученной путем 3D-сканирования (удаление дефектов, обрезка, устранение несплошностей поверхности геометрической модели); в) результат доработки модуля предварительного построения цифровой модели приемной гильзы протеза; г) закладка соединительного модуля; д) готовая к САМ-обработке электронная геометрическая модель приемной гильзы протеза

Пример фрагментов работы с программой на различных этапах моделирования приемной гильзы протеза голени с преобразованием исходной электронных моделей сегментов тела пациента в модели индивидуальных узлов представлены на рис. 4. Выполнение алгоритма занимает менее 10 с, после чего предложенную модель можно локально модифицировать. В то же время выполнение алгоритма преобразования внутренней поверхности приемной гильзы протеза бедра в ЭлГМ приемной гильзы протеза составляет менее 2 с [28].

Следующий этап цифровой технологии представляет собой аддитивный технологический процесс [29, 30] изготовления приемной гильзы протеза [31, 32]. Изготовленную гильзу при необходимости подвергают

дополнительной механической доработке [33, 34]. Фрагменты этапов цифрового производства приемных гильз протезов представлены на рис. 5. Изготовление приемных гильз протезов по технологии экструзии из сопла расплава гранулята, в сравнении с 3D-печатью из филамента, позволяет сократить время изготовления ПГ голени с 8–10 ч до 1 ч, ПГ бедра – с 17–48 ч до 1,5 ч.

Предложенная методика позволяет свести к минимуму отрицательные результаты протезирования за счет формирования электронной модели культеприемника с учетом анатомо-функциональных особенностей усеченной конечности, а также возможности сохранения не только файлов, но и примененных настроек на этапах моделирования и изготовления.

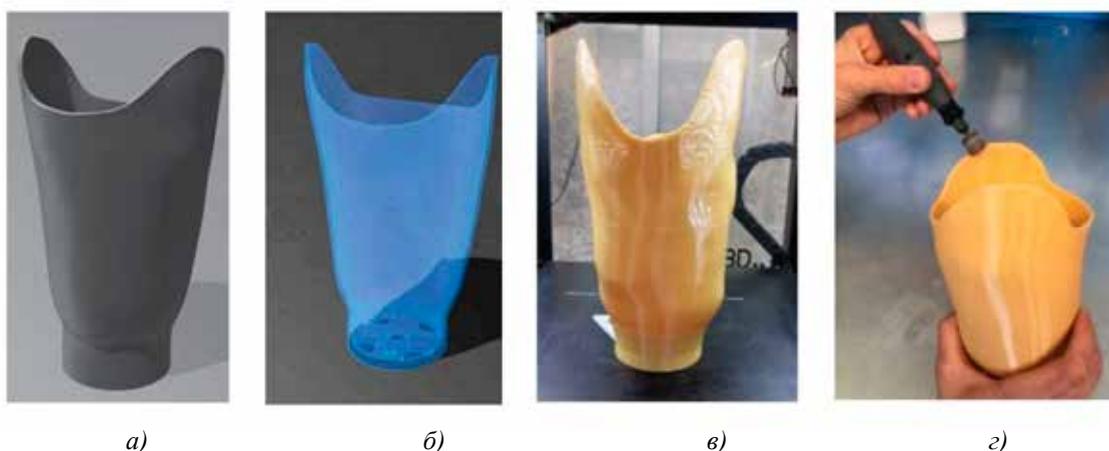


Рис. 5. Типовые этапы производства приемных гильз протезов: а) готовая к САМ-обработке электронная геометрическая модель приемной гильзы протеза; б) анализ толщины стенок гильзы (равномерности, минимальной толщины); в) распечатанная на 3D-принтере по технологии экструзии из сопла приемная гильза протеза; г) механическая постобработка приемной гильзы протеза

Результаты исследования и их обсуждение

Сокращение времени обеспечения модульным протезом с индивидуальной, а не на подбор, приемной гильзой, представлено на рис. 6 в сравнении с гипсовой технологией. Технологические этапы приведены в соответствии с ГОСТ Р 53870-2021.

Значительное сокращение времени изготовления окончательной гильзы повышает технологичность и позволяет мастеру проводить протезирование большего количества пациентов за единицу времени.

Результат протезирования пациента с парной ампутацией бедра и голени после минно-взрывной травмы представлен на рис. 7, анализ походки выполнен на программно-аппаратном комплексе (ПАК) Хабилект. Последующий этап обучения пользованию позволял сформировать стереотип двигательной активности и добиться освоения протеза индивидуальной комплектации, что положительно влияет на повторное (основное) протезирование [7].

Проведено экспериментальное функциональное протезирование пациента с двусторонним дефектом обоих предплечий (рис. 8).



Рис. 6. Сравнение технологических затрат времени при изготовлении протезов по гипсовой технологии и аддитивному технологическому процессу

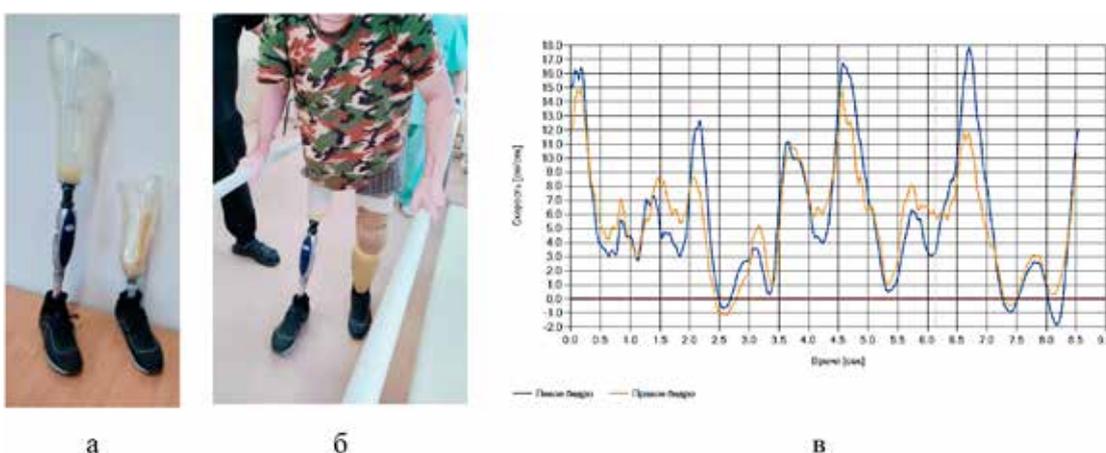


Рис. 7. Примерка протезов голени и бедра с приемными гильзами, изготовленными по цифровой технологии, и биомеханический контроль на ПАК Хабилект:
 а) лечебно-тренировочные протезы при парной ампутации после минно-взрывной травмы;
 б) восстановление навыков ходьбы и обучение пользованию протезами;
 в) график скоростей сгибания тазобедренного сустава в процессе ходьбы



Рис. 8. Пациент с протезами предплечий, изготовленными по цифровой технологии: а) этап примерки протеза левой верхней конечности; б) демонстрация двуручного схвата протезами

Пациенту с дефектами обоих предплечий с инородными телами в мягких тканях усеченных сегментов конечностей изготовлены экспериментальные косметические протезы предплечий без типовых полуфабрикатов с «неспадающими» приемными гильзами и косметическими оболочками, заполненными силиконовой композицией до уровня проекции лучезапястного сустава. Затем провели функциональные пробы с получением двуручного схвата и удержания предметов обеими руками (открытие двери и другие несложные действия). Пациент пользовался изделиями и после обеспечения протезами по ИПРА.

Другой пример применения цифровых технологий при сложном протезировании конечностей представлен на рис. 9. В этом случае протезирование было проведено пациенту с посттравматическим двусторонним ампутированным дефектом бедра на высоком уровне через два месяца после травмы, полученной в связи с дорожно-транспортным происшествием. Изготовлены два парных укороченных протеза бедра без серийных комплектующих. Приемные гильзы в торцевой части оснащены упорными площадками из пенорезины для удобства стояния и ходьбы на короткие расстояния без дополнительной опоры в пределах помещений, квартиры. Через два месяца после выдачи протезов в носку проведена биомеханическая оценка результатов протезирования и реабилитационной услуги в целом, подтвердившая положительные результаты применения цифровой технологии при сложном первичном протезировании. Оба пациента (рис. 8, 9) отметили облегчение фантомных болей, улучшение

психоэмоционального и физического состояния, удовлетворенность достигнутыми первичными результатами частичного восстановления мобильности и способности к самообслуживанию благодаря протезированию в ранние сроки после ампутации за счет применения цифровых технологий.



Рис. 9. Первично протезированный пациент с посттравматическим двусторонним ампутированным дефектом бедра на высоком уровне на протезах, изготовленных по цифровой технологии через два месяца после травмы: а) вид спереди; б) вид со спины

Биомеханический контроль результата обеспечения протезами голени и бедра проводили после выдачи протеза и через две недели [35]. Пациенты первой группы проходили обследование на ПАК Хабилект [36], второй – на ПАК Неврокор Биокинект [37]. В сравнении с пациентами, проходящими повторное протезирование и обеспеченными протезами с печатными приемными гильзами, у первично протезированных пациентов наблюдалась большая динамика повышения скорости шага за время наблюдения.

Данные биомеханического анализа представлены на примере оценки длительности шага пациента Л., которому выполнили первичное протезирование после ампутации левого бедра в нижней трети (рис. 10).

Проведенный опрос участников исследования, которым провели протезирование, подтвердил необходимость и пользу раннего лечебно-тренировочного протезирования. Все протезированные пациенты прошли обучение пользованию изделиями. Пациенты с ампутированными дефектами нижних конечностей прошли обучение ходьбе на протезе, а также занимались самостоятельно в процессе решения бытовых задач и освоили ходьбу на протезе.

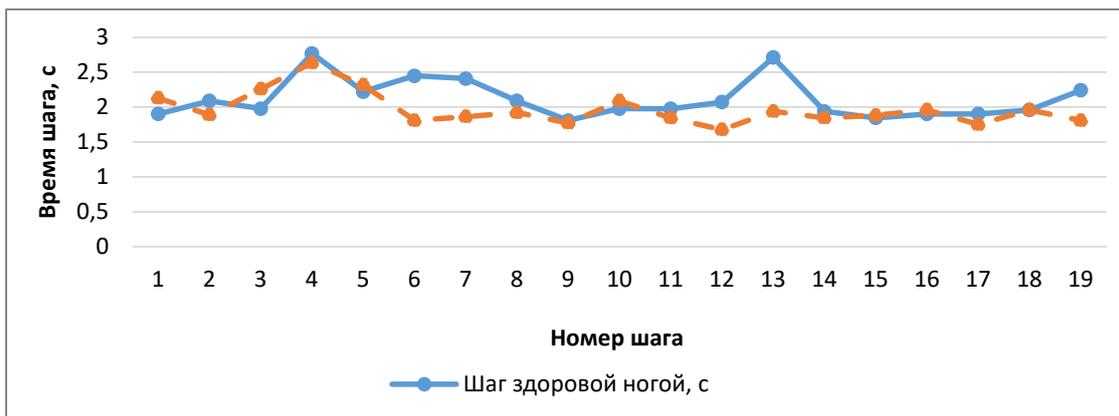


Рис. 10. Результат анализа походки на ПАК Биокинект путем оценки длительности шага здоровой и протезированной ногой

Стоит отметить, что применение цифровых технологий имеет особое практическое значение при сложном протезировании с множественными ампутационными дефектами конечностей, что требует высокой квалификации инженера-протезиста и необходимости одновременного скоординированного освоения пациентом двух и более протезов. Сокращение сроков протезирования, благодаря применению цифровых методов, позволяет частично компенсировать тяжелое психоэмоциональное состояние после перенесенной травмы, поддержать мотивацию пациента, особенно первично протезируемого, способствовать благоприятному сопровождению лечебно-восстановительных мероприятий, формированию культуры, восстановлению мобильности и способности к самообслуживанию.

Заключение

Реализация проектов проведенного экспериментального сложного протезирования в ранние сроки (до двух месяцев после ампутации) пациентов травматолого-ортопедического профиля с использованием 3D-сканирования и 3D-печати, в том числе с двухсторонними дефектами верхней конечности и нижней конечности после ампутаций бедра в верхней трети и выше, показала высокую эффективность раннего протезирования до обеспечения протезами по ИПРА. У первично протезированных пациентов с ампутационными дефектами нижних конечностей наблюдается большая динамика повышения скорости шага за время наблюдения в сравнении с пациентами, проходящими повторное протезирование, и обеспеченными протезами с приемными гильзами, изготовленными по цифровой

технологии. Пациенты отметили облегчение фантомных болей, психоэмоционального и физического состояния, были удовлетворены достигнутыми первичными результатами частичного восстановления мобильности и способности к самообслуживанию в ранние сроки после ампутации и обучения пользованию.

Список литературы

1. Головин М.А., Николаев В.Ф., Казаков В.П., Гоголев Е.А., Суляев В.Г., Воронин И.А. Анализ структуры обеспечения протезно-ортопедическими изделиями в России за период 2019–2020 гг. (до и во время эпидемических ограничений) // Физическая и реабилитационная медицина. 2022. Т. 4. № 2. С. 8–20. DOI: 10.26211/2658-4522-2022-4-2-8-20.
2. Федеральный реестр инвалидов [Электронный ресурс]. URL: <https://sfri.ru> (дата посещения: 09.01.2023).
3. Суляев В.Г., Щербина К.К., Соболев С.Е., Смирнова Л.М., Курдыбайло С.Ф. Сложное и атипичное протезирование голени и бедра: методическое пособие. СПб.: Свод, 2011. 132 с.
4. Замлацкий Ю.И., Щербина К.К., Суляев В.Г., Сокуров А.В., Ермоленко Т.В. Технология изготовления приемных гильз протезов верхних конечностей: учебно-практическое пособие / Под ред. Г.Н. Пономаренко СПб.: ООО «ЦИАЦАН», 2019. 59 с.
5. Paterno L., Ibrahimi M., Gruppioni E., Mencias A. Sockets for Limb Prostheses: A Review of Existing Technologies and Open Challenges. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2018. Vol. 65. No. 9. P. 1996–2010. DOI: 10.1109/TBME.2017.2775100.
6. Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ (дата обращения: 10.05.2022).
7. Суляев В.Г., Щербина К.К., Янковский В.М. Лечебно-тренировочное протезирование на этапах реабилитации инвалидов с ампутационными дефектами голени и бедра: методическое пособие. СПб.: Знак, 2013. 58 с.
8. Mohammad R.S., Meier M.R. Systematic review of effects of current transtibial prosthetic socket designs. Part 1: Qualitative outcomes. J Rehabil Res Dev. 2015. Vol. 52. No. 5. P. 491–508. DOI: 10.1682/JRRD.2014.08.0183.

9. Пономаренко Г.Н., Шербина К.К., Хубутя Б.Н., Смирнова Л.М., Головин М.А., Николаев В.Ф., Суляев В.Г., Волкова В.М., Голубева Ю.Б. Протезирование и ортезирование: цифровая трансформация / Под ред. члена-корреспондента РАН Г.Н. Пономаренко. СПб.: ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта, 2022. 224 с.
10. Vitali A., Regazzoni D., Rizzi C., Colombo G. Design and Additive Manufacturing of Lower Limb Prosthetic Socket. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. 2017. Vol. 11. P. 1–7. DOI: 10.1115/IMECE2017-71494.
11. Seminati E., Talamas D.C., Young M., Twiste M. Validity and reliability of a novel 3D scanner for assessment of the shape and volume of amputees' residual limb models. PLoS One. 2017. Vol. 12. No. 9. DOI: 10.1371/journal.pone.0184498.
12. Черников Б.В., Гайдук И.О., Борисова Е.А. Проблема создания единой трехмерной модели объекта по данным многоакурного сканирования // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10–1. С. 83–91.
13. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Романов В.В. Оборудование для 3D сканирования // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 12–2. С. 170–174;
14. Scherbina K.K., Golovin M.A., Suslyayev V.G., Marusin N.V., Yankovskii V.M., Zolotukhina M.V. An Electronic Geometric Model for 3D Scanning of Human Body Segments and Its Use in Prosthetics and Orthotics. Causes of Defects and Methods for Their Elimination. Biomedical Engineering. 2020. Vol. 54. No. 2. P. 130–134. DOI 10.1007/s10527-020-09989-z.
15. Официальный сайт компании Sstructure. [Электронный ресурс]. URL: <https://structure.io/> (дата обращения: 09.01.2023).
16. Kaplun D., Sufelfa A., Markelov O.A., Bogachev M.I., Golovin M., Scherbina K., Yankovskiy V., Skrebenkov E., Sachenkov O. Three-dimensional (3D) model-based lower limb stump automatic orientation. Applied Sciences (Switzerland). 2020. Vol. 10. No. 9. P. 3253. DOI: 10.3390/app10093253.
17. Yankovskiy V.M., Chernikova M.V., Kuzicheva A.D., Fogt E.V. Medical aspects of prosthetics in lower limb amputees with use of digital technologies. Genij Ortopedii, 2022. Vol. 28. No. 4. P. 495–502. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-4-495-502.
18. Официальный сайт компании rodin4d. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rodin4d.com/> (дата обращения: 09.01.2023).
19. Максименко А.Н., Костылева В.В., Зак И.С. IT-технологии в обеспечении населения протезно-ортопедическими изделиями и средствами реабилитации // Дизайн и технологии. 2018. № 63 (105). С. 25–30.
20. Wang M., Nong Q., Liu Y., Yu H. Design of lower limb prosthetic sockets: a review. Expert Rev Med Devices. 2022. Vol. 19. No. 1. DOI: 10.1080/17434440.2022.2020094.
21. Jweeg M.J., Hammoudi Z.S., Alwan B.A. Optimised Analysis, Design, and Fabrication of Trans-Tibial Prosthetic Sockets. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 433. DOI: 10.1088/1757-899X/433/1/012058.
22. Comejo J., Comejo-Aguilar J.A., Vargas M., Helguero C.G. Anatomical Engineering and 3D Printing for Surgery and Medical Devices: International Review and Future Exponential Innovations. Biomed Res Int. 2022. Vol. 2022. P. 1–28. DOI: 10.1155/2022/6797745.
23. Nayak C., Singh A., Chaudhary H. Topology Optimisation of Transtibial Prosthesis Socket Using Finite Element Analysis. International Journal of Biomedical Engineering and Technology. 2017. Vol. 24. No. 4. P. 323. DOI: 10.1504/IJBET.2017.085438.
24. Karamousadakis M., Porichis A., Ottikkutti S., Chen D. A Sensor-Based Decision Support System for Transfemoral Socket Rectification. Sensors. 2021. Vol. 21. No. 11 P. 3743. DOI: 10.3390/s21113743.
25. Amrutsagar L., Gaurav P., Rupesh G., Ravi B. Parametric Design and Hybrid Fabrication of Above-Knee Prosthesis. Indian Journal of Orthopaedics. 2020. Vol. 54. No. 3. P. 381–390. DOI: 10.1007/s43465-020-00059-w.
26. Ramasamy E., Avci O., Dorow B., Chong S.Y. An Efficient Modelling – Simulation – Analysis Workflow to Investigate Stump-Socket Interaction Using Patient-Specific, Three-Dimensional, Continuum-Mechanical, Finite Element Residual Limb Models. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2018. Vol. 6. P. 126. DOI:10.3389/fbioe.2018.00126.
27. Черникова М.В., Головин М.А., Янковский В.М., Шербина К.К., Гоголев Е.А. Анализ методик моделирования внутренней поверхности приемных гильз протезов бедра по 3D-скану культы // Медицинская техника. 2022. № 6 (336). С. 30–32.
28. Головин М.А., Клименко Ф.Н., Янковский В.М. Программа для формирования готовой к 3D-печати электронно-геометрической модели приемной гильзы протеза бедра в средней трети // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684444 Российская Федерация. Заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. Заявл. 24.11.2022; опублик. 14.12.2022.
29. ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. 11 с.
30. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Качурин А.А. Обзор современных технологий 3D печати // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 6. С. 26–30.
31. ГОСТ Р 57765-2021. Изделия протезно-ортопедические. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2021. 8 с.
32. ГОСТ Р 70136–2022 Узлы протезов нижних конечностей с индивидуальными параметрами изготовления. М.: Стандартинформ., 2022. 12 с.
33. Campbell L., Lau A., Pousset B. How infill percentage affects the ultimate strength of 3d-printed transtibial sockets during initial contact. Canadian Prosthetics & Orthotics Journal. 2018. Vol. 1. No. 2. DOI: 10.33137/cpoj.v1i2.30843.
34. Ratto M., Hiansen J.Q., Marshall J. An International, Multicenter Field Trial Comparison Between 3D-Printed and ICRC-Manufactured Transtibial Prosthetic Devices in Low-Income Countries. Journal of Prosthetics and Orthotics. 2021. Vol. 33. No. 1. P. 54–69. DOI: 10.1097.
35. Смирнова Л.М. Инструментальная оценка функциональной эффективности протезирования нижних конечностей // Реабилитация инвалидов: национальное руководство / Под ред. Г.Н. Пономаренко. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. С. 281–288.
36. Официальный сайт компании Хабилект. [Электронный ресурс]. URL: <https://habilect.com/> (дата обращения: 09.01.2023).
37. Официальный сайт компании Неврокор. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.neurocor.ru/> (дата обращения: 09.01.2023).

УДК 519.87:004.8

ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИСКУССТВЕННЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА АКТИВАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ НА ИНТЕРПОЛИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Дударов С.П., Папаев П.Л., Маркин И.С.

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», Москва,
e-mail: dudarov.s.p@muctr.ru, papaev.p.l@muctr.ru, markin.i.s@muctr.ru

Искусственные нейронные сети (РБФ-сети), основанные на радиально-базисных (то есть радиально-симметричных) функциях, представляют собой класс нейронных сетей прямого распространения, впервые предложенный в 1988 г. В данной работе было проведено исследование влияния выбора активационной функции на интерполирующую способность. Для решения поставленной задачи было разработано программно-алгоритмическое обеспечение для исследования и анализа интерполирующей способности нейронных сетей с различными радиально-базисными функциями в одномерных и многомерных задачах. Исходя из полученных результатов, можно рекомендовать к использованию в РБФ-сетях функцию Гаусса и Коши. Функции Лапласа, Вигнера и кусочно-линейная показали неоднозначный результат, который объясняется в первую очередь их недифференцируемостью в отдельных точках области определения. Проведено исследование влияния структуры нейронной сети и величины параметра насыщения радиально-базисной функции на ошибку аппроксимации. Функция Гаусса не всегда дает наиболее точное описание экспериментальных зависимостей при решении задач нейросетевого моделирования, в том числе задач интерполяции зависимостей, поэтому можно рекомендовать на этапе инициализации РБФ-сети подбирать не только параметр насыщения, центры, но и вид самой радиально-базисной функции. Однако крайне желательно, чтобы она была дифференцируема во всех точках, принадлежащих области измерения.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, радиально-базисная функция, радиальный элемент, РБФ-сеть, интерполирование

INTERPOLATION OF ONE-DIMENSIONAL AND MULTIDIMENSIONAL NONLINEAR DEPENDENCIES BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS OF RADIAL BASIS FUNCTIONS. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE CHOICE OF THE ACTIVATION FUNCTION ON THE INTERPOLATING ABILITY

Dudarov S.P., Papaev P.L., Markin I.S.

Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow,
e-mail: dudarov.s.p@muctr.ru, papaev.p.l@muctr.ru, markin.i.s@muctr.ru

Artificial neural networks (RBF networks) based on radial-basis (that is, radially symmetric) functions are a class of neural networks of direct propagation, first proposed in 1988. In this paper, the influence of the choice of the activation function on the interpolating ability was carried out. To solve the problem, software and algorithmic software was developed for the study and analysis of the interpolating ability of neural networks with various radial-basis functions in one-dimensional and multidimensional problems. Based on the results obtained, the Gaussian and Cauchy function can be recommended for use in RBF networks. The Laplace, Wigner and piecewise linear functions showed an ambiguous result, which is explained primarily by their non-differentiability at certain points in the domain of definition. The influence of the neural network structure and the value of the saturation parameter of the radial basis function on the approximation error has been studied. The Gaussian function does not always give the most accurate description of experimental dependencies when solving neural network modeling problems, including dependency interpolation problems, therefore, it can be recommended at the initialization stage of the RBF network to select not only the saturation parameter, centers, but also the type of the radial basis function itself. However, it is highly desirable that it be differentiable at all points belonging to the measurement domain.

Keywords: artificial neural network, radial basis function, radial element, RBF neural network, interpolation

Искусственные нейронные сети (РБФ-сети), основанные на радиально-базисных (то есть радиально-симметричных) функциях, представляют собой класс нейронных сетей прямого распространения, впервые предложенный в 1988 г. в [1]. РБФ-сети изначально предназначались для интерполяции и аппроксимации одномерных и многомерных данных [2], но их также можно

использовать для решения задач кластеризации [3] и классификации данных [4].

Искусственные нейронные сети на основе радиально-базисных (иначе – радиально-симметричных) функций (РБФ-сети) – один из классов нейронных сетей прямого распространения, впервые предложенный в 1988 г. в работе [1]. Изначально предназначенные для интерполирования и ап-

проксимации одномерных и многомерных данных [2], РБФ-сети могут также использоваться при решении задач кластеризации [3] и классификации данных [4]. Однако основная цель данной работы – исследовать интерполирующую способность РБФ-сетей в одномерных и многомерных задачах при выборе различных видов активационной радиально-базисной функции. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- выбор вида радиально-базисных функций для сравнения;
- разработка специализированного программно-алгоритмического обеспечения для расчетов;
- сравнительный анализ интерполирующей способности РБФ-сетей для одномерных и многомерных задач;
- сравнительный анализ интерполирующей способности РБФ-сетей для различных видов активационной функции.

Общая структура и алгоритм обучения РБФ-сети

Структура РБФ-сети содержит два слоя нейронов. Выходы первого слоя активируются множеством радиально-базисных функций, как правило, функциями Гаусса (функция 1):

$$\tilde{h}(\vec{x}) = \exp(-\alpha \cdot \|\vec{x} - \vec{c}\|), \quad (1)$$

где \vec{c} – вектор центров (координат вертикальных осей симметрии функции) множества радиально-симметричных функций;

$\|\vec{x} - \vec{c}\|$ – евклидова норма вектора отклонений входной переменной от центров радиально-симметричных функций; α – параметр насыщения.

Альтернативы функции Гаусса (рис. 1) предложены в работе [5]. К ним относятся:

- функция Лапласа (функция 2):

$$\tilde{h}(\vec{x}) = \exp(-\alpha \cdot \|\vec{x} - \vec{c}\|); \quad (2)$$

- функция Коши (функция 3):

$$h(\vec{x}) = \left(1 + \alpha \|\vec{x} - \vec{c}\|^2\right)^{-1}; \quad (3)$$

- кусочно-линейная функция (функция 4):

$$h(\vec{x}) = \max\{0, 1 - \alpha \|\vec{x} - \vec{c}\|\}; \quad (4)$$

- кусочно-нелинейная функция Вигнера (функция 5):

$$h(\vec{x}) = \begin{cases} \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1}{n} (nr^2 - \|\vec{x} - \vec{c}\|^2)}, & \|\vec{x} - \vec{c}\|^2 < nr^2, \\ 0, & \|\vec{x} - \vec{c}\|^2 \geq nr^2. \end{cases} \quad (5)$$

В последнем соотношении используются следующие дополнительные обозначения: n – размерность задачи; r – предельный разрешенный радиус отклонения входных переменных от центров радиальных элементов.

Следует отметить, что перечисленные функции по-разному ведут себя в части области определения, задействованной в вычислениях нейронной сети.

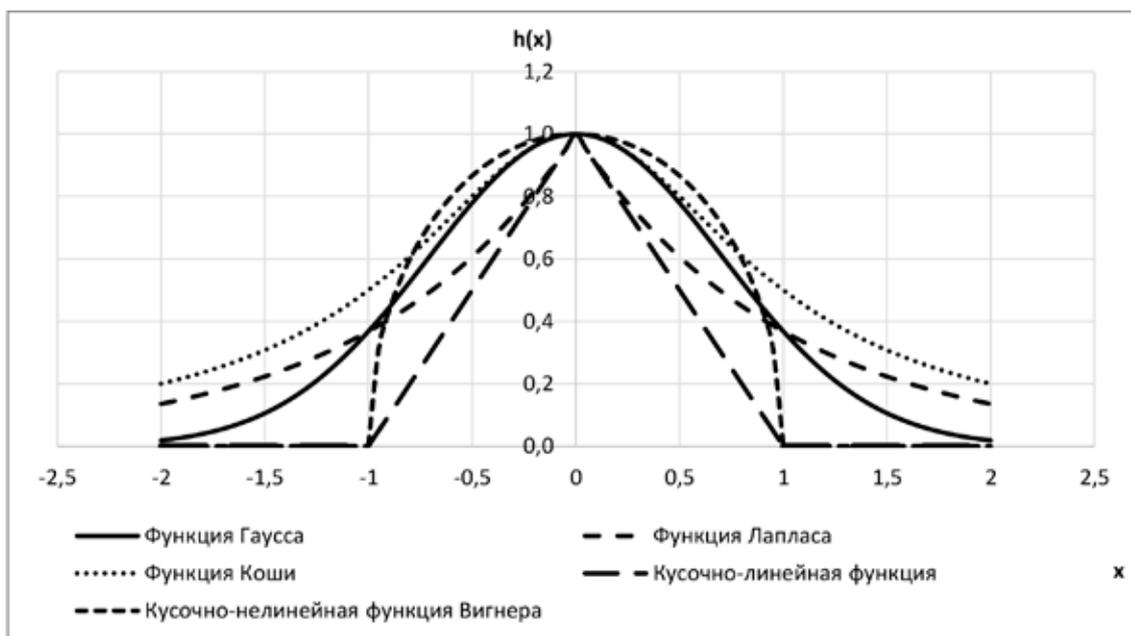


Рис. 1. Варианты функций для использования в РБФ-сетях

Одна из наиболее существенных особенностей – негладкость ряда функций (Вигнера, Лапласа и кусочно-линейной зависимости) в отдельных точках, что затрудняет оптимизацию параметров их настройки. Тем не менее принципиально разная поверхность отклика делает эти функции интересными для исследования возможности их применения в РБФ-сетях.

Состав и количество входов и выходов определяются решаемой задачей [3]. Входы соответствуют аргументам интерполирующей зависимости. Выходы соответствуют ее отклику. Первый из двух слоев (скрытый слой) содержит радиальные элементы, служащие для оценки степени отклонения входов от узловых векторов. Количество нейронов скрытого слоя может варьироваться от одного до числа, не превышающего количество обучающих примеров. Выходы нейронной сети представляют собой линейные комбинации выходов нейронов скрытого слоя [6].

В начале обучения РБФ-сети задаются центры радиально-базисных функций и параметр насыщения. Теоретически значения параметра насыщения могут быть разными для нейронов скрытого слоя. Далее методами линейной алгебры рассчитываются весовые коэффициенты линейного выходного слоя:

$$\overline{\overline{W}} = \left(\overline{\overline{H}}^T \cdot \overline{\overline{H}} \right)^{-1} \cdot \overline{\overline{H}}^T \cdot \overline{\overline{Y}}, \quad (6)$$

где $\overline{\overline{H}}$ – характеристическая матрица значений радиально-базисных функций, количество строк которой равно количеству обучающих примеров, а количество

столбцов – количеству скрытых нейронов; $\overline{\overline{Y}}$ – матрица выходов с количеством строк, равным числу обучающих примеров, и количеством столбцов, равным числу выходов нейронной сети.

Постановка задачи интерполирования, исходные данные

При решении одномерной задачи интерполирования РБФ-сеть будет иметь один вход и один соответствующий ему выход (рис. 2). Для интерполирования данных используем, например, 5 узловых точек, которые будут соответствовать центрам радиальных элементов скрытого слоя.

При многомерном интерполировании количество входов сети должно соответствовать размерности задачи. Как и в первом случае, сеть будет иметь единственный выход (рис. 3). Для двумерной задачи интерполирующая способность, эквивалентная одномерному варианту с пятью узлами, ожидается в случае уже 25 скрытых нейронов (количество всех возможных сочетаний узлов интерполяции). Для трехмерной задачи – в случае 125 скрытых нейронов. Соответствующим образом размерность задачи влияет и на требуемый объем обучающей выборки.

Проблема степенного роста объема вычислений для задач интерполирования высокой размерности с помощью РБФ-сетей решается в работе [7]. Здесь слой многомерных радиально-базисных функций заменяется двумя скрытыми неполносвязными слоями: первый – одномерные радиальные элементы, второй – вычислительный слой, группирующий и обрабатывающий определенным образом выходы первого.

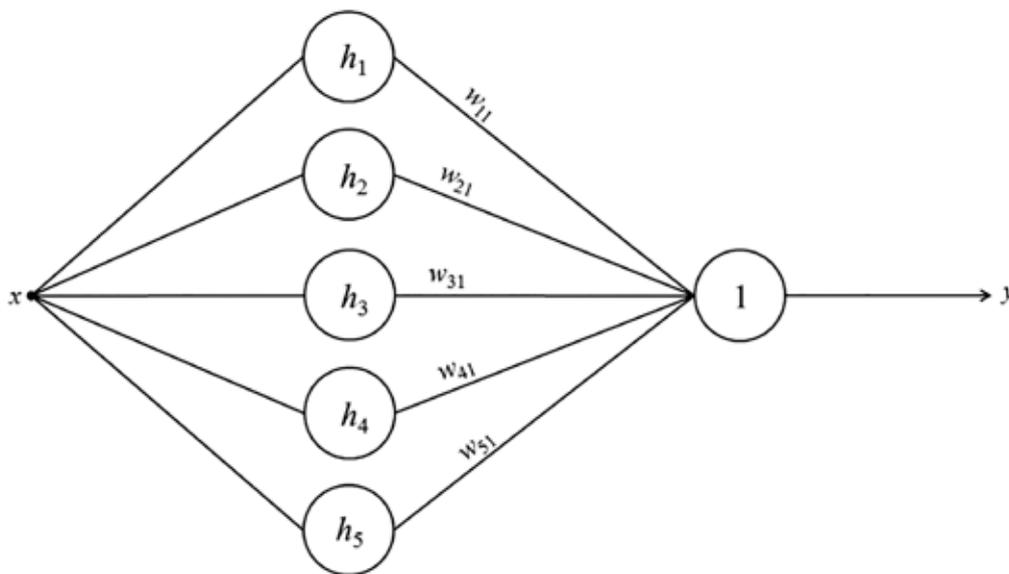


Рис. 2. Структура РБФ-сети для интерполирования одномерной зависимости

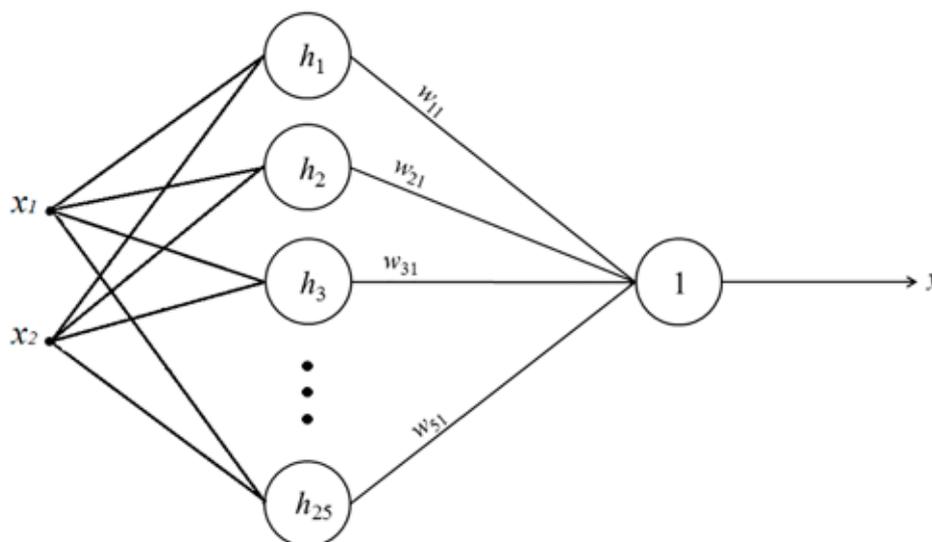


Рис. 3. Структура РБФ-сети для интерполирования двумерной зависимости с пятью узлами интерполяции

В результате такой замены объем вычислений сокращается, а вычислительная ошибка (как средняя, так и максимальная по выборке) в большинстве случаев уменьшается.

На основе набора доступных экспериментальных данных необходимо определить наиболее точную настройку для РБФ-сети и рассчитать веса нейронов выходного слоя, чтобы найти одну и ту же многомерную зависимость $y = y(x^*)$ на обучающей выборке для любой возможной комбинации значений независимых переменных, которые охватывают диапазон изменения переменных в обучающей выборке.

*Разработка
программно-алгоритмического
обеспечения для расчетов*

Специализированное программно-алгоритмическое обеспечение для интерполирования зависимостей нейронной РБФ-сетью было разработано на языке программирования C++11 [8, 9] с использованием мультиплатформенного фреймворка Qt 5.8 [10]. Программа содержит системные вкладки, отвечающие за настройку нейронной сети, выбор обучающих примеров и интерфейс вывода результатов работы. Формат предоставления результатов моделирования достаточно гибкий, что позволяет максимально удобно использовать ее функциональные возможности для проведения поставленной исследовательской задачи.

Для корректной работы программного комплекса необходимо устройство под управлением операционной системы Windows, 60 МБ ОЗУ и примерно 80 МБ

памяти на жестком диске, а также наличие встроенной видеокарты [11]. При работе программы производится автосохранение результатов работы программы, а также всех параметров настройки нейронной сети и обучающей выборки. При запуске программный комплекс в случае обнаружения автосохранения подгружает прошлое состояние сети. Все данные пользователь может сохранять в ручном режиме для последующего использования. На рис. 4 показана форма конфигурации РБФ-сети. Вкладку можно использовать, чтобы установить структуру (количество скрытых нейронов), также установить параметры насыщения, выбрать центры радиальных элементов и вычислить весовые коэффициенты выходного слоя. Центры радиальных элементов могут задаваться автоматически с учетом количества экспериментальных точек и плотности их распределения по оси независимой переменной.

На рис. 5 показан графический вывод результатов интерполяции одномерной функции. Пользователь может настроить формат визуализации графика, масштабировать его, распечатать, сохранить в файл.

*Исследование влияния выбора
радиально-базисной функции
на ошибку интерполирования*

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение использовано для исследования и анализа интерполирующей способности нейронных сетей с различными радиально-базисными функциями в одномерных и многомерных задачах [12].

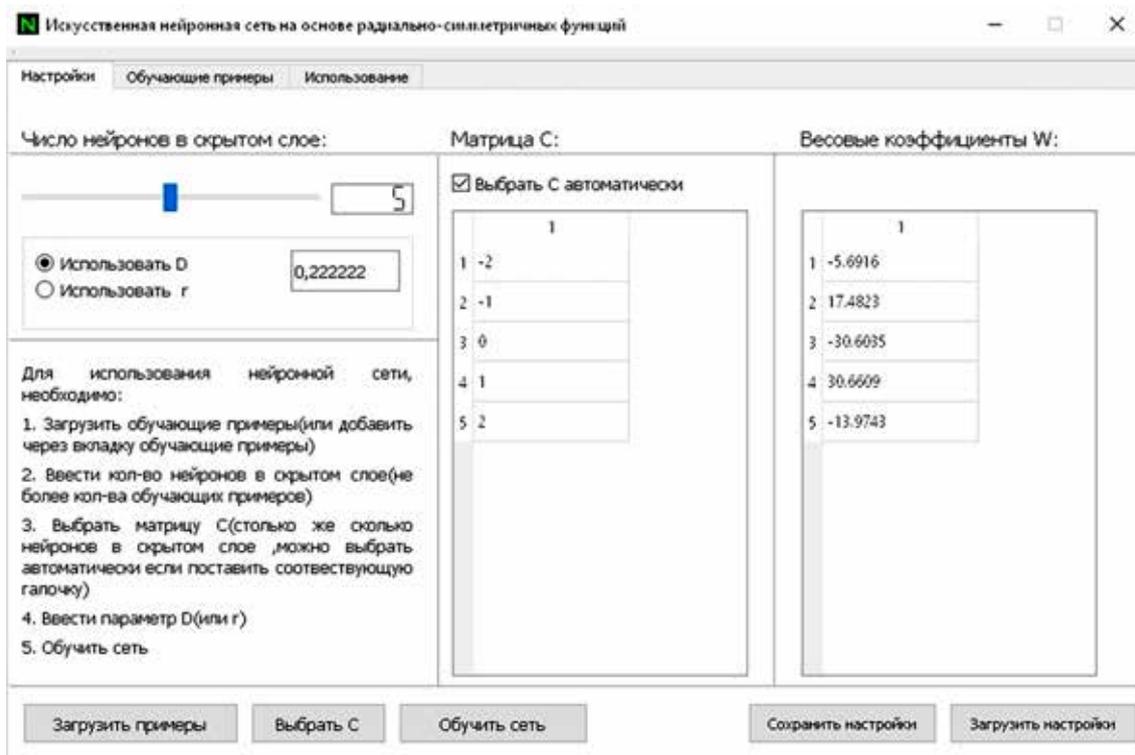


Рис. 4. Форма настройки РБФ-сети

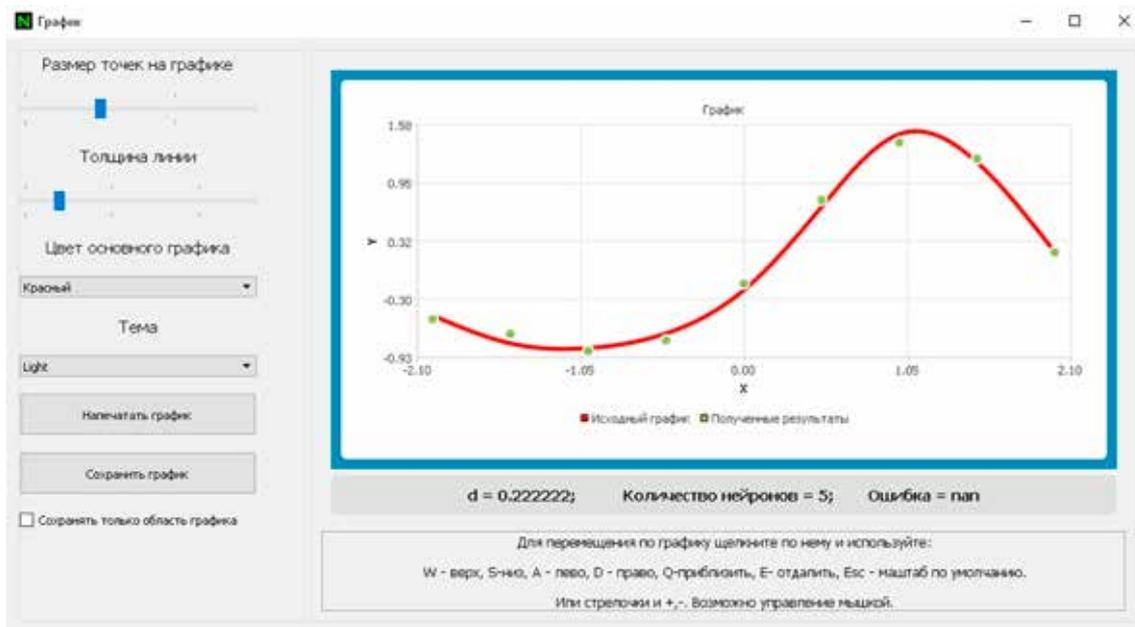


Рис. 5. Форма графического вывода результата интерполирования одномерной функции

Рассматривались одномерная РБФ-сеть с 5 скрытыми нейронами и двумерная РБФ-сеть с 25 скрытыми нейронами. Для генерации обучающих и тестовых данных использованы следующие нелинейные зависимости:

$$F_1(x) = \exp(\sin(1,4x)) - 1,2; \tag{7}$$

$$F_2(x_1, x_2) = \exp(\sin(1,4x_1)) + \exp(\sin(x_2 + 0,5)) - 2,2. \tag{8}$$

Результаты средних относительных ошибок сетей
с разными радиально-базисными функциями

| | Функция Гаусса | Функция Лапласа | Функция Коши | Кусочно-линейная функция | Функция Вигнера |
|-----------------|----------------|-----------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| $F_1(x)$ | 2,5 | 3,7 | 2,3 | 3,4 | 2,3 |
| $F_2(x_1, x_2)$ | 2,3 | 3,3 | 2,8 | 1,9 | 4,9 |

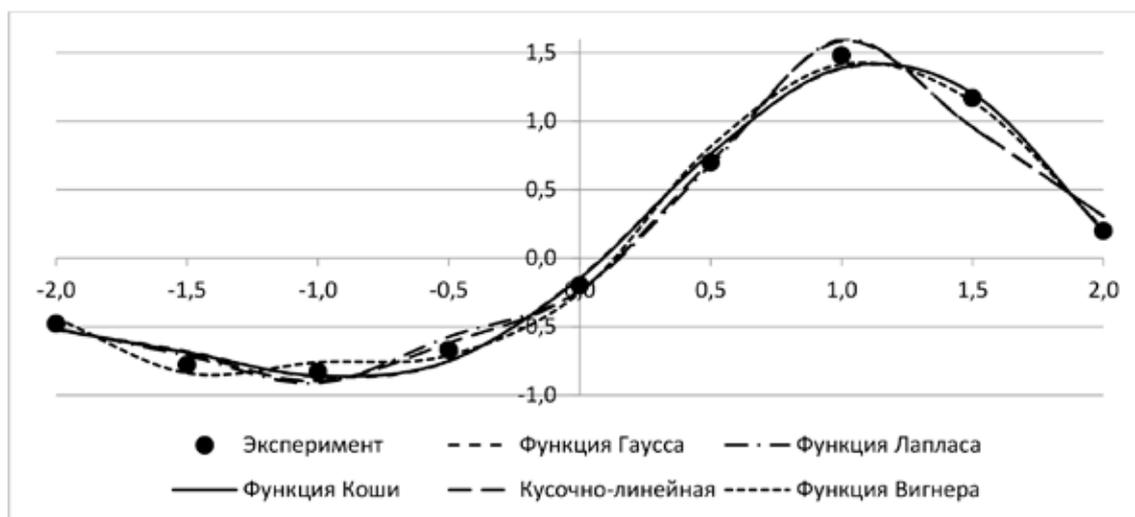


Рис. 6. Описание исходных данных нейронными сетями с различными РБФ

Для исследования интерполяционной способности одномерной сети RBF 5 узлов из экспериментального набора были выбраны в качестве центров радиальной базисной функции из выборки, состоящей из 16 примеров. Эта структура нейронной сети содержит 1 вход, 5 скрытых радиальных элементов и 1 выход.

Используя точки с теми же комбинациями координат, решалась задача интерполяции данных с помощью двумерных нелинейных функций. Из 50 обучающих векторов 25 были выбраны в качестве центров радиально-базисных функций.

В зависимости от выбранной функции в таблице показана средняя относительная ошибка, полученная с использованием одномерных и двумерных нелинейных функций, которые рассчитываются на основе нормализованных данных.

Для интерполирования рассмотренной одномерной зависимости наиболее подходящими функциями активации оказались функции Вигнера, Гаусса и Коши. Кусочно-линейная зависимость и функция Лапласа дали заметно большую среднюю относительную ошибку. Для интерполирования двумерной функции наилучшим

образом проявили себя кусочно-линейная, Гаусса и Коши. При использовании функций Вигнера и Лапласа получены более высокие значения ошибки. Отметим, что в целом погрешности одномерной и двумерной задач оказались сравнимыми. Полученные результаты позволяют рекомендовать к использованию в РБФ-сетях функции Гаусса и Коши. Проблемы с эффективным использованием функций Лапласа, Вигнера и кусочно-линейной зависимости вызваны в первую очередь их недифференцируемостью в отдельных точках области определения.

На рис. 6 представлены графические результаты математического описания экспериментальных данных нейронной сетью с различными радиальными базисными функциями.

*Исследование влияния структуры
и настроек РБФ на ошибку
интерполирования*

В рамках нашего исследования влияния структуры нейронной сети и значений параметра насыщения радиальной базисной функции на ошибку гауссовой аппроксимации были получены следующие результаты.

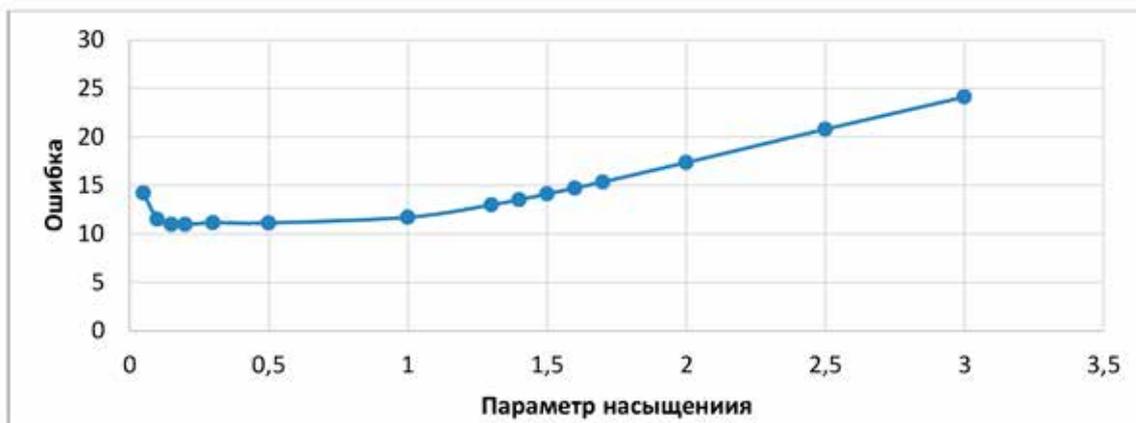


Рис. 7. Оптимизация параметра насыщения одномерной задачи

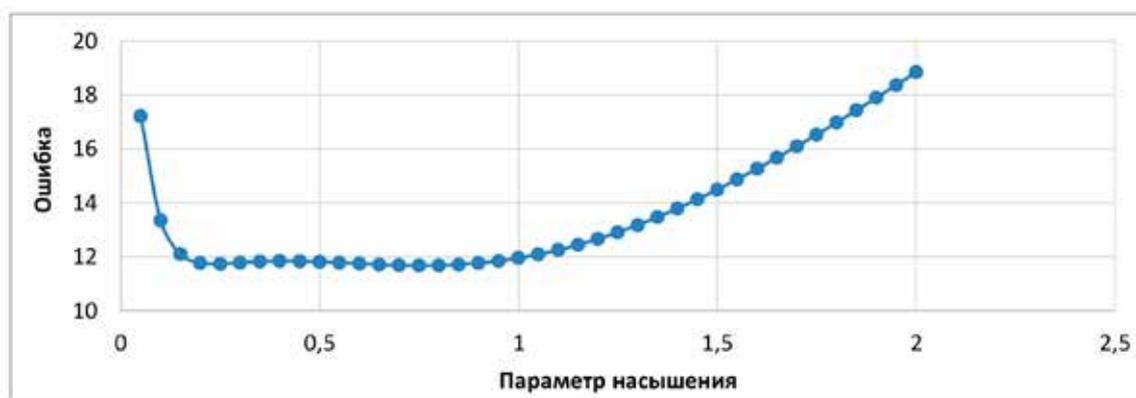


Рис. 8. Оптимизация параметра насыщения двумерной задачи

1. Максимально возможное значение, ограниченное числом экспериментальных точек, как правило, значительно снижает погрешность аппроксимации.

2. Кроме того, выбор оптимального параметра насыщения позволяет уменьшить ошибку аппроксимации в 1,5–2,0 раза. Это относится к той же сетевой структуре RBF.

3. В рассматриваемом примере оптимальмы расположены в пределах $[0,15; 1]$ при использовании одномерной функции (рис. 7) и двумерной функции $[0,25; 1]$ (рис. 8), однако в общем случае значение параметра насыщения зависит от диапазона изменения независимой переменной, известного числа экспериментальных точек и среднего значения расстояния между соседними точками.

Заключение

По результатам исследования различных функций активаций можно рекомендовать к использованию в RBF-сетях функции Гаусса и Коши. В то же время следует учитывать, что при решении задач интерполирования зависимостей не всегда данные

функции могут давать корректное описание экспериментальных данных. В этой связи в ходе нейросетевого моделирования кроме выборов параметров насыщения и центров радиальных элементов рекомендуется отдельно подбирать вид радиально-базисной функции. При этом крайне желательно, чтобы она была дифференцируема во всех точках, принадлежащих области определения.

Согласно полученным результатам RBF-сети могут успешно использоваться для решения задач интерполирования как сложных многомерных, так и одномерных функций. Несмотря на то, что подбор параметров настройки таких нейронных сетей представляет собой отдельную, достаточно сложную и трудоемкую задачу, эффективное ее решение способно значительно улучшить качество получаемого математического описания.

Список литературы

1. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks. Complex Systems. 1988. Vol. 2. P. 321–355.

2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
3. Ch. Sanjeev Kumar Dash, Ajit Kumar Behera, Satchidananda Dehuri*, and Sung-Bae Cho Radial basis function neural networks: a topical state-of-the-art survey. *Open Comput. Sci.* 2016. No. 6. P. 33–63.
4. Аникина О.В., Гущина О.М., Панюкова Е.В., Рогова Н.Н. Табличная реализация искусственной нейронной сети радиальных базисных функций для классификации образов // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2018. Т. 14. № 2. С. 436–445.
5. Дударов С.П., Александров А.К. Выбор радиально-базисной функции при аппроксимации зависимостей искусственными нейронными сетями // *Достижения и приложения современной информатики, математики и физики: материалы VII Всероссийской научно-практической заочной конференции* (г. Нефтекамск, 30 ноября 2018 г.). Уфа: РИЦ БашГУ, 2018. С. 298–303.
6. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
7. Александров А.К., Дударов С.П. Одномерная альтернатива многомерной нейронной сети радиально-базисных функций // *Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр.* Т. XXXII. № 11. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. С. 13–15.
8. Страуструп Б. Язык программирования C++. Стандарт C++11. Краткий курс. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. 176 с.
9. Страуструп Б. Программирование. Принципы и практика с использованием C++. М.: Вильямс, 2016. 1328 с.
10. Шлее М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 1072 с.
11. Маркин И.С., Пысин М.Д., Краснов Д.О., Дударов С.П. Программно-алгоритмическое обеспечение для аппроксимации нелинейных зависимостей нейронной сетью на основе радиально-базисных функций // *Успехи в химии и химической технологии: сборник научных трудов* Т. XXXI. № 8. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. С. 57–59.
12. Дударов С.П., Александров А.К. Выбор радиально-базисной функции при аппроксимации зависимостей искусственными нейронными сетями // *Достижения и приложения современной информатики, математики и физики: материалы VII Всероссийской научно-практической заочной конференции* (г. Нефтекамск, 30 ноября 2018 г.). Уфа: РИЦ БашГУ, 2018. С. 298–303.

УДК 004

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРЕБЫВАНИЯ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

Иванова Н.А., Кубанских О.В., Карбанович О.В., Махина Н.М., Беднаж В.А.
*ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», Брянск,
e-mail: ivanova_natala@mail.ru*

Одним из приоритетных направлений развития интернета вещей, как важного и неотъемлемого компонента современной жизни, является «Умный дом». Эта система автоматизированного управления в жилом помещении с удаленным мониторингом позволяет своевременно определять отклонения показаний датчиков от нормы и принимать соответствующие меры. Новые технологии обладают потенциалом для улучшения качества жизни, безопасности и ухода за пожилыми людьми. Статья посвящена описанию разработанной системы мониторинга микроклимата в помещениях пребывания пожилых людей, позволяющей регистрировать показания некоторых параметров окружающей среды. Информеры разработанного приложения дают возможность пользователю получать актуальные сведения в текстовом и графическом формате о состоянии микроклимата и необходимые рекомендации для принятия решений в конкретной ситуации. В случае отклонения входных данных от установленных в системе базисных показателей и выхода их за пределы допустимого коридора значений приложение не только выводит текстовое уведомление на экран, но и сопровождается звуковым сигналом, а также отправляет SMS-сообщение лицу, присматривающему за человеком преклонного возраста. Предлагаемая система позволит расширить возможности и повысить независимость пожилым людям, а также обеспечить душевное спокойствие тем, кто за ними ухаживает.

Ключевые слова: система мониторинга, микроклимат, интернет вещей, концепция «Умный дом», пожилые люди, программное обеспечение

ON THE DESIGN OF A MICROCLIMATE MONITORING SYSTEM IN THE PREMISES OF STAY OF THE ELDERLY

Ivanova N.A., Kubanskikh O.V., Karbanovich O.V., Makhina N.M., Bednazh V.A.
Bryansk State Academician I.G. Petrovskiy University, Bryansk, e-mail: ivanova_natala@mail.ru

One of the priority directions of the development of the Internet of Things, as an important and integral component of modern life, is the "Smart Home". This automated control system in a residential area with remote monitoring allows timely detection of deviations of sensor readings from the norm and taking appropriate measures. New technologies have the potential to improve the quality of life, safety and care of the elderly. The article is devoted to the description of the developed microclimate monitoring system in the premises of the elderly, which allows recording the readings of some environmental parameters. The informers of the developed application enable the user to receive up-to-date information in text and graphic format about the state of the microclimate and the necessary recommendations for making decisions in a specific situation. If the input data deviates from the basic indicators set in the system and they go beyond the acceptable range of values, the application not only displays a text notification on the screen, but is also accompanied by an audible signal, and also sends an SMS message to the person looking after an elderly person. The proposed system will expand the opportunities and increase the independence of older people, as well as provide peace of mind to those who care for them.

Keywords: monitoring system, microclimate, Internet of things, smart home concept, elderly people, software

Современное состояние экономики характеризуется активным развитием цифровых инструментов, которые проникают во все сферы жизни человека. Наибольшей популярностью пользуются такие инструменты цифровой экономики, как блокчейн, интернет вещей, искусственный интеллект. Парадигма интернета вещей (IoT) – это структура, которая позволяет соединять несколько устройств, систем и технологий вместе для выполнения определенных задач, лежащая в основе многих современных концепций, отвечающих за отслеживание и управление состоянием объектов и процессов.

Одним из приоритетных направлений развития интернета вещей является «Умный дом» – технология, которая позволяет

человеку управлять системой, куда входят различные инструменты, повышающие уровень комфорта и безопасности жизни человека. Концепция создания новых жилых пространств подразумевает сочетание социальной среды с новейшими технологиями, которые значительно улучшают качество жизни. Это достигается путем интеграции различных технологий (датчиков, вычислений и т.д.) и смежных областей (информатики, инженерии, медицины и социальных наук), фокусируется на внедрении и применимости таких технологий, при этом основной целью становится поддержка людей, позволяющая им достигать своих повседневных задач.

Возможности технологии «Умного дома» как системы автоматизированного управ-

ления мультимедийными и инженерными инфраструктурами в жилом помещении с удаленным мониторингом и управлением позволяют своевременно определять отклонения показаний датчиков от нормы и принимать соответствующие меры, в том числе оповещать лиц, входящих в группы риска, при ухудшении показаний [1].

Термогигрометрия (температура, относительная влажность), освещение и качество воздуха (уровень углекислого газа) и другие физические показатели вместе с такими параметрами, как метаболическая активность и выполняемые действия, влияют на здоровье и работоспособность человека, особенно преклонного возраста. Люди могут чувствовать себя комфортно, если они находятся в помещениях с соответствующим микроклиматом, но могут испытывать дискомфорт при неадекватных микроклиматических условиях, что может повлечь за собой те или иные нежелательные последствия.

Мониторинг микроклимата работает на основе пассивных датчиков, размещенных по всему периметру дома, которые отправляют сведения о состоянии микроклимата в помещениях пребывания пожилых людей родственникам и/или назначенным ответственным. Услуги мониторинга умного дома для пожилых людей могут обеспечить чувство безопасности для пожилых людей, преимущественно для тех, кто живет один, а также их семей, особенно тех, кто живет на расстоянии от своих родителей.

Системы наблюдения быстро развиваются благодаря технологическим достижениям в области датчиков и устройств, таких как миниатюризация, возможности беспроводной связи, снижение энергопотребления и доступность. Что, в свою очередь, позволяет ненавязчиво заботиться о благополучии и здоровье пожилых родителей. Людям преклонного возраста все сложнее становится контролировать свои действия, которые ранее выполнялись «на автомате». Сюда можно отнести, в частности, выключение газового оборудования (плита, духовой шкаф, обогреватель) и различных электрических приборов (светильники, телевизор, утюг), закрывание окон и дверей, выключение воды и пр. Все эти действия осуществляются автоматически, они очень важны, поскольку способны уберечь человека от возможных неприятностей: потопов, возгораний, разрушений мебели и вещей.

Большинство существующих систем мониторинга микроклимата в помещениях ориентированы на промышленность, рас-

считаны на большие объемы с точки зрения охвата территории и, как правило, имеют высокую стоимость. Что не позволяет человеку пожилого возраста приобрести ни один из имеющихся на рынке программных решений вариантов. Создание мобильного приложения, позволяющего оперативно контролировать и оповещать о важных показателях состояния микроклимата в жилых помещениях является целью данного исследования.

Материалы и методы исследования

При разработке учтены положения Единой системы программной документации ГОСТ 19.201-78 [2] и требования к эргономике пользовательских интерфейсов ГОСТ Р ИСО 14915-3-2016 [3]. Для комфортной работы пользователя пожилого возраста были учтены несколько важных факторов при разработке приложения:

- минимальный уровень навыков работы с мобильным телефоном,
- простой и понятный интерфейс в минималистичном стиле без лишних «украшательств» и едином цветовом решении с возможностью смены режима (день/ночь),
- меню с легко распознаваемыми иконками (таблица),
- пояснительные рекомендации о действии того или иного управляющего элемента интерфейсной части в информационном блоке,
- доступ пользователя к необходимым сведениям не более чем за один клик,
- сведения о текущих показаниях представлены информативно и содержательно,
- звуковые оповещения о критических показаниях,
- представление поступающей информации в виде графиков для визуализации и анализа получаемых сведений.

Проект был написан на языке программирования C# с использованием реализованных на языке C++ библиотек для обеспечения взаимодействия с микроконтроллером Arduino и интегрированная среда Arduino IDE с широким набором возможностей (в том числе встроенный редактор кода и средства отладки).

Для создания интерфейса приложения использовалась среда Microsoft Visual Studio 2022, позволяющая значительно упростить разработку реализации GUI. В проекте были задействованы только самые необходимые компоненты. Дополнительно была подключена внешняя библиотека MaterialSkin.2 для формирования настроек параметров интерфейсной части приложения.

Соответствие пунктов меню реализованным функциям

| Пункт меню | Выполняемое действие |
|--|--|
|  | Подключение / отключение |
|  | Переход на главную страницу / Представление краткой информации |
|  | Предоставление сведений о содержании углекислого газа в воздухе и рекомендации |
|  | Предоставление сведений о температуре воздуха в помещении и рекомендации |
|  | Предоставление сведений о влажности воздуха в помещении и рекомендации |
|  | Предоставление сведений о содержании микрочастиц пыли в помещении и рекомендации |
|  | Предоставление сведений об освещенности помещения и рекомендации |
|  | Предоставление сведений об уровне звука в помещении и рекомендации |
|  | Настройка параметров, в том числе включение режима светлый/темный |

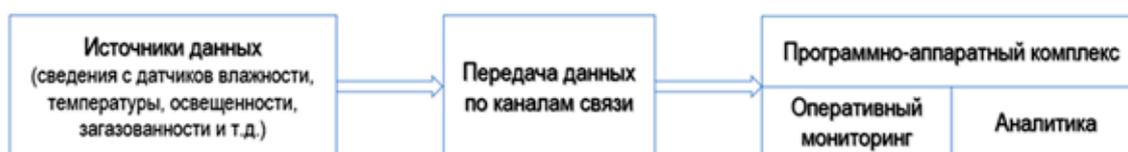


Рис. 1. Элементная база системы мониторинга

Цветовая гамма подобрана таким образом, чтобы не отвлекать и не перегружать пользователя: насыщенный синевато-зеленый #00695C и зеленый орел #004953 (блок меню и элементы управления), дымчато-белый #F2F2F2 (рабочая зона), глубокий пурпурный #3D1A55 (выделяемые элементы). Подобранные цвета хорошо сочетаются друг с другом и подходят для большинства пользователей [4].

Для обеспечения комфортной работы в темное время суток приложение предусматривает изменение цветового режима со светлого на темный. Реализация перехода с одного режима на другой выполнена с использованием библиотеки MaterialSkin.2 и достигается за счет инверсивной замены цвета.

Построение предлагаемого решения включает в себя следующую элементную базу: аппаратная часть (комбинация измерительных устройств для считывания раз-

личных показателей), технологии передачи данных, программная часть для сбора, обработки и анализа поступающей информации (рис. 1).

Аппаратная часть включает в себя плату Arduino Uno, средства съема показаний, обеспечивающие поступление первичных данных (датчики MH-Z19B углекислого газа, GP2Y10110AU0F-SHARP пыли, DHT 22 температуры и влажности, ВНТ-1750 освещенности, LM933 звука) и дополнительные материалы, в том числе соединительные провода типа F-F и M-M, резистор номиналом 150 Ом и конденсатор номиналом 220 мкФ (рис. 2). Передача показаний осуществляется с помощью Wi-Fi модуля [5].

Полноразмерная плата Arduino Uno и ее технические характеристики считаются предпочтительными для большинства проектов, поскольку при необходимости ее можно расширить дополнительными платами.

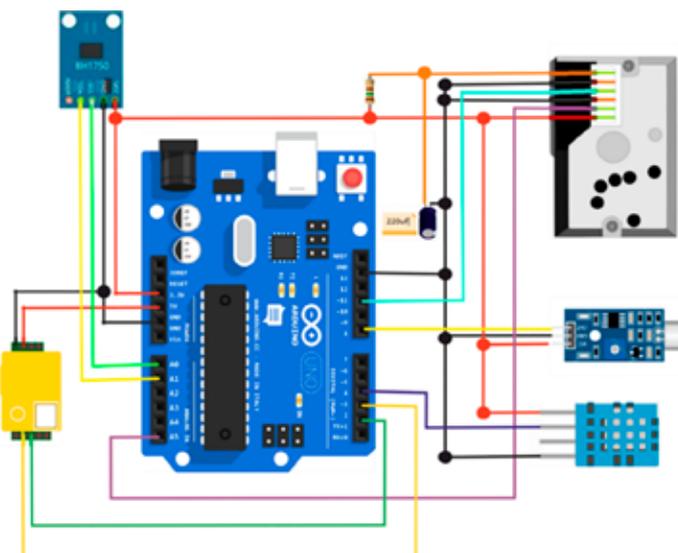


Рис. 2. Обобщенная схема аппаратной части

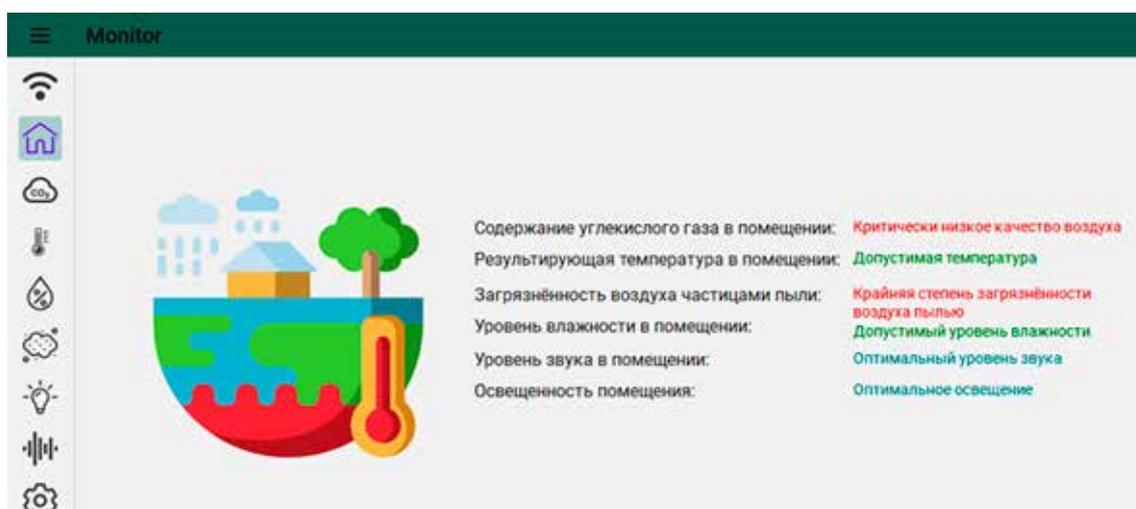


Рис. 3. Вывод текстовой информации мониторинга

Результаты исследования и их обсуждение

Детектирование показателей состояния микроклимата в помещении осуществляется постоянно с последующей передачей в режиме реального времени сведений от датчиков в программный комплекс для последующего сравнения с эталонными показателями. По запросу система мониторинга способна информировать пользователя о текущих показаниях датчиков.

В случае отклонения входных данных от бенчмарков (базисные показатели, хранящиеся в системе) и выхода их за пределы допустимого коридора значений приложение формирует уведомление, которое ото-

бражается не только на экране мобильного устройства пользователя, но и сопровождается звуковым сигналом [6, 7]. Кроме того, системой мониторинга осуществляется отправка SMS-сообщения лицу, присматривающему за человеком преклонного возраста (родственникам и/или сотрудникам патронажной службы).

Вывод информации на экран может быть представлен в нескольких вариантах. На главной странице приложения пользователь может ознакомиться с текстовым описанием текущих показателей с соответствующим выделением цветом допустимых, оптимальных, негативных и критических уровней (рис. 3).

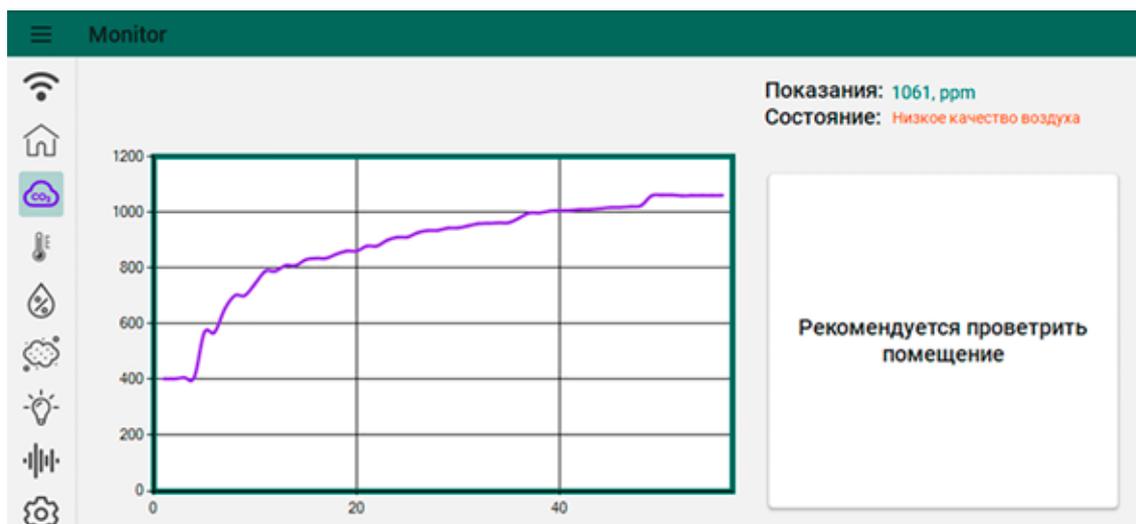


Рис. 4. Сведения об уровне углекислого газа

Представление информации о каждом из фиксируемых показателей пользователь может получить, нажав на соответствующую иконку меню приложения (таблица). Например, при переходе на вкладку «Углекислый газ» будет отображен график фиксации показателей в режиме реального времени, оценено текущее состояние и даны рекомендации (рис. 4).

Временные интервалы отображены на оси абсцисс с момента начала фиксации данных соответствующими измерителями до текущего момента. По оси ординат расположены значения от нулевого до максимального считывания.

Получаемые сведения и отображаемые рекомендации информируют о шагах, которые необходимо предпринять. Окончательные решения по реагированию на полученные сведения принимаются непосредственно пользователем (например, самостоятельно проветрить комнату) или человеком, курирующим пенсионеров (удаленно вызвать скорую помощь или врача на дом). Всё это позволит снизить уровень тревожности как у пожилых людей, так и у членов их семей.

Разработанная система позволит расширить возможности и повысить независимость пожилым людям, а также обеспечить душевное спокойствие тем, кто за ними ухаживает.

Можно выделить еще одну, несомненно, положительную сторону данного проекта – свободный доступ для скачивания и распространение разработанной системы мониторинга будет осуществляться по лицензии GNU GPL (бесплатно), что является неоспоримым преимуществом для пожилых людей и их семей.

К возможным перспективам для развития приложения можно отнести увеличение количества датчиков для получения большей информации о состоянии микроклимата, например добавить датчик атмосферного давления, создание мобильного приложения-ассистента (чат-бота), а также реализацию дополнительных оповещений, например сообщений по электронной почте и/или в мессенджеры.

Масштабировать и расширить возможности приложения можно за счет добавления дополнительных функциональных блоков, организовав, например, накопление получаемой информации на внешнем ресурсе (база данных на сервере и/или в облачном хранилище) для отслеживания динамики, последующей статистической обработки и анализа с применением концепций искусственного интеллекта. Кроме того, система может быть улучшена за счет применения алгоритмов машинного обучения для прогнозирования ситуаций на основе хранящихся сведений.

Заключение

Растущее распространение использования мобильных приложений во всем мире сделало удобство использования мобильных приложений новой областью исследований. Разработка приложений является сложной задачей, потому что у каждого приложения есть своя цель, а у каждого пользователя есть свои потребности и ожидания от приложения. В рамках проведенного исследования была подтверждена практическая значимость разработанного функционального варианта постоянного долгосрочного мониторинга микроклимата в местах проживания

пожилых людей и людей с ограниченными возможностями в режиме реального времени. Описанное авторами проектное решение будет способствовать организации текущего контроля и, как следствие, уменьшать угрозы появления непредвиденных критических ситуаций.

Список литературы

1. Liu L., Stroulia E., Nikolaidis I., Miguel-Cruz A., Rios Rincon A. Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: a systematic review. *Int J Med Inform.* 2016. No. 91. P. 44–59. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2016.04.007. S1386-5056(16)30064-8.
2. ГОСТ 19.201-78 Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. М.: Стандартинформ, 2010. 4 с.
3. ГОСТ Р ИСО 14915-3-2016 Эргономика мультимедийных пользовательских интерфейсов. М.: Стандартинформ, 2016. 48 с.
4. Wong C.Y., Ibrahim R., Hamid T.A., Mansor E.I. Usability and design issues of smartphone user interface and mobile apps for older adults. In *Proceedings of the International Conference on User Science and Engineering*, Puchong, Malaysia, 28–30 August 2018. P. 93–104.
5. Иванова Н.А., Елисеева Е.В. Беспроводные сенсорные сети как средство обеспечения мониторинга и управления в технологии «Умный дом» // Университет на пути к новому качеству науки и образования: Национальная научно-практическая конференция с международным участием (Брянск, 24 сентября 2020 г.). Брянск: Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, 2020. С. 456–461.
6. ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.
7. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации. N 0001202102050027. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 17.12.2022).

УДК 681:004.9:504.056

МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Ивашук О.А., Гончаров Д.В., Федоров В.И., Гурьянова О.И.

ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, e-mail: goncharov_dv@bsu.edu.ru

В данной статье представлены результаты разработки метода комплексного оценивания и прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных территорий в зависимости от техногенного и природного воздействия, в том числе рассеивания и накопления парниковых газов. Современная система мониторинга, прогнозирования и управления экологической ситуацией, использующая возможности искусственного интеллекта, может позволить обоснованно адаптировать сельскохозяйственные территории к изменениям климата с помощью их эффективного агроэкологического и природно-сельскохозяйственного зонирования. Обосновывается эффективность зонирования сельскохозяйственных территорий для обеспечения высокой урожайности растений. Представлен соответствующий программно-алгоритмический инструментарий, реализующий данный метод. Авторским коллективом рассмотрен новый подход к адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта и предложен новый способ агроэкологического и природно-сельскохозяйственного зонирования территорий для повышения урожайности культур. В статье представлена архитектура нечеткой системы, используется функционал программного продукта MATLAB и расширения Fuzzy Logic. В результате проведенной комплексной оценки был создан банк мероприятий по развитию и адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта. Практическое внедрение позволяет выбирать научно обоснованные мероприятия по зонированию сельскохозяйственных территорий, что даст возможность усилить эффективность конкретных управляющих воздействий по адаптации территорий в условиях динамики парникового эффекта, повысить уровень экологической и продовольственной безопасности.

Ключевые слова: комплексная оценка, адаптация сельскохозяйственных территорий, повышение урожайности, парниковый эффект, зонирование, алгоритм оценки

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-11-20016) «Разработка и исследование интеллектуальной системы поддержки принятия решений по адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта».

COMPREHENSIVE ASSESSMENT METHOD OF AGRICULTURAL TERRITORIES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN TERMS OF THE GREENHOUSE EFFECT DYNAMICS

Ivashchuk O.A., Goncharov D.V., Fedorov V.I., Guryanova O.I.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: goncharov_dv@bsu.edu.ru

This article presents the results of the development of a method for the integrated assessment and forecasting of the productivity of agricultural territories depending on man-made and natural impacts, including the dispersion and accumulation of greenhouse gases. A modern system of monitoring, forecasting and management of the environmental situation, using the capabilities of artificial intelligence, can allow scientifically justified adaptation of agricultural territories to climate change through their effective agroecological and natural-agricultural zoning. The efficiency of zoning of agricultural territories to ensure high crop yields is substantiated. The corresponding software and algorithmic tools implementing this method are presented. The team of authors considered a new approach to the adaptation of agricultural territories in the conditions of the dynamics of the greenhouse effect and proposed a new method of agroecological and natural-agricultural zoning of territories to increase crop yields. The article presents the architecture of a fuzzy system, uses the functionality of the MATLAB software product and the Fuzzy Logic extension. As a result of the comprehensive assessment, a bank of measures for the development and adaptation of agricultural territories in the conditions of the dynamics of the greenhouse effect was created. Practical implementation makes it possible to choose scientifically based measures for the zoning of agricultural territories, which will increase the effectiveness of specific control actions for the adaptation of territories in the conditions of the dynamics of the greenhouse effect, increase the level of environmental and food security.

Keywords: integrated assessment, adaptation of agricultural areas, yield enhancement, greenhouse effect, zoning, assessment algorithm

Современный уровень развития информационных технологий, методов математического, ситуационного и компьютерного моделирования, средств автоматизации позволяет решать широкий спектр проблемных вопросов в сфере управления экологической ситуацией на различных территориях,

таких как: организация интеллектуального мониторинга; осуществление оценок и прогнозов; формирование, оценка и сравнение сценариев управления и др. [1, 2].

Следует отметить, что техногенные и природные объекты, а также процессы их взаимодействия характеризуются высокой

динамичностью и сложностью [3]. В научной литературе отечественными и зарубежными учеными, в том числе на основе исследований авторского коллектива, показана высокая эффективность применения аппарата интеллектуального моделирования, в частности искусственных нейронных сетей и нечеткой логики, при решении разных задач по обработке экологических данных и прогнозированию динамики природных сред [4]. Особенно результативно использование данных технологий искусственного интеллекта при решении задач комплексной оценки ситуации, определяющейся совокупным влиянием текущего и/или прогнозного состояния нескольких компонентов биотехносферы [5, 6].

Так, сегодня отсутствуют методы и модели для комплексной оценки возможной продуктивности сельскохозяйственных территорий на основе сложившегося и прогнозируемого пространственно-временного распределения концентрации парниковых газов (ПГ) (их рассеивания и накопления в приземном слое атмосферы). При этом важно проводить совокупный учет влияния как на состояние и характеристики самих сельскохозяйственных культур, так и влияния на возможности восстановления гумусового слоя почвы с учетом внешних воздействий, анализа используемых технологий и особенностей самой территории [7]. Разработка технологии подобной комплексной оценки позволяет расширить существующие методы интеллектуального анализа данных в сфере обеспечения экологической и продовольственной безопасности, создать новый результативный подход к обеспечению автоматизированного агроэкологического и природно-климатического зонирования территорий.

Авторским коллективом поставлена научная задача формирования метода и разработки соответствующего алгоритма для обеспечения актуализации следующих функций поддержки принятия решений – автоматизированная комплексная оценка возможной продуктивности исследуемой территории на основе анализа пространственно-временного распределения ПГ (рассеивания и накопления) в приземном слое атмосферы, а также автоматизированного формирования моделей адаптационных сценариев управления.

Материалы и методы исследования

На основе проведенного анализа научных источников и предыдущих результатов исследований авторского коллектива для решения поставленных задач, где требуется работа с большим количеством разнородных параметров, выбраны методы си-

туационного моделирования и управления, лингвистического подхода и аппарата нечеткой логики [8].

Ключевым показателем агроэкологической ситуации в данном случае является состояние рассматриваемой сельскохозяйственной территории с точки зрения ее продуктивности, определяющей урожайность сельскохозяйственных культур, находящейся в зоне влияния конкретных техногенных и природных объектов и/или процессов [9]. Исходя из теоретико-множественного подхода, представим соответствующую лингвистическую переменную в виде:

$$\{AtmGG, T, H, G, M\}, \quad (1)$$

где $AtmGG$ = «Агроэкологическая ситуация» – название лингвистической переменной; T – соответствующее базовое термножество (значения $AtmGG$); H – множество числовых характеристик для определения T ; G – синтаксические правила для образования новых значений $AtmGG$; M – семантические правила для образования G .

Исходя из вышесказанного, лингвистическая переменная $AtmGG$ будет являться составной:

$$AtmGG = (AtmGG_{\text{погл}}, AtmGG_{\text{урож}}), \quad (2)$$

где $AtmGG_{\text{погл}}$ – лингвистическая переменная, которая описывает состояние территории с точки зрения почвенной эмиссии; $AtmGG_{\text{урож}}$ – описывает состояние территории с точки зрения фотосинтетической активности сельскохозяйственных растений в условиях динамики парникового эффекта (ПЭ).

$$\{AtmGG_{\text{погл}}, T_{\text{погл}}, H_{\text{погл}}, G_{\text{погл}}, M_{\text{погл}}\}, \quad (3)$$

$$\{AtmGG_{\text{урож}}, T_{\text{урож}}, H_{\text{урож}}, G_{\text{урож}}, M_{\text{урож}}\}, \quad (4)$$

где $T_{\text{погл}}$ и $T_{\text{урож}}$ – термножества, определяющие значения лингвистических переменных $AtmGG_{\text{погл}}$ и $AtmGG_{\text{урож}}$. $T_{\text{погл}}$ и $T_{\text{урож}}$ – нечеткие переменные на числовом множестве $H_{\text{погл}}$ и $H_{\text{урож}}$.

Для оценки урожайности сельскохозяйственных культур исследуются рассеивание и накопление CO_2 в приземном слое атмосферы, концентрация которого в атмосфере по сравнению с другими ПГ (CH_4 , O_3 , N_2O) является наибольшей [10]. Это определило конкретизацию множества H .

Для осуществления комплексной оценки сельскохозяйственной территории с точки зрения минерализации гумусового слоя почвы введены следующие термины:

$$T_{\text{погл}} = \{T_{\text{погл}1}, T_{\text{погл}2}, T_{\text{погл}3}, T_{\text{погл}4}, T_{\text{погл}5}\}, \quad (5)$$

где $T_{\text{погл}1}$ = «наиболее эффективная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой

дается, когда скорость дыхания почвы составляет $35,47 \pm 0,05$ и $55,42 \pm 0,07$ моль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$; $T_{\text{полн2}}$ = «эффективная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $16,58 \pm 0,05$ и $35,47 \pm 0,07$ моль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$; $T_{\text{полн3}}$ = «умеренная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $6,76 \pm 0,08$ и $16,58 \pm 0,09$ моль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$; $T_{\text{полн4}}$ = «низкая», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $0,58 \pm 0,08$ и $6,76 \pm 0,06$ моль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$; $T_{\text{полн5}}$ = «неэффективная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $0,26 \pm 0,04$ и $0,58 \pm 0,07$ моль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Для описания сельскохозяйственной территории с точки зрения фотосинтетической активности сельскохозяйственных растений в условиях динамики ПЭ введены следующие термы:

$$T_{\text{урож}} = \{ T_{\text{урож1}}, T_{\text{урож2}}, T_{\text{урож3}}, T_{\text{урож4}}, T_{\text{урож5}} \}, (6)$$

где $T_{\text{урож1}}$ = «наиболее эффективная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация CO_2 устанавливается в диапазоне 600–700 ppm.; $T_{\text{урож2}}$ = «эффективная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация CO_2 устанавливается в диапазоне 500–600 ppm.; $T_{\text{урож3}}$ = «умеренная», такая оценка концентраций ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация CO_2 устанавливается в диапазоне 400–500 ppm.; $T_{\text{урож4}}$ = «низкая», такая оценка концентраций ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация CO_2 устанавливается в диапазоне 300–400 ppm.; $T_{\text{урож5}}$ = «неэффективная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация CO_2 устанавливается ниже показателя в 300 ppm.

Для осуществления комплексной оценки сельскохозяйственной территории относительно ее продуктивности в условиях динамики ПЭ введем термы:

$$T = \{ T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 \} (7)$$

где T_1 = «максимальная продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $\text{AtmGG}_{\text{полн}}$ = «наиболее эффективная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $\text{AtmGG}_{\text{урож}}$ = «наиболее эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может использоваться для ведения органического земледелия с получением

высокой урожайности, которое исключает применение пестицидов, гербицидов, химических удобрений, различных регуляторов роста растений, а также генномодифицированного посевного материала выращивания растений. T_2 = «высокая продуктивность», когда оценка уровня фотосинтетической активности растений $\text{AtmGG}_{\text{полн}}$ = «эффективная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $\text{AtmGG}_{\text{урож}}$ = «эффективная», или когда одна из оценок принимает значение «эффективная», а другая оценка – «наиболее эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может быть эффективно использована для возделывания культурных растений с получением высокой урожайности. T_3 = «умеренная продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $\text{AtmGG}_{\text{полн}}$ = «умеренная» или «эффективная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $\text{AtmGG}_{\text{полн}}$ = «умеренная» или «эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может быть использована для возделывания культурных растений с получением урожайности выше среднего уровня. T_4 = «низкая продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $\text{AtmGG}_{\text{урож}}$ = «умеренная» или «низкая» и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $\text{AtmGG}_{\text{полн}}$ = «умеренная» или «низкая». При такой оценке сельскохозяйственная территория может быть использована для возделывания культурных растений, нечувствительных к увеличению концентрации CO_2 . T_5 = «минимальная продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $\text{AtmGG}_{\text{урож}}$ = «неэффективная» или «низкая», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $\text{AtmGG}_{\text{полн}}$ = «низкая» или «неэффективная». При такой оценке сельскохозяйственной территории рекомендуется высаживание однолетних растений для минерализации гумусового слоя почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Алгоритм формирования сценариев управления на основе описанного метода комплексной оценки сельскохозяйственных территорий представлен на рисунке 1. В начале данного алгоритма происходит сбор данных о концентрации ПГ в приземном слое атмосферы и уровне эмиссии почвы, данные могут быть получены в результате проведения полевых измерений или при моделировании прогнозного уровня.

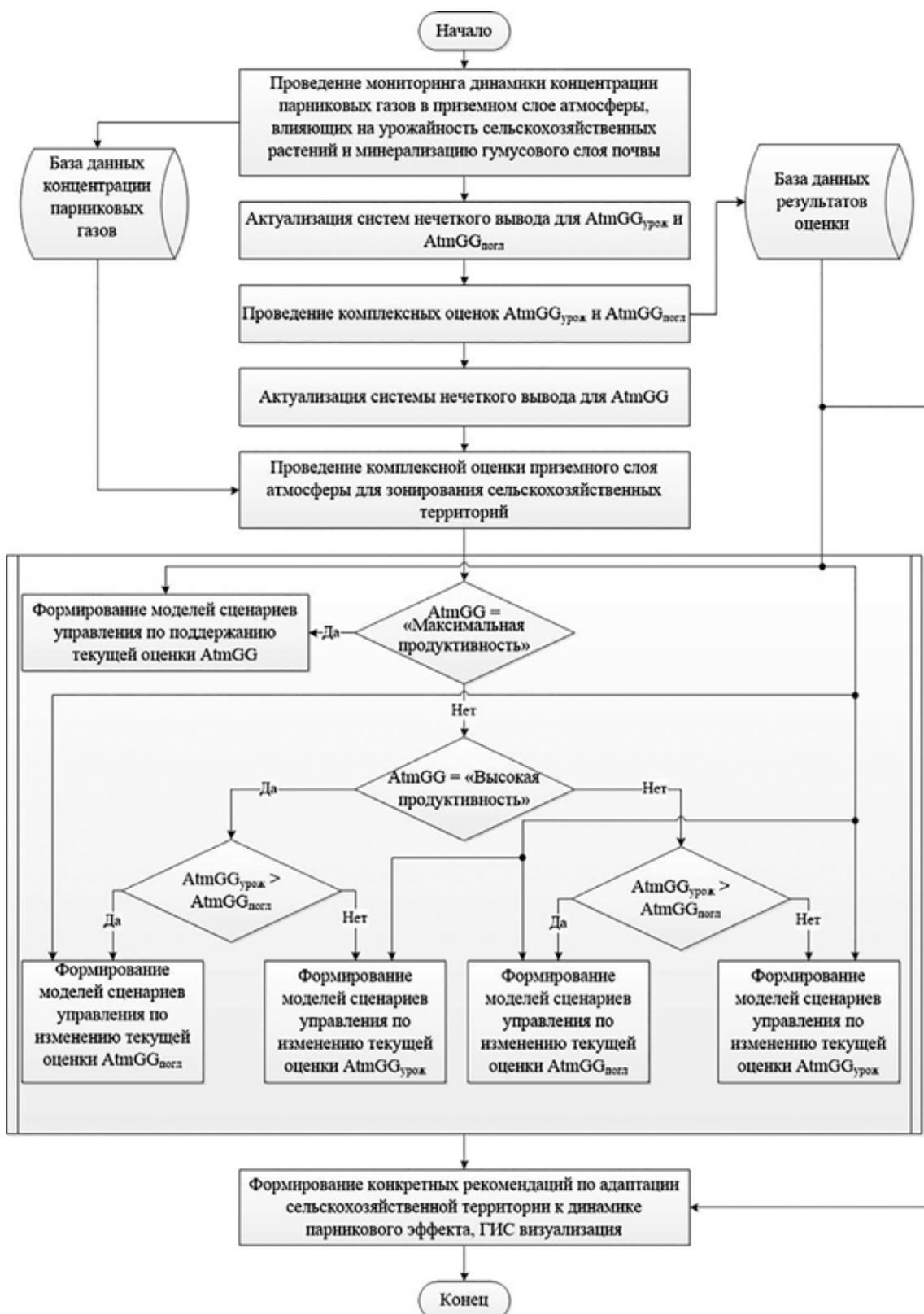


Рис. 1. Алгоритм формирования рекомендаций по адаптации сельскохозяйственных территорий на основе метода комплексной оценки

Следующим этапом является актуализация систем нечеткого вывода на основе полученных данных. Далее на основе значений лингвистических переменных $AtmGG_{\text{полл}}$ и $AtmGG_{\text{урож}}$ происходит вывод нечетких промежуточных оценок $AtmGG_{\text{полл}}$ и $AtmGG_{\text{урож}}$. Запись результатов оценки и показателей концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы в базу данных позволяет в дальнейшем вырабатывать научно обоснованные управленческие решения. На последующих этапах происходит получение итоговой комплексной оценки относительно исследуемой сельскохозяйственной территории. В случае получения комплексной оценки «максимальная продуктивность» происходит составление агротехнического плана по использованию и поддержанию параметров территории для ведения органического земледелия, в случае получения оценки «высокая продуктивность» происходит переход к этапу сравнения оценок $AtmGG_{\text{полл}}$ и $AtmGG_{\text{урож}}$, далее осуществляется детализация оценки, которая позволяет достичь большей точности при выборе сельскохозяйственной культуры и составлении агротехнического плана выращивания. На последнем этапе происходит формирование рекомендаций по адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ и визуализации результатов оценки с использованием ГИС-средств.

Описанный метод, основанный на ситуационном подходе, аппарате нечеткого моделирования и средств ГИС, может быть эффективно использован для проведения комплексной оценки текущего и прогнозного состояния сельскохозяйственных территорий с точки зрения перспективы высадки растений, а также для формирования научно обоснованных решений по зонированию территорий относительно динамики парникового эффекта в целях повышения урожайности.

Разработана программная реализация проведения комплексной оценки состояния сельскохозяйственной территории в среде MATLAB Fuzzy Logic Toolbox с использованием m-функции *anfis* на основе настроенной системы нечеткого вывода. В процессе обучения параметры узлов сети настраиваются так, чтобы минимизировать стандартную ошибку (RMSE) – разность между измеренными показателями e^* и выходами сети e :

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ([e^* - e]^2)} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где N – количество наблюдений в выборке обучающих данных.

Для обучения *Anfis* сети и определения параметров функций принадлежности систем нечеткого вывода типа Сугено был использован алгоритм гибридного обучения, структура сети представлена на рисунке 2.

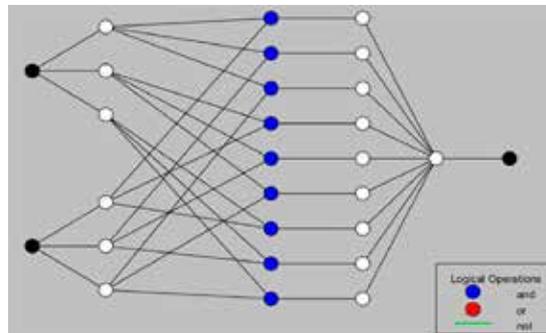


Рис. 2. Структурное представление нейро-нечеткой сети

Обучающая выборка содержит $n = 200$ наблюдений. Задано начальное значение шага 10^{-4} в направлении антиградиента критерия δ при изменении параметров функций принадлежности. Обучающее множество: средняя ошибка – $2 \cdot 10^{-1}$, максимальная ошибка – $4 \cdot 10^{-2}$, распознано – 95%. Тестовое множество: средняя ошибка – $2,7 \cdot 10^{-1}$, максимальная ошибка – $4,5 \cdot 10^{-2}$, распознано 92%. Зависимость выходной переменной от входных значений представлена в виде поверхности отклика, выполняющей функцию визуализации зависимостей (рис. 3).

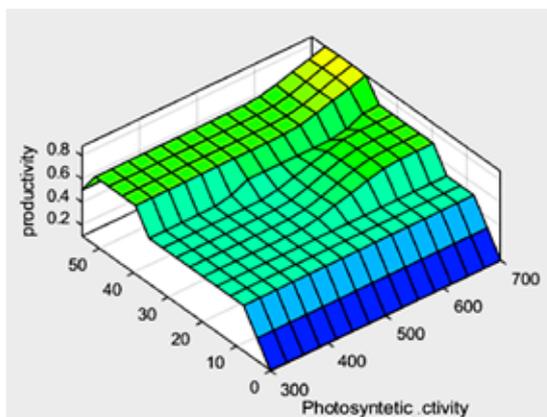


Рис. 3. Поверхность отклика

Для практического применения описанного алгоритма формирования сценариев управления по адаптации сельскохозяйственных территорий на основе метода комплексной оценки, а также выработки соответствующих рекомендаций был разработан программный комплекс с помощью языка программирования C# и среды разработки Visual Studio 2022.

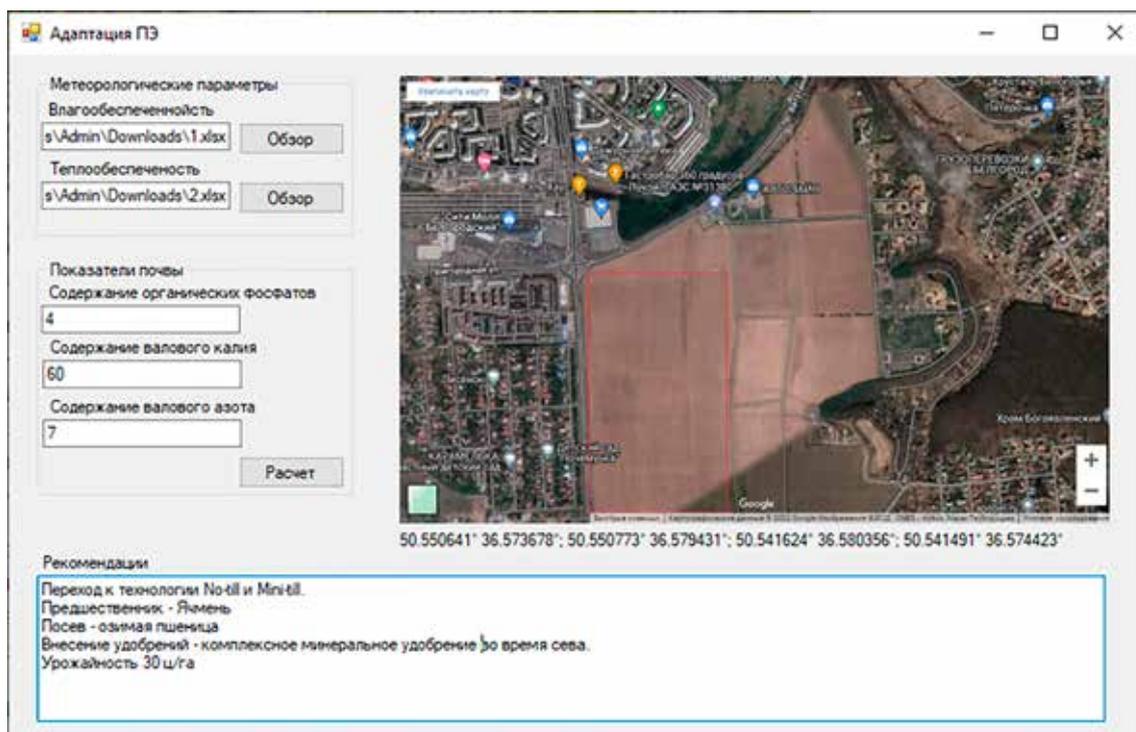


Рис. 4. Получение рекомендаций

Использование библиотек GMap.Net позволяет взаимодействовать с различными ГИС-системами, которые определяют возможность интерактивного выбора территории на карте для получения комплексной оценки и визуализации результатов прогнозирования.

Был разработан банк возможных мероприятий по увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, таких как сроки посева и уборки, защита от сорняков и вредителей, севооборот, технологии обработки почвы и др. Тестирование предложенной автоматизированной системы проводилось на территории Белгородской области. Программное решение позволит формировать конкретные рекомендации по адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ.

Построение рекомендаций по адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ формируется на основе проведенной комплексной оценки и почвенных параметров – влагообеспеченность и теплообеспеченность почвы, а также уровень содержания органических фосфатов, валового калия и валового азота в верхнем плодородном слое почвы. Эти данные необходимы при выборе сельскохозяйственных культур для высадки на исследуемой территории, которые могут обеспечить высокую урожайность при текущей и прогнозной

концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы, а также для определения технологии возделывания почвы. На рисунке 4 представлен результат формирования наиболее результативного сценария.

Заключение

В результате проведенных исследований были предложены метод комплексной оценки возможной продуктивности сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ, его программная реализация. Полученные оценочные показатели легли в основу создания новой нейро-четкой технологии выбора мероприятий по научно обоснованному зонированию сельскохозяйственных территорий, что позволяет повысить эффективность конкретных управленческих решений по адаптации территорий в условиях динамики ПЭ в целях повышения урожайности, способствует обеспечению требуемого уровня экологической и продовольственной безопасности. Представлен конкретный результат использования разработанной автоматизированной системы.

Список литературы

1. Кахраманова Ш.Ш. Моделирование в градостроительстве и экологии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 1. С. 28-40.

2. Васильев Д.Н. Информационно-имитационное моделирование экологических систем на основе бассейново-ландшафтного подхода: автореф. ... канд. техн. наук: 25.00.36. Москва, 2002. 20 с.
3. Малиновский А.В., Аканов Э.Н., Воронин П.Ю. Вегетационная климатическая установка для изучения воздействия на высшие растения увеличенной по сравнению с атмосферной концентрации CO₂ // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 1. С. 105-112.
4. Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И., Бреус Д.С. Оценка и прогноз изменений содержания гумуса в степных почвах с использованием геоинформационных и нейротехнологий // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 1. С. 24-28.
5. Radpour S., Gemechu E., Ahiduzzaman Md., Kumar A. Developing a framework to assess the long-term adoption of renewable energy technologies in the electric power sector: the effects of carbon price and economic incentives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 111663. P. 152.
6. Hansen K., Mathiesen B.V., Skov I.R. Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 102. P. 1-13.
7. Орлова И.В. Функциональное зонирование земель сельскохозяйственного назначения для целей сбалансированного природопользования // Фундаментальные исследования. 2014. № 5-4. С. 783-788.
8. Ivashchuk O.A., Fedorov V.I., Goncharov D.V. Approaches to the Development of an Automated Control System for the Adaptation of Agricultural Areas under the Changing Greenhouse Effect. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*. 2022. Vol. 71. № 3s2. P. 948.
9. Шайтура С.В., Сумзина Л.В., Томашевская Н.Г., Филимонов С.Л. Аграрный сектор в контексте глобального изменения климата // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 18-24.
10. Фёдоров Б.Г. Выбросы углекислого газа: углеродный баланс России // Проблемы прогнозирования. 2014. № 1 (142). С. 63-78.

УДК 519.87:51-74:004

НЕКОРРЕКТНАЯ ЗАДАЧА АНАЛИЗА РИСКА ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Извеков Ю.А., Кадченко С.И., Грачева Л.А., Боброва И.И., Трофимов Е.Г.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: yurij.izvekov@mail.ru

При анализе риска всегда интересуют количественная оценка его вероятности и оценка ожидаемого ущерба. Особое место здесь занимают математические задачи, которые являются некорректными. Академик А.Н. Тихонов предложил метод решения таких задач, который получил название методов регуляризации. Они заключаются в том, что необходимо учесть дополнительную априорную информацию о решении некорректной задачи и переформулировать ее так, чтобы она стала корректной, вследствие чего могли быть разработаны эффективные вычислительные алгоритмы. В статье дана постановка в операторной форме прямой и обратной задач анализа риска опасных объектов металлургического предприятия на примере металлургических кранов, которые представляют большую потенциальную опасность при эксплуатации. Задача анализа риска заключалась в том, чтобы множество элементов групп конструкции крана, мониторинг за которыми позволил бы обеспечить его безопасную эксплуатацию. Приведен пример расчета, основанный на априорной информации предыдущих исследований авторов. Показано, что в начале эксплуатации и через пятнадцать лет необходимо осуществлять контроль за элементами третьей группы, а через двадцать пять лет – за элементами второй группы. Предложенный подход расширяет область применения методов регуляризации при анализе риска инженерных сооружений и технических систем, представляющих большую опасность и испытывающих высокие нагрузки на протяжении длительного времени, а также развивает междисциплинарные подходы к анализу риска.

Ключевые слова: некорректная задача, оператор, анализ риска, регуляризация, конструкции кранов, вероятность, матрица, вектор-столбец

INCORRECT PROBLEM OF RISK ANALYSIS OF HAZARDOUS OBJECTS OF A METALLURGICAL ENTERPRISE

Izvekov Y.A., Kadchenko S.I., Gracheva L.A., Bobrova I.I., Trofimov E.G.

Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov, Magnitogorsk, e-mail: yurij.izvekov@mail.ru

When analyzing a risk, a quantitative assessment of its probability and an estimate of the expected damage are always of interest. A special place here is occupied by mathematical problems that are incorrect. Academician A. N. Tikhonov proposed a method for solving such problems, which was called regularization methods. They consist in the fact that it is necessary to take into account additional a priori information about the solution of an ill-posed problem and reformulate it so that it becomes correct, as a result of which efficient computational algorithms can be developed. The article gives the statement in the operator form of direct and inverse problems of risk analysis of hazardous objects of a metallurgical enterprise using the example of metallurgical cranes, which pose a great potential hazard during operation. The task of risk analysis was to ensure that the set of elements of the crane design groups, monitoring of which would ensure its safe operation. An example of a calculation based on a priori information from previous studies by the authors is given. It is shown that at the beginning of operation and after fifteen years, it is necessary to control the elements of the third group, and after twenty-five years, the elements of the second group. The proposed approach extends the application of regularization methods to the risk analysis of engineering structures and technical systems that pose a great danger and experience high loads for a long time, and also develops interdisciplinary approaches to risk analysis.

Keywords: ill-posed problem, operator, risk analysis, regularization, crane designs, probability, matrix, column vector

Анализ риска и управление им уже давно являются научным инструментом, который применяется практически везде, где существует потенциальная опасность [1–3]. Многие исследователи пытаются решить задачи риск-анализа, используя нелинейную динамику, теорию катастроф и другие методы и подходы [1–3]. В первую очередь всегда интересуют количественная оценка вероятности риска опасной ситуации и ожидаемого ущерба от нее [3–5]. Особое место здесь занимают математические задачи, которые являются некорректными. Впервые понятие «корректно поставленная задача» было введено Ж. Адамаром в 1923 году [6, 7]. Раньше представлялось, что такие

задачи не имеют никакого практического смысла, однако академик А.Н. Тихонов предложил подход к решению таких задач, который получил название методов регуляризации [1, 6, 7]. Они заключаются в том, что необходимо учесть дополнительную информацию о решении некорректной задачи и переформулировать ее так, чтобы она стала корректной.

Рассмотрим опасные объекты металлургического предприятия, к которым относятся краны, эксплуатирующиеся на всех видах производств, но особенно они представляют опасность на основных производствах: разливке стали, кислородно-конвертерном производстве и др.

Для успешного решения задачи анализа риска необходимо сформулировать прямую и обратную задачи, учесть дополнительную априорную информацию, представить модельный пример ее решения, на основе решения выдать рекомендации для технологических решений.

Материалы и методы исследования

В задачах анализа и управления рисками можно выделить следующие некорректные задачи:

1) задача прогноза, в которой можно прогнозировать будущее состояние системы, исходя из ее настоящего. В данном случае приходится иметь дело с очень большим объемом информации, который не всегда возможно учесть;

2) задачи риск-анализа сложных технических систем, сооружений, которые должны эксплуатироваться в течение длительного времени без аварий и катастроф, потому что они представляют очень большую опасность. В этом случае безопасность элемента, объекта, системы будет определяться большим множеством малых факторов;

3) задачи мониторинга фактического технического состояния опасных объектов и принятия решения в очень короткие сроки. Такие задачи требуют разработки новых подходов.

Сформулируем прямую задачу. Есть модель риска совокупности опасных объектов, которая порождает их безаварийное и аварийное состояние (в частности, авторами рассматривались опасные объекты основных производств металлургического предприятия) [2, 3]. Рассмотрим операторное уравнение:

$$Fm = y, m \in M, y \in Y, \quad (1)$$

где F – оператор преобразует элемент пространства $M(m)$ рассматриваемых объектов и их состояний в пространство риска опасных объектов $Y(y)$.

Решение уравнения (1) является по своей сути неустойчивым по отношению к ошибкам исходных данных оператора F и правой части y , то есть такая задача является некорректной [6, 7]. В самом деле, если мы будем рассматривать большое количество опасных производств металлургического предприятия, то очень сложно вычленишь здесь опасные и неопасные объекты, а также можно потерять определенную информацию, налицо будут ошибки в исходных данных.

Введем строгое определение корректно поставленной задачи по Ж. Адамару [6, 7]:

- 1) уравнение (1) разрешимо для всех $y \in Y$;
- 2) решение единственно;
- 3) решение устойчиво по возмущению правой части.

Под некорректной задачей понимается такая, для которой не выполняется хотя бы одно из перечисленных условий [6, 7].

Обратная задача состоит в вычленинии относительно малых факторов или параметров, элементов, которые влияют на потенциальную опасность таких объектов, с помощью которых могут быть созданы системы мониторинга на сложных технических сооружениях и объектах с целью поддержания такой совокупности объектов в нормальном эксплуатационном состоянии. Тогда:

$$F^{-1}Fm = F^{-1}y, m \in M, y \in Y, \quad (2)$$

$$m = F^{-1}y, m \in M, y \in Y, \quad (3)$$

Неоднозначность решения такой задачи приводит к необходимости определять не искомую модель, а ее приближенные осредненные характеристики. Кроме этого, часто при решении прикладных задач мало информации, наблюдения за объектами ограничены.

Выходом из положения при решении такой задачи может служить применение метода регуляризации Тихонова, когда вводится априорная информация с целью перевода некорректной задачи в корректную, для которой могли быть разработаны эффективные вычислительные алгоритмы.

Результаты исследования и их обсуждение

Проиллюстрируем такой подход на следующем примере. По данным [1–3] введем априорную информацию на совокупности опасных объектов – металлургических кранах. Рассмотрим конструкцию металлургического крана. Его функция заключается в поднимании, перемещении и опускании грузов. Выделим три основные группы элементов такого объекта:

- металлоконструкция моста: пролетные и концевые балки главного и вспомогательного мостов; зоны приварки кронштейнов проходных галерей моста к стенкам балок; нижние пояса балок;

- пролетные балки вспомогательного моста;

- траверса механизма главного подъема: крюки; металлоконструкция траверсы; храповая передача механизма главного подъема: храповое колесо; собачки; оси крепления собачек; прижимные пружины; осевое крепление храпового колеса.

Концептуальная модель риска и вероятностная модель его нагруженности описана в [2, 3].

Концептуальную модель функции качества будем рассматривать в следующем виде:

$$K(t) = f(B(t), H(t), \Xi(t)), \quad (4)$$

где $K(t)$ – функция качества технической системы (объекта, элемента); $B(t)$ – функция безопасности; $H(t)$ – функция надежности; $\Xi(t)$ – функция экономической эффективности.

Тогда обобщающее условие анализа и оценки качества на основе риск-анализа можно записать как:

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_i P_i(t) * U_i(t) \leq [R(t)] = \\ &= \frac{R_c(t)}{n_R} = m_Z Z(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где $R(t)$ – риск – сочетание вероятностей $P_i(t)$ возникновения аварий и катастроф и ущербов $U_i(t)$ от них; n_R – запас по рискам ($n_R \geq 1$); $R_c(t)$ – критический риск; затраты $Z(t)$, связанные с формирующимися рисками $R(t)$; m_Z – коэффициент эффективности затрат ($m_Z \geq 1$); i – рассматриваемые элементы.

Очевидно, что функцию качества технической системы (элемента, объекта) можем представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} K(t) &= \frac{1}{R(t)} = \frac{1}{\sum_i P_i(t) * U_i(t)} \geq [K(t)] = \\ &= \frac{1}{[R(t)]} = \frac{n_R}{R_c(t)} = \frac{1}{m_Z Z(t)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $[K(t)]$ – допускаемый уровень качества. Таким образом, качество будет определяться риском аварии опасного объекта и ожидаемого ущерба от нее.

Предположим, что несущая способность конструкции металлургического крана (опасного объекта) будет оператор F^{-1} в (2) и (3):

F_1^{-1} – несущая способность конструкции нормальная (надежность всех элементов больше или равна 0,841);

F_2^{-1} – несущая способность конструкции предельно допустимая (надежность всех элементов больше или равна 0,479);

F_3^{-1} – несущая способность конструкции катастрофическая (надежность всех элементов меньше или равна 0,250).

Тогда можно записать, что несущая способность конструкции металлургического крана (опасного объекта) подчинена:

$$F^{-1} = F(\bar{F}_1^{-1}; \bar{F}_2^{-1}; \bar{F}_3^{-1}). \quad (7)$$

Используя априорные данные численных и расчетных данных количества циклов,

напряжений и деформаций, а также предложенный метод исследования, представим динамику несущей способности конструкции металлургического крана, состоящего из трех основных групп элементов [3–5].

Матрицу оператора F^{-1} несущей способности конструкции представим в виде таблиц 1–3:

Таблица 1

Несущая способность
в начале эксплуатации

| F_1^{-1} | F_2^{-1} | F_3^{-1} |
|------------|------------|------------|
| 0,8410 | 0,1090 | 0,0500 |
| 0,3710 | 0,4790 | 0,1500 |
| 0,2500 | 0,5000 | 0,2500 |

Таблица 2

Несущая способность
через 15 лет эксплуатации

| F_1^{-1} | F_2^{-1} | F_3^{-1} |
|------------|------------|------------|
| 0,4257 | 0,4855 | 0,0889 |
| 0,4568 | 0,3539 | 0,1894 |
| 0,4425 | 0,3200 | 0,2375 |

Таблица 3

Несущая способность
через 25 лет эксплуатации

| F_1^{-1} | F_2^{-1} | F_3^{-1} |
|------------|------------|------------|
| 0,3157 | 0,2959 | 0,3883 |
| 0,3154 | 0,2935 | 0,3911 |
| 0,3156 | 0,2946 | 0,3898 |

Зададим вектор-столбец риска опасного объекта по материалам [2, 3]:

$$Y = \begin{pmatrix} 0,1590 \\ 0,5210 \\ 0,7500 \end{pmatrix}.$$

Применив методы линейной алгебры, получим вектор-столбцы для рассматриваемых групп элементов конструкции металлургического крана (объекта):

$$M_0 = \begin{pmatrix} 0,2280 \\ 0,4210 \\ 0,4878 \end{pmatrix}; \quad 15$$

$$M_{15} = \begin{pmatrix} 0,3873 \\ 0,3991 \\ 0,4152 \end{pmatrix};$$

$$M_{25} = \begin{pmatrix} 0,4956 \\ 0,4964 \\ 0,4960 \end{pmatrix},$$

где M_0 , M_{15} , M_{25} – вероятности элементов опасного объекта, на которые следует обратить внимание в начале эксплуатации, через 15 и 25 лет соответственно. Так, видим, что необходимо в начале эксплуатации и через 15 лет обратить внимание на элементы третьей группы, через 25 лет – на элементы второй группы. Следовательно, особое внимание нужно уделять траверсе механизма главного подъема, крюкам, металлоконструкции траверсы, храповой передаче механизма главного подъема, храповому колесу и собачкам, оси крепления собачек, прижимным пружинам, осевому креплению храпового колеса, металлоконструкции балок моста. Полученные данные хорошо согласуются со статистическими [1–3], что говорит о правильности такого подхода.

Заключение

Количественная оценка анализа риска опасного объекта в процессе эксплуатации сводится либо к экстраполяции его настоящего технического состояния в прогнозе в будущем, либо к оценке текущей ситуации, либо к оценке относительно незаметных, малых параметров или элементов, которые в процессе длительной эксплуатации могут оказать очень существенное влияние на его безопасность. Даже небольшое возмущение с их стороны может привести к катастрофическим проблемам. Все такие задачи являются некорректными.

Предложенный подход к применению метода регуляризации для оценки анализа параметров опасных объектов, которые могут повлиять на его безопасность с учетом дополнительной априорной информации, расширяет возможности метода регуляризации А.Н. Тихонова и создает большое потенциальное поле для исследований. Математических примеров решений некорректных задач много, а качественных, модельных, имеющих реальное применение, как, например, анализ риска опасного объекта или сооружения, на сегодняшний день недостаточно. Для приведенной задачи вычислительный алгоритм становится достаточно эффективным, значительно упроща-

ется, хотя при этом необходимо учитывать величину ошибки.

Основные проблемы, которые здесь возникают, – выбор пространства групп элементов, которые являются определяющими для опасного объекта в процессе эксплуатации, и выбор пространства вероятностей риска.

Таким образом, создание решения большого класса некорректных задач в анализе риска опасных объектов металлургического предприятия обратных задач и их решение позволят оценивать и осуществлять мониторинг основных групп элементов конструкций опасных объектов, принимать правильные научно-технологические и управленческие решения с целью снижения их аварийности.

Модели принятия решений оценки качества оборудования будут включать стратегию управления риском и оценку экономической эффективности от эксплуатации объекта металлургического предприятия как составляющих его качеств.

По [1–3] могут быть предложены следующие модели принятия решений: модель гарантированной надежности, модель штатных аварий, модель идеального мониторинга.

Модель гарантированной надежности – это тот случай, когда опасный объект (металлургический кран), отработавший гарантийный срок эксплуатации, более не эксплуатируется. Достоинством такой модели является то, что не нужен мониторинг. Недостаток заключается в том, что время до аварии может быть маленьким, собственник может отказаться от эксплуатации, хотя на самом деле объект может находиться в работоспособном состоянии.

В модели штатных аварий при проектировании опасных объектов обязательно учитываются так называемые штатные, или нормальные, аварии.

В этом случае, если хорошо отработана система технического обслуживания (вероятность $p > 1/2$), аварии можно избежать. Управление риском в этом случае сводится к выбору режима технического обслуживания и проектного срока эксплуатации.

В модели идеального мониторинга в критической ситуации нужно будет просто прекратить эксплуатацию крана. Такая высокоэффективная система мониторинга предполагает достаточно серьезные затраты.

Совместное решение некорректной задачи анализа риска опасных объектов металлургического предприятия и предложенные модели могут существенно повысить эффективность их эксплуатации.

При использовании предложенного подхода представляется возможным построение вероятностных моделей для опасных объектов, группы объектов, сложной системы объектов (металлургическое предприятие), связывающих их свойства и вероятность их отказа, ведущего к аварии. Свойства таких систем изменяются с течением времени. Диагностика и мониторинг фиксируют эти изменения.

Список литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высоко-рисковых объектов. М.: МГФ «Знание», 2015. 600 с.
2. Извеков Ю.А. Стандартизация оценки качества специальных металлургических кранов на основе конструктивного риск-анализа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23. № 2. С. 37-41.
3. Извеков Ю.А. Научно-методическая база оценки качества технических систем металлургического предприятия // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. № 2. С. 98-102. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-2-98-102.
4. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство Перевод с английского четвертого издания от июня 2008 г. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. 282 с.
5. ГОСТ Р 27.303-2021. Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов.
6. Сумин М.И. Метод регуляризации А.Н. Тихонова для решения операторных уравнений первого рода: учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. 56 с.
7. Адамар Ж. Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа. М.: Наука, 1978. 352 с.

УДК 519.87:004.052.2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДОБЕШИ В ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ПОЛЯХ ГАЛУА

Калмыков И.А., Чистоусов Н.К., Калмыков М.И., Духовный Д.В., Юрданов Д.В.
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, e-mail: kia762@yandex.ru

Для обеспечения широкополосного доступа в низкоорбитальных системах спутникового интернета (НССИ) предлагается использовать технологию OFDM. Выбор данной технологии беспроводной передачи обусловлен тем, что применение метода ортогонального частотного мультиплексирования позволяет обеспечить высокоскоростную передачу данных в каналах с многолучевым распространением и замиранием сигналов. Это достигается за счет использования быстрого преобразования Фурье (БПФ). Дальнейшее увеличение скорости передачи информации в системах OFDM возможно за счет применения дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) вместо БПФ при цифровой обработке сигналов (ЦОС). В этом случае сигнал OFDM будет иметь более низкий уровень боковых лепестков. А это позволит более эффективно использовать радиочастотный спектр, применяя технологию МИМО. Кроме того, применение целочисленного ДВП (ЦДВП) Добеши в GF(M) способствует увеличению скорости преобразования сигналов за счет замены арифметических операций умножения, сложения и вычитания на операции выборки результатов вычисления из LUT-таблиц. Поэтому разработка математических моделей реализации ЦДВП Добеши в полях Галуа, использование которых уменьшит временные затраты на обработку сигналов и увеличит скорость передачи информации в системах НССИ, можно отнести к актуальным задачам.

Ключевые слова: системы с ортогональным частотным мультиплексированием, дискретные вейвлет-преобразования, ортогональное преобразование сигналов, конечные поля Галуа

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00036, <https://rscf.ru/project/23-21-00036/>.

MATHEMATICAL MODELS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DOBESHI WAVELET TRANSFORM IN INTEGER GALOIS FIELDS

Kalmykov I.A., Chistousov N.K., Kalmykov M.I., Dukhovnyy D.V., Yurdanov D.V.
North-Caucasian Federal University, Stavropol, e-mail: kia762@yandex.ru

To provide broadband access in low-earth satellite Internet systems (LEISIS), it is proposed to use OFDM technology. The choice of this wireless transmission technology is due to the fact that the use of the orthogonal frequency multiplexing method makes it possible to provide high-speed data transmission in channels with multipath propagation and signal fading. This is achieved by using the Fast Fourier Transform (FFT). To increase the signal transmission rate in OFDM systems, it is proposed to perform orthogonal signal transformations based on the Daubechies discrete wavelet transform (DWT) implemented in finite Galois fields GF(M). In this case, the OFDM signal will have a lower level of side lobes. And this will allow more efficient use of the radio frequency spectrum, using MIMO technology. In addition, the use of the Daubechies integer DWT makes it possible to increase the signal processing speed by replacing the arithmetic operations of multiplication, addition, and subtraction with the operations of retrieving calculation results from LUT tables. Therefore, the development of mathematical models for the implementation of Daubechies DWT in Galois fields, the use of which will reduce the time spent on signal processing and increase the speed of information transmission in NSSI systems, can be attributed to urgent tasks.

Keywords: systems with orthogonal frequency multiplexing, discrete wavelet transforms, orthogonal transformation of signals, finite Galois fields

Построение современного общества невозможно представить без использования информационных технологий (ИТ). Особое место среди ИТ занимает информационно-коммуникационная сеть Интернет. Поэтому в настоящее время государством решается проблема предоставления ресурсов интернета всем гражданам нашей страны. Решить данную проблему возможно за счет создания низкоорбитальных систем спутникового интернета (НССИ). В настоящее время функционирует такая система – StarLink, группировка которой содержит более 2000 спутников [1, 2]. Для обеспечения широкополосного доступа в интернет в беспроводных системах широко исполь-

зуется технология OFDM. Основные достоинства данной технологии определяются благодаря алгоритмам быстрого преобразования Фурье (БПФ) и обратного БПФ [3]. Для повышения спектральной эффективности систем OFDM в работах [4, 5] предлагается вместо БПФ использовать дискретные вейвлет-преобразования (ДВП). Однако коэффициенты ДВП представляют собой иррациональные числа, что приводит к накоплению ошибок округления. Устранить данные недостатки можно за счет использования целочисленных дискретных вейвлет-преобразований (ЦДВП), реализуемых в полях Галуа. При этом применение табличной реализации арифметических опе-

раций в ЦДВП позволит повысить скорость ортогональных преобразований сигналов в системах, использующих технологию OFDM. Поэтому создание математических моделей ЦДВП Добеши в полях Галуа, использование которых позволит снизить временные затраты на цифровую обработку сигналов и увеличить скорость передачи информации в системах НССИ, можно отнести к актуальным задачам.

Использование БПФ и ОБПФ позволяет увеличить спектральную эффективность беспроводных систем OFDM. Однако данные ортогональные преобразования сигналов имеют относительно большой уровень боковых лепестков спектра OFDM сигнала. Замена процедур БПФ и ОБПФ на целочисленные дискретные вейвлет-преобразования (ЦДВП), выполняемые в поле Галуа, позволит уменьшить уровень боковых лепестков, а также повысить скорость обработки сигналов за счет использования LUT-таблиц при вычислениях. Цель статьи – увеличение скорости цифровой обработки сигналов в системах OFDM за счет применения разработанных матмоделей ЦДВП, которые реализуются в полях Галуа.

$$S(x) = \sum_k a_{j_0}(k) \varphi_{j_0,k}(x) + \sum_{j=j_0}^{+\infty} \sum_k d_j(k) \psi_{j,k}(x). \quad (2)$$

В этом случае коэффициенты имеют вид

$$a_{j_0}(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_x S(x) \varphi_{j_0,k}(x), \quad d_j(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_x S(x) \psi_{j,k}(x), \quad (3)$$

где N – число отсчетов $S(x)$; $k = 0, 1, \dots, N-1$.

Известно, что ДВП успешно используются в кратномасштабных анализах сигналов, что показано в [6–8]. Это связано с тем, что ДВП локализованы как во временной, так и в частотной областях. Именно данное свойство послужило отправной точкой применения ДВП в системах OFDM. Однако, несмотря на данные достоинства, ДВП не позволяют достичь предельно возможного уровня скорости передачи информации. Это связано с тем, что коэффициенты ДВП представляют собой иррациональные числа. Из-за этого увеличивается время на реализацию операций умножения, а также происходит накопление ошибок округления. Одним

Материалы и методы исследования

Предложение о замене ортогональных преобразований сигналов в системах OFDM основано на том, что вейвлет-преобразования (ВП) исходного сигнала $S(x)$ во многом соответствуют преобразованию Фурье, использующему оконную функцию $w(x-a)$ [6, 7]. При этом ВП, используя базисную функцию $\psi_{(a,b)}(x)$, определяется следующим равенством:

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} S(x) \psi_{(a,b)}^*(x) dx. \quad (1)$$

В системах OFDM вместо БПФ и ОБПФ предлагается использовать ДВП, которые позволяют снизить искажения сигнала $S(x)$ при выполнении обратного преобразования, а также уменьшить избыточность, которая присуща ВП [8, 9]. Тогда входной сигнал можно представить в виде суммы двух функций $\varphi(x)$ и $\psi(x)$. Первая функция является масштабирующей, а вторая – вейвлет-функцией. При этом используются соответствующие коэффициенты. При масштабирующей функции $\varphi(x)$ применяются коэффициенты приближения $a_{j_0}(k)$, при функции $\psi(x)$ – вейвлет-коэффициенты $d_j(k)$. Тогда имеем

из перспективных подходов, позволяющим устранить данный недостаток, является переход к целочисленным дискретным вейвлет-преобразованиям, реализуемым в полях Галуа. Данные ЦДВП, обладая свойствами ДВП, могут обеспечить повышение скорости обработки сигналов за счет использования табличной организации вычислений. В этом случае операции сложения, вычитания и умножения отсчетов входного сигнала на коэффициенты ЦДВП заменяются операциями выборки из LUT-таблиц. Для целочисленных дискретных вейвлет-преобразований, выполняемых в поле Галуа $GF(M)$, базисные функции будут определяться

$$\psi_{(a,b)}(x) \bmod M = \left(\left| \frac{1}{\sqrt{a}} \right|_M^+ \left| \psi \left(\frac{x-b}{a} \right) \right|_M^+ \right) \bmod M. \quad (4)$$

где $\psi(x)$ – вейвлет-функция.

Для восстановления входного сигнала $S(x)$ необходимо выполнить обратное ЦДВП. В этом случае реализуется выражение

$$S(x) \bmod M = \left\| \sum_k a_{m,k} \varphi_{m,k}(x) \right\|_M^+ + \left\| \sum_{m=1}^L \sum_k d_{m,k} \psi_{m,k}(x) \right\|_M^+ \quad (5)$$

где L – высший уровень разложения ЦДВП.

В настоящее время широкое распространение получили ДВП Добеши [7–9]. Такой выбор определяется свойствами данного ДВП. Во-первых, ДВП Добеши присуще свойство гладкости. Во-вторых, данное ДВП имеет компактный носитель, обладающий свойством ортогональности. В-третьих, ДВП Добеши использует две функции – масштабирующую и вейвлет-функцию. Поэтому вычисление ДВП Добеши может быть организовано с банка фильтров, используя быстрый алгоритм вычисления ДВП. Рассмотрим выполнение ДВП Добеши-4 в $GF(M)$. Известно, что данное преобразование использует коэффициенты вида

$$\left\{ c_1 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, c_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, c_3 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, c_4 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \right\} \quad (6)$$

Для реализации ДВП в конечном поле умножим данные числа на коэффициент масштабирования B и возьмем целую часть результата. Это позволяет представить коэффициенты Добеши в виде элементов поля $GF(M)$. При реализации ЦДВП Добеши-4 в $GF(M)$ при поступлении вектора, состоящего из восьми отсчетов, получаем следующие аппроксимирующие коэффициенты:

$$\begin{aligned} S(0) &= a_1^* = (s(0)c_1^* + s(1)c_2^* + s(2)c_3^* + s(3)c_4^*) \bmod M, \\ S(2) &= a_2^* = (s(2)c_1^* + s(3)c_2^* + s(4)c_3^* + s(5)c_4^*) \bmod M, \\ S(4) &= a_3^* = (s(4)c_1^* + s(5)c_2^* + s(6)c_3^* + s(7)c_4^*) \bmod M, \\ S(6) &= a_4^* = (s(0)c_3^* + s(1)c_4^* + s(6)c_1^* + s(7)c_2^*) \bmod M, \end{aligned} \quad (7)$$

где $c_i^* = \lfloor Bc_i \rfloor \bmod M$, где B – коэффициент масштабирования; $i = 1, 2, 3, 4$. Тогда детализирующие коэффициенты ДВП Добеши-4 в конечном поле

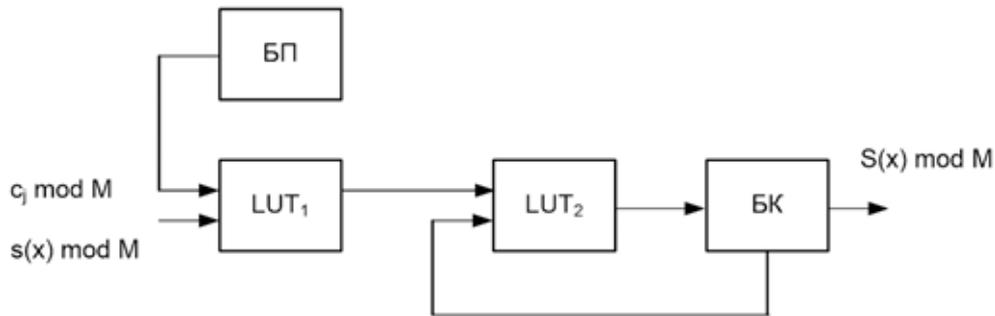
$$\begin{aligned} S(1) &= d_1^* = (s(0)c_4^* - s(1)c_3^* + s(2)c_3^* - s(3)c_4^*) \bmod M, \\ S(3) &= d_2^* = (s(2)c_4^* - s(3)c_3^* + s(4)c_3^* - s(5)c_4^*) \bmod M, \\ S(5) &= d_3^* = (s(4)c_4^* - s(5)c_3^* + s(6)c_3^* - s(7)c_4^*) \bmod M, \\ S(7) &= d_4^* = (s(0)c_2^* - s(1)c_1^* + s(6)c_4^* - s(7)c_3^*) \bmod M. \end{aligned} \quad (8)$$

Так как часть коэффициентов Добеши-4 представляет собой отрицательные числа, то предлагается весь диапазон элементов поля Галуа $GF(M)$ разделить. Первый диапазон располагается от нуля до $(M+1)/2$. В данном диапазоне размещаются положительные числа. Второй диапазон поля Галуа предназначен для записи отрицательных результатов.

Анализ работ [6–9] показывает, что при вычислении ДВП используются банки фильтров, представляющих собой набор НЧ и ВЧ фильтров, импульсная характеристика определяется коэффициентами ДВП. Одна-

ко данный метод вычисления ДВП имеет существенный недостаток – относительно низкую скорость получения аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов. Это связано с необходимостью проведения децимации сигналов. Устранить данный недостаток позволяет структурная модель базовой операции ДВП Добеши в $GF(M)$, которая показана на рисунке.

Так как в качестве входных отсчетов и коэффициентов Добеши используются элементы поля Галуа, то для выполнения арифметических операций умножения, сложения и вычитания использовать LUT-таблицы.



Структурная модель базовой операции ДВП Добеши в $GF(M)$

Первая LUT-таблица предназначена для выполнения операции умножения входного отсчета $s(x)$ на соответствующий коэффициент ДВП в поле

$$c_i^* = \lfloor Bc_i \rfloor \bmod M,$$

где B – коэффициент масштабирования; $i = 1, 2, 3, 4$.

Коэффициенты для всех умножителей хранятся в блоке памяти (БП). Вторая LUT-таблица предназначена для выполнения операции сложения по модулю M . При этом используется блок коммутации (БК). Данное устройство работает в течение L тактов, где L – порядок ДВП Добеши.

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки эффективности применения разработанных моделей ДВП Добеши в полях Галуа был произведен сравнительный анализ с БПФ. В работе [10] показано, что в системе спутникового интернета StarLink применяются сигналы OFDM, поддерживающие 64 QAM. В системе OFDM применяется 64 QAM. Значит, размерность входного сигнала $s(x)$, поступающего на вход модуляторов, составляет 8 бит. Пусть сигнал OFDM имеет общее число поднесущих, равное 52, из которых 48 поднесущих используется для передачи данных. В этом случае для генерации сигнала необходимо использовать 64-точечное БПФ. Тогда для вычисления БПФ необходимо выполнить 6 итераций базовой операции «бабочка». При этом каждая такая операция требует умножения двух комплексных чисел, а также их сложения и вычитания. В этом случае для реализации базовой операции «бабочка» необходимо выполнить 4 операции умножения и 6 операций сложения.

Рассмотрим выполнение ДВП Добеши-4 с использованием 8-разрядных входных данных. Представим коэффициенты ДВП в виде целых чисел. Для этого вос-

пользуемся коэффициентом масштабирования $B = 256$. В результате получаем следующие коэффициенты, представленные в двоичном коде.

Таблица 1

Коэффициенты ДВП Добеши-4

| Коэффициенты Добеши-4 | $B = 256$ | Двоичный код |
|-----------------------|-----------|--------------|
| $c_1 = 0,683027$ | 174 | 0010101110 |
| $c_2 = 1,1830127$ | 302 | 0100101110 |
| $c_3 = 0,3169873$ | 81 | 0001010001 |
| $c_4 = -0,1830127$ | -46 | 1111010001 |

Пусть на вход поступают первые четыре отсчета $s(x) = \{176, 52, 12, 23, \dots\}$. Найдем для данных отсчетов аппроксимирующий коэффициент

$$a_1 = s(0)c_1 + s(1)c_2 + s(2)c_3 + s(3)c_4 = 46242.$$

В этом случае детализирующий коэффициент будет равен

$$d_1 = s(0)c_4 - s(1)c_3 + s(2)c_3 - s(3)c_4 = -12686.$$

После полученный результат можно сдвинуть вправо на восемь разрядов. В результате имеем значения аппроксимирующего и детализирующих коэффициентов, если бы вычисления происходили в позиционной системе счисления.

Рассмотрим выполнение ДВП Добеши-4, представленное в поле Галуа. В качестве характеристики поля Галуа выбираем простое число $M = 262147$. Данное значение числа выбрано из условия, что положительные результаты не должны превысить первый диапазон элементов поля, который размещается от 0 до 131073. При этом отрицательные результаты должны находиться во втором диапазоне. В табл. 2 представлены значения коэффициентов Добеши-4, приведенные в поле $GF(262147)$.

Таблица 2

Коэффициенты ДВП Добеши-4
в поле $GF(262147)$

| Коэффициенты Добеши-4 | $B = 256$ | Коэффициенты Добеши-4 в поле $GF(262147)$. |
|-----------------------|-----------|---|
| $c_1 = 0,683027$ | 174 | $c_1^* = 174$ |
| $c_2 = 1,1830127$ | 302 | $c_2^* = 302$ |
| $c_3 = 0,3169873$ | 81 | $c_3^* = 81$ |
| $c_4 = -0,1830127$ | -46 | $c_4^* = 262101$ |

Найдем для исходных четырех отсчетов аппроксимирующий коэффициент.

$$a_1 = (s(0)c_1^* + s(1)c_2^* + s(2)c_3^* + s(3)c_4^*) \bmod M = |46242|_{262147}^+ = 46242.$$

Так как $a_1 < M/2$, то результат считается положительным. Тогда детализирующий коэффициент в $GF(262147)$ будет равен

$$d_1 = (s(0)c_4^* - s(1)c_3^* + s(2)c_2^* - s(3)c_1^*) \bmod M = 249461.$$

Так как $d_1 > M/2$, то коэффициент является числом отрицательным. Получаем, что

$$d_1 = 249461 - 262147 = -12686.$$

Таблица 3

Временные затраты на ортогональные преобразования сигналов

| Разработанные математические модели | | | Операция «бабочка» | БПФ |
|-------------------------------------|----------|----------|--------------------|--------|
| Добеши-4 | Добеши-6 | Добеши-8 | | |
| 240 нс | 360 нс | 480 нс | 84 нс | 468 нс |

Результаты, полученные в позиционной системе счисления и в конечном поле Галуа совпали. Для проведения сравнительной оценки временных затрат на выполнение ортогонального преобразования сигналов с использованием БПФ и ДВП в конечных полях использовался метод RTL – моделирования работы ПЛИС. В качестве ПЛИС выбрана Kintex UltraScale xcku025-ffva1156-1. Программирование и исследование проводилось с помощью САПР Xilinx Vivado-HLS 2018. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Полученные данные показывают, что использование разработанных математических моделей выполнения ДВП Добеши в конечном поле Галуа позволяет сократить время выполнения ортогонального преобразования сигналов. Так, при применении разработанной математической модели ДВП Добеши-6 время выполнения ортогонального преобразования сигналов сократилось по сравнению со временем реализации БПФ в 1,3 раза. А при использовании

модели ДВП Добеши-4 временные затраты уменьшились в 1,95 раза. Таким образом, применение разработанных моделей ДВП Добеши в конечных полях приведет к сокращению временных затрат на генерацию сигнала OFDM. А это в свою очередь приведет к повышению скорости передачи информации в низкоорбитальных системах спутникового интернета.

Заключение

Для повышения скорости передачи информации в НССИ было предложено сократить временные затраты на генерацию сигнала OFDM за счет изменения вида ортогональных преобразований сигналов. В статье приведены математические модели выполнения ЦДВП Добеши в полях Галуа, применение которых позволяет сократить время выполнения ортогонального преобразования сигналов по сравнению с БПФ. Результаты исследования показали, что при применении математической модели ЦДВП Добеши 6 время выполнения

ортогонального преобразования сигналов сократилось по сравнению со временем реализации БПФ в 1,3 раза. А при использовании модели ДВП Добеши 4 – в 1,95 раза. Таким образом, очевидно, что использование разработанных моделей ДВП Добеши в конечных полях уменьшает временные затраты на генерацию сигнала OFDM, что способствует повышению скорости передачи информации в НССИ.

Список литературы

1. McDowell J.C. The Low Earth Orbit Satellite Population and Impacts of the SpaceX Starlink Constellation. *The Astrophysical Journal Letters*. 2020. Vol. 892. P. 10–15. DOI: 10.3847/2041-8213/ab8016.
2. Dang T., Li X., Luo B. Unveiling the Space Weather During the Starlink Satellites Destruction Event on 4 February 2022. *Space Weather*. 2022. Vol. 20. Is. 8. DOI: 10.1029/2022SW003152.
3. Hans-Georg Stark *Wavelets and signal processing*. Springer International Publishing Switzerland. 2019. 254 p.
4. Enggar Fransiska D.W. Design and Performance Investigation of Discrete Wavelet Transform (DWT) Based OFDM Using 4-PAM for Indoor VLC System. 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT). 2019. DOI: 10.1109/ICoICT.2019.8835217.
5. Chafii M., Harbi Y.J., Burr A.G. Wavelet-OFDM vs. OFDM: Performance Comparison. 23rd International Conference on Telecommunications (ICT) 2016. DOI: 10.1109/ICT.2016.750046.
6. Шоберг А.Г. Современные методы обработки изображений: модифицированное вейвлет-преобразование. Хабаровск: Издательство Тихоокеанского государственного университета, 2014. 125 с.
7. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 3-е изд., доп. М.: Техносфера, 2012. 427 с.
8. Петров Г.А., Шуранов Е.В. Практика использования вейвлет-анализа в дефектоскопии: учебное пособие. СПб.: Балтийский государственный технический университет, 2019. 123 с.
9. Mohamed H.M. A review of the transformation techniques in the OFDM system. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 176–193.
10. Пехтерев С.В., Макаренко С.И., Ковальский А.А. Описательная модель системы спутниковой связи Starlink // Системы управления, связи и безопасности (Systems of Control, Communication and Security). 2022. № 4. С. 190–255. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-4-190-255.

УДК 004:001.891.573

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ В МОДЕЛЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лебедев В.И.*Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, e-mail: victorlebedev2013@yandex.ru*

Изучаются динамические процессы эволюции и развития в моделях ряда социально-экономических систем. Используются модели в виде систем динамических, нелинейных, дифференциальных уравнений для важных параметров. Изучены процессы как эволюционного развития социально-экономических систем, так и процессы бифуркаций, хаоса в самоорганизации в системах в области катастроф. Проведён анализ с помощью синергетических моделей элементарных катастроф: «складка», «сборка», «ласточкин хвост». Изучены бифуркационные диаграммы и сценарии поведения нелинейных систем высокого порядка нелинейности вплоть до элементарной катастрофы «ласточкин хвост». Предложен метод стабилизации «мягких моделей» введением обратной связи. Метод «мягкого моделирования» предотвращает разрушение моделей в процессе оптимизации. Обсуждены способы верификации моделей социально-экономических систем с целью возможного управления ими. Показано, что особенность бифуркационных диаграмм систем состоит в наличии волн продуктивности иногда с разделёнными областями с различными темпами эволюции. Обнаружены процессы обязательной цикличности зарождения более адекватного сообществу социального и экономического порядка. Хаос становится инструментом разрушения старых структур и порождением упорядоченностей в структуре и экономике общества. Задача управления заключается в выборе оптимальной стратегии. Оптимальная стратегия описывается целевой функцией и ее оптимумом. Метод динамического программирования обеспечивает оптимальность решения развития общества. Проведён анализ цикличности социально-экономических показателей.

Ключевые слова: социально-экономические системы, регулярное и хаотическое развитие, бифуркационный анализ, мягкие модели, динамика развития, оптимальное управление развитием, циклическое развитие

DEVELOPMENT MANAGEMENT IN MODELS OF DYNAMIC SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Lebedev V.I.*North Caucasus Federal University, Stavropol, e-mail: victorlebedev2013@yandex.ru*

Dynamic processes of evolution and development in models of a number of socio-economic systems are studied. Models in the form of systems of dynamic, nonlinear, differential equations for important parameters are used. The processes of both the evolutionary development of socio-economic systems and the processes of bifurcations, chaos in self-organization in systems in the field of disasters are studied. The analysis was carried out using synergetic models of elementary catastrophes: “fold”, “assembly”, “swallow tail”. Bifurcation diagrams and scenarios of behavior of nonlinear systems of high order of nonlinearity up to the elementary catastrophe “swallow tail” are studied. A method of stabilizing “soft models” by introducing feedback is proposed. The method of “soft modeling” prevents the destruction of models in the optimization process, ways of verifying models of socio-economic systems for the purpose of possible management of them are discussed. It is shown that the peculiarity of bifurcation diagrams of systems consists in the presence of productivity waves sometimes with separated regions with different rates of evolution. The processes of obligatory cyclist of the emergence of a more adequate social and economic order to the community are revealed. Chaos becomes a tool for the destruction of old structures and the generation of orderliness in the structure, ideology and economy of society. The task of management is to choose the optimal strategy. The optimal strategy is described by the objective function and its optimum. The dynamic programming method ensures optimal solutions for the development of society. The analysis of the cyclist of socio-economic indicators was carried out.

Keywords: socio-economic systems, regular and chaotic development, bifurcation analysis, dynamic of evolution, soft models, optimal development management, cyclical development

Социально-экономические системы (СЭС) в условиях рынка являются открытыми, неравновесными и активно взаимодействующими друг с другом экономической, социальной, экологической и т.д. подсистемами. Обмен финансами, ресурсами, информацией приводит, как правило, к изменению параметров систем, например социальной структуры, производственных и трудовых ресурсов, что ведёт к неустойчивости СЭС. Этот процесс иногда приводит к структурным изменениям и образованию новой организации и способа функционирования систем [1-3]. Для изуче-

ния прогнозов изменений в СЭС естественно использование различных математических методов [4-6]. Одним из них является метод имитационных динамических моделей, основанный на использовании систем обыкновенных дифференциальных уравнений для описания основных переменных. Однако число уравнений, необходимое для описания СЭС, достигает десятки и сотни. Совокупность уравнений и соотношений, связывающих сложные комплексы экономических, социальных и политических взаимоотношений в обществе, а также описание взаимодействия общества с окру-

жающей средой и другими СЭС составляют искомую имитационную модель. В современном мире многие государства являются федеративными республиками, имеющими свои законы, налоги и правительства. Поэтому следует считать динамические модели СЭС как систему социально-экономических структур [5; 7; 8].

В характере развития СЭС, наряду с эволюционным развитием, возникают процессы катастрофических, хаотических, революционных изменений, сопровождающихся сменами социальных структур и систем управления. Как правило, катастрофические изменения различных типов, приводящие к хаосу, в последующие моменты переходят к самоорганизации новых оптимальных структур. Встаёт задача понимания этих сложных, нелинейных процессов в СЭС и управления ими. Для возможности сознательного воздействия на развитие СЭС их модели должны быть управляемыми и включать в себя процессы принятия решений, дающих возможности изменения политических, экономических, экологических и других структур. Оптимально управление динамическими СЭС с помощью имитационных моделей должно показывать переходные процессы, приводящие к эволюционному движению без катастроф к новым желаемым структурам [1; 7; 8].

Материалы и методы исследования

Пусть состояния СЭС характеризуются n -мерным вектором \bar{x} , компоненты которого являются основными, существенными переменными, характеризующими состояние системы, и k -мерным вектором управляющих параметров \bar{c} , компоненты которого влияют на поведение \bar{x} . Введём скорость изменения состояния \bar{x} ,

$$\frac{d\bar{x}_i}{dt} = f(\bar{x}, \bar{c}, i) = x_i^+ - x_i^- + z_i^-, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, N$, и N – число регионов в СЭС, балансовые векторы x_i^+ и x_i^- учитывают члены увеличения и замедления скорости изменения вектора \bar{x}_i , то есть $f(\bar{x}, \bar{c}, i)$ и z_i^- – учёт влияния границ на i -участке СЭС. При малых отличиях в соседнем участке он может быть заменён на производную $\partial z_i / \partial x$, учитывающую степень влияния границ. Решение задачи Коши для нелинейных систем (1) с необходимостью должно иметь огромное количество начальных данных для: производственных, финансовых, социальных, экологических и т.д. параметров. Даже для малых прогнозных интервалов это приводит к трудно проверяемым результатам [4-6]. Встают вопро-

сы их решения, моделирования процессов и управления ими. Задача управления динамическими моделями СЭС имеет смысл при плавном эволюционном развитии, когда параметры системы можно считать квазистатическими. Примеры исследования таких задач рассматривались нами ранее для рынков конкурирующих производств, финансовых структур, рынков трудовых ресурсов [1-3], а для рынков производства с учётом экологических проблем исследованы в работах [5; 8]. Такие условия реализуются вблизи квазиравновесных состояний систем, которые определяются соотношением в точке с нулевой скоростью $f(\bar{x}, \bar{c}, i)$

$$f(x(c), c, i) = 0. \quad (2)$$

При управляющем параметре \bar{c}_i однозначное разрешение уравнения стационарности (2) даёт кривую равновесных состояний систем $\bar{x}_i = \bar{x}_i(\bar{c}_i)$. Однако при нарушении условий разрешимости уравнения стационарности в точке (x_{0i}, c_{0i}) возможно появление новых стационарных ветвей решения в фазовом пространстве, т.е. происходит катастрофа бифуркации кривых равновесия [1; 4; 5]. Скорость изменения параметров систем определяется функцией $f(x(c), c, i)$, значение которой можно искать в градиентном приближении, введя синергетический потенциал для СЭС в виде $U_i(x_i, \bar{c}_i)$ уравнением (3) [1]. Выразим скорость изменения вектора параметров СЭС через синергетический потенциал СЭС с помощью уравнения

$$\frac{d\bar{x}_i}{dt} = f(x(c), c, i) = -\frac{\partial U_i(\bar{x}_i, \bar{c}_i)}{\partial x_i}. \quad (3)$$

На структурно неустойчивой фазовой траектории возможно появление в области новых критических точек катастроф трудностей с управлением СЭС [5-7]. Как показывает численное моделирование решения уравнения (3), возникающие хаотические бифуркации на неустойчивой ветви перемежаются периодами гладкого эволюционного развития систем [1; 4; 5]. Система уравнений (1)–(3) является основной в дальнейшем исследовании имитационных моделей.

Модели систем и функции управления

Локальные функции управления могут быть использованы для следующих целей: достижение экономической оптимизации в регионах на краткосрочную перспективу; достижение политических и экономических целей. При моделировании СЭС важным является определение цели её функционирования и возможность выбора показателя

эффективности при различных вариантах принятия решения. Задача управления заключается в определении оптимальной стратегии развития СЭС. Оптимальная стратегия вполне описывается целевыми функциями и их оптимумами. Метод динамического программирования при решении уравнений развития СЭС обеспечивает оптимальность решения, что следует из принципа оптимальности Беллмана [4].

Модель динамической СЭС, определяемая уравнениями (1) – (3), является многопараметрической. Существенные для описания представленной модели параметры, определяющие целевую функцию, неоднородны. Для реальных СЭС количество существенных переменных различного типа и сложности достигает несколько десятков или сотен. Работать с моделями столь большой параметрической размерности практически невозможно. Поэтому одной из сложных и необходимых задач представляется выбор минимального количества «грубых» функций или «параметров порядка», которые не реагируют на мелкие флуктуации и потому приемлемы для функций описания динамических СЭС и управления ими в квазистатическом режиме. Логично принять грубыми элементами используемые основные макроэкономические, социальные и экологические категории. Отбор параметров модели можно проводить методом экспертной оценки [7; 8]. Для экономических моделей в качестве основы можно использовать такие параметры, как общий объем валового продукта, параметры производственных, финансовых и трудовых ресурсов. Для социальных, экологических подсистем это другой набор параметров порядка, использованных нами ранее [1-3].

Проблемы устойчивости решений

Можно выделить два аспекта в исследованиях динамических моделей СЭС: проблемы устойчивости и проблемы качества решения нелинейной системы уравнений (1) – (3). Получение решений систем дифференциальных уравнений на длительные отрезки времени исходя из начальных данных – это задачи Коши для системы нелинейных дифференциальных уравнений. В математике нет общей теории решения систем нелинейных дифференциальных уравнений. Поэтому иногда предлагается проведение исследования решений модели СЭС с помощью дискретных аналогов – разностных алгебраических уравнений для дискретных приращений при машинном счете [1; 4; 5]. При расчётах задачи Коши на длительные времена в реальных моделях СЭС (1) – (3) число уравнений для параметров

порядка велико и возникает проблема недостаточности исходной информации в базах данных, используемых в процессе моделирования. При этом ошибки или неточности в начальных данных в расчётах параметров будут расти экспоненциально, что означает сильную зависимость точности решений задачи Коши от наличия точной базы исходных данных.

Другая проблема возникает из-за сложности самой модели, представляющей собой систему большого числа связанных математических соотношений. Расчёты по взаимосвязанным системам уравнений требуют применения методов численной математики, причём в итерационных схемах может иметь место заметное накопление вычислительной погрешности.

Особые благоприятные условия для управления динамическими моделями СЭС возникают при плавном эволюционном развитии систем, когда параметры системы можно считать квазистатическими при выполнении условия (2). Решение уравнения (2) в стационарной точке (x_{i0}, c_{i0}) даёт возможность появления новых кривых состояний системы $x_{i0} = x_{i0}(c_{i0})$, которые квазиравновесны, т.е. происходит бифуркация кривых равновесия [1; 4]. Поэтому в теории моделирования СЭС нужно иметь в виду возможную смену моделей функционирования и смену структур систем, что приводит к трудностям управления системами. В связи с этим необходимо: во-первых, проведение бифуркационного анализа фазовой траектории, то есть выявление критических точек на траектории; во-вторых, выявление наличия неустойчивости ветвей при прохождении неустойчивых критических точек.

Рассмотрим поведение СЭС вблизи стационарной критической точки, введя отклонение параметра $x_{i0} = x_{i0}(c_{i0})$ от стационарного значения. Учёт членов разложения синергетического потенциала возрастающего порядка проведён нами ранее и приводит к последовательности «моделей катастроф» [1; 4]. При учёте в синергетическом потенциале уравнения (1) $U_i(x_i, \vec{c}_i)$ нелинейных многочленов параметра до степени 2, модель описывают катастрофу «складка». Она возникает в производственных моделях управления ресурсами и моделях экологии [2; 6]. Катастрофы, описывающие социальные эксцессы в обществе, возникают, когда уравнения содержат нелинейности до четвёртой степени параметра порядка. Эта модель носит название «катастрофа сборки» и рассмотрена для конкретных моделей СЭС в работах [1; 3; 5]. При этом подходе нелинейные члены разложения входят с различными коэффици-

ентами и знаками в потенциал уравнения (1) и входят в балансовые векторы x_i^+ и x_i^- уравнения соответственно.

Результаты исследования и их обсуждение

Простые математические закономерности иногда неэффективны. Модель роста населения Земли по Мальтусу $y = dx / dt = kx$ приводит к очень быстрому экспоненциальному росту населения. В работе [6] показано, что такая «жёсткая» модель, не учитывающая ограниченность пищевых ресурсов, должна быть заменена «мягкой» моделью, в которой должна быть учтена обратная связь через зависимость коэффициентов от результата расчёта, $k(x) = a - bx$, что приводит к логистической модели $y = ax - bx^2$. Или в безразмерном виде

$$y = x - x^2. \quad (4)$$

На рис. 1 представлен график функции $k(x)x$, положительной между точками 0 и 1. В каждой точке под кривой существует векторное поле точек скоростей параметра x , с направлением к точке 1. Таким образом, «мягкая» модель Мальтуса предсказывает установление режима с населением, стремящимся к фокусу 1. Мягкая логистическая модель широко используется при описании популяции живых систем с конкуренцией и борьбой за кормовую базу. В обществе можем наблюдать конкуренцию организаций: фирм, предприятий, банков, предпринимателей, использующих передовые технологии для устранения конкурентов. Ведение «мягких» моделей при имитационном планировании стабилизирует систему, которая без обратной связи разрушается при оптимизации параметров [1; 6; 8].

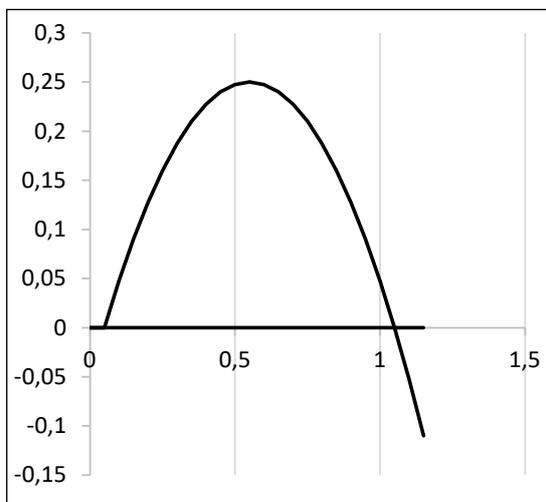


Рис. 1. График логистической кривой

Рассмотрим с помощью логистической модели сегментированный рынок труда. Полагая этот рынок меняющимся медленнее, чем остальные рынки, и учитывая его сегментированность, введём концентрацию работников x_i , занятых в i -том сегменте. Учитывая в системе уравнений (1) – (3) члены разложения не выше квадратичных

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = ax_i + bx_i^2 + k(x_i)x_i, \quad (5)$$

где a – коэффициент самовоспроизводства, b – учёт конкуренции, k – учёт влияния социальных, психологических, технологических и других факторов на рынок.

На рис. 2 видна заштрихованная область между двумя линиями, в которой возможны квазиравновесные изменения состояния системы. Стрелки внутри графика указывают, что система стремится при любых x_0 со временем к устойчивому состоянию, определяемому комбинацией экономических и социальных факторов. Сама устойчивая точка является пересечением параболы нелинейного ограничения скорости роста у логистической кривой за счёт конкуренции на рынке и прямой kx – описывающей влияние социальных, технологических и культурных факторов.

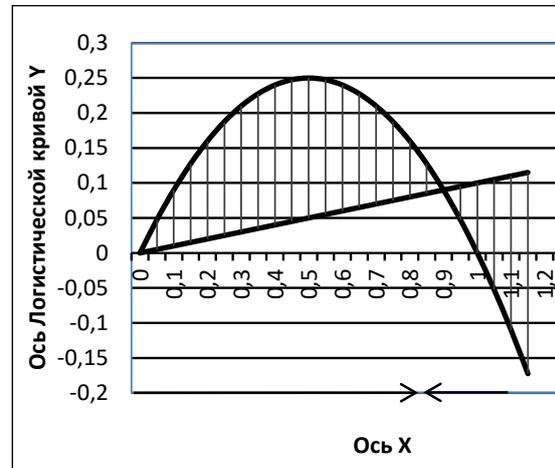


Рис. 2. Область существования решений уравнения (5)

Таким образом, появляется возможность за счёт изменения этих факторов менять область существования квазиравновесных состояний в логистической модели. К социальным и культурным факторам относятся уровень грамотности трудовых ресурсов, гендерные отношения, уровень женской эмансипации. При больших коэффициентах k , определяющих тангенс наклона этой линии, есть ситуация, когда станет невозможным пересечение линий и, следовательно,

возможна потеря устойчивости сектора трудовых ресурсов. К культурным факторам, определяющим возможность управления моделью, относятся изменение гендерных отношений, уровень женской активности и т.д. Таким образом, введение обратной связи в модели (5) позволяет управлять и получать разумные результаты и при использовании более сложных нелинейных моделей в изучении СЭС. Доказательство, что при степенях параметров в потенциалах $r \leq 4$ семейство сингулярностей устойчиво и эквивалентно одному из семейств катастроф в теории Тома [1]. Основные приложения теории катастроф представляют собой катастрофы типа «сборка» и «складка» [1; 4]. Рассмотренная выше задача управления трудовыми ресурсами относится к катастрофам типа «складка». При таком подходе нелинейные многочлены разложения потенциала чётные и нечётные в уравнении (1) естественно входят в балансовые векторы x_i^+ и x_i^- . Для более сложных моделей СЭС с нелинейностями в потенциале до пятой степени по параметру порядка приходим к катастрофе типа «ласточкин хвост».

$$U(x) = \sum_{k=0}^5 x^k a_k, \quad (6)$$

Исследование проблемы устойчивости и неустойчивости моделей СЭС при заданном синергетическом потенциале (6) с помощью дифференциального уравнения (3) может быть проведено с помощью теоремы

Ляпунова и сведено к исследованию функции скорости изменения параметров системы $f(x(c), c, i)$. На рис. 3 представлен график расчёта фазовой диаграммы «мягкой» модели катастрофы «ласточкин хвост». Видно наличие двух заштрихованных разделённых областей устойчивости модели. Синергетический потенциал U в уравнении (3) является функцией Ляпунова системы. Минимум или максимум в любой стационарной точке c фазовой траектории будет определяться минимумом или максимумом синергетического потенциала $\partial^2 U(x, c) / x^2 <> 0$. На рис. 3 точки **A** отталкивают фазовые траектории, а точки **B** притягивают их. На рис. 4 видны две волны потенциала, появляющиеся в результате наличия в потенциале многочленов чётных и нечётных степеней параметра порядка. При наличии в модели учёта более высоких степеней параметра порядка будут появляться следующие горбы потенциала, говорящие о циклическом поведении фазовых траекторий, как указывалось ранее [9].

Для имитационной модели оптимальным будет решение, позволяющее без катастроф переходить во все квазиравновесные области. Это достигается управлением наклона линии прямой, угол наклона которой регулируется параметрами модели. На рис. 4 показана возможность эффективного управления наклоном линии для доступа равновесных фазовых траекторий в любую область доступных фазовых состояний – заштрихованные области. Вне этих областей траектории испытывают распады и возвращаются в область устойчивости.



Рис. 3. График устойчивости потенциала (6)



Рис. 4. График возможностей перехода квазиравновесно из одного горба графика в другой

Заключение

Синергетика уже занялась процессом моделирования динамики СЭС. Между тем даже в развитых экономиках наблюдаются процессы цикличности экономики и социальных проблем общества. Страны сталкиваются с такими процессами, как обязательная цикличность зарождения более адекватного сообществу социального и экономического порядка в виде технологических революций, социальных проблем, которые зарождаются сначала как идеи в виде флуктуаций. Хаос фактически даёт разрушение старых структур и порождает новую упорядоченность в структуре и экономике общества. Циклы экономического развития известны давно. Как показано в нашей работе, процесс развития СЭС естественно сопровождается автоколебаниями областей состояния систем. Поэтому проблема прогноза и управления в моделях становится трудной, связанной с построением систем искусственного интеллекта и актуальной.

Список литературы

1. Лебедев В.И., Лебедева И.В. Математические модели синергетической экономики. Монография. Ставрополь: Сев-КавГТУ, 2011. 232 с.
2. Лебедев В.И., Лебедева И.В., Шуваев А.В. Синергетические модели социально-экономических систем рынка // *Фундаментальные исследования*. 2018. №11-2. С. 256–260.
3. Лебедев В.И., Лебедева И.В., Шуваев А.В. Синергетические модели динамических социально-экономических систем // *Фундаментальные исследования*. 2021. № 3. С.72-77.
4. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, Структуры. Вычислительный эксперимент. М.: Либроком, 2017. 312 с.
5. Гуц А.К., Паутова Л.А., Фролова Ю.В. Математические методы в социологии. М.: URSS, 2014. 214 с.
6. Арнольд В.И. Первые шаги математического анализа и теории катастроф. М., 2018. 96 с.
7. Евстигнеева Л.П., Евстигнеев Р.Н. Экономика как синергетическая система. М.: Либроком, 2012. 272 с.
8. Гуц А.К., Паутова Л.А. Глобальная этносоциология. М.: Либроком, 2013. 248 с.
9. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М.: Экономика, 2002. 767 с.

УДК 004.738.5

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОЛИВА

Правосудов А.Р., Ямашкин С.А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: pravosudov_2015@mail.ru, yamashkinsa@mail.ru

В статье рассматриваются аспекты разработки и внедрения технологии интернета вещей для решения задач управления техническими и организационными системами, в частности, в области растениеводства. Предлагается технологическое решение реализации системы автоматического полива растений. Поэтапно рассмотрен процесс создания устройства интернета вещей для полива растений и веб-интерфейса для управления этим устройством. Исследованы средства взаимодействия устройств интернета вещей и принципы их работы. Подобраны необходимые аппаратные комплектующие для создания устройства. Спроектировано и изготовлено устройство, позволяющее осуществлять полив как в ручном, так и в полностью автоматическом режиме на основании данных о влажности почвы. Разработан веб-интерфейс в соответствии с современными стандартами веб-разработки, через который пользователь может удаленно управлять устройством. Для обеспечения возможности управления устройством из любой точки земного шара данный интерфейс был загружен на хостинг. В результате работы получен аппаратно-программный комплекс, реализующий возможность удаленного управления автоматизированным поливом растений. Полученный программно-аппаратный комплекс фактически является прототипом промышленного образца для реализации на открытом рынке устройств интернета вещей. Целевой аудиторией данного проекта являются люди, желающие по тем или иным причинам добиться автономного полива растений.

Ключевые слова: интернет вещей, автоматический полив, аппаратно-программный комплекс, растениеводство, удаленное управление

INTERNET OF THINGS: ORGANIZATION OF AUTOMATED IRRIGATION

Pravosudov A.R., Yamashkin S.A.

National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: pravosudov_2015@mail.ru, yamashkinsa@mail.ru

The article discusses aspects of the development and implementation of the Internet of Things technology for solving problems of managing technical and organizational systems, in particular, in the field of crop production. A technological solution for the implementation of an automatic plant watering system is proposed. The process of creating an Internet of Things device for watering plants and a web interface for controlling this device is considered in stages. The means of interaction of Internet of Things devices and the principles of their operation are investigated. The necessary hardware components have been selected to create the device. A device has been designed and manufactured that allows watering, both manually and in fully automatic mode, based on data on soil moisture. A web interface has been developed, in accordance with modern web development standards, through which the user can remotely control the device. In order to be able to control the device from anywhere in the world, this interface has been uploaded to the hosting. As a result of the work, a hardware and software complex was obtained that implements the possibility of remote control of automated watering of plants. The resulting hardware and software complex is actually a prototype of an industrial design for the implementation of Internet of Things devices on the open market. The target audience of this project are people who want to achieve autonomous watering of plants due to various reasons.

Keywords: internet of things, automatic irrigation, hardware and software system, crop production, remote control

На сегодняшний день развитие информационного общества достигло той точки, когда количество устройств, подключенных к интернету, в несколько раз превышает общее число людей на планете. Возникла новая концепция развития технологий сети Интернет – интернет вещей. Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это множество физических объектов, подключенных к интернету и обменивающихся данными [1]. Концепция интернета вещей имеет огромное множество потенциальных областей применения в области управления техническими и организационными системами: «умные» бытовые приборы, идентификация и отслеживание товаров, «умные» здания, охрана здоровья, мониторинг окружающей сре-

ды, сбор информации и управление потреблением энергии и многое-многое другое. В определенном смысле особняком стоит промышленное применение, обозначаемое термином «Промышленный интернет вещей» (Industrial Internet of Things – IIoT). Это понятие близко связано с концепцией Индустрии 4.0, являясь ее составной частью [2].

Интернет вещей может способствовать мощному прорыву в разрезе сельского хозяйства, как в целом, так и, в частности, для растениеводства. Вот несколько примеров применения концепции интернета вещей для растениеводства:

– создание закрытых садовых систем с обеспечением необходимых условий для развития растений;

– съемка земель с помощью беспилотных летательных аппаратов и анализ полученных данных;

– умные системы полива и удобрения для повышения урожайности, организации эффективного водопотребления и умного освещения в теплицах.

Благодаря использованию умных систем можно добиться повышения общей урожайности и эффективности при выращивании растений.

Помимо промышленных в настоящее время в Европе набирают популярность домашние садовые системы и гроубоксы (от англ. growbox – ящик для выращивания). В данных системах создаются благоприятные условия для выращивания растений, и люди могут получать свежие овощи и фрукты у себя дома круглый год. Как правило, данные комплексы включают некий набор датчиков и актуаторов, обеспечивающих своевременный полив и освещение растений [3].

Цель исследования – разработка прототипа аппаратно-программного комплекса для автоматического полива растений на базе технологий интернета вещей как примера решения задач управления техническими и организационными системами.

Для достижения поставленной цели были последовательно решены следующие задачи:

1. Проектирование и создание устройства, способного осуществлять удаленный сбор сведений о влажности почвы и полив растений.

2. Проектирование и реализация веб-интерфейса для удаленного доступа и управления функциями.

Материалы и методы исследования

На этапе проектирования в качестве средства взаимодействия устройства и веб-

сайта было принято решение использовать протокол передачи данных MQTT. MQTT – это стандартный OASIS протокол обмена сообщениями для интернета вещей. Он разработан как крайне легковесный способ обмена сообщениями для публикации/подписки, который идеально подходит для подключения удаленных устройств с небольшим объемом кода и минимальной пропускной способностью сети. MQTT сегодня используется в самых разных отраслях промышленности, таких как автомобилестроение, производство, телекоммуникации, нефть и газ и т.д. [4].

Все устройства, использующие протокол MQTT, называются mqtt-клиентами и работают по принципу издатель/подписчик. Устройства могут одновременно являться как издателями, которые публикуют сообщения брокеру, так и подписчиками, которые принимают сообщения от брокера. Брокер – это программа на сервере или сам сервер, который перенаправляет полученные сообщения от издателей к подписчикам [5]. В разрабатываемой системе актором (mqtt-клиентом) может являться как человек, управляющий устройством через веб-интерфейс, так и само устройство для полива.

Общая схема взаимодействия всех компонентов разрабатываемой системы представлена на рис. 1.

Для реализации проекта были использованы следующие технологии: в качестве языка программирования для аппаратной платформы был выбран язык C++ с фреймворком Wiring (Arduino Wiring). В основе веб-интерфейса лежат стандартные технологии: HTML, CSS и JavaScript. Общение веб-интерфейса с базой данных на сервере осуществляется с помощью языка PHP.

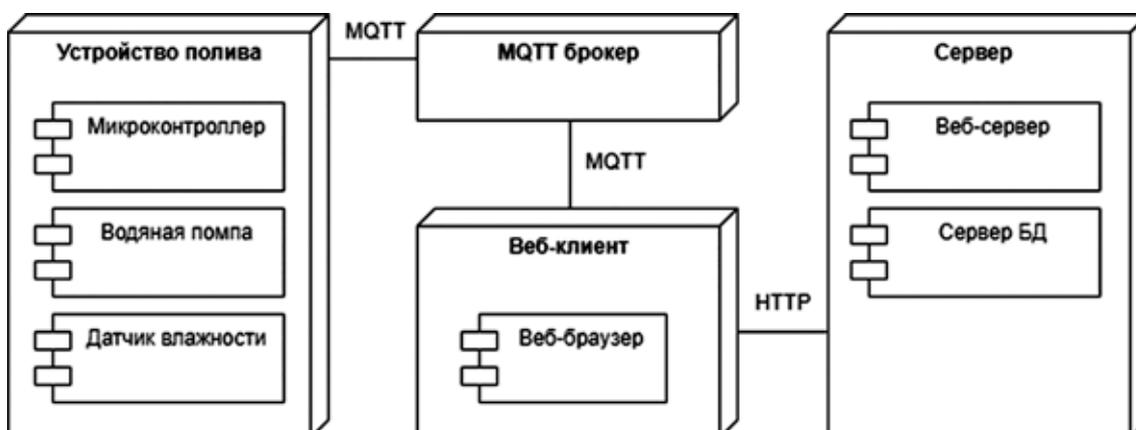


Рис. 1. Диаграмма развертывания разрабатываемого аппаратно-программного комплекса

Проектирование и создание прототипа устройства для полива

Согласно поставленным задачам разрабатываемое устройство должно обеспечивать следующие функции:

- включение/выключение подачи воды по команде;
- постоянная фиксация текущих значений влажности почвы;
- возможность включения автоматического «умного» полива на основании данных влажности.

На основании выделенных функций, для идентификации сущностей, составим топики (текстовые идентификаторы), на которые по протоколу MQTT будут поступать значения. Для распознавания конкретного устройства будем использовать его mac-адрес. Далее представлены топики:

- mac/pump – для управления насосом;
- mac/soilHum – для получения значения влажности почвы;
- mac/soilHum/threshold – для изменения порога влажности;
- mac/autoMode – для управления автоматическим режимом.

В самом устройстве на месте «mac» стоит его реальный mac-адрес, который определяется программно.

Так как на многих современных предприятиях и в подавляющем большинстве домов и офисов действуют сети Wi-Fi, для выхода в интернет был выбран этот способ. Поэтому в качестве мозга устройства был выбран микроконтроллер ESP8266, благодаря его встроенной функции поддержки Wi-Fi [6].

Для упрощения задачи изготовления прототипа была использована отладочная плата NodeMCU с чипом ESP8266. Помимо платы с контроллером необходимы следующие компоненты:

- водяная помпа (в нашем случае шестеренчатая помпа на базе мотора rs360sh);
- датчик влажности почвы FC-28 (YL-38);
- понижающий преобразователь напряжения на базе LM2596 0-30V;
- 12-вольтый источник питания;
- транзистор 2N2222 (NPN);
- металлопленочный резистор на 5,1 кОм;
- одноканальный переключающий релейный модуль с управлением 5 вольт (например GSMIN HW-482 для среды Arduino).

В дополнение к перечисленному для сборки всей схемы понадобилась одна макетная плата MB102 с модулем питания и проводами. Схематическое изображение готового прототипа представлено на рис. 2.

Так как наш модуль реле управляется с помощью 5В, мы можем оба вывода реле подключить к шине, на которую модуль питания подает +5В. А транзистор при открытии будет подводить землю к минусовому контакту реле, тем самым открывая его.

Проектирование и реализация веб-интерфейса

Для ускорения процесса верстки и определения конечного результата был необходим макет реализуемого веб-интерфейса с желаемым UX/UI дизайном. Данный макет создан в графическом редакторе Figma. Затем в соответствии с макетом производилась верстка сайта.

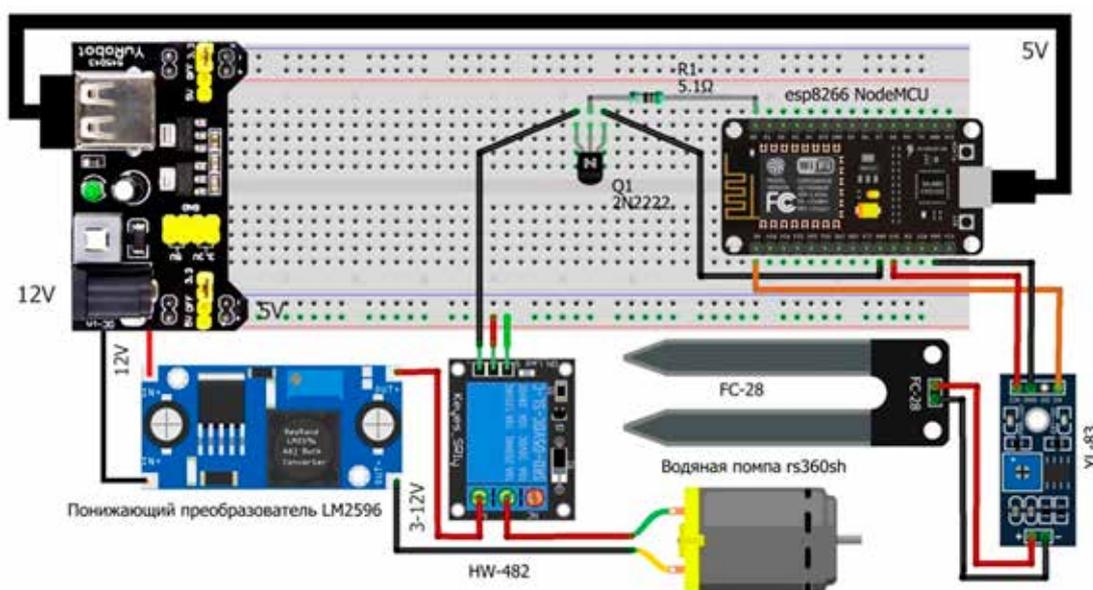


Рис. 2. Схематическое изображение прототипа

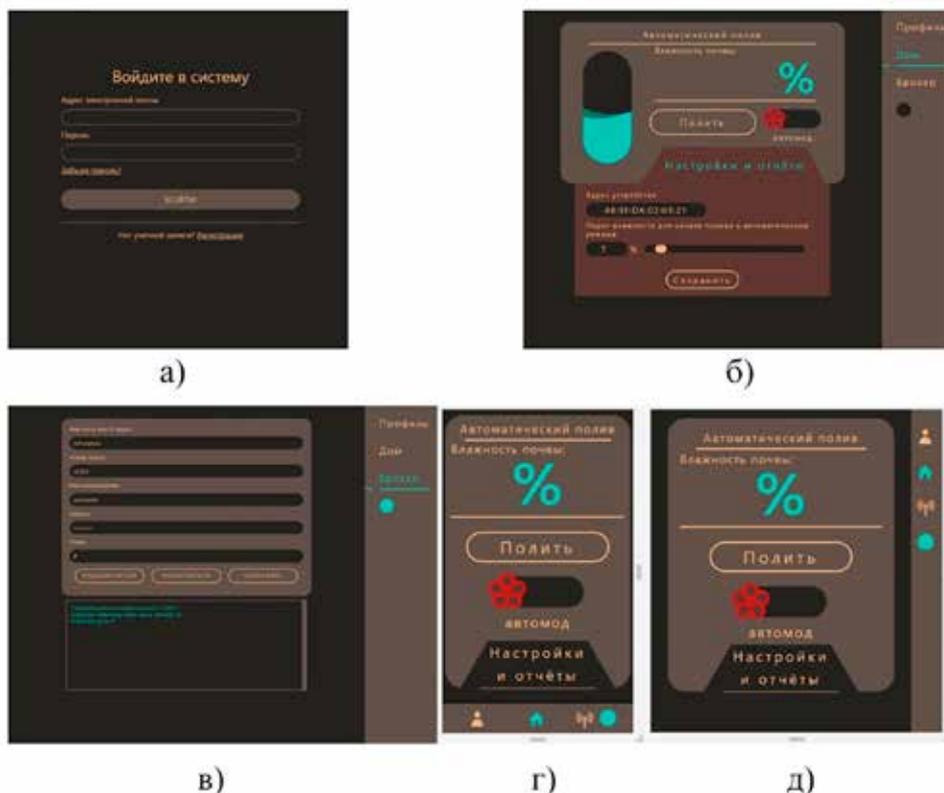


Рис. 3. Сверстанный веб-интерфейс: а) форма авторизации; б) вкладка с виджетом при ширине экрана более 1200px; в) вкладка с брокером при ширине экрана более 1200px; г) вкладка с виджетом при ширине экрана 320px; д) вкладка с виджетом при ширине экрана 490px

Чтобы убрать различия в базовых стилях и сделать отображение страницы во всех браузерах одинаковым, использован файл `Normalize.css`.

Сегодня больше половины всего интернет-трафика относится к сеансам со смартфонов. Доступ к смартфону есть практически в любой ситуации, в отличие от стационарного компьютера или ноутбука. Доступность смартфона довольно удобно вписывается в концепцию удаленного управления устройствами. Поэтому было принято решение сделать веб-интерфейс адаптивным под различные устройства.

Чтобы сделать интерфейс *адаптивным*, были использованы медиазапросы. Медиазапросы были описаны под стандартные размеры ширины экрана (1200px, 1024px, 768px, 480px). Помимо этого в процессе верстки был сделан упор на использование относительных единиц измерения.

В процессе разметки были использованы семантические теги в соответствии со стандартом HTML5, стилизация выполнена на чистом CSS. Основные страницы полностью сверстанного веб-интерфейса представлены на рис. 3.

При ширине экрана меньше 768px было принято решение текстовое описание вкладок меню заменить иконками (рис. 1, г, д). Для этих целей с помощью специальных онлайн-сервисов был создан собственный иконочный шрифт, содержащий необходимый набор иконок. Взаимодействие веб-интерфейса с MQTT брокером реализовано на языке JavaScript, с использованием библиотеки `Paho MQTT` для JS. Проект `Paho` был создан для обеспечения надежных реализаций открытых и стандартных протоколов обмена сообщениями с открытым исходным кодом, предназначенных для новых, существующих и появляющихся приложений для межмашинных коммуникаций (M2M) и интернета вещей [7]. Первоначально библиотека была создана Эндрю Бэнксом из IBM и передана в дар Eclipse компанией IBM в 2013 г. Библиотека считается очень стабильной и используется во многих веб-приложениях на базе MQTT [8].

Для защиты от несогласованного управления устройством посторонними лицами и возможности использования нескольких устройств было необходимо создать базу данных пользователей. Так как на большин-

стве хостингов используются базы данных MySQL, в качестве базы данных была использована именно она. Взаимодействие сайта с базой данных осуществляется с помощью языка программирования PHP. Этот язык был выбран благодаря своей широкой распространенности в данной сфере и обилию примеров.

На PHP были созданы обработчики форм авторизации и регистрации. При успешной авторизации идентификатор пользователя сохраняется в файлах cookie. Помимо этого реализован скрипт выхода из системы, скрипт получения всех данных пользователя по его идентификатору из таблицы баз данных. Реализовано сохранение данных пользователя и настроек виджета в базу данных по нажатию кнопки. А также сохранение положения переключателя автоматического режима, т.е. статуса автоматического режима, при изменении статуса с помощью ajax запросов.

Для управления нашим устройством из любой точки мира, необходимо разместить сайт в глобальной сети Интернет. В качестве хостинг-провайдера был выбран *begget*. Далее приобретен домен, а также к домену был подключен бесплатный SSL сертификат Let's Encrypt. Затем домен был прикручен к встроенному тестовому сайту, на который впоследствии были загружены все файлы и данные разработанного веб-интерфейса.

Стоит заметить, при загрузке на хостинг в php файлах, где используется `include_once`, необходимо прописывать путь с использованием глобального массива `$SERVER`. Например: `include_once $SERVER['DOCUMENT_ROOT'] . '/template/auth_template.php'`. После проделанных манипуляций веб-интерфейс стал доступен по приобретенному домену (на момент написания работы, веб-интерфейс доступен по домену `aka-poseidon.ru`).

Заключение

В процессе реализации проекта был исследован ряд областей и аспектов разработки устройств и веб-сайтов. Проведен анализ сферы интернета вещей, в процессе которого было получено подтверждение актуальности выбранного направления разработки. Исследованы возможные перспективы применения таких технологий в домашнем и промышленном растениеводстве. Представленное решение ориентировано на задачи управления техническими и организационными системами на основе технологий интернета вещей.

Итогом проекта является спроектированное с выявлением необходимых аппаратных

модулей и изготовленное устройство, способное осуществлять удаленный сбор сведений о влажности почвы и полив. Согласно выявленным требованиям к устройству, в среде разработки Arduino IDE был написан необходимый для работы программный код, дающий возможность взаимодействовать устройству с брокером. Предусмотрена настройка параметров порога влажности для регулирования автоматического полива.

Создан веб-интерфейс отвечающий всем современным стандартам веб-разработки. Выполнено написание скриптов, обеспечивающих корректное функционирование сайта, и скриптов, обеспечивающих межмашинную связь. Веб-интерфейс был размещен на публичном хостинге и стал доступен из глобальной сети Интернет.

Результатом работы является разработанная система, представляющая собой программно-аппаратный комплекс – готовое устройство и веб-интерфейс. Полученный программно-аппаратный комплекс фактически является прототипом промышленного образца для реализации на открытом рынке устройств интернета вещей. При том, что система разрабатывалась для решения конкретной проектно-ориентированной задачи автоматизированного полива растений, в ней реализованы качественные требования расширяемости и повторного использования, что делает возможным использование разработки в последующих проектах.

Список литературы

1. Что такое IoT и что о нем следует знать // Хабр. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/> (дата обращения: 23.11.2022).
2. Ковалевский Ю. Интернет вещей: от концепции к реальности // Электроника: НТБ. 2017. № 1. С. 135–138.
3. Горностаев М.Н., Лунина А.Е., Тукмачев Д.В., Чукай А.А., Мороз А.А. История появления грубобоксов и возможности их использования в домашних условиях // Научная сессия ТУСУР–2020: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 13–30 мая 2020 г.). В 3 ч. Томск: В-Спектр, 2020. Ч. 3. С. 202–204.
4. MQTT – The Standard for IoT Messaging. [Электронный ресурс]. URL: <https://mqtt.org/> (дата обращения: 01.12.2022).
5. Салкин Д.А., Душутин С.С. Устройство дистанционного контроля и управления для систем домашней автоматизации // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 113–119.
6. kolban-ESP32. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.robotlinkmarket.com/Data/EditorFiles/datasheet/kolban-ESP32.pdf> (дата обращения: 01.12.2022).
7. Eclipse Paho | The Eclipse Foundation. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eclipse.org/paho/> (дата обращения: 01.12.2022).
8. Sutton J. Paho JavaScript – MQTT Client Library Encyclopedia. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-client-library-encyclopedia-paho-js/> (дата обращения: 18.12.2022).

УДК 519.87:004:519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС НА ОСНОВЕ КУСОЧНО-ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Ромм Я.Е., Джанунц Г.А.

Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал)

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)»,

Таганрог, e-mail: romm@list.ru, janunts@inbox.ru

Описывается численное моделирование положения навигационного космического аппарата системы ГЛОНАСС по оперативной эфемеридной информации из навигационного сообщения. Моделирование реализовано на основе кусочно-интерполяционного решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений применительно к движению центра масс аппарата. Координаты и составляющие вектора скорости центра масс в произвольно заданные моменты времени из 30-минутного интервала прогнозирования предложенный метод дает с превышением требуемой точности, при этом время расчета существенно меньше времени расчета на основе метода Рунге – Кутты 4-го порядка. Кусочно-интерполяционное приближение решения задачи Коши непрерывно на всем интервале прогнозирования, аналогично непрерывно приближение производной. Приближение равномерно сходится к решению задачи Коши, аналогично сходится приближение производной. На каждом подынтервале разбиения интервала прогнозирования полином, интерполирующий компонент решения, имеет вид алгебраического полинома фиксированной степени с числовыми коэффициентами. Это позволяет сохранять в памяти компьютера приближение компонента решения в виде типизированного файла (или массива) из коэффициентов полиномов, соответствующих подынтервалам разбиения. Непрерывное приближение каждого компонента решения оказывается хранимым и восстанавливается без повторного решения задачи в произвольной точке интервала прогнозирования как соответствующее значение полинома. На этой основе процесс прогнозирования естественным образом архивируется. Создаются предпосылки прогнозирования на отдельных точках траектории движения аппарата, а всего непрерывного отрезка этой траектории на интервале прогнозирования. Предложенный метод реализован в виде процедуры с параметрами, определяемыми из навигационного сообщения, и может быть автоматизирован. Приводится программный код процедуры, описываются результаты численного эксперимента.

Ключевые слова: численное моделирование положения навигационного космического аппарата, расчет значений координат и составляющих вектора скорости центра масс, хранимое непрерывное приближение решения задачи Коши для дифференциальной модели

SIMULATION OF THE GLONASS NAVIGATION SATELLITES' MOTION BASED ON PIECEWISE INTERPOLATION SOLUTION OF THE CAUCHY PROBLEM FOR A DIFFERENTIAL SYSTEM

Romm Ya.E., Dzhanunts G.A.

Taganrog branch of the Rostov State University of Economics, Taganrog,

e-mail: romm@list.ru, janunts@inbox.ru

Numerical simulation of the GLONASS navigation spacecraft's position based on operational ephemeris information from the navigation message is described. The simulation is implemented on the basis of a piecewise interpolation solution of the Cauchy problem for ordinary differential equations in relation to the motion of the center of mass of the apparatus. The proposed method gives the coordinates and components of the velocity vector of the center of mass at arbitrarily specified time points from the 30-minute prediction interval with exceeding the required accuracy, while the calculation time is significantly less than the calculation time based on the Runge-Kutta 4th order method. Piecewise interpolation approximation of the Cauchy problem solution is continuous over the entire prediction interval. The approximation of its derivative is continuous as well. The approximation converges uniformly to the solution of the Cauchy problem. The approximation of the derivative converges the same way. At each subinterval of the partition of the prediction interval, the polynomial interpolating the solution component has the form of an algebraic polynomial of fixed degree with numerical coefficients. This allows you to store in the computer's memory an approximation of the solution component in the form of a typed file (or array) of the polynomials' coefficients corresponding to the subintervals of the partition. The continuous approximation of each component of the solution turns out to be stored and restored without re-solving the problem at an arbitrary point in the prediction interval as the corresponding value of the polynomial. On this basis, the forecasting process is naturally archived. Prerequisites are created for predicting not individual points of the the apparatus's trajectory, but the entire continuous segment of this trajectory in the forecasting interval. The proposed method is implemented as a procedure with parameters determined from a navigation message and can be automated. The program code of the procedure is given, the results of the numerical experiment are described.

Keywords: numerical simulation of the navigation spacecraft's position, calculation of the values of coordinates and components of the velocity vector of the center of mass, stored continuous approximation of the Cauchy problem solution for a differential model

Для идентификации своего местоположения и скорости объект, использующий глобальную навигационную спутниковую систему (ГЛОНАСС), принимает радиосигналы не менее чем от 3–4 навигационных космических аппаратов (НКА), выполняет беззапросные измерения псевдодалности и радиальной псевдоскорости относительно каждого НКА, а также прием и обработку сообщения, содержащегося в составе навигационных радиосигналов [1]. В навигационном сообщении описывается положение НКА в пространстве и времени. Эфемериды спутников ГЛОНАСС обновляются каждые 30 минут. В результате обработки полученных измерений и данных навигационного сообщения определяются две-три координаты местоположения объекта и две-три составляющие вектора скорости его движения, а также осуществляется синхронизация шкал времени. Движение центра масс НКА описывается как решение задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Именно эта дифференциальная модель используется для прогнозирования по оперативной эфемеридной информации координат, скорости и ускорения НКА, а на этой основе прогнозируется местоположение объекта, его кинематические и динамические характеристики. В интерфейсном контрольном документе (ИКД) ГЛОНАСС в качестве примера численного метода, который может быть использован для интегрирования уравнений движения центра масс НКА, приводится метод Рунге – Кутты 4-го порядка [1]. Как показано в [2], повышение порядка разностного метода приводит к существенному росту времени расчета, что критично в рамках установленных границ времени расчета. Например, применение метода Рунге – Кутты – Фельберга 5-го порядка приводит к повышению времени расчета более чем на 50%.

В излагаемой работе ставится вопрос о возможности снижения погрешности прогнозирования положения НКА при одновременном ускорении процесса вычислительной обработки с помощью численного моделирования на основе кусочно-интерполяционного интегрирования дифференциальных урав-

нений движения центра масс НКА. Помимо повышения точности приближения при условии не превышения границы времени расчета, в результате кусочно-интерполяционного решения задачи Коши для моделирующей дифференциальной системы должна достигаться непрерывность приближенного решения (приближения координат), а также непрерывность приближения производной от решения (составляющих вектора скорости центра масс НКА) на интервале прогнозирования. Ставится вопрос о хранении этих приближений в памяти компьютера.

Цель исследования – показать возможность снизить погрешность и сократить время расчета эфемерид НКА на основе численного моделирования движения спутника с помощью кусочно-интерполяционного решения системы ОДУ модели. Требуется также раскрыть значение хранимого непрерывного приближения решения задачи Коши для ОДУ и производной от него, полученных на основе кусочной интерполяции, применительно к постобработке результатов прогнозирования.

Исходный алгоритм расчета координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА системы ГЛОНАСС по данным эфемерид. В ИКД ГЛОНАСС конструктивно описан алгоритм на основе приближенного решения задачи Коши для системы ОДУ, предназначенный для расчета координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА на заданный момент времени t_i шкалы московского декретного времени (МДВ) на 30-минутном интервале прогнозирования по данным эфемерид [1]. Пересчет эфемерид пользователем с момента t_b шкалы МДВ на заданный момент времени t_i той же шкалы, $|t_i - t_b| \leq 15$ мин, проводится методом численного интегрирования системы ОДУ, описывающей движение центра масс НКА. В правых частях этих уравнений задаются функции ускорения, определяемые геоцентрической константой гравитационного поля Земли с учетом влияния атмосферы GM , зональным гармоническим коэффициентом второй степени J_2^0 , а также ускорениями от лунно-солнечных гравитационных возмущений. Эти уравнения движения определены в виде системы:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_0 &= v_{x_0}, \quad \dot{y}_0 = v_{y_0}, \quad \dot{z}_0 = v_{z_0}, \\ \dot{x}_0 &= -GM \cdot \hat{x}_0 - 1.5 J_2^0 GM \cdot \hat{x}_0 \rho^2 (1 - 5 \hat{z}_0^2) + j_{x_{0c}} + j_{x_{0r}}, \\ \dot{y}_0 &= -GM \cdot \hat{y}_0 - 1.5 J_2^0 GM \cdot \hat{y}_0 \rho^2 (1 - 5 \hat{z}_0^2) + j_{y_{0c}} + j_{y_{0r}}, \\ \dot{z}_0 &= -GM \cdot \hat{z}_0 - 1.5 J_2^0 GM \cdot \hat{z}_0 \rho^2 (3 - 5 \hat{z}_0^2) + j_{z_{0c}} + j_{z_{0r}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $GM = GM / r_0^2$; $\hat{x}_0 = x_0 / r_0$; $\hat{y}_0 = y_0 / r_0$; $\hat{z}_0 = z_0 / r_0$; $\rho = a_e / r_0$; $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}$; $j_{x_{0c}}, j_{y_{0c}}, j_{z_{0c}}, j_{x_{0r}}, j_{y_{0r}}, j_{z_{0r}}$ – ускорения от лунно-солнечных гравитационных возмущений; a_e – большая

полуось общеземного эллипсоида. Следующие исходные данные необходимы для пересчета эфемерид: N_4 – номер эфемеридного четырехлетнего периода; N_T – номер эфемеридных суток в эфемеридном четырехлетнем периоде; момент времени t_b , координаты и составляющие вектора скорости центра масс НКА на момент времени t_b из оперативной информации ГЛОНАСС; заданный момент времени t_i шкалы МДВ, на который необходимо пересчитать координаты и составляющие вектора скорости НКА.

Дифференциальные уравнения (1) интегрируются в прямоугольной инерциальной геоцентрической системе координат $OX_0Y_0Z_0$. Ускорения от лунных и солнечных гравитационных возмущений вычисляются по формулам

$$j_{x0k} = \hat{G}_k \left[\frac{\xi_k - \hat{x}_k}{\Delta_k} - \xi_k \right], \quad j_{y0k} = \hat{G}_k \left[\frac{\eta_k - \hat{y}_k}{\Delta_k} - \eta_k \right], \quad j_{z0k} = \hat{G}_k \left[\frac{\mathfrak{Z}_k - \hat{z}_k}{\Delta_k} - \mathfrak{Z}_k \right], \quad (2)$$

где $\hat{x}_k = x_0 / r_k$; $\hat{y}_k = y_0 / r_k$; $\hat{z}_k = z_0 / r_k$; $\Delta_k = [(\xi_k - \hat{x}_k)^2 + (\eta_k - \hat{y}_k)^2 + (\mathfrak{Z}_k - \hat{z}_k)^2]^{3/2}$; $\hat{G}_k = G_k / r_k^2$; k – индекс возмущающего тела; G_n, G_c – константы гравитационного поля Луны и Солнца; $\xi_k, \eta_k, \mathfrak{Z}_k, r_k$ – направляющие косинусы и удаление возмущающего тела, которые рассчитываются на каждый момент времени t из соотношений

$$\left. \begin{aligned} \xi_n &= (\sin \vartheta_n \cos \Gamma' + \cos \vartheta_n \sin \Gamma') \xi_{11} + (\cos \vartheta_n \cos \Gamma' - \sin \vartheta_n \sin \Gamma') \xi_{12}, \\ \eta_n &= (\sin \vartheta_n \cos \Gamma' + \cos \vartheta_n \sin \Gamma') \eta_{11} + (\cos \vartheta_n \cos \Gamma' - \sin \vartheta_n \sin \Gamma') \eta_{12}, \\ \mathfrak{Z}_n &= (\sin \vartheta_n \cos \Gamma' + \cos \vartheta_n \sin \Gamma') \mathfrak{Z}_{11} + (\cos \vartheta_n \cos \Gamma' - \sin \vartheta_n \sin \Gamma') \mathfrak{Z}_{12}, \\ \xi_c &= \cos \vartheta_c \cos \omega_c - \sin \vartheta_c \sin \omega_c, \quad \eta_c = (\sin \vartheta_c \cos \omega_c + \cos \vartheta_c \sin \omega_c) \cos \varepsilon, \\ \mathfrak{Z}_c &= (\sin \vartheta_c \cos \omega_c + \cos \vartheta_c \sin \omega_c) \sin \varepsilon, \quad r_k = a_k (1 - e_k \cos E_k), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\sin \vartheta_k = \frac{\sqrt{1 - e_k^2} \sin E_k}{1 - e_k \cos E_k}$; $\cos \vartheta_k = \frac{\cos E_k - e_k}{1 - e_k \cos E_k}$; $E_k = q_k + e_k \sin E_k$ – уравнение Кеплера

для эксцентрической аномалии, которое решается методом итераций;

$$\xi_{11} = \sin \Omega_n \cos \Omega_n (1 - \cos i_n), \quad \xi_{12} = 1 - \sin^2 \Omega_n (1 - \cos i_n), \quad \eta_{11} = \xi^* \cos \varepsilon - \mathfrak{Z}^* \sin \varepsilon,$$

$$\eta_{12} = \xi_{11} \cos \varepsilon + \eta^* \sin \varepsilon, \quad \mathfrak{Z}_{11} = \xi^* \sin \varepsilon + \mathfrak{Z}^* \cos \varepsilon, \quad \mathfrak{Z}_{12} = \xi_{11} \sin \varepsilon - \eta^* \cos \varepsilon,$$

$$\xi^* = 1 - \cos^2 \Omega_n (1 - \cos i_n), \quad \eta^* = \sin \Omega_n \sin i_n, \quad \mathfrak{Z}^* = \cos \Omega_n \sin i_n;$$

a_n, a_c – большие полуоси орбит Луны и Солнца; e_n, e_c – эксцентриситеты орбит Луны и Солнца; i_n – среднее наклонение орбиты Луны к плоскости эклиптики.

Параметры нутации Луны и Солнца на момент времени t по шкале МДВ рассчитываются по формулам

$$\left. \begin{aligned} q_n &= 2.3555557435 + 8328.6914257190 \times T + 0.0001545547 \times T^2; \\ q_c &= 6.2400601269 + 628.3019551714 \times T - 2.6820 \times 10^{-6} \times T^2; \\ \Omega_n &= 2.1824391966 - 33.7570459536 \times T + 0.0000362262 \times T^2; \\ \Gamma' &= 1.4547885346 + 71.0176852437 \times T - 0.0001801481 \times T^2; \\ \omega_c &= -7.6281824375 + 0.0300101976 \times T + 7.9741 \times 10^{-6} \times T^2; \\ \varepsilon &= 0.4090926006 - 0.0002270711 \times T, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $T = (JD0 + (t - 10800) / 86400 - 2451545.0) / 36525$, $JD0$ – текущая юлианская дата на 0 часов шкалы МДВ, которая до окончания 2119 г. рассчитывается по соотношению $JD0 = 1461(N_4 - 1) + N_T + 2450082.5$ [1].

Численное интегрирование уравнений движения НКА с применением кусочно-интерполяционного метода. Навигационное сообщение содержит информацию о параметрах движения НКА ГЛОНАСС. Эти данные записываются в формате RINEX [3] с 30-минутным интервалом в виде векторных составляющих положения, скорости и ускорения спутника. Ниже описывается численное моделирование движения отдельно взятого НКА ГЛОНАСС (в качестве примера исследуется движение НКА ГЛОНАСС № 730), кото-

рое выполняется на основе алгоритма (1)–(4). По результатам численных экспериментов сравнивается точность приближения, время расчета и качества полученных приближений в случаях использования разностных и кусочно-интерполяционных методов решения задачи (1)–(4).

Бортовые эфемериды НКА ГЛОНАСС № 730 в системе ПЗ-90.11 на момент времени $t_b = 11700$ шкалы МДВ даты 05.08.2021, пересчитанные в инерциальную геоцентрическую систему координат в соответствии с документацией из [1], представлены значениями [4]:

$$\left. \begin{aligned} x_0(t_b) &= 1.85671840522396e+07, & \dot{x}_0(t_b) &= 5.72204100174071e+02, \\ y_0(t_b) &= -1.65274995936504e+07, & \dot{y}_0(t_b) &= 1.84501010135317e+03, \\ z_0(t_b) &= -5.76018554687500e+06, & \dot{z}_0(t_b) &= -3.44761753082300e+03. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Кусочно-интерполяционное приближение решения задачи (1)–(4) с начальными условиями (5) строится на интервалах ± 15 мин относительно момента t_b ($t \in [t_b - \Delta t, t_b]$ и $t \in [t_b, t_b + \Delta t]$, $\Delta t = 900$ с). Значения лунно-солнечных ускорений рассчитываются по алгоритму (2)–(4) при каждом вызове функции правой части (1) в процессе численного моделирования.

Для сокращения времени решения без потери точности приближения ниже применяется модификация метода кусочно-интерполяционного решения задачи Коши для системы ОДУ. Модификация состоит в замене автоматического подбора параметров пользовательским подбором и фиксированием параметров метода. Исходный метод, обоснование, алгоритмизация и программная реализация представлены в [5, 6], необходимые для дальнейшего элементы метода поясняются непосредственно ниже.

Пусть требуется приближенно решить задачу Коши для системы

$$\frac{dY}{dx} = F(x, Y), \quad Y(x_0) = Y_0, \quad (6)$$

где

$$F(x, Y) = (f_1(x, Y), f_2(x, Y), \dots, f_N(x, Y)),$$

$$Y = (y_1(x), y_2(x), \dots, y_N(x)),$$

$$Y_0 = (y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0N}).$$

Предполагается, что в области

$$R_0 : \{ a \leq x \leq b; \| Y - Y_0 \| \leq \delta; \delta = \text{const} \},$$

здесь и ниже $a = x_0$, $\| b \| = \max_{1 \leq i \leq N} |b_i|$, функ-

ция $F(x, Y)$ определена, непрерывна, непрерывно дифференцируема и выполнены все условия существования и единственности решения. Пусть

$$\left[a, b \right] = \bigcup_{i=0}^{p-1} [a_i, b_i], \quad b_i - a_i = (b - a)p^{-1},$$

$$a_{i+1} = b_i, \quad i = 0, 1, \dots, p - 2, \quad (7)$$

для предварительного описания абстрактно заданная функция $f(x)$ определена на $[a, b]$ из (7). На каждом подынтервале $[a_i, b_i]$ строится интерполяционный полином Ньютона с равноотстоящими узлами для интерполирования вперед:

$$\Psi_{in}(t) = f(x_{i0}) + \sum_{j=1}^n \frac{\Delta^j f_{i0}}{j!} \prod_{r=0}^{j-1} (t - r),$$

$$x \in [a_i, b_i], \quad t = (x - x_{i0})h_i^{-1},$$

$$h_i = (b_i - a_i)n^{-1}, \quad x_{i0} = a_i, \quad i \in \overline{0, p-1}. \quad (8)$$

Полином (8) преобразуется к виду алгебраического полинома с числовыми коэффициентами

$$\Psi_{in}(t) = f(x_{i0}) + \sum_{\ell=1}^n c_{i\ell} t^\ell, \quad (9)$$

$$\text{где } c_{i\ell} = \sum_{j=\ell}^n \Delta^j f_{i0} \frac{d_{j\ell}}{j!}, \quad f_{i0} = f(x_{i0}).$$

Преобразование использует алгоритм восстановления коэффициентов полинома по его корням, отличный от формул Виета [5, 6]. Согласно этому алгоритму для дан-

ного частного случая (8) в $\prod_{r=0}^{j-1} (t - r)$ следует положить $t_r = r$, $r \in \overline{0, j-1}$, и значения коэффициентов восстанавливаются из соотношений

$$d_{kk} = d_{(k-1)(k-1)},$$

$$d_{k(k-\ell)} = d_{(k-1)(k-\ell-1)} - d_{(k-1)(k-\ell)} t_{k-1},$$

$$d_{k0} = -d_{(k-1)0} t_{k-1},$$

$$\ell = 1, 2, \dots, k - 1, \quad k = 1, 2, \dots, j.$$

Такое построение и преобразования выполняются для функции правой части (6), являющейся компонентом k -го уравнения системы, при каждом номере $k = 1, 2, \dots, N$.

Соответственно полином и его коэффициенты в форме (8) и (9) отмечаются индексом k , преобразованная форма примет вид

$$\Psi_{ink}(t) = f_k(x_{i0k}, Y_{i0}) + \sum_{\ell=1}^n c_{i\ell k} t^\ell, \quad [$$

$$x \in [a_i, b_i], t = (x - x_{i0k})h_i^{-1}, h_i = (b_i - a_i)n^{-1},$$

$$x_{i0k} = a_i, i \in \overline{0, p-1}, k \in \overline{1, N}. \quad (10)$$

Здесь и ниже $h_i = (b - a)p^{-1}n^{-1}$. Выполняется интерполирование компонентов правой части (6). Для этого в $f_k(x, Y)$ подставляется приближенное значение $\{y_k\}_{k=1}^N$, вначале $\{y_k\}_{k=1}^N \approx \{y_{0k}\}_{k=1}^N$. Функция $f_k(x, Y_0)$ приближается полиномами (10) по изложенной схеме. При фиксированных значениях n и p из (7) на отрезке $[a_i, b_i]$, сначала при $i = 0$, затем аналогично при $i = 1, 2, \dots, p-1$ выполняется итерационное уточнение, которое состоит в следующем.

Пусть согласно (10)

$$\Psi_{ink}(t) = f_k(x_{i0k}, Y_{i0}) + \sum_{\ell=1}^n c_{i\ell k} t^\ell,$$

тогда $f_k(x, Y_0) \approx \Psi_{ink}(t)$, $t = (x - a_i)h_i^{-1}$, h_i – шаг интерполяции на $[a_i, b_i]$. Первообразная

$$\Psi_{(int)i(n+1)k}(t) = y_{0ik} + h_i \int_0^t \Psi_{ink}(t) dt, \text{ или}$$

$$\Psi_{(int)i(n+1)k}(t) = y_{0ik} + h_i \sum_{\ell=0}^n c_{i\ell k} / (\ell + 1) t^{\ell+1},$$

$$c_{i0k} = f_k(x_{i0k}, Y_{i0})$$

(на начальном подынтервале для значения произвольной постоянной полагается $y_{00k} = y_{0k}$, на последующих подынтервалах выбор y_{0ik} поясняется ниже), принимается за приближение k -го компонента решения:

$$y_k(x) \approx \Psi_{(int)i(n+1)k}(x), x \in [a_i, b_i].$$

Тогда

$$f_k(x, Y) \approx f_k(x, \{ \Psi_{(int)i(n+1)\ell}(x) \}_{\ell=1}^N),$$

и при том же значении n , на том же подынтервале строится интерполяционный полином вида (10) для аналогичного приближения:

$$\Psi_{ink}^{(1)}(t) \approx f_k(x, \{ \Psi_{(int)i(n+1)\ell}^{(1)}(x) \}_{\ell=1}^N),$$

$$t = (x - a_i)h_i^{-1}.$$

От этого полинома снова берется первообразная с тем же значением константы

$$\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(1)}(x) = y_{0ik} + h_i \int_0^t \Psi_{ink}^{(1)}(t) dt, \quad , \quad 0, \quad 1,$$

выполняется соответственная подстановка в правую часть,

$$f_k(x, Y) \approx f_k(x, \{ \Psi_{(int)i(n+1)\ell}^{(1)}(x) \}_{\ell=1}^N),$$

которая затем аналогично интерполируется,

$$\Psi_{ink}^{(2)}(t) \approx f(x, \{ \Psi_{(int)i(n+1)\ell}^{(1)}(x) \}_{\ell=1}^N),$$

$$t = (x - a_i)h_i^{-1}.$$

Итерации

$$\Psi_{ink}^{(r)}(t) \approx f(x, \{ \Psi_{(int)i(n+1)\ell}^{(r-1)}(x) \}_{\ell=1}^N),$$

$$t = (x - a_i)h_i^{-1},$$

$$\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(r)}(x) = y_{0ik} + h_i \int_0^t \Psi_{ink}^{(r)}(t) dt,$$

$$r = 1, 2, \dots,$$

$$\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(0)}(x) = \Psi_{(int)i(n+1)k}(x),$$

$$\Psi_{ink}^{(0)}(t) = \Psi_{ink}(t),$$

продолжаются до априори заданной границы: $r \leq q = \text{const}$. Выше неявно предполагалось, что за значение y_{0ik} было взято $\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(q)}(b_{i-1})$. По окончании итераций на $[a_i, b_i]$ выполняется переход к $[a_{i+1}, b_{i+1}]$, где за значение $y_{0(i+1)k}$ принимается $\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(q)}(b_i)$. Отсюда

$$\Psi_{(int)(i+1)(n+1)k}^{(q)}(a_{i+1}) = \Psi_{(int)i(n+1)k}^{(q)}(b_i),$$

$$i = 0, 1, \dots, p-2,$$

и интегральные полиномы совпадают на каждой общей границе всех соседних подынтервалов. Таким образом, кусочно-интерполяционное приближение решения является непрерывной функцией $\forall x \in [a, b]$. Кусочно-интерполяционное приближение производной от решения также, по построению, является непрерывной функцией на всем $[a, b]$. При этом имеет место равномерная сходимость $\{ \Psi_{(int)i(n+1)\ell}^{(q)}(t) \}_{\ell=1}^N$ к решению Y задачи (6) и равномерная сходимость $\{ \Psi_{in\ell}^{(q)}(t) \}_{\ell=1}^N$ к производной от решения Y' [5, 6], если $p \rightarrow \infty$.

С некоторым отступлением от формализации выделяются следующие положения [5].

Предложение 1. Коэффициенты приближения производной от k -го компонента решения задачи (6), $\Psi_{ink}^{(q)}(t)$, имеют, аналогично (9), (10), числовые значения

$$\Psi_{ink}^{(q)}(t) = c_{i0k}^{(q)} + \sum_{\ell=1}^n c_{i\ell k}^{(q)} t^{\ell},$$

по всем номерам подынтервалов из (7) они образуют массив из p строк вида

$$\begin{aligned} & (c_{00k}^{(q)}, c_{01k}^{(q)}, \dots, c_{0nk}^{(q)}), \\ & (c_{10k}^{(q)}, c_{11k}^{(q)}, \dots, c_{1nk}^{(q)}), \dots, \\ & (c_{(p-1)0k}^{(q)}, c_{(p-1)1k}^{(q)}, \dots, c_{(p-1)nk}^{(q)}). \end{aligned}$$

Такой массив можно хранить в памяти компьютера в форме типизированного файла. Обращение к строке этого файла позволяет восстановить значение k -го компонента производной от решения по схеме Горнера. Номер строки типизированного файла, соответствующей произвольному значению независимой переменной $x \in [a, b]$, является номером подынтервала, которому принадлежит x , $x \in [a_i, b_i]$, и определяется из соотношения:

$$\begin{aligned} i &= [(x - a) / (b_i - a_i)], \text{ или,} \\ i &= [(x - a) / ((b - a)p^{-1})], \end{aligned} \quad (11)$$

где $[\alpha]$ – целая часть числа α .

Предложение 2. Предложение 1 с точностью до обозначений повторяется для коэффициентов полинома $\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(q)}(x)$, приближающего k -й компонент решения задачи (6). Они имеют числовые значения,

$$\Psi_{(int)i(n+1)k}^{(q)}(t) = y_{0ik} + h_i \sum_{\ell=0}^n c_{i\ell k}^{(q)} / (\ell + 1) t^{\ell+1},$$

по всем номерам подынтервалов из (7) образуют массив из p строк:

$$\begin{aligned} & (c_{y00k}^{(q)}, c_{y01k}^{(q)}, \dots, c_{y0(n+1)k}^{(q)}), \\ & (c_{y10k}^{(q)}, c_{y11k}^{(q)}, \dots, c_{y1(n+1)k}^{(q)}), \dots, \\ & (c_{y(p-1)0k}^{(q)}, c_{y(p-1)1k}^{(q)}, \dots, c_{y(p-1)(n+1)k}^{(q)}), \end{aligned}$$

который можно хранить в виде типизированного файла. Обращение к строке этого файла позволяет восстановить значение k -го компонента решения задачи (6) по схеме Горнера. Номер строки типизированного файла, соответствующей произвольному значению независимой переменной $x \in [a, b]$, является номером подынтервала, которому принадлежит x , $x \in [a_i, b_i]$, и определяется из соотношения (11).

Предложение 3. Предложения 1, 2 с точностью до обозначений сохраняются, если хранение коэффициентов полиномов в памяти компьютера выполняется не в форме типизированного файла, а в форме двумерного массива, номера строк которого соответствуют номерам подынтервалов из (7).

При использовании предложений 1–3 непрерывное приближение решения задачи (6) и непрерывное приближение его производной оказываются хранимыми и восстанавливаются в произвольной точке изменения независимой переменной по схеме Горнера вычисления значения полинома с оценкой времени $T_{\Psi} = n(t_y + t_c)$, где t_y – время бинарного умножения, t_c – время бинарного сложения. При этом направление изменения независимой переменной может быть прямым, обратным и, вообще говоря, произвольным. Если требуется пересчитать значение решения или производной в любой точке отрезка приближения, то задачу (6) не требуется целиком решать заново – достаточно обратиться к соответствующей строке типизированного файла или массива. Если пересчет требуется выполнить M раз, то рассматриваемая обработка (постобработка) выполнится в $\approx M \times \tau$ раз быстрее (τ – время решения задачи (6)), чем с M -кратным использованием повторного численного интегрирования.

Ниже представлена программная реализация предложенного метода для решения задачи (1)–(5). С целью достижения минимальной временной сложности одновременно с максимальной точностью приближения в программе используется ряд упрощений, возможность которых определяется спецификой исходного алгоритма. Именно, выбраны следующие значения параметров: в (10) $n = 8$, граница числа итераций $q = 12$, число отрезков разбиения из (7) $p = 1$. Разбиение на подынтервалы (7) всегда дает положительный результат [5, 6]. Но высокое быстроедействие с сохранением искомой точности в данном частном случае достигается при $p = 1$. Иными словами, метод программно реализован на одном подынтервале, совпадающем со всем отрезком приближения (интервалом прогнозирования).

Программная реализация (Delphi) выполняет расчет эфемерид НКА ГЛОНАСС в системе ПЗ-90.11 на заданный момент времени t_i шкалы МДВ из 30-минутного интервала прогнозирования на основе кусочно-интерполяционного приближения решения задачи (1)–(5) с учетом общего случая, однако операторы для сохранения массива коэффициентов в типизированном файле закомментированы. Реализован толь-

ко что отмеченный частный случай совпадения заданного интервала с единственным подинтервалом разбиения (7) при $p = 1$:

```

program fpi_glonass; {$APPTYPE CONSOLE} uses SysUtils, Math;
const Neq=6; {число уравнений в системе ОДУ (1)} N4=7; {номер эфемеридного четырехлетне-
го периода}
NT=583; {номер эфемеридных суток в эфемеридном четырехлетнем периоде}
tb=11700; {момент времени из оперативной информации ГЛОНАСС}
ti=12600; {заданный момент времени шкалы МДВ, на который необходимо пересчитать координаты
и составляющие вектора скорости НКА}
type vectNeq=array[1..Neq] of extended; const y00:vectNeq=(24855158.20312, 345943.8476562, -5760185.546875,
-798.4914779663, -65.19222259521, -3447.617530823); {координаты и составляющие вектора скорости
центра масс НКА на момент времени tb в системе ПЗ-90.11 из оперативной информации ГЛОНАСС}
procedure pi_calculation_of_ephemeris_glonass(N4,NT:integer; tb,ti:extended; y00:vectNeq);
const Npol=8; {степень n интерполяционных полиномов (10)} k_iter=12; {граница числа итераций q}
e_l=0.054900489; e_c=0.016719; i_l=0.0898041080; w3=7.2921151467e-5; J2=1082.62575e-6; a_c=1.49598e+11;
GM=3.986004418e+14; ae=6378136; G_l=4902.799e+9; G_c=13271244.0e+13; a_l=3.84385243e+8;
{FILEPATH='D:\coeffs.bin'; type Arr_coeff=array[0..29] of extended; var f_coeff:file of Arr_coeff; dd:Arr_coeff;}
type Prc=array[1..8] of extended; matr=array[0..Npol,0..Npol] of integer;
var y0,yn,y0,yr: vectNeq; JD0,GMST,ERA,dT,S:extended; i:byte; vPrc:array[0..Npol] of Prc;
procedure ls_acceleration_prep(x:extended; var KEKr :Prc); {расчет значений функций из (3)}
var sinv_l,cosv_l,sinv_c,cosv_c,w_c,eps,Gamma,Ksi11,Ksi12,Eta11,Eta12,Kapa11,Kapa12:extended;
q_l,q_c,T,Omega_l,Ksi_Eta_Kapa_El,Ec:extended;
function Ekk(q_k,e_k:extended):extended; var Ek_Ek_new:extended; begin Ek_new:=q_k;
repeat Ek :=Ek_new; Ek_new:=q_k+e_k*sin(Ek); until abs(Ek_new-Ek)<1e-15; Ekk:=Ek; end;
begin T:=(JD0+(x-10800)/86400-2451545.0)/36525; q_l:=2.3555557435+8328.6914257190*T+0.0001545547*sqr(T);
q_c:=6.2400601269+628.3019551714*T-(2.6820e-6)*sqr(T);
Omega_l:=2.1824391966-33.7570459536*T+0.0000362262*sqr(T);
Gamma_l:=1.4547885346+71.0176852437*T-0.0001801481*sqr(T);
w_c:=7.6281824375+0.0300101976*T+(7.9741e-6)*sqr(T);
eps:=0.4090926006-0.0002270711*T; Ksi_l:=1-sqr(cos(Omega_l))*(1-cos(i_l));
Eta_l:=sin(Omega_l)*sin(i_l); Kapa_l:=cos(Omega_l)*sin(i_l); Ksi11:=sin(Omega_l)*cos(Omega_l)*(1-cos(i_l));
Ksi12:=1-sqr(sin(Omega_l))*(1-cos(i_l)); Eta11:=Ksi_l*cos(eps)-Kapa_l*sin(eps);
Eta12:=Ksi11*cos(eps)+Eta_l*sin(eps); Kapa11:=Ksi_l*sin(eps)+Kapa_l*cos(eps);
Kapa12:=Ksi11*sin(eps)-Eta_l*cos(eps); El:=Ekk(q_l,e_l); Ec:=Ekk(q_c,e_c);
sinv_l:=(sqr(1-sqr(e_l))*sin(El))/(1-e_l*cos(El)); sinv_c:=(sqr(1-sqr(e_c))*sin(Ec))/(1-e_c*cos(Ec));
cosv_l:=(cos(El)-e_l)/(1-e_l*cos(El)); cosv_c:=(cos(Ec)-e_c)/(1-e_c*cos(Ec));
KEKr [1]:=(sinv_l*cos(Gamma_l)+cosv_l*sin(Gamma_l))*Ksi11+(cosv_l*cos(Gamma_l)-sinv_l*sin(Gamma_l))*Ksi12;
KEKr [2]:=(sinv_l*cos(Gamma_l)+cosv_l*sin(Gamma_l))*Eta11+(cosv_l*cos(Gamma_l)-sinv_l*sin(Gamma_l))*Eta12;
KEKr [3]:=(sinv_l*cos(Gamma_l)+cosv_l*sin(Gamma_l))*Kapa11+(cosv_l*cos(Gamma_l)-sinv_l*sin(Gamma_l))*Kapa12;
KEKr [7]:=a_l*(1-e_l*cos(El)); KEKr [4]:=cosv_c*cos(w_c)-sinv_c*sin(w_c);
KEKr [5]:=(sinv_c*cos(w_c)+cosv_c*sin(w_c))*cos(eps); KEKr [6]:=(sinv_c*cos(w_c)+cosv_c*sin(w_c))*sin(eps);
KEKr [8]:=a_c*(1-e_c*cos(Ec)); end;
{подпрограмма-функция вычисления значений компонентов вектор-функции правой части (1)}
function f(eq:integer;x:extended;yy:vectNeq;KEKr:Prc):extended;
var r,GM_l,y1,y2,y3_ro,jx0_c,jy0_c,jz0_c,jx0_l,jy0_l,jz0_l:extended;
procedure ls_acceleration(y1,y2,y3:extended;KEKr:Prc; var jx0_c,jy0_c,jz0_c,jx0_l,jy0_l,jz0_l:extended);
var delta_c,delta_l,x_c,y_c,z_c,x_l,y_l,z_l,Gl,Gc:extended;
begin x_l:=y1/KEKr[7]; y_l:=y2/KEKr[7]; z_l:=y3/KEKr[7]; Gl:=G_l/sqr(KEKr[7]);
x_c:=y1/KEKr[8]; y_c:=y2/KEKr[8]; z_c:=y3/KEKr[8]; Gc:=G_c/sqr(KEKr[8]);
delta_l:=Power(sqr(KEKr[1]-x_l)+sqr(KEKr[2]-y_l)+sqr(KEKr[3]-z_l),1.5);
delta_c:=Power(sqr(KEKr[4]-x_c)+sqr(KEKr[5]-y_c)+sqr(KEKr[6]-z_c),1.5);
jx0_l:=Gl*((KEKr[1]-x_l)/delta_l-KEKr[1]); jy0_l:=Gl*((KEKr[2]-y_l)/delta_l-KEKr[2]);
jz0_l:=Gl*((KEKr[3]-z_l)/delta_l-KEKr[3]); jx0_c:=Gc*((KEKr[4]-x_c)/delta_c-KEKr[4]);
jy0_c:=Gc*((KEKr[5]-y_c)/delta_c-KEKr[5]); jz0_c:=Gc*((KEKr[6]-z_c)/delta_c-KEKr[6]);end;
begin case eq of 1: f:=yy[4]; 2: f:=yy[5]; 3: f:=yy[6]; else begin r:=sqrt(yy[1]*yy[1]+yy[2]*yy[2]+yy[3]*yy[3]);
GM_l:=GM/sqr(r); y1_l:=yy[1]/r; y2_l:=yy[2]/r; y3_l:=yy[3]/r; ro:=ae/r;
ls_acceleration(yy[1],yy[2],yy[3],KEKr,jx0_c,jy0_c,jz0_c,jx0_l,jy0_l,jz0_l);
case eq of 4: f:=-GM_l*y1_l-1.5*J2*GM_l*ro*ro*y1_l*(1-5*sqr(y3_l))+jx0_c+jx0_l;
5: f:=-GM_l*y2_l-1.5*J2*GM_l*ro*ro*y2_l*(1-5*sqr(y3_l))+jy0_c+jy0_l;
6: f:=-GM_l*y3_l-1.5*J2*GM_l*ro*ro*y3_l*(3-5*sqr(y3_l))+jz0_c+jz0_l; end; end; end; end;
{кусочно-интерполяционное приближение решения задачи Коши (1) – (5)}
procedure RD(print:boolean;yin:vectNeq; A_nach,B_konech:extended; var yout:vectNeq);
const dp: array[1..8,1..8] of extended=((1,-1/2,2/6,-6/24,24/120,-120/720,720/5040,-5040/40320),
(0,1/2,-3/6,11/24,-50/120,274/720,-1764/5040,13068/40320),(0,0,1/6,-6/24,35/120,-225/720,

```

```

1624/5040,-13132/40320),(0,0,0,1/24,-10/120,85/720,-735/5040,6769/40320),
(0,0,0,0,1/120,-15/720,175/5040,-1960/40320),(0,0,0,0,0,1/720,-21/5040,322/40320),
(0,0,0,0,0,1/5040,-28/40320),(0,0,0,0,0,0,1/40320));
type Mmatr=array[0..Npol,0..Npol] of vectNeq; vect=array[0..Npol] of extended; Mvect=array[0..Npol] of vectNeq;
var i,k,j,iter,r:byte; h:extended; x:vect; pp,s:vectNeq; y,fy,A:Mvect; dy:Mmatr;
begin h:=(B_konech-A_nach)/Npol;
for j:=0 to Npol do begin x[j]:=A_nach+j*h; ls_acceleration_prep(x[j],vPrC[j]);end;
for j:=0 to Npol do for i:=1 to Neq do y[j,i]:=yin[i];
for i:=1 to Neq do begin fy[0,i]:=f(i,x[0],y[0],vPrC[0]); A[0,i]:=fy[0,i]; end;
for iter:=1 to k_iter do begin for j:=1 to Npol do for i:=1 to Neq do fy[j,i]:=f(i,x[j],y[j],vPrC[j]);
for j:=0 to Npol-1 do for i:=1 to Neq do dy[1,j,i]:=fy[j+1,i]-fy[j,i];
for k:=2 to Npol do for j:=0 to Npol-k do for i:=1 to Neq do dy[k,j,i]:=dy[k-1,j+1,i]-dy[k-1,j,i];
for k:=1 to Npol do begin for i:=1 to Neq do s[i]:=0; for j:=k to Npol do
for i:=1 to Neq do s[i]:=s[i]+dp[k,j]*dy[j,0,i];for i:=1 to Neq do A[k,i]:=s[i]; end;
for j:=1 to Npol do begin for i:=1 to Neq do pp[i]:=A[Npol,i]/(Npol+1);
for r:=Npol-1 downto 0 do for i:=1 to Neq do pp[i]:=pp[i]*j+A[r,i]/(r+1);
for i:=1 to Neq do y[j,i]:=pp[i]*h*j+y[0,i]; end; end;
{сохранение массива коэффициентов полиномов, аппроксимирующих координаты центра масс НКА на интервале
прогнозирований, в типизированный файл (массив состоит из одной строки с коэффициентами
полиномиальных приближений компонентов решения системы, соответствующих координатам x, y и z)}
{ifprint then begin AssignFile(f_coeff,FILEPATH);rewrite(f_coeff); for i:=1 to 3 do dd[(Npol+2)*(i-1)]:=y[0,i];
for k:=1 to Npol+1 do for i:=1 to 3 do dd[k+(Npol+2)*(i-1)]:=A[k-1,i]*h/k; write(f_coeff,dd); Close(f_coeff); end;}
for i:=1 to Neq do yout[i]:=y[Npol,i]; end;
begin JD0:=1461*(N4-1)+NT+2450082.5; dT:=(JD0-2451545.0)/36525;
ERA:=2*PI*(0.7790572732640+1.00273781191135448*(JD0-2451545.0));
GMST:=ERA+7.03270726e-8+0.0223603658710194*dT+6.7465784654e-6*power(dT,2)
-2.1332e-12*power(dT,3)-1.452308e-10*power(dT,4)-1.784e-13*power(dT,5);
{расчет начальных условий для интегрирования системы (1) путем пересчета координат и составляющих
вектора скорости центра масс НКА в геоцентрическую систему координат} S:=GMST+w3*(tb-10800);
y0[1]:=y00[1]*cos(S)-y00[2]*sin(S); y0[2]:=y00[1]*sin(S)+y00[2]*cos(S); y0[3]:=y00[3];
y0[4]:=y00[4]*cos(S)-y00[5]*sin(S)-w3*y0[2]; y0[5]:=y00[4]*sin(S)+y00[5]*cos(S)+w3*y0[1]; y0[6]:=y00[6];
RD(True,y0,tb,ti,yn0); {кусочно-интерполяционное приближение решения задачи Коши}
{пересчет результатов приближения координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА
в момент времени ti в систему координат ПЗ-90.11} S:=GMST+w3*(ti-10800);
yn[1]:=yn0[1]*cos(S)+yn0[2]*sin(S); yn[2]:=-yn0[1]*sin(S)+yn0[2]*cos(S); yn[3]:=yn0[3];
yn[4]:=yn0[4]*cos(S)+yn0[5]*sin(S)+w3*yn[2]; yn[5]:=-yn0[4]*sin(S)+yn0[5]*cos(S)-w3*yn[1]; yn[6]:=yn0[6];
writeln(ti); writeln(' x=',yn[1], ' y=',yn[2], ' z=',yn[3]); writeln(' vx=',yn[4], ' vy=',yn[5], ' vz=',yn[6]);
RD(False,yn0,ti,tb,yr); {расчет погрешности приближения путем обратного интегрирования задачи Коши}
writeln; for i:=1 to Neq do write(' Pogr',i,' =',Format(' %1.4e',[abs(yn[i]-y0[i])]),', '); end;
begin pi_calculation_of_ephemeris_glonass(N4,NT,tb,ti,y00); readln; end.

```

Результат работы программы:

```

ti= 1.2600000000000000E+0004
x= 2.39489258119706E+0007 y= 3.40159756877465E+0005 z=-8.79710015725756E+0006
vx=-1.21004870882318E+0003 vy= 6.13653373754929E+0001 vz=-3.29014462102794E+0003
P1=0.000E+000; P2=0.000E+000; P3=0.000E+000; P4=0.000E+000; P5=0.000E+000; P6=0.000E+000;

```

Пересчет эфемерид выполнен на момент времени $t_i = 12600$. Погрешность приближения оценивалась по методике [7] – путем обратного интегрирования задачи (1)–(5) на отрезке $[t_i, t_b]$ (при $t_i < t_b$ на отрезке $[t_b, t_i]$) с начальными данными, полученными при решении прямой задачи в момент времени t_b . Для кусочно-интерполяционного приближения получены «нулевые» в формате вывода данных *extended* значения абсолютной погрешности приближения компонентов решения системы. Иными словами, погрешность кусочно-интерполя-

ционного решения задачи (1)–(5) совпала с погрешностью представления начальных данных (5), при этом время решения составило 0.140 мс. Здесь и ниже погрешность приближения координат НКА указана в метрах, составляющих вектора скорости центра масс НКА – в метрах в секунду, значение времени решения – в миллисекундах. Время решения по аналогии с [2] рассчитывается как среднее арифметическое для 100000 последовательных решений на компьютере с процессором *11th GenIntel(R) Core(TM) i7-1165G7*.

Таблица 1

Погрешность и время расчета эфемерид НКА посредством решения задачи (1)–(5)

| Δt | Runge-Kutta_4 | | FPI | |
|------------|---------------|-----------|-----------------|----------|
| | $h = 1c$ | | $n = 8, q = 12$ | |
| 5 мин | 0.000e+00 | 10.937 мс | 0.000e+00 | 0.140 мс |
| 10 мин | 0.000e+00 | 20.485 мс | 0.000e+00 | |
| 15 мин | 0.000e+00 | 29.929 мс | 0.000e+00 | |

Приближение решения этой же задачи с помощью метода Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом интегрирования $h = 1c$ также характеризуется «нулевыми» значениями погрешности вследствие ограниченной точности начальных данных (5). Однако время решения существенно больше: 29.929 мс (шаг интегрирования $h = 1c$ выбран с целью сравнения времени расчета при условии достижения высокой точности приближения – в практических расчетах рекомендуется применять метод Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом $h = 60c$ [1, 2]). В табл. 1 представлены результаты численных экспериментов по расчету эфемерид НКА ГЛОНАСС № 730 на основе приближенного решения задачи (1)–(5) на отрезках $[t_b, t_b + \Delta t]$, $\Delta t = 300c, 600c, 900c$, с помощью метода Рунге – Кутты 4-го порядка. В табл. 1 величина шага интегрирования $h = 1c$, как только что отмечено, специально взята меньше рекомендуемого в [1, 2] шага $h = 60c$. Кусочно-интерполяционный метод, как отмечалось, взят с параметрами $n = 8, q = 12$. В таблице принята норма $\|b\|_1 = \max_{1 \leq i \leq N} |b_i|$ для вектора абсолютной погрешности приближения компонентов системы (1).

Согласно табл. 1 применение предложенного метода позволяет на два десятичных порядка ускорить существующий [1, 2] процесс расчета координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА при достижении превышения требуемой точности приближения.

Если согласно рекомендации [1, 2] для снижения трудоемкости применить метод Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом $60c$, то для рассматриваемой задачи расчет эфемерид НКА ГЛОНАСС № 730 на момент времени $t_i = 12600$ выполнится со следующими значениями абсолютной погрешности:

$$\begin{aligned} P1 &= 3.959E-005; P2 = 1.003E-004; \\ P3 &= 1.925E-004; P4 = 3.704E-008; \\ P5 &= 1.367E-009; P6 = 6.953E-009; \end{aligned}$$

при этом время решения составит 0.522 мс. Расчет с применением кусочно-интерполяционного метода выполняется в ≈ 4 раза быстрее, причем без накопления погрешности.

Здесь и ниже погрешность приближения рассчитывается на основе сравнения с эталонным приближением эфемерид НКА, выполненным с применением кусочно-интерполяционного метода с параметрами $n = 8, q = 12$ (аналогичная погрешность получилась бы при сравнении с эталоном, рассчитанным по методу Рунге – Кутты 4-го порядка при $h = 1c$).

Замечание 1. Следует отметить особенность применения предложенного метода для решения задачи (1)–(5), которая учитывается в представленной программе `fpi_glonass` для снижения времени расчета. При кусочно-интерполяционном приближении решения рассматриваемой задачи большая часть числа обращений к функциям правой части (1) производится в процессе выполнения итераций. При этом моменты времени, определяемые в качестве узлов интерполяции, остаются неизменными в процессе итераций. В (1) многие параметры, включая направляющие косинусы и удаление возмущающего тела (3), зависят только от времени T в юлианских столетиях по 36525 эфемеридных суток от эпохи 2000 года, 1 января, 12 ч (UTC(SU)) до момента времени t . Поэтому значения таких параметров рассчитываются до начала итерационного уточнения. Это снижает время построения требуемых приближений эфемерид. Такой подход к снижению времени расчета на основе метода Рунге – Кутты неприменим вследствие обращения к функции правой части на каждом шаге метода.

Время повторного расчета (в случае его необходимости) эфемерид НКА для произвольного момента времени из интервала прогнозирования $[t_b, t_b \pm \Delta t]$, $\Delta t = 900c$, можно существенно снизить посредством представленной в предложениях 1–3 возможности хранения коэффициентов непрерывного кусочно-интерполяционного приближения решения задачи (1)–(5). После однократного построения приближения в последующем оно восстанавливается как значение полинома с хранимыми коэффициентами, вычисляемое по схеме Горнера.

Для формирования типизированного файла с коэффициентами полиномов, аппроксимирующих координаты центра масс НКА на интервале прогнозирования, в программе `fpi_glonass` нужно раскомментировать соответствующие блоки операторов. Далее, восстановление зна-

чений эфемерид НКА для произвольного момента времени из интервала прогнозирования и их пересчет из инерциальной геоцентрической системы координат в систему ПЗ-90.11 в соответствии с документацией из [1] выполняется представленной ниже программой:

```

program calc_fpi; {$APPTYPE CONSOLE} uses SysUtils, Math;
const N4=7; {номер эфемеридного четырехлетнего периода}
NT=583; {номер эфемеридных суток в эфемеридном четырехлетнем периоде}
tb=11700; ti=12600; {границы интервала прогнозирования эфемерид НКА}
tpr=12600; {момент времени из интервала прогнозирования}
FILEPATH='D:\coeffs.bin'; n=9; h=112.5; {файл с коэффициентами полиномов, аппроксимирующих
координаты центра масс НКА и параметры приближения}
type Arr_coeff=array[0..29] of extended; var f_coeff:file of Arr_coeff; dd:Arr_coeff; const w3=7.2921151467e-5;
type vectNeq = array[1..6] of extended; var i:integer; yn0,yn:vectNeq; JD0,ERA,GMST,dT,S:extended;
function calc(num:byte;tpr:extended):extended; type Coeff=array[0..n] of extended; var d:Coeff; j:integer; t:extended;
function gorner(const d:Coeff): extended; var pp:extended; i:integer;
begin pp:=d[n]; for i:=1 to n do pp:=pp*t+d[n-i]; gorner:=pp; end;
function gorner_pr(const d:Coeff): extended; var pp:extended; i:integer;
begin pp:=d[n]*n/h; for i:=1 to n-1 do pp:=pp*t+d[n-i]*(n-i)/h; gorner_pr:=pp; end;
begin t:=(tpr-tb)/h; case num of 1,2,3: begin for j:=0 to n do d[j]:=dd[j+(n+1)*(num-1)]; calc:=gorner(d); end;
4,5,6: begin for j:=0 to n do d[j]:=dd[j+(n+1)*(num-3-1)]; calc:=gorner_pr(d); end; end; end;
begin JD0:=1461*(N4-1)+NT+2450082.5; dT:=(JD0-2451545.0)/36525;
ERA:=2*PI*(0.7790572732640+1.00273781191135448*(JD0-2451545.0));
GMST:=ERA+7.03270726e-8+0.0223603658710194*dT+6.7465784654e-6*power(dT,2)
-2.1332e-12*power(dT,3)-1.452308e-10*power(dT,4)-1.784e-13*power(dT,5);
AssignFile(f_coeff, FILEPATH); Reset(f_coeff); read(f_coeff,dd);
for i := 1 to 6 do yn0[i]:=calc(i,tpr);
S:=GMST+w3*(tpr-10800); yn[1]:=yn0[1]*cos(S)+yn0[2]*sin(S);
yn[2]:=-yn0[1]*sin(S)+yn0[2]*cos(S);yn[3]:=-yn0[3];
yn[4]:=yn0[4]*cos(S)+yn0[5]*sin(S)+w3*yn[2];
yn[5]:=-yn0[4]*sin(S)+yn0[5]*cos(S)-w3*yn[1]; yn[6]:=yn0[6]; CloseFile(f_coeff);
writeln('tpr=',tpr);writeln('x=',yn[1], 'y=',yn[2], 'z=',yn[3]);writeln('vx=',yn[4], 'vy=',yn[5], 'vz=',yn[6]);readln;
end.
    
```

Результат работы программы:

```

tpr=12600
x=2.39489258119706E+0007 y=3.40159756877465E+0005 z=-8.79710015725756E+0006
vx=-1.21004870882318E+0003 vy=6.13653373754929E+0001 vz=-3.29014462102794E+0003
    
```

Таблица 2

Погрешность и время повторного расчета эфемерид НКА с учетом хранимости коэффициентов кусочной интерполяции

| Δt | Runge-Kutta_4 | | FPI (calc_fpi) | |
|--------|---------------|----------|----------------|----------|
| | h = 60 c | | n = 8, q = 12 | |
| 5 мин | 6.441e-05 | 0.175 мс | 0.000e+00 | 0.025 мс |
| 10 мин | 1.286e-04 | 0.347 мс | 0.000e+00 | |
| 15 мин | 1.925e-04 | 0.522 мс | 0.000e+00 | |

Метод позволяет хранить лишь коэффициенты полиномов, аппроксимирующих координаты центра масс НКА: значения составляющих вектора скорости восстанавливаются без потери точности как значения производных от полиномов, аппроксими-

рующих координаты центра масс (процедура `gorner_pr`).

В табл. 2 представлены результаты численных экспериментов по расчету эфемерид НКА ГЛОНАСС № 730 на основе численного решения задачи (1)–(5) с помощью

метода Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом 60 с и на основе восстановления кусочно-интерполяционного приближения решения этой задачи из типизированного файла.

Согласно табл. 2 применение хранимого кусочно-интерполяционного приближения решения задачи (1)–(5) на интервале прогнозирования снижает время восстановления решения примерно в 7 раз для $\Delta t = 5$ мин, в 12 раз для $\Delta t = 10$ мин, в 20 раз для $\Delta t = 15$ мин. При этом точность восстановленного приближения существенно превышает допустимое значение.

Замечание 2. При расчете эфемерид НКА ГЛОНАСС на основе восстановления кусочно-интерполяционного приближения решения задачи Коши из типизированного файла основной составляющей времени расчета (табл. 2) является время открытия и закрытия типизированного файла.

Замечание 3. Без учета времени открытия и закрытия типизированного файла расчет эфемерид НКА ГЛОНАСС для произвольного момента времени из интервала прогнозирования занимает время 0.0007 мс.

Замечание 4. Нетрудно видеть, что разбиение интервала ± 15 мин относительно момента t_b ($t \in [t_b - \Delta t, t_b]$ и $t \in [t_b, t_b + \Delta t]$, $\Delta t = 900$ с) на сравнительно малое число подынтервалов в соответствии с (7) позволяет добиться аналогично высокой точности приближения с помощью полиномов степени $n = 4$. В этом случае указанное в замечании 3 время восстановления решения задачи (1)–(5) сократится примерно вдвое.

Рассматриваемое в замечании 4 разбиение потребуется при применении метода для решения задачи Коши для системы ОДУ на интервале существенно большей длины. В [6] показано, что применение кусочно-интерполяционного метода характеризуется высокой точностью приближенного решения на отрезке произвольно фиксированной длины при наименьшей временной сложности, причем инвариантно относительно вида задачи. При изменении рекомендованного в [1] алгоритма расчета интервал требуемого высокоточного прогноза эфемерид НКА ГЛОНАСС может быть увеличен. В частности, в [8] предлагается новый алгоритм высокоточного прогноза эфемерид НКА ГЛОНАСС (с учетом дополнительных факторов, влияющих на орбиты спутников), который позволяет в ~ 3 раза повысить точность прогнозируемых эфемерид спутников этой системы и увеличить «время жизни» эфемерид ГЛОНАСС с 0,5 ч до суток.

Согласно изложенному с помощью кусочно-интерполяционного интегрирования уравнений движения центра масс НКА достигается снижение погрешности прогнози-

рования положения НКА при одновременном ускорении вычислительной обработки. Кроме того, в результате кусочно-интерполяционного решения задачи (1)–(5) достигается непрерывность приближения координат, а также составляющих вектора скорости центра масс НКА на интервале прогнозирования. Эти приближения могут быть хранимыми для всего интервала прогнозирования в виде типизированных файлов, что позволяет выполнять пересчет положения НКА в любых точках интервала без повторного решения задачи (1)–(5).

Об особенностях предложенного численного моделирования движения НКА.

Время расчета эфемерид НКА кусочно-интерполяционным методом является минимальным, фиксированным и не зависит от момента времени t_i , $|t_i - t_b| \leq 15$ мин, (табл. 1, 2). На основе кусочно-интерполяционного приближения помимо значений координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА в требуемый момент времени t_i можно выполнить расчет ускорений. Предложенное приближенное решение задачи (1)–(5) непрерывно и непрерывно дифференцируемо на интервале прогнозирования. Дополнительное ускорение численного моделирования возможно за счет применения кусочной интерполяции суперпозиций функций в правой части (1) с помощью интерполяционных полиномов Лагранжа или Ньютона, преобразованных, аналогично (10), к виду алгебраических полиномов с числовыми коэффициентами [9]. Такой метод инвариантен относительно вида функции и диапазона независимой переменной, характеризуется высокой точностью приближения и одновременно малой временной сложностью. Для класса повторяющихся функций временная сложность сконструированного в [9] алгоритма измеряется степенью полинома, $-n(t_y + t_c)$, где t_y, t_c – время бинарного умножения и сложения. С применением этого алгоритма можно построить кусочно-интерполяционные приближения функций $\xi_i, \eta_i, \mathfrak{S}_i, r_i / a_i, \xi_c, \eta_c, \mathfrak{S}_c, r_c / a_c$, которые рассчитываются из (3) для определения ускорения от лунно-солнечных гравитационных возмущений. Рассматриваемые функции зависят только от времени T в юлианских столетиях от эпохи 2000 г. до требуемого момента времени t . При этом для численного моделирования движения НКА системы ГЛОНАСС вплоть до 2047 г. диапазон значений T не выходит из отрезка $[0, 0.5]$. Коэффициенты полиномов кусочно-интерполяционного приближения $\xi_i, \eta_i, \mathfrak{S}_i, r_i / a_i, \xi_c, \eta_c, \mathfrak{S}_c, r_c / a_c$ можно вычислить априори для $T \in [0, 0.5]$ и хранить их массив в памяти компьютера. С при-

менением адресации (11) это влечет существенное сокращение времени вычисления ускорений от лунных и солнечных гравитационных возмущений. Согласно проведенному численному эксперименту рассматриваемые функции могут быть приближены полиномами шестой степени с границей абсолютной погрешности порядка 10^{-15} (при разбиении отрезка приближения на 2^{16} подынтервалов). В результате значения направляющих косинусов и удалений Луны и Солнца, необходимые для определения ускорений от лунно-солнечных гравитационных возмущений из (2), могут быть вычислены на отрезке $T \in [0, 0.5]$ с точностью порядка 10^{-15} за время $6(t_y + t_c)$.

Возможность использования хранимых коэффициентов кусочной интерполяции суперпозиций функций в правой части (1) с целью снижения времени расчета ускорений от лунно-солнечных гравитационных возмущений в программе `fri_glonass` не реализована вследствие причин, указанных в замечании 1. В случае если бы задача (1)–(5) решалась разностным методом, восстановление значений функций (3) на основе хранимых коэффициентов аппроксимирующих полиномов существенно снизило бы время расчета таким методом.

Об архивации непрерывных приближений и прогнозировании отрезка траектории движения объекта. Целесообразно пояснить значение предложенной разновидности кусочной интерполяции решения задачи (1)–(5) для архивации прогнозирования. Поскольку отрезок $[t_b, t_b + \Delta t]$ ($[t_b - \Delta t, t_b]$), $\Delta t = 900$ с остается постоянным для численного решения этой задачи, то при любом выборе разбиения (7) для $[a, b] = [t_b - \Delta t, t_b + \Delta t]$ двумерный массив коэффициентов рассматриваемой кусочной интерполяции будет постоянным на всем этом отрезке. Необходима оговорка, что речь идет о решении задачи Коши с фиксированными начальными значениями на 30-минутном интервале прогнозирования. При изменении начальных значений соответственно изменится массив коэффициентов. При фиксированных начальных значениях задачи (1)–(5) приближенное решение со всеми отмеченными качествами с единственностью будет представлено одним и только одним двумерным массивом коэффициентов, сформированным в процессе прогнозирования путем численного моделирования. Такой массив естественно хранить в виде типизированного файла. С учетом того, что каждый компонент решения (и его первых двух производных) восстанавливается по строке коэффициентов,

соответствующей номеру подынтервала, с применением адресации (11) для произвольной точки $t \in [a, b]$, получается удобный вид хранения всего процесса прогнозирования на данном отрезке. При этом аналитические качества восстановленного приближения сохраняются и практически дают всю информацию о поведении решения (о поведении центра масс НКА) в любой момент времени на данном интервале прогнозирования. Так, для представленного в программах `fri_glonass` и `calc_fri` примера рассматриваемый массив состоит всего из одной строки, которая содержит набор из 10 коэффициентов для каждого интерполируемого компонента решения задачи (1)–(5). И именно такой массив (типизированный файл) включает всю требуемую информацию для последующей обработки архива. Для нескольких соседних интервалов прогнозирования понадобится число хранимых файлов, равное числу интервалов, однако их можно объединить в один файл с сохранением его структуры: начальные данные для каждого интервала изменят значение коэффициентов, но не повлияют на их взаимное расположение и на способ их считывания.

Представляется важным следующее. Поскольку предложенный метод примерно в 4 раза ускоряет процесс расчета координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА, причем он дает точность приближения, достигаемую методом Рунге – Кутты только с шагом $1c$ (в 60 раз меньше рекомендованного шага) на отдельном интервале прогнозирования (табл. 1), то с требуемым ограничением по времени он может пройти 4 таких интервала при фиксированных начальных значениях. Иными словами, кусочно-интерполяционный метод, не нарушая временных ограничений, может приближенно решить задачу (1)–(5) с одними и теми же начальными значениями, поступившими из первого (по числу интервалов) навигационного сообщения, на отрезке из четырех последовательных интервалов прогнозирования. С учетом экспериментально подтвержденной высокой точности метод не выйдет из допустимых пределов накопления погрешности в границах четырех рассматриваемых интервалов прогнозирования. Если при этом выполняется запоминание коэффициентов интерполирующих полиномов в структуре типизированного файла, то получатся не только требуемые выходные данные для каждого интервала прогнозирования, но и могут быть восстановлены из файла, практически без потери времени, данные для прогноза

в любой точке каждого из рассматриваемых интервалов. Восстановление возможно также на произвольном множестве точек из таких интервалов или во всей их естественной последовательности.

Последовательное восстановление требуемых значений в каждой точке каждого интервала восстанавливает весь отрезок линии движения НКА на данном множестве интервалов прогнозирования (учитывается непрерывность кусочно-интерполяционного приближения). Восстановление можно выполнять не как отдельную операцию после прохождения всех рассматриваемых интервалов, а после прохождения каждого интервала в отдельности по ходу решения задачи (1)–(5) для последовательности всех интервалов. Отсюда возникают предпосылки прогнозирования в заданное время не только одной точки местоположения НКА (объекта), но возможно прогнозировать полный отрезок траектории движения объекта, причем не только на одном интервале, но на всем их рассматриваемом множестве. Вместе с прогнозированием отрезка траектории НКА (объекта) предсказывается скорость движения (производная интерполирующего полинома), а также ускорение (его вторая производная).

Нетрудно видеть, что смена начальных значений на каждом интервале прогнозирования ничего не меняет в данных рассуждениях, за исключением времени прогноза (новые начальные значения на каждый интервал в ранее изложенной версии следует ожидать). Но, во-первых, в силу точности приближения они могут не потребоваться до окончания отрезка из четырех интервалов прогнозирования. Во-вторых, к новым начальным значениям, в последовательности их поступления, можно возвращаться по окончании прохождения четырех интервалов с целью корректировать уже полученный полный прогноз. Как вариант, это можно делать после прохождения каждого из интервалов, сверяя отклонение новых начальных значений от результата решения в конце интервала. Сверка определит необходимость решения с новыми начальными значениями или отсутствие такой необходимости. Сверку решения можно выполнять и с архивными значениями, априори сохраняемыми для четырех интервалов. Конвейер из четырех процессоров может выполнять прогноз имманентно (с поинтервальной коррекцией прогноза и архивацией) на произвольно заданном отрезке времени. Наиболее вероятно, что комбинирование границы погрешности кусочно-интерполяционного приближения со временем прохождения интервала прогнозирования даст возможность

рассматривать удлинение 30-минутного интервала прогнозирования не в 4, а в гораздо большее число раз. При этом прогнозироваться будет не точка положения НКА (объекта), а отрезок траектории, по которой он движется, на все время объединения интервалов прогнозирования.

Предлагаемый способ архивации позволит повысить эффективность и точность решения пользователями координатно-временных задач в апостериорном режиме моделирования движения НКА при его использовании в Системе высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП) ГЛОНАСС по сравнению с традиционным применением апостериорной высокоточной эфемеридно-временной информации в дискретных узловых точках [10]. В [10] рекомендуется выполнять расчет движения центра масс НКА на любой заданный момент времени по рассчитанным СВОЭВП узловым точкам с использованием интерполяционного полинома, а расчет текущей скорости движения НКА путем дифференцирования такого полинома. Это влечет накопление погрешности интерполяции и дифференцирования, что исключается в случае применения предложенного способа архивации. Передача потребителям СВОЭВП вместо узловых точек со значениями эфемерид НКА массива с коэффициентами непрерывного кусочно-полиномиального приближения траектории (и скорости), которое хранит высокоточные значения приближенного решения в каждой точке интервала прогнозирования, поэтому не требует интерполяции и какой-либо дополнительной вычислительной обработки, позволит существенно ускорить и повысить точность потребительского расчета рассматриваемых эфемерид.

Содержание предложенного подхода соотносится с тем, что аналогичный подход с целью высокоточной быстросействующей обработки применяется в программе ORBGEM, входящей в состав Bernese GNSS (высокоточного программного обеспечения для постобработки наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем, разработанного в астрономическом институте Бернского университета) [11]. Приближенное решение уравнений движения НКА строится в виде полинома, приближение сохраняется в форме файла с коэффициентами аппроксимирующих полиномов. Постобработка выполняется на основе метода коллокации (разновидность неявного метода Рунге – Кутты), что, в отличие от предложенного подхода, ограничивает снижение погрешности и временной сложности.

Заключение

Численное моделирование движения НКА системы ГЛОНАСС по данным эфемерид выполнено с применением кусочно-интерполяционного решения задачи Коши для системы ОДУ, описывающей движение центра масс. Как результат достигается сравнительно высокая точность, непрерывность приближенного решения и его производной, что позволяет получить координаты НКА с превышением требуемой точности в произвольно заданные моменты времени с малой временной сложностью. Процесс расчета реализован в виде процедуры с параметрами, определяемыми из навигационного сообщения, может быть автоматизирован с повышением быстродействия. Дополнительное ускорение численного моделирования движения НКА, а также ускорение постобработки архива прогнозирования возможно с использованием хранимых коэффициентов непрерывных полиномиальных приближений компонентов решения ОДУ.

Список литературы

1. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Общее описание системы с кодовым разделением сигналов. Редакция 1.0. 2016. Сайт ОАО «Российские космические системы». [Электронный ресурс]. URL: <http://russianspace-systems.ru/wp-content/uploads/2016/08/IKD.-Obshh.-opis.-Red.-1.0-2016.pdf> (дата обращения: 08.01.2023).
2. Maciuk K. Different approaches in GLONASS orbit computation from broadcast ephemeris. *Geodetski vestnik*. 2016. No. 60. P. 437–448. DOI:10.15292/geodetski-vestnik.2016.03.437-448.
3. RINEX – The Receiver Independent Exchange Format – Version 3.03. 14 July 2015 (IGS RINEX WG. RTCM-SC104. Pasadena 2015). [Электронный ресурс]. URL: <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex303.pdf> (дата обращения: 01.02.2023).
4. FTP архив прикладного потребительского центра государственной корпорации «Роскосмос». [Электронный ресурс]. URL: <https://glonass-iac.ru/ftparchive/> (дата обращения: 08.01.2023).
5. Ромм Я.Е., Джанунц Г.А. О воспроизводимости функций, производных и решений дифференциальных уравнений с помощью хранимых коэффициентов кусочной интерполяции // *Современные наукоемкие технологии*. № 1. 2023. С. 44–63. DOI: 10.17513/snt.39497.
6. Джанунц Г.А., Ромм Я.Е. Варьируемое кусочно-интерполяционное решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений с итерационным уточнением // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2017. Т. 57. № 10. С. 1641–1660.
7. Авдошев В.А. Эффективные методы численного моделирования околопланетной орбитальной динамики: дис. ... докт. физ.-мат. наук. Томск, 2010. 210 с.
8. Белянко Е.А., Краснопольский И.А., Михайлов М.В. и др. Метод повышения точности и «времени жизни» эфемерид ГЛОНАСС // *Космонавтика и ракетостроение*. 2011. № 4 (65). С. 111–121.
9. Ромм Я.Е., Джанунц Г.А. Кусочная интерполяция функций, производных и интегралов с приложением к решению обыкновенных дифференциальных уравнений // *Современные наукоемкие технологии*. № 12-2. 2020. С. 291–316. DOI: 10.17513/snt.38448.
10. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Система высокоточного определения эфемерид и временных поправок. Редакция 3.0. 2011. Сайт ПМК СВОЭВП. URL: http://www.glonass-svoevp.ru/DATA/Documents/IKD_SVO.pdf (дата обращения: 03.02.2023).
11. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. (Eds). *Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual*, Astronomical Institute. University of Bern. Bern Open Publishing. 2015. DOI: 10.7892/boris.72297.

УДК 519.87:004.31:378.147.88

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССОРА С МИКРОПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ В MICROSOFT EXCEL

Страбыкин Д.А.

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров, e-mail: Strabykin@mail.ru

Технология построения и применения функциональных моделей микропрограммируемых вычислительных структур в учебном процессе, в которой в качестве средства моделирования используется Microsoft Excel, развивается применительно к процессорам. Предлагается перейти от поразрядного к пословному моделированию основных узлов и блоков процессора с помощью функций Excel, когда в ячейках могут находиться многоразрядные двоичные коды, а вычисления производятся в десятичной системе счисления. При этом сохраняется представление состояний входов и выходов узлов и блоков на экранных формах в двоичной системе счисления. Рассматривается построение функциональной модели процессора с запоминающим устройством. Процессор строится на основе восьмиразрядного операционного устройства с общими регистрами и устройства управления с программируемой логикой. Приводятся функции Excel для пословного моделирования работы основных узлов и блоков процессора. Описывается структура и режимы работы процессора. Структура процессора с блоком памяти программ и данных отображается на экранной форме, используемой для отладки микропрограмм и программ при проведении экспериментальных исследований. Форма позволяет наблюдать изменения состояний внутренних регистров процессора при отладке микропрограммы после выполнения каждой микрокоманды, а при отладке программы – после каждой команды. Ввод данных в блок памяти микропрограмм, преобразователь начального адреса и блок памяти программ и данных осуществляется с помощью специальной экранной формы, находящейся на другом листе Excel. Созданная действующая функциональная модель процессора позволяет обучающимся производить разработку и экспериментальное исследование учебных процессоров с различной архитектурой на основе их микропрограммной реализации. Рассмотренный подход к построению учебных процессоров дает возможность обучающимся модифицировать созданную и разрабатывать новые функциональные модели процессоров.

Ключевые слова: микропрограммируемые вычислительные структуры, архитектура и структура процессора, действующие функциональные модели, разработка и отладка микропрограмм, компьютерные практикумы по ЭВМ, применение Microsoft Excel

A FUNCTIONAL MODEL OF A TRAINING MICROPROCESSOR WITH A MICROPROGRAMMABLE ARCHITECTURE IN MICROSOFT EXCEL

Strabykin D.A.

Vyatka State University, Kirov, e-mail: Strabykin@mail.ru

This publication further develops the method of building and applying functional models of microprogrammable computing devices by using Microsoft Excel in the context of modeling processors. The paper suggests using word-by-word instead of bit-by-bit modeling for the main blocks of a processor by means of standard Excel functions. With this approach spreadsheets cells will contain multidigit binary numbers and the computations will be performed on their decimal values, while the states of inputs and outputs of the units are still presented in screen forms as binary values. The process of building a functional model of a processor with a memory unit is presented. The processor consists of an 8-bit operational unit with common registers and a control unit with programmable logic. The article describes Excel functions used to word-by-word modeling of the main units of the processor as well as the structure and modes of operations of the processor. The structure of the processor including the program memory block is presented in a screen form, which can be used for debugging the programs and conducting experiments. When debugging a microprogram, the form shows the changes of the states of the processor's internal registers after each microcommand execution or after each command execution, if a program is debugged. Another form in separate Excel sheet is used to enter data into microprogram memory, data and program memory blocks, and initial address translator. The described working functional model of the processor allows students to develop training microprocessors with different architectures and conduct experiments with them by using their microprogram implementation. The suggested approach to create training processors helps students to modify the initial and develop new functional models of processors.

Keywords: microprogrammable computing devices, processor architecture and structure of processors, functional models, development and debugging of microprograms, practical studies of computers, Microsoft Excel applications

Процессор (ПР) является основным устройством вычислительных машин и систем. Важную роль при изучении ПР играет проведение обучающимися экспериментальных исследований процессоров реальных или абстрактных учебных ЭВМ. Для таких исследований широко применяются программные модели ЭВМ. В качестве средств программного моделирования

ПР и ЭВМ используются универсальные среды (например, Delphi и C++) [1–3] и специализированные системы [4]. Во многих случаях использование модели абстрактной учебной ЭВМ имеет преимущества: позволяет разработать ее архитектуру в соответствии с целями обучения на данном этапе, при необходимости объединяя архитектурные решения нескольких реальных процес-

соров (ЭВМ). При этом такая модель позволяет игнорировать те аспекты в работе ЭВМ, которые на данном уровне рассмотрения не являются существенными [1].

Цель исследования – развитие технологии построения и применения функциональных моделей микропрограммируемых вычислительных структур в учебном процессе, использующей в качестве средства моделирования табличный процессор Microsoft Excel и позволяющей создавать и экспериментально исследовать модели учебных процессоров ЭВМ.

Предлагается подход, основанный на переходе от поразрядного к пословному моделированию основных узлов и блоков процессора с помощью стандартных функций Excel, когда в ячейках могут находиться многоразрядные двоичные коды, а вычисления производятся в десятичной системе счисления. При этом сохраняется представление состояний входов и выходов узлов и блоков на экранных формах в двоичной системе счисления. Такой подход в отличие от применяемого ранее поразрядного моделирования работы узлов и блоков в двоичной системе счисления [5] позволяет значительно уменьшить объем работы по моделированию ПР за счет сокращения числа и сложности формул, требует меньшего количества ячеек Excel. Например, при поразрядном «двоичном» моделировании восьмиразрядной схемы инкремента требуется восемь ячеек памяти и восемь логических функций Excel. При моделировании данной схемы с помощью функций, выполняющих вычисления в десятичной системе счисления, достаточно одной ячейки и трех функций Excel (перевод из двоичной системы счисления в десятичную, добавление к десятичному числу единицы, перевод из десятичной системы счисления в двоичную). Предлагаемый подход позволяет перейти к моделированию более сложных устройств, сохраняя при этом возможность размещения структуры устройства на экранной форме.

Реализация функций основных узлов и блоков с помощью функций Microsoft Excel

В процессе разработки функциональной модели ПР использовались следующие функции Microsoft Excel.

ДВ.В.ДЕС(число). Преобразует двоичное число в десятичное. Пример: =ДВ.В.ДЕС(00001010); =10.

ОСНОВАНИЕ(число;основание;[минимальная длина]). Преобразует число в текстовое представление с указанным основанием системы счисления. Пример: =ОСНОВАНИЕ(10;2;8); =00001010.

ВЫБОР(номер_индекса;значение1; [значение2];...). При моделировании мультиплектора номер индекса соответствует управляющему входу, выбираемые значения – информационным входам. Поскольку нумерация информационных входов мультиплектора начинается с нуля, а значения номера индекса функции – с единицы, то значение номера индекса функции необходимо увеличивать на единицу. Пример описания работы 8-входового двоичного мультиплектора: =ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(K17)+1;O22;V23;V24;V25;O26;S27;S28;S29), где K17 – трехразрядный двоичный код на управляющем входе мультиплектора, O22, V23, V24, V25, O26, S27, S28, S29 – состояния информационных входов мультиплектора.

ЕСЛИ(лог_выражение; значение_если_истина; [значение_если_ложь]). При моделировании двухвходового (многоразрядного) мультиплектора управляющему входу соответствует первый аргумент функции, нулевому информационному входу – второй, а первому информационному – третий. Пример: =ЕСЛИ(H17=1;D10;D21). Функция также позволяет вычислить значение логической функции сумма по модулю два: =ЕСЛИ(H17=K26;0;1); =H17⊕K26.

ВПР(искомое_значение, таблица, номер_столбца, [интервальный_просмотр]). Функция позволяет моделировать чтение из памяти. Память представляется в виде таблицы, состоящей из двух столбцов. Первый столбец таблицы (столбец адресов) используется для указания последовательности адресов ячеек памяти, а второй (столбец ячеек) состоит из соответствующих этим адресам ячеек памяти. Первый аргумент функции ВПР задает адрес ячейки памяти, из которой необходимо произвести чтение (поиск заданного адреса будет производиться в первом столбце таблицы). Второй аргумент функции ВПР определяет диапазон ячеек таблицы, включающий столбец адресов и столбец ячеек памяти. В третьем столбце указывается номер столбца (столбца ячеек), содержащего считываемую ячейку памяти, адрес которой совпадает с заданным. Четвертый аргумент функции ВПР не используется.

Пример: =ВПР(Z6;'ПР-В'!AB5:AC68;2). Функция выполняет считывание из памяти по адресу, двоичный код которого находится в регистре адреса (Z6), таблица памяти расположена на другом листе Excel (ПР-В) и занимает диапазон AB5:AC68. При вычислении функции ВПР в столбце адресов производится поиск двоичного кода, совпадающего с кодом, заданным в регистре адреса. Результатом вычисления функции ВПР является содержимое ячейки памяти из столбца ячеек (имеющего номер 2), адрес которой совпал с заданным.

Таблица 1

Выполнение микроопераций и формирование признаков с помощью функций Microsoft Excel

| Микрооперация | Формула Microsoft Excel |
|---------------|---|
| $x \& y$ | AC25: =ОСНОВАНИЕ(БИТ.И(ДВ.В.ДЕС(AA23);ДВ.В.ДЕС(AD23));2;8) |
| $x \vee y$ | AC25: =ОСНОВАНИЕ(БИТ.ИЛИ(ДВ.В.ДЕС(AA23);ДВ.В.ДЕС(AD23));2;8) |
| $x \oplus y$ | AC25: =ОСНОВАНИЕ(БИТ.ИСКЛИЛИ(ДВ.В.ДЕС(AA23);ДВ.В.ДЕС(AD23));2;8) |
| $2y.0$ | AC25: =ОСНОВАНИЕ(БИТ.СДВИГЛ(ДВ.В.ДЕС(AD23);1);2;8) |
| $0.y/2$ | AC25: =ОСНОВАНИЕ(БИТ.СДВИГЛ(ДВ.В.ДЕС(AD23);-1);2;8) |
| $x-y-c0$ | AC25: =ЕСЛИ(ЗНАК(СУММ(ДВ.В.ДЕС(AA23);-ДВ.В.ДЕС(AD23);-AE24))=-1; ОСНОВАНИЕ(БИТ.ИЛИ(-СУММ(ДВ.В.ДЕС(AA23);-ДВ.В.ДЕС(AD23);-AE24);128); 2;8);ОСНОВАНИЕ(СУММ(ДВ.В.ДЕС(AA23);-ДВ.В.ДЕС(AD23);-AE24);2;8))* |
| $x+y+c0$ | AC25: =ОСНОВАНИЕ(СУММ(ДВ.В.ДЕС(AA23);ДВ.В.ДЕС(AD23);AE24);2;8)) |
| s | V23: =ЕСЛИ(P17=0;ЧЗНАЧ(ЛЕВСИМВ(AC25;1));V23) |
| z | V24: =ЕСЛИ(P17=0;ЕСЛИ(AC25=>00000000»;1;0);V24) |
| p | V25: =ЕСЛИ(P17=0;ЕСЛИ(ИЛИ(И(N17=100;БИТ.СДВИГЛ(ДВ.В.ДЕС(AD23);1)>255);И(N17=110;СУММ(ДВ.В.ДЕС(AA23);-ДВ.В.ДЕС(AD23);-AE24)<-255);И(N17=111;СУММ(ДВ.В.ДЕС(AA23);ДВ.В.ДЕС(AD23);AE24)>255));1;0);V25) (При отрицательном результате вычитания, выполняемого в десятичной системе счисления, с помощью логической функции ИЛИ и десятичного числа 128 в знаковый разряд двоичного кода результата записывается единица) |

Выполнение микроопераций над 8-разрядными двоичными кодами и формирование признаков с помощью функций Excel, выполняющих вычисления в десятичной системе счисления, показано в табл. 1, где x и y – двоичные коды исходных операндов, находящиеся в ячейках AA23 и AD23 соответственно, $c0$ – значение переноса (заема), поступающее из ячейки AE24 при суммировании (вычитании) операндов в младший разряд, a , s , z , p – признаки знака, нуля и переполнения, формируемые при неизменных операндах ($P17 = 0$).

Разработка функциональной модели процессора с запоминающим устройством

Разработка учебного ПР с микропрограммируемой архитектурой осуществляется на основе восьмиразрядного микропрограммируемого вычислительного устройства, содержащего операционное устройство с общими регистрами и устройство управления с программируемой логикой [5]. Для хранения программ, исходных данных и записи результатов к ПР подключается оперативное запоминающее устройство. Структура процессора с запоминающим устройством отображается на экранной форме ПР-Ф при проведении исследований (рис. 1).

Процессор включает (рис. 1): БПО – блок пуска-останова, РК – регистр команд, РС – программный счетчик, БППД – блок памяти программ и данных; RA – регистр

адреса БППД, ПНА – преобразователь начального адреса, БПМП – блок памяти микропрограмм, МНА – мультиплексор начального адреса, РА – регистр адреса, СИ – схему инкремента, МА – мультиплексор адреса, «» – инвертор кода условия, МУ – мультиплексор условий и признаков, РУ – регистр условий, RP – регистр признаков, МД – мультиплексор данных, БР – блок регистров, Mc, Md – мультиплексоры номеров регистров БР; БАЛ – блок арифметико-логический; RB – буферный регистр, ДБР – пультовый дублер блока регистров. Рассмотрим разработку функциональной модели ПР более подробно.

Операционная часть ПР. Основу операционной части процессора составляют БР и БАЛ. БАЛ представляет собой комбинационную схему, выполняющую восемь микроопераций и формирующую значения трех логических условий. Операнды на входы БАЛ поступают из регистров БР, результат записывается в буферный регистр RB. Формируемые БАЛ значения логических условий фиксируются в регистре условий РУ, а при наличии управляющего $er = 1$ сохраняются в регистре признаков RP для использования командами условий переходов. Реализация микроопераций и формирование признаков в БАЛ с помощью функций Excel показаны в табл. 1, а используемые для задания микроопераций значения поля микрокоманды $f(N17)$ на рис. 2, а.

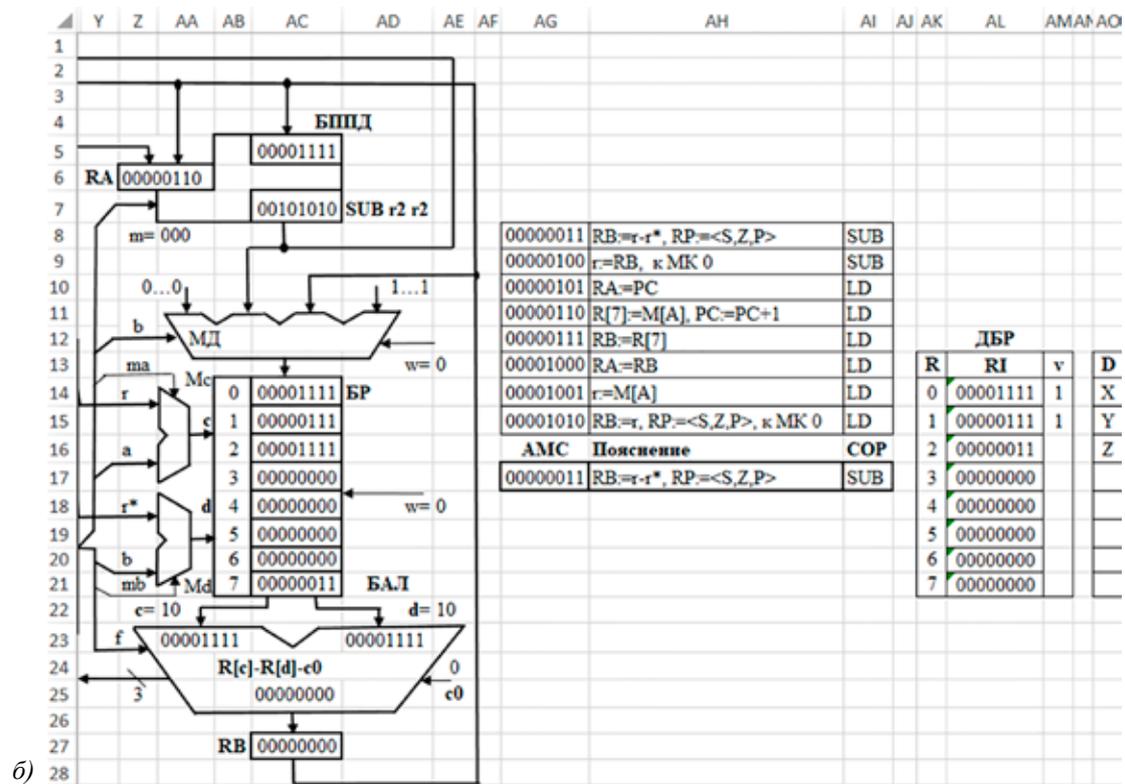
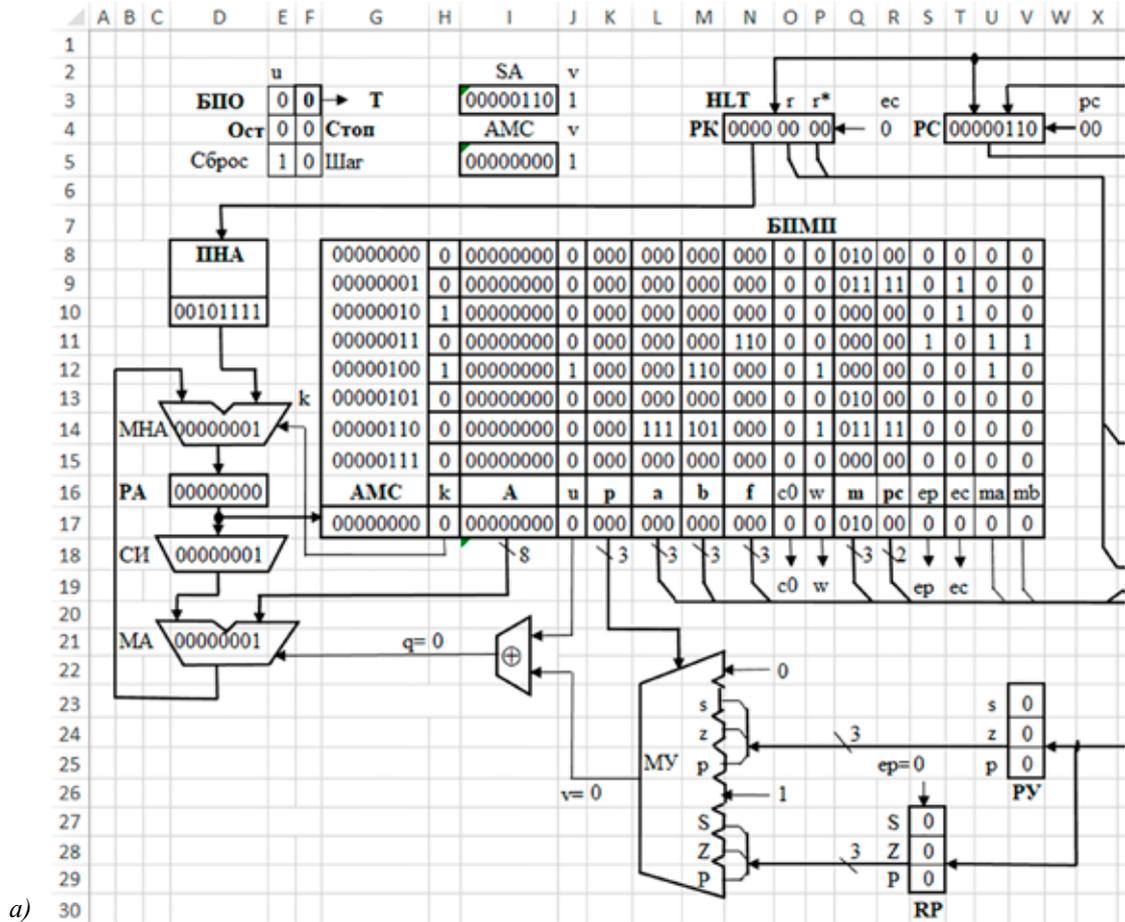


Рис. 1. Экранная форма ПР-Ф: левая часть (а) и правая часть (б)

| f | Микрооперация |
|-----|-----------------|
| 000 | RB=R[c] |
| 001 | RB=R[c]&R[d] |
| 010 | RB=R[c]∨R[d] |
| 011 | RB=R[c]⊕R[d] |
| 100 | RB=2R[d].0 |
| 101 | RB=0.R[d]/2 |
| 110 | RB=R[c]-R[d]-c0 |
| 111 | RB=R[c]+R[d]+c0 |

а)

| w | b | БР |
|---|-----|----------------|
| 0 | xxx | Хранение |
| 1 | 100 | R[c]:=00000000 |
| 1 | 101 | R[c]:=M[A] |
| 1 | 110 | R[c]:=RB |
| 1 | 111 | R[c]:=11111111 |

б)

| pc | PC |
|----|----------|
| 00 | Хранение |
| 01 | PC:=RB |
| 10 | PC:=M[A] |
| 11 | PC:=PC+1 |

в)

| m | БППД | РА |
|-----|----------|----------|
| 000 | Хранение | Хранение |
| 001 | Хранение | RA:=RB |
| 010 | Хранение | RA:=PC |
| 011 | Чтение | Хранение |
| 100 | Запись | Хранение |

г)

| p | Признак |
|-----|---------|
| 000 | 0 |
| 001 | s |
| 010 | z |
| 011 | p |
| 100 | l |
| 101 | S |
| 110 | Z |
| 111 | P |

д)

Рис. 2. Значения кодов многоразрядных полей микрокоманды: микроопераций – **f** (а), БР – **w**, **b** (б), PC – **pc** (в), БППД и RA – **m** (г), признаков – **p** (д)

На экранной форме ПР-Ф (рис. 1, б) отображаются поступающие на входы БАЛ (AA23, AD23) операнды из регистров БР и номера этих регистров (AA22, AE22), а также результат выполняемой микрооперации (AC27). Кроме того, в БАЛ выводится условное обозначение выполняемой микрооперации, определяемое по ее коду (N17) с помощью функции Excel: AC25: =ЕСЛИ(P17=0;ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(N17)+1;» R[c]»; »R[c]&R[d]»;»R[c]∨R[d]»;«R[c](+mod2)R[d]»;»2R[d].0»;»0.R[d]/2»;»R[c]-R[d]-c0»;»R[c]+R[d]+c0»);» «).

Состояние буферного регистра RB остается неизменным в следующих случаях: производится запись (P17=1) в БР, содержимое RB пересылается в РА БППД или РС, записывается в БППД по адресу, ранее переданному в РА. В остальных случаях в RB заносится результат микрооперации, выполненной в БАЛ. Работа RB описывается формулой

AC27: =ЕСЛИ(ИЛИ(P17=1;ДВ.В.ДЕС(\$Q\$17)=1;ДВ.В.ДЕС(\$Q\$17)=4;ДВ.В.ДЕС(\$R\$17)=1);AC27;AC25).

Блок регистров состоит из восьми восьмиразрядных регистров, каждый из которых выбирается по номеру, поступающему на адресный вход БР с или d: R[c], R[d]. При этом во время чтения из БР содержимое регистра, номер которого указан на адресном входе с, поступает на левый (AA23), а содержимое регистра, номер которого указан на адресном входе d, – на правый (AD23) вход БАЛ. Номер регистра может быть задан не только в микрокоманде

(трехразрядные коды полей а и б, поступающие из БППД), но и в команде (двухразрядные коды полей г и г*, поступающие из ПК). Выбор источника номера регистра определяется разрядами микрокоманды та и mb и осуществляется мультиплексорами Mc (c=a при та=0 и c=0r при та=1) и Md (d=b при mb=0 и d=0r* при mb=1).

Чтение содержимого регистров из БР выполняется с помощью формул

AA23: =ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(ЕСЛИ(U17=0;L17;O4))+1;AC14;AC15;AC16;AC17;AC18;AC19;AC20;AC21),

AD23: =ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(ЕСЛИ(V17=0;M17;P4))+1;AC14;AC15;AC16;AC17;AC18;AC19;AC20;AC21).

Запись в БР производится при поступлении управляющего сигнала w = 1. Номер регистра, в который осуществляется запись, задается на адресном входе с. Источник записываемого кода определяется МД. Сочетания управляющих сигналов и источники кодов при записи в регистр БР показаны на рис. 2, б, где M[A] – содержимое ячейки памяти с адресом А. В БР также предусмотрена возможность специальной записи в пультовом режиме. В этом случае записываемые данные вводятся с клавиатуры в регистры пультового дублера блока регистров ДБР и в поля управляющего сигнала ввода v тех регистров, содержимое которых необходимо занести в соответствующие им регистры БР записываются единицы. При нажатии клавиши «Такт» (F9) данные из регистров ДБР переносятся в регистры БР. Непосредственная запись данных

в регистры БР упрощает отладку микропрограмм и программ.

Запись в БР (на примере нулевого регистра) выполняется в соответствии с формулой AC15: =ЕСЛИ(И(\$E\$3=0;AM15=1);AL15;ЕСЛИ(И(P\$17=1;ИЛИ(И(U\$17=0;ДВ.В.ДЕС(\$L\$17)=\$AB15);И(U\$17=1;ДВ.В.ДЕС(\$O\$4)=\$AB15)));ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(\$M\$17)-3;»00000000»; \$AC\$7;\$AC\$27;»11111111»;AC15)).

В процессе записи в БР на экранной форме ПР-Ф (рис. 1, б) в мультиплексоре данных (МД) отображается условное обозначение выбранных для записи данных, определяемое по формуле: AC12: =ЕСЛИ (P\$17=1; ЕСЛИ(V17=0;ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(\$M\$17)-3;»R[c]:=000...0»; «R[c]:=M[A]»;»R[c]:=PБ»;»R[c]:=111...1»;»R[c]:=M[A]»;» «).

К операционной части процессора также относятся регистр команд РК и программный счетчик РС. Регистр команд разделен на три поля: кода операции (COP) и регистров r и r*. Команда считывается из БППД и заносится в РК по сигналу (T17) записи в регистр ec=1. Этот процесс описывается тремя формулами: N4: =ЕСЛИ(T17=1; ЛЕВСИМВ(AC7;4);N4); O4: =ЕСЛИ(T17=1; ПСТР(AC7;5;2);O4); P4: =ЕСЛИ(T17=1; ПСТР(AC7;7;2);P4). Над полем кода операции РК на экранной форме ПР-Ф (рис. 1, а) отображается символическое обозначение кода операции, считываемое из таблицы преобразователя начального адреса ПНА, расположенной на листе ввода данных ПР-В и со-

держающей три столбца: код операции, адрес первой микрокоманды микропрограммы операции и символическое обозначение кода операции. Символическое обозначение кода операции считывается с помощью формулы: M3: =ВПР(N4;'ПР-В'!B5:D20;3) из дополнительного третьего столбца таблицы.

Программный счетчик имеет четыре режима работы, задаваемые с помощью поля микрокоманды pc (R17) (рис. 2, в). Кроме того, по сигналу «Сброс» в РС может быть занесен предварительно набранный на клавиатуре стартовый адрес SA (I3). Работа РС описывается следующей формулой: T4: =ЕСЛИ(И(E3=0;J3=1);I3;ВЫБОР(ДЕС(R17;2)+1;T4;AC27;AC7; ЕСЛИ(F3=0;ОСНОВАННИЕ(ДЕС(T4;2)+1;2;8);T4))).

Управляющая часть ПР. Управляющая часть процессора представляет собой устройство управления с программируемой логикой, в БПМП которого в виде двоичного кода микропрограммы хранится алгоритм работы ПР. Считываемая из БПМП микрокоманда обеспечивает выдачу управляющих сигналов для операционной части ПР и запоминающего устройства, а также формирование адреса следующей микрокоманды с учетом значений логических условий. Микрокоманда содержит 15 полей. В табл. 2 в соответствии с форматом микрокоманды приведены: обозначение (адрес ячейки Excel), разрядность и назначение каждого поля.

Таблица 2

Поля микрокоманды

| Поле (ячейка) | Разрядность | Назначение |
|---------------|-------------|---|
| k (H17) | 1 | Занесение в РА микрокоманды адреса из ПНА (при k=1) |
| A (I17) | 8 | Адрес следующей микрокоманды |
| u (J17) | 1 | Инверсия значения выбранного условия (признака) (при u=1) |
| p (K17) | 3 | Код выбираемого условия (признака) |
| a (L17) | 3 | Номер регистра в БР (при чтении подается на левый вход БАЛ) |
| b (M17) | 3 | Номер регистра в БР (при чтении подается на правый вход БАЛ) |
| f (N17) | 3 | Код микрооперации, выполняемой в БАЛ |
| c0 (O17) | 1 | Значение входа переноса в младший разряд БАЛ |
| w (P17) | 1 | Запись в БР (при w=1) |
| m (Q17) | 3 | Код микрооперации, выполняемой в БППД и РА |
| pc (R17) | 2 | Код микрооперации, выполняемой в РС |
| ep (S17) | 1 | Запись в регистр признаков RP (при ep=1) |
| ec (T17) | 1 | Запись в регистр команд РК (при ec=1) |
| ma (U17) | 1 | Выбор источника номера регистра (c=a при ma=0 и c=0r при ma=1) |
| mb (V17) | 1 | Выбор источника номера регистра (d=b при mb=0 и d=0r* при mb=1) |

Значения кодов многоразрядных полей микрокоманды **p**, **f**, **m** и **pc** приведены на рис. 2.

БПМП отображается на экранной форме проведения исследований ПР-Ф в виде блока памяти, в котором выделено окно микрокоманд, содержащее восемь последовательно расположенных 33-разрядных ячеек памяти (рис. 1, а). Слева от ячеек выводятся их адреса. Адрес верхней ячейки памяти задается регистром РА БПМП. Микрокоманда из этой ячейки поступает на выход БПМП и отображается в нижней части БПМП, располагаясь после условных обозначений полей. Каждая запись в РА нового адреса микрокоманды приводит к обновлению содержимого окна микрокоманд: в окне отображаются восемь микрокоманд, расположенных в последовательных ячейках, начиная с адреса в РА. Окно микрокоманд имеет продолжение, отображаемое в правой части экранной формы ПР-Ф (рис. 1, б). В этом продолжении окна повторяется адрес микрокоманды и выводятся дополнительные сведения о микрокоманде: выполняемые микрооперации (поле Пояснение) и код операции, для выполнения которой используется микрокоманда (поле СОР).

По сигналу «Сброс» в РА (D16) может быть занесен предварительно набранный на клавиатуре адрес микрокоманды АМК (I5), с которой начнется выполнение микропрограммы. В качестве источников адреса следующей МК для РА выступают: ПНА (D10) (обеспечивается МНА при $k=1$); СИ (D18) (обеспечивается МНА при $k=0$ и МА при $q=0$); БПМП – поле адреса перехода А из микрокоманды (обеспечивается МНА при $k=0$ и МА при $q=1$).

Начальный адрес микропрограммы операции считывается из таблицы, моделирующей работу ПНА, которая расположена на листе ввода данных ПР-В и содержит три столбца: код операции, адрес первой микрокоманды микропрограммы операции и символическое обозначение кода операции. Для считывания из ПНА адреса первой микрокоманды микропрограммы операции используется формула: D10: =ВПР(N4;'ПР-В'!B5:C20;2). Увеличение адреса на единицу в СИ реализовано с помощью формулы: D16: =ОСНОВАНИЕ(СУММ(ДВ.В.ДЕС(D16);1);2;8).

Работа РА БПМП описывается следующей формулой: D16: =ЕСЛИ(И(E3=0;J5=1);I5;ЕСЛИ(\$F3=1;ЕСЛИ(\$H17=1;D10;ЕСЛИ(ЕСЛИ(J17=ВЫБОР(ДВ.В.ДЕС(K17)+1;O22;V23;V24;V25;O26;S27;S28;S29);0;1);I17;D18));D16)).

Занесение данных в ПНА и БПМП производится на листе ПР-В путем вво-

да данных с клавиатуры в ячейки таблиц, моделирующих ПНА и БПМП, а также ячейки, предусмотренные для ввода дополнительной информации (пояснения, коды операций).

Блок памяти программ и данных.

Работа БППД моделируется с помощью таблицы, расположенной на листе ПР-В. Чтение данных реализуется формулой: AC7: =ВПР(Z6;'ПР-В'!AB5:AC68;2). Одновременно с чтением данных справа от выхода БППД на форме ПР-Ф (рис. 1, б) отображается мнемоническое обозначение содержимого считываемой ячейки памяти, предварительно введенное в дополнительный столбец таблицы. Отображение ячейки дополнительного столбца осуществляется формулой: AD7: =ВПР(Z6;'ПР-В'!AA5:AG68;7).

Процессор записывает данные в ячейку БППД при наличии в коде микрокоманды сигнала записи ($m=100$) и совпадении адреса ячейки с адресом в РА (Z6). Ввод данных в БППД производится на экранной форме ПР-В аналогично записи в БР с помощью ячеек пультового дублера БППД. Данные подлежащие записи вводятся с клавиатуры в ячейки пультового дублера БППД и в поля управляющего сигнала ввода v тех ячеек, содержимое которых необходимо занести в соответствующие им ячейки БППД записываются единицы. При нажатии клавиши «Такт» (F9) данные из ячеек дублера БППД переносятся в ячейки БППД. Запись данных в БППД (на примере нулевой ячейки памяти) производится с помощью формулы: AB5: =ЕСЛИ(AE5=1;AD5;ЕСЛИ(И(ДЕС('ПР-Ф6'!Q\$17;2)=4;'ПР-Ф6'!Z\$6='ПР-В'!AA5);'ПР-Ф6'!AC\$27;AB5)).

Функционирование процессора. Моделируется работа ПР под действием сигналов, вырабатываемых блоком пуска-останова БПО (рис. 1, а), в состав которого входит генератор тактовых импульсов (ГТИ). В БПО с клавиатуры подаются сигналы «Сброс» (E5) и «Шаг» (F5) (в соответствующую ячейку Excel вводится необходимое значение сигнала (0 или 1) и нажимается клавиша F9). По сигналу «Сброс» в БПО производятся начальные установки регистров процессора и подготовка ГТИ к работе. По сигналу «Шаг» процессор переходит в покомандный режим работы. В БПО вырабатываются два признака «Ост» (E4) и «Стоп» (F4). Признак «Ост» (останов) принимает единичное значение, если выполняется микрокоманда, содержащая микрооперацию останова ($p=100$) и нулевое значение – по сигналу «Сброс»: E4: =ЕСЛИ(И(E5=1;0;ЕСЛИ(K17=>100);1;E4)). Признак «Стоп» принимает единичное значе-

ние, если единичное значение имеет сигнал «Шаг» и выполняется микрокоманда, содержащая микрооперацию к перехода по коду операции, и нулевое значение – по сигналу «Сброс»: F4: =ЕСЛИ(И(F5=1;H17=1);1;ЕСЛИ(E5=1;0;F4)).

Используется известная модель ГТИ на основе T триггера: $T(t+1)=u(t\oplus T(t))$, где $T(t)$ – состояние триггера до подачи сигнала t , формируемого при нажатии клавиши F9, а $T(t+1)$ – после подачи этого сигнала, u – состояние управляющего входа (при $u=0$ состояние выхода $T(t+1)$ генератора принимает нулевое значение и сохраняет его при нажатиях клавиши F9) [5]. Логическая формула T триггера представляется следующей формулой Excel: F3: =ЕСЛИ(И(E3;HE(F3));1;0). Управляющий вход ГТИ принимает нулевое значение, останавливая работу генератора, когда единичное значение имеет сигнал «Сброс» или признаки: «Ост» или «Стоп»: E3: =ЕСЛИ(ИЛИ(E5=1;E4=1;F4=1);0;1).

Проведению экспериментальных исследований предшествует изменение параметров Microsoft Excel, связанных с вычислением формул (выбираются вычисления в книге «вручную» и включаются итеративные вычисления с предельным числом итераций). БПО обеспечивает работу процессора в следующих режимах.

1. Выполнение микрокоманд по полутактам. Подается сигнал «Сброс» в параметрах 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 RB, а значений признаков в соответствующих триггерах признаков, либо производится запись в заданный регистр БР операнда, выбранного из одного из четырех источников МД.

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.

2. Выполнение микрокоманд по тактам. Для того чтобы МК выполнялась в ПР при однократном нажатии клавиши F9, необходимо в параметрах Microsoft Excel, связанных с вычислением формул, включить итеративные вычисления с предельным числом итераций равным двум.

3. Выполнение программы. Для того чтобы программа выполнялась в ПР при однократном нажатии клавиши F9, необходимо в параметрах Microsoft Excel, связанных с вычислением формул, включить итеративные вычисления с предельным числом итераций, превышающим удвоенное число микрокоманд, выполняющихся при выполнении программы.

4. Выполнение программы по командам. Для того чтобы программа выполнялась в ПР при однократном нажатии клавиши F9 по командам, необходимо записать единицу в ячейку F5, соответствующую режиму «Шаг», и в параметрах Microsoft Excel, связанных с вычислением формул, включить итеративные вычисления с предельным числом итераций, превышающим удвоенное максимальное число микрокоманд, выполняющихся при выполнении команды.

Заключение

Созданная функциональная модель учебного процессора с микропрограммируемой архитектурой позволяет производить разработку и экспериментальное исследование учебных процессоров с различной архитектурой на основе их микропрограммной реализации, используя два уровня управления: микропрограммный и программный. В качестве исходных данных может выступать простая вычислительная задача, на примере программного решения которой будет исследоваться работа процессора. При этом обучающийся, выполняя индивидуальное задание, решает следующие проектные задачи: разработка (выбор) алгоритма решения вычислительной задачи; определение архитектуры ПР и программирование; кодирование программы и распределение памяти программ и данных; разработка микропрограммы командного цикла и составление таблиц прошивки преобразователя начального адреса и блока памяти микропрограмм; ввод и отладка микропрограммы командного цикла и программы решения вычислительной задачи с использованием экранных форм.

Отладка микропрограммы командного цикла осуществляется в режимах выполне-

ния микрокоманд по полутактам и тактам. При этом используется возможность задания в РА БПМ предварительно набранного на клавиатуре адреса микрокоманды АМК, с которой начнется выполнение микропрограммы, а также занесение данных в выбранные регистры БР через регистры пультового дублера БР. Отладка программы решения вычислительной задачи производится в режиме выполнения программы по командам. В процессе отладки используется возможность задания в РС предварительно набранного на клавиатуре адреса команды SA, с которой начнется выполнение программы, а также занесение данных в выбранные ячейки БППД через ячейки пультового дублера БППД.

Использование обучающимися предлагаемой функциональной модели учебного процессора с микропрограммируемой архитектурой позволяет им более глубоко изучить архитектуру, структуру и функционирование ПР. Дальнейшее развитие реализуемого с помощью модели процессора может быть связано с развитием системы команд (например, введением различных способов адресации и организацией обращений к подпрограммам). Рассмотренный подход к построению учебных процессоров, основанный на реализации функций узлов и блоков процессора с помощью

функций Microsoft Excel, дает возможность обучающимся не только модифицировать описанную функциональную модель ПР (например, увеличить разрядность и число общих регистров, включить в состав ПР отдельный регистр указателя стека), но и создавать новые функциональные модели ПР.

Список литературы

1. Жмакин А.П. Программные модели процессоров и ЭВМ // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2016. № 3 (11). С. 77–84. URL: <https://auditorium.kursksu.ru/magazine/archive/number/64> (дата обращения: 25.01.2023).
2. Ефимушкина Н.В., Орлов С.П. Учебный комплекс имитационных моделей для лабораторных работ по дисциплине «ЭВМ и периферийные устройства» // Компьютерные инструменты в образовании. 2013. № 4. С. 38–43.
3. Жунусов К.М. Разработка виртуальной лаборатории «Модель процессора ЭВМ» // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты: материалы IV Международной научно-практической конференции (Воронеж, 22–23 октября 2015 г.). Воронеж: Воронежский центр научно-технической информации. 2015. Т. 3. С. 110–114.
4. Строгонов А., Буслев А., Давыдов С. Проектирование учебного процессора с фиксированной запятой в САПР Quartus II компании Altera // Компоненты и технологии. 2009. № 11. С. 114–119.
5. Страбыкин Д.А. Функциональная модель микропрограммируемого вычислительного устройства в Microsoft Excel для выполнения учебных микропрограмм // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 2. С. 121–129.

УДК 519.87:004.891.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ РИСКА ИНСАЙДЕРСКИХ УГРОЗ

Фадюшин С.Г.

¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,
e-mail: fadyushin.sg@dvfu.ru

Статистические данные свидетельствуют, что риск внутренних угроз для кибербезопасности предприятий находится на высоком уровне и продолжает расти. Отсюда следует, что необходимо разрабатывать и внедрять эффективные методы борьбы с подобными угрозами. Однако внутренние угрозы выявить непросто, т.к. инсайдер имеет законный доступ к конфиденциальной информации предприятия, знаком со структурой данных и, как правило, знает особенности системы защиты информации, что облегчает ему обход мер безопасности. Цель проведенного исследования заключается в теоретическом обосновании метода и соответствующего диагностического критерия оценки инсайдерской зависимости в поведении пользователя – сотрудника предприятия, имеющего доступ к конфиденциальной информации. Основным методом исследования служит метод вероятностной оценки смысла, разработанный автором. В результате проведенного исследования для оценки риска внутренних угроз предлагается использовать диагностический критерий инсайдерской зависимости в виде дифференциальной энтропии ключевых слов и выражений поисковых запросов пользователя в Сети по данным анализаторов контента. Результаты проведенного исследования могут быть полезны специалистам по информационной безопасности, исследователям психологии Интернета и разработчикам программного обеспечения, специализирующихся на технологиях выявления киберугроз.

Ключевые слова: внутренняя угроза, информационная безопасность, кибербезопасность, инсайдер, инсайдерская зависимость, информация, энтропия, аддикция

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIAGNOSING THE RISK OF INSIDER THREATS

Fadyushin S.G.

FGAOU VO Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: fadyushin.sg@dvfu.ru

Statistical data indicate that the risk of internal threats to the cybersecurity of enterprises is at a high level and continues to grow. It follows that it is necessary to develop and implement effective methods to combat such threats. However, it is not easy to identify internal threats, because the insider has legitimate access to confidential information of the enterprise, is familiar with the data structure and, as a rule, knows the features of the information security system, which makes it easier for him to bypass security measures. The purpose of the study is to theoretically substantiate the method and the corresponding diagnostic criterion for assessing insider dependence in the behavior of a user – an employee of an enterprise with access to confidential information. The main method of research is the method of probabilistic assessment of meaning developed by the author. As a result of the conducted research, to assess the risk of internal threats, it is proposed to use the diagnostic criterion of insider dependence in the form of differential entropy of keywords and expressions of user search queries in the network according to content analyzers. The results of the study can be useful to information security specialists, Internet psychology researchers and software developers specializing in technologies for detecting cyber threats.

Keywords: internal threat, information security, cybersecurity, insider, insider addiction, information, entropy, addiction

Как правило, когда говорят о кибербезопасности, то имеют в виду различные внешние угрозы, исходящие от злоумышленников. При этом часто упускается из виду или в целях сохранения репутации предприятия, что угрозы для кибербезопасности исходят не только от внешних злоумышленников. К числу лиц, представляющих собой серьезный и растущий риск, также относятся халатные, небрежные, скомпрометированные и злонамеренные пользователи – инсайдеры. Внутренняя угроза (инсайдерская угроза) – это угроза информационной безопасности предприятия, в результате совершения которой различные конфиденциальные данные могут быть раскрыты и дискредитированы непосредственно сотрудниками предприятия, имеющими легитимный доступ к информационным

системам, приложениям и базам данных. По определению Федеральной службы по техническому и экспортному контролю РФ, «инсайдер (Insider) – сотрудник предприятия, который причиняет или планирует причинение ущерба активам организации или помогает в такой акции внешнему нарушителю» [1].

Компании стараются не предавать огласке инциденты, исходящие от их внутренних пользователей (пользователей-сотрудников), но статистика свидетельствует, что с каждым годом количество инцидентов с участием инсайдеров возрастает, и внутренние угрозы становятся наиболее опасными финансовыми рисками. Так, по статистическим данным, приведенным в [2], за последнее время затраты предприятий, связанные с внутренними угрозами, по все-

му миру увеличились до 15,38 млн долларов и в процентном выражении за последние три года составили: 2018 г. – 53%, 2020 г. – 60%, 2022 г. – 67%. Большинство (68%) организаций отмечают, что инсайдерские атаки за последнее время стали увеличиваться. При этом «инструментами» для инсайдеров служат: мессенджеры (33%), съёмные носители (25%), облачные хранилища, личная и корпоративная почта (8%). К основным мотивам инсайдеров относятся: финансовая или карьерная выгода, ущерб репутации предприятия.

По разным литературным источникам можно выделить следующие типы инсайдеров:

- недовольные (обиженные) сотрудники, у которых, например, может отсутствовать продвижение по карьерной лестнице, существуют внутренние конфликты;

- психически неустойчивые сотрудники, у которых злоупотребление конфиденциальными данными выражается в виде эмоциональной реакции на внешние стрессовые ситуации;

- вредоносные инсайдеры – сотрудники, которые совершают противоправные действия из побуждений злонамеренного характера;

- внутренние агенты – сотрудники, которые по сути являются шпионами внутри компании;

- халатные и небрежные сотрудники – сотрудники, которые способствуют совершению инсайдерских атак по ошибке или став жертвой фишинга.

Таким образом, приведённые статистические данные свидетельствуют о том, что риск внутренних угроз находится на высоком уровне и продолжает расти. Отсюда следует, что необходимо разрабатывать и внедрять эффективные методы борьбы с этими угрозами. Однако проблема в том, что внутренние угрозы выявить достаточно сложно, т.к. инсайдер имеет законный доступ к конфиденциальной информации предприятия, знаком со структурой данных и, как правило, осведомлён о системе защиты информации. Инсайдеры действуют тихо и незаметно, но при этом могут нанести серьёзный финансовый ущерб и навредить репутации предприятия.

Цель данного исследования заключается в обосновании метода и критерия диагностики риска инсайдерских угроз на основе принципов теории вероятностной оценки смысла. В основу исследования положен метод диагностики интернет-зависимого поведения человека, изложенный в статьях [3; 4]. Основные принципы теории вероятностной оценки смысла описаны в работе [5].

Материалы и методы исследования

Анализ статистических данных и сведений, полученных из литературных источников, показывает, что мотивы инсайдеров имеют, как правило, в основном психологический характер и часто сопровождаются стрессовым состоянием. К ним относятся: выгода, месть, саботаж, провоцирование изменений, самоудовлетворение, идеологические проявления, и просто наличие склонности к злонамеренным поступкам. Отмечается, что перед совершением атаки почти у всех инсайдеров изменялось поведение [6]. Если сотрудник выглядит недовольным, затаил обиду и с чрезмерным энтузиазмом выполняет больше задач сверх установленного норматива, то это может косвенно свидетельствовать о подготовке им инсайдерской атаки. Более подробно существующие классификации инсайдеров и их мотивации рассмотрены в [7].

Для борьбы с внутренними угрозами разрабатываются различные системы аналитики поведения пользователей (UBA и UEBA-системы). Например, в работе [8] предлагается эвристический алгоритм выявления аномалий в деятельности пользователей-сотрудников на основе модели БД NoSQL. К другим примерам можно отнести модели и алгоритмы обнаружения инсайдерских угроз, которые основаны на технологиях больших данных и машинного обучения [9]. Для защиты от внутренних угроз также необходимо совершенствовать организационную и нормативно-правовую базу, включая информирование сотрудников предприятия о ведении надзора за их деятельностью.

Таким образом, из приведённых данных и сведений можно сделать вывод, что психологический портрет инсайдера имеет схожие черты с психологическим портретом интернет-зависимого человека. Не случайно один из признаков инсайдерской угрозы заключается в частых запросах сотрудников на доступ к данным, которые не связаны с их должностными обязанностями. Близость психологических характеристик инсайдера и интернет-зависимого человека даёт основание говорить о проявлении у некоторых типов людей аддикции, которую можно было бы назвать инсайдерской зависимостью. Отсюда следует, что наблюдения за аномальной активностью пользователей-сотрудников на уровне компьютерной сети может помочь выявить внутренний риск, исходящий от них.

В исследованиях по психологии Интернета в качестве одной из объяснительных причин возникновения зависимости

от Интернета приводится связь между интернет-зависимостью и опытом потока – психическим состоянием, в котором человек полностью сосредоточен на том, чем он занимается [10; 11]. Состояние потока не ограничивается какой-либо одной сферой деятельности, а распространяется на всё, во что вовлечен человек. Как видно из определения, оба феномена психологически подобны, т.к. связаны с поведенческим повторением каких-либо действий, зависящих от внешних и внутренних психологических факторов, как и инсайдерская зависимость. Поэтому переживание опыта потока также может служить объяснительной причиной возникновения инсайдерской зависимости.

Человек с признаками инсайдерской зависимости, находясь в Сети, очевидно, чаще всего будет обращаться к какой-то одной заведомо определённой теме (повышение по службе, получение финансовой выгоды, наказание за преступную деятельность и т.п.). В этом случае набор слов его поисковых запросов (аномалия) по уровню осмысленности будет отличаться от уровня осмысленности среднестатистического набора слов поисковых запросов в состоянии нормы (норма). Сравнивая осмысленность текущих поисковых запросов с нормой, можно количественно оценить (диагностировать) вероятность риска инсайдерской угрозы, исходящей от зависимого сотрудника.

Уровень осмысленности набора слов поисковых запросов можно определить, используя принципы теории вероятностной оценки смысла. Согласно этой теории, механизм выработки человеком осмысленных умозаключений состоит в силлогизме Бейеса – Налимова [12]. В структуре силлогизма Бейеса – Налимова смысл описывается своей функцией распределения $p(\mu)$, мультипликативно взаимодействующей с фильтром $p(y/\mu)$. Взаимодействие описывается теоремой Бейеса и может быть представлено в виде формулы

$$p(\mu|y) = kp(y|\mu)p(\mu), \quad (1)$$

где $p(\mu|y)$ – апостериорная условная функция распределения, описывающая семантику умозаключения; k – константа нормировки.

Формула Бейеса в виде (1), как показал В.В. Налимов, представляет собой силлогизм, т.е. имеются две посылки $p(\mu)$ и $p(y/\mu)$, из которых следует новая семантика $p(\mu/y)$, и в результате из отдельных семантических знаков (слов поисковых запросов) формируется программа осмысленных действий человека и соответствующая ей смысловая форма, такая как текст. Фильтр – это абстрактный элемент мышления, задающий условную функцию распределения $p(y/\mu)$.

Для иллюстрации единичного логического умозаключения в качестве примера ниже показана форма априорной функции распределения семантических знаков в виде отдельных слов (рис. 1).

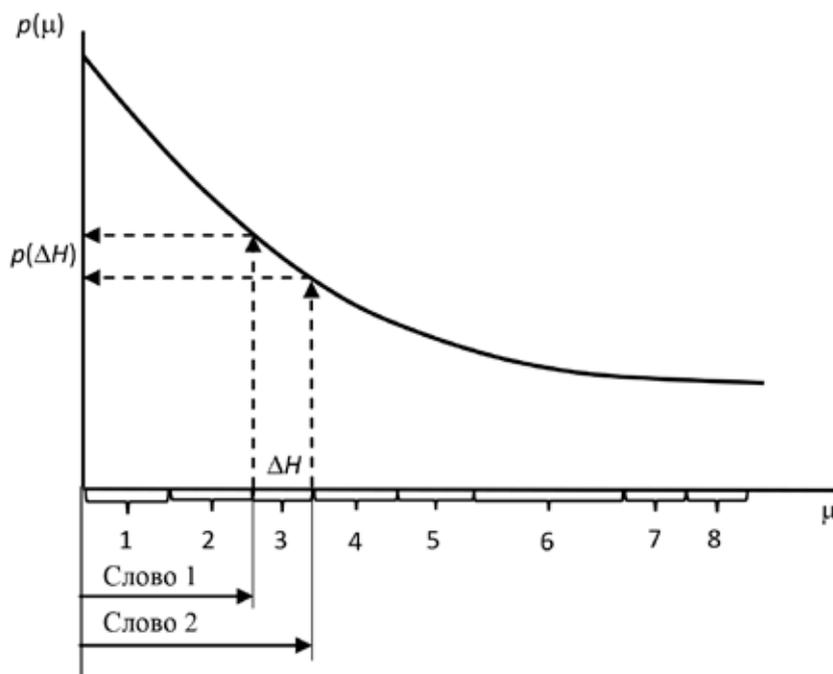


Рис. 1. Формирование логического умозаключения

Как видно на рис. 1, с каждым словом вероятностным образом связано множество смысловых значений. Ранги смысловых значений отложены по оси абсцисс μ и распределены по вероятности их появления $p(\mu)$, определяемой по оси ординат. Таким образом, каждому участку смысловой шкалы соответствуют свои вероятности, с которыми они ассоциируются со словом в сознании человека. Смысл, как это показано на рис. 1, заключен между словами. Тогда, если слова выразить в единицах информационной энтропии H , то отрезок между ними (в этом примере отрезок 3) покажет величину смысла – квант смысла ΔH :

$$\Delta H = |H(\text{Слово 1}) - H(\text{Слово 2})|.$$

Квант смысла представляет собой случайную величину. Тогда содержащий смысл код, состоящий из цепочки взаимосвязанных квантов смысла, можно охарактеризовать статистическими параметрами экспоненциального распределения непрерывной случайной величины. Формальным аналогом информационной энтропии для непрерывной случайной величины является дифференциальная энтропия, т.е. понятие смысла оказывается тождественным этому понятию, которое может служить мерой величины смысла M .

Исходя из описанных принципов теории вероятностной оценки смыслов, методика оценки инсайдерской зависимости будет заключаться в том, чтобы рассчитать, сравнить и проанализировать значения диагностических критериев M_i и M_a соответственно текущего и среднестатистического набора поисковых слов и фраз:

$M_i \geq M_a$ – риск инсайдерской угрозы маловероятен;

$M_i < M_a$ – есть вероятность, что у пользователя-сотрудника наблюдается тенденция к проявлению инсайдерской зависимости и, соответственно, есть риск внутренней угрозы.

Таким образом, уменьшение текущего уровня дифференциальной энтропии поисковых запросов отдельно взятого пользователя-сотрудника (M_i) по сравнению с его среднестатистическим уровнем дифференциальной энтропии поисковых запросов (M_a) в состоянии нормы может говорить о развитии у него инсайдерской зависимости и возникновении риска внутренней угрозы.

Результаты исследования и их обсуждение

Диаграммы функций плотности вероятности ΔH (разность информационных энтропий по Шеннону) для нормы и аномалии показаны на рис. 2 и 3 [3; 4].

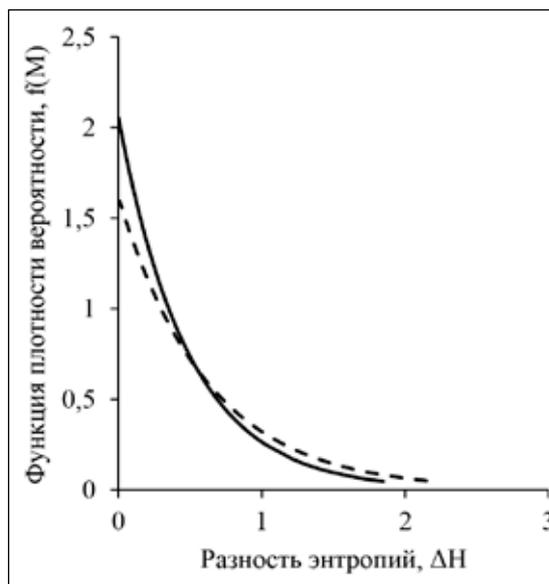


Рис. 2. Норма:
сплошная линия – среднестатистический набор слов поисковых запросов;
штриховая – текущий набор слов поисковых запросов

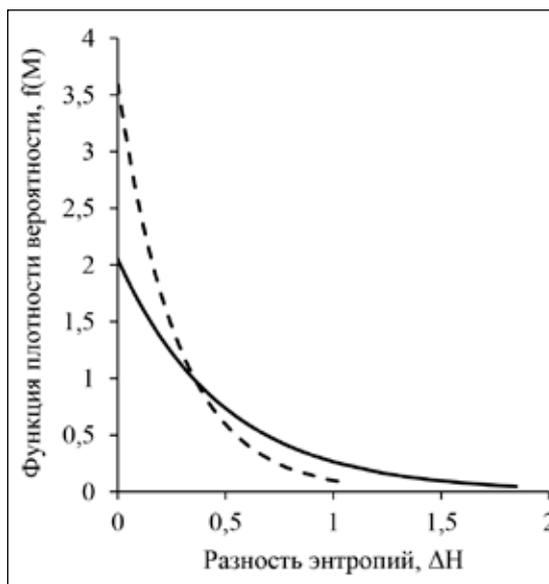


Рис. 3. Аномалия:
сплошная линия – среднестатистический набор слов поисковых запросов;
штриховая – текущий набор слов поисковых запросов

Анализ диаграмм, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что при норме вероятность появления небольших по величине значений ΔH для набора слов текущих (повседневных) поисковых запросов пользователя-сотрудника будет меньше по сравнению с аномалией. Отсюда можно

сделать следующий вывод, что в состоянии инсайдерской зависимости пользователь-сотрудник, который сфокусировался на какой-то одной психологически важной для него проблеме, будет составлять поисковые запросы из однотипных, близких по значению слов. Эти слова будут отражать тот внутренний смысл (замысел), который осознанно или неосознанно будет пытаться реализовать зависимый человек.

В нормальном состоянии пользователь-сотрудник, не скованный довлеющей над ним психологической проблемой, может использовать разнообразные темы и слова для своих поисковых запросов, например такие, как работа, прибыль, отдых, новости, семья, образование и т.п. Для таких запросов требуются большие мыслительные усилия, свобода действий и творческий подход, соответственно, и уровень их осмысленности будет больше. В состоянии зависимости это невозможно. Слова-запросы и темы зависимого человека могут, например, быть такими: уголовное наказание, наказание, ответственность, уголовная ответственность и т.п.

Заключение

Предлагаемая в данной работе методика оценки риска инсайдерских угроз основана на вероятностной теории смыслов. Проявление инсайдерской активности у пользователя-сотрудника рассматривается как зависимость – инсайдерская зависимость, которая сопоставима с интернет-зависимостью. В качестве критерия диагностики инсайдерской зависимости предлагается использовать один из статистических параметров экспоненциального распределения непрерывной случайной величины – дифференциальную энтропию ключевых слов поисковых запросов пользователя-сотрудника в Сети. При снижении, особенно при немотивированном, текущего уровня дифференциальной энтропии поисковых запросов одного из сотрудников предприятия по сравнению со среднестатистическим уровнем дифференциальной энтропии поисковых запросов того же сотрудника может говорить о том, что у него формируется инсайдерская зависимость и, соответственно, риск возникновения внутренней угрозы повышается. Для полу-

чения более надёжного диагноза, действительно свидетельствующего о развитии у пользователя-сотрудника инсайдерской зависимости, рекомендуется дополнительно к разработанному методу использовать методы психодиагностики и соответствующее программное обеспечение.

Список литературы

1. Термины. [Электронный ресурс]. URL: <https://bdu.fstec.ru/ubi/terms/terms/view/id/19> (дата обращения: 09.01.2023).
2. Руководство по внутренним угрозам. [Электронный ресурс]. URL: https://rt-solar.ru/upload/iblock/a0c/7foz1180v630bstsa6anybkfch5mxlo/Rukovodstvo-po-vnutrennim-ugrozam_vertikalnyy.pdf (дата обращения: 08.01.2023).
3. Fadyushin S.G., Vereshchagina E.A., Kayak A.B. Diagnosis of Internet-dependent Human Behavior in the Information Aspect. International Science and Technology Conference "FarEastCon" (ISCFEC 2019): Proceedings of the International Science and Technology Conference "FarEastCon" (ISCFEC 2019), Vladivostok, 01–04 October 2019 / Far Eastern Federal University. Vladivostok: Atlantis Press, 2019. P. 168-170. DOI: 10.2991/iscfec-19.2019.45.
4. Фадюшин С.Г. Интернет-зависимость как фактор аддиктивного поведения человека в киберпространстве // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 2. С. 72-75. DOI: 10.17513/snt.37917.
5. Фадюшин С.Г. Вероятностная оценка смыслов. Логико-философский анализ проблемы смысла в кибернетике: монография. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2022. 196 с.
6. Шугаев В.А., Алексеенко С.П. Классификация инсайдерских угроз информации // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. № 2. С. 143-153.
7. Власов Д.С. К вопросу о мотивации инсайдера организации и способах его классификации // Научные труды КубГТУ. 2022. № 1. С. 128-147.
8. Котенко И.В., Ушаков И.А., Пелёвин Д.В., Преображенский А.И., Овраменко А.Ю. Выявление инсайдеров в корпоративной сети: подход на базе UBA и UEBA // Защита информации. Инсайд. 2019. № 5(89). С. 26-35.
9. Ушаков И.А., Котенко И.В., Овраменко А.Ю., Преображенский А.И., Пелёвин Д.В. Комбинированный подход к обнаружению инсайдеров в компьютерных сетях // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 4. С. 66-71. DOI: 10.46418/2079-8199_2020_4_10.
10. Войскунский А.Е. Вступительное слово // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2011. Т. 8. № 4. С. 29–34.
11. Войскунский А.Е. Психология и Интернет. М.: Акрополь, 2010. 439 с.
12. Fadyushin S.G., Vereshchagina E.A., Pafnuteva Y.V. Nalimov's Bayesian Syllogism to Overcome the Barrier of Meaning in AI Systems. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 October 2020. Vladivostok, 2020. P. 9271411. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271411.

УДК 681.5:004.04

**ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ BIM-ПРОЕКТА
ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРОЕКТА****Шалина Д.С., Тихонов В.А., Степанова Н.Р.***ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет**имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург,**e-mail: d.shalina2011@yandex.ru, vlad-tikhonov-1990@mail.ru, n.r.stepanova@urfu.ru*

Цифровизация в современном мире – неотъемлемый процесс и драйвер роста и трансформации бизнеса. Однако внедрение цифровых технологий требует определенной стратегии и компетенции от лиц, внедряющих эти технологии в организацию. Статья посвящена анализу применения технологий информационного моделирования (BIM) в строительном проекте. Проблема исследования представлена как одна из трудностей внедрения и использования BIM и определена как сложность управления жизненным циклом BIM-проекта и неосведомленность сотрудников. С опорой на анализ практики применения BIM-технологий авторы доказывают актуальность и необходимость увеличения количества стадий жизненного цикла (ЖЦП) с применением BIM. Для этого требуется решить указанную проблему с помощью визуального представления реализации BIM-проекта. Характеристики структуры ЖЦП BIM-проекта, определение роли и цели BIM на каждой стадии ЖЦП определяются на основе анализа российских и зарубежных научных публикаций. Это позволяет выявить основные действия, контроль и мониторинг, входные и выходные данные на каждой стадии реализации проекта. Авторы представляют результаты исследования в виде блок-схем реализации строительного проекта с применением BIM-технологий на каждой стадии ЖЦП. Достоверность представленных результатов определена анализом научных публикаций и анализом практики применения BIM-технологий в строительстве.

Ключевые слова: BIM-технологии, реализация BIM-проекта, управление проектами, жизненный цикл, строительство

**VISUAL REPRESENTATION OF BIM PROJECT IMPLEMENTATION
TO SIMPLIFY PROJECT LIFE CYCLE MANAGEMENT****Shalina D.S., Tikhonov V.A., Stepanova N.R.***Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg,**e-mail: d.shalina2011@yandex.ru, vlad-tikhonov-1990@mail.ru, n.r.stepanova@urfu.ru*

Digitalization in the modern world is an integral process and driver of business growth and transformation. However, the introduction of digital technologies requires a certain strategy and competence from those who introduce these technologies into the organization. The article is devoted to the analysis of the application of information modeling (BIM) technologies in a construction project. The research problem is presented as one of the difficulties and barriers to the implementation and use of BIM and is defined as the complexity of managing the life cycle of a BIM project and the lack of awareness among employees. Based on the analysis of the practice of applying BIM technologies, the authors prove the relevance and necessity of increasing the number of life cycle stages (LCP) using BIM. To do this, it is required to solve the specified problem using a visual representation of the implementation of the BIM project. Characteristics of the structure of the life cycle of a BIM project, the definition of the role and goals of BIM at each stage of the life cycle are determined based on the analysis of Russian and foreign scientific publications. This allows you to identify the main actions, control and monitoring, input and output data at each stage of the project. The authors present the results of the study in the form of block diagrams for the implementation of a construction project using BIM technologies at each stage of the life cycle. The reliability of the presented results is determined by the analysis of scientific publications and the analysis of the practice of using BIM technologies in construction.

Keywords: BIM technologies, BIM project implementation, project management, construction, life cycle

Современные застройщики стремятся к использованию современных подходов и технологий при реализации строительных проектов. Одной из таких технологий является BIM (Building Information Model/Modeling/Management). BIM позволяет использовать предиктивную аналитику для опережающего принятия решений, поэтому выступает необходимостью в современных условиях строительной отрасли. Однако переход на цифровые технологии – это серьезный шаг для строительного предприятия. Внедрение BIM требует решения экономических, социальных и технологи-

ческих проблем. В ряде научных исследований выделяются следующие барьеры внедрения BIM [1–4]:

1) высокие затраты на приобретение программного обеспечения и оборудования для информационного моделирования;

2) потребность в комплексном обучении сотрудников навыкам работы в информационной модели, недостаточная осведомленность;

3) подверженность программ сбоям и внутренним ошибкам;

4) преодоление сопротивления работников внедрению инноваций;

5) не универсальная система обозначения инженерных систем или технологического оборудования.

Проблема № 1 является главной трудностью внедрения BIM. Данной проблемы невозможно избежать. Требуются расчеты и факты, подтверждающие эффективность использования BIM-технологий.

Объектом данного исследования является проблема № 2. Внедряя новые технологии, руководство должно обучить сотрудников новым навыкам, иначе использование информационного моделирования будет безуспешно.

Актуальность решения проблемы в недостаточной осведомленности сотрудников в управлении жизненным циклом (ЖЦП) с применением BIM-технологий обусловлена практикой применения BIM-технологий в строительстве. Из отчета по уровню применения BIM застройщиками РФ при строительстве объектов жилого назначения следует, что использование BIM снижается со стадии инициативы и проектирования к стадии строительства и эксплуатации. Данное явление объясняется трудностью передачи данных на следующие этапы жизненного цикла и зависит от уровня развития BIM в компании.

Реальная ситуация применения BIM на стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства представлена на рис. 1.

При этом большинство российских застройщиков используют BIM на уровне 3D (рис. 2).

Всего выделяют четыре уровня BIM [6–8]:

– Первый уровень зрелости (3D). Появляется 3D-модель, которая содержит проектную документацию, инженерный анализ, трехмерную визуализацию, проверку содержимого, обнаружение столкновений, пространственную координацию и планирование логистики на объекте.

– Второй уровень зрелости (3D+4D). 4D предполагает привязку модели к времени и визуализацию графика. С помощью данного изменения можно посмотреть последовательность строительства и отслеживать производство. Достигается поэтапная координация и планирование логистики.

– Третий уровень зрелости (3D+4D+5D). 5D представляет модель с привязкой к затратам. Благодаря детализации информационной модели можно извлекать точное количество необходимых материалов, прогнозировать затраты и управлять заказами. Наличие 5D способствует рациональному использованию затрат посредством анализа движения денежных средств и анализа заработной платы.

– Четвертый уровень зрелости (3D+4D+5D+6D). Следующее измерение – это 6D (управление эксплуатацией здания). В информационной модели 6D появляется возможность управлять активами, пространством и объектами. Информационная модель интегрирована с системой управления зданием.

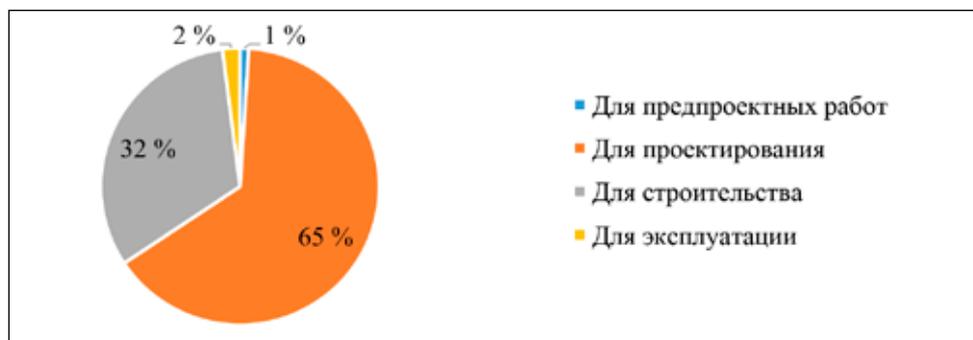


Рис. 1. Уровень применения BIM на стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства [5]

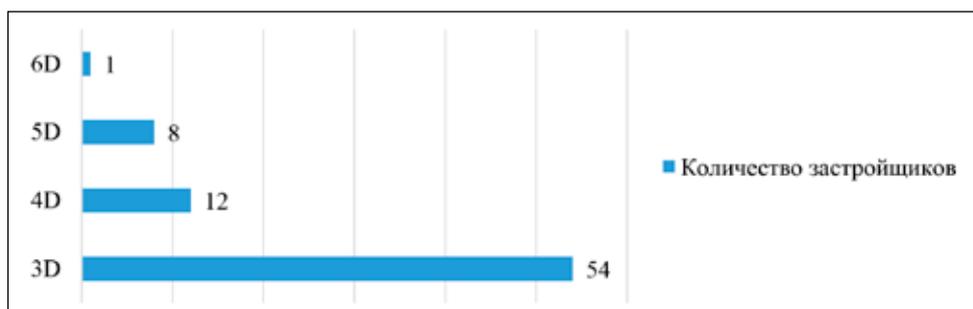


Рис. 2. Уровень развития BIM у российских застройщиков [5]

Из анализа практики применения BIM-технологий в строительстве можно сделать вывод о том, что российские застройщики не используют потенциал BIM полностью. Данные технологии применяются в большинстве случаев только на стадии проектирования.

Стоит отметить, что использование BIM от стадии принятия решений и до стадии эксплуатации может дать более качественный результат по сравнению с применением только на проектировании. Благодаря BIM повышается точность оценки стоимости проекта, т.е. снижается погрешность в определении стоимости здания или сооружения. При строительстве и эксплуатации возможно обеспечить своевременный учет всех возникающих и прогнозируемых отклонений, проактивное принятие эффективных решений и эффективную координацию работ. Следовательно, необходимо расширение стадий использования BIM с увеличением уровней зрелости.

Целью данного исследования является моделирование процесса реализации строительного проекта с применением BIM-технологий на стадии проектирования, строительства и эксплуатации для упрощения процесса управления жизненным циклом проекта и повышения осведомленности сотрудников о работе с BIM. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- анализ научных публикаций для выявления характеристик структуры ЖЦП BIM-проекта;
- определение роли и цели BIM на каждой стадии в ЖЦП;
- построение блок-схем реализации BIM-проекта для каждой стадии ЖЦП;
- обоснование результатов исследования и практической значимости.

Материалы и методы исследования

Авторы предлагают блок-схемы реализации строительного проекта с применением BIM-технологий, включающие стадию проектирования, строительства и эксплуатации, что позволяет упростить процесс управления жизненным циклом проекта и повысить осведомленность сотрудников о работе с BIM. Подобная визуализация представляется впервые, что обладает признаками научной новизны с точки зрения автоматизации и управления технологическими процессами и производствами.

В работе используются теоретические методы исследования. Анализ научной литературы позволяет охарактеризовать структуру ЖЦП BIM-проекта. Изучение российских и зарубежных пу-

бликаций осуществляется для определения роли и цели BIM на каждой стадии ЖЦП. Благодаря этому авторы выявляют основные действия, контроль и мониторинг, входные и выходные данные на каждой стадии реализации проекта. Использование графического редактора позволяет смоделировать блок-схемы реализации строительного проекта с применением BIM.

Характеристики структуры ЖЦП BIM-проекта. С применением BIM-технологий управление жизненным циклом характеризуется эффективным управлением данными, т.е. появляется возможность создания единого хранилища данных на начальной стадии (предпроектной стадии ИСП) [9]. Предполагается наполнение единого хранилища данными по степени продвижения по проекту.

За счет формирования сквозных бизнес-процессов возможно реализовать информационную поддержку жизненного цикла [9]. Следовательно, ЖЦП BIM-проекта характеризуется переходом выходной информации во входную информацию последующих шагов.

Установлены общие требования к выполнению работ всеми участниками инвестиционно-строительного проекта и общие нормативы для постоянного контроля [9]. Речь идет о BIM-стандарте организации, а также о регулярном контроле и мониторинге бизнес-процессов в рамках ЖЦП.

Определение роли BIM в ЖЦП. В.Н. Колчин отмечает, что работа над BIM начинается с создания архитектурной 3D-модели объекта, т.е. с разработки концептуальной BIM-модели. Далее в модель вводятся параметры составляющих элементов объекта. Так, BIM-модель постепенно конкретизируется, проходя этапы проектной документации (ПД) и рабочей документации (РД). Вместе с конкретизацией модели происходит уточнение календарно-сетевых графика проекта (КСГ). Благодаря максимальному содержанию в модели данных об объекте возможно использование модели при эксплуатации объекта при помощи датчиков [10].

В исследовании О.В. Маковецкой-Абрамовой выделяется перечень задач, которые решает BIM на стадиях сопровождения проектов. К ним относится подготовка проектного предложения, т.е. та же концептуальная BIM-модель. Получение высококачественной проектной документации достигается благодаря проверке на коллизии и корректировке проектной модели. На стадии строительства BIM-моделью пользуются подрядные организации и осуществляется финансово-технический надзор.

Проверка на коллизии описана как управление и контроль построения объекта на всех этапах строительства [11].

Из исследования BIM как инструмента бережливого производства авторы выделили следующие характерные черты BIM на стадии проектирования и строительства:

- BIM обеспечивает создание правильной проектной модели, в которой содержится точная информация и размеры объекта. Происходит проверка и оценка технических решений;

- совместное использование и обмен информацией с применением BIM-модели (на стадии строительства);

- оперативное обнаружение конфликтов и ошибок. Достигается благодаря проверке BIM-модели на коллизии на каждом этапе (ПД, РД, строительство, эксплуатация) [12].

Цинджуана Лю и Цзялин Цао описывают роль BIM на каждой стадии ЖЦП. На предпроектной стадии возможно выразить цели проекта с помощью информационных данных BIM и концентрированной информации (концептуальная модель). На стадии проектирования возможно оперативное получение проектных требований, условий и компонентов, в том числе результатов инженерных изысканий. На стадии строительства осуществляется эффективное управление и динамический контроль проектных изменений благодаря BIM. Отмечается, что следует связать модель здания со временем и стоимостью (3D+4D+5D) для возможности определения схемы строительства до строительства объекта. На стадии эксплуатации объекта существует возможность установить напоминания о техническом обслуживании оборудования, регулярном обслуживании и автоматической замене для контроля потенциальных угроз безопасности [13].

В дополнение к функциям BIM на стадии эксплуатации добавим:

- Представление возникающих проблем на информационной модели для рационального обслуживания или ремонта.

- Учет используемого оборудования.

- Обеспечение управления отношениями с коммерческими арендаторами.

- Поддержка взаимодействия с сервисными подрядчиками.

- Проверка выполнения административных, технических и инфраструктурных задач.

- Получение детальной информации об инженерных системах и конструктивных элементах здания в наглядном виде [14].

Цели BIM на каждой стадии ЖЦП. Основной целью BIM на стадии предпроектной и проектной подготовки является

определение подробного концептуального проекта и получение высококачественной проектной документации. Уточняется финансовая модель проекта и разрабатывается укрупненный КСГ и смета.

На стадии строительства целью BIM является управление и контроль построения объекта на всех этапах строительного производства. Осуществляется периодический контроль и мониторинг выполнения строительных работ. При этом налаживается коммуникация между застройщиком, генеральным подрядчиком и субподрядчиками.

На стадии эксплуатации BIM является инструментом оперативного ведения документации и всего эксплуатационного процесса. Спектр функций BIM на данной стадии обширный, но успешное применение технологий требует соответствующих знаний.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 3–5 представлена реализация BIM-проекта по этапам: предпроектная подготовка строительства, проектная подготовка строительства (ПД и РД), строительство и эксплуатация. Схемы составлены авторами на основе выявленных характеристик структуры ЖЦП BIM-проекта, определением роли BIM в ЖЦП проекта, целей BIM на каждой стадии ЖЦП и источника [15], зеленым цветом выделены авторские вставки.

Схемы вертикально разделены на стадии реализации проекта, а горизонтально – на входные и выходные данные и непосредственный процесс. Входные данные являются выходными данными предыдущей стадии с добавлением необходимой информации.

На каждой стадии осуществляется контроль и мониторинг реализации проекта с целью своевременного выявления коллизий и принятия решений по их предотвращению (желтый ромб с вопросом «Есть коллизии?») на рис. 3–5). Выполняется определенная задача в рамках стадии, проверяется на коллизии, и при успешном выполнении данной задачи команда переходит к следующей стадии.

На практике визуализация реализации BIM-проекта может использоваться как инструкция реализации BIM-проекта, описание бизнес-процессов и инструмент обучения сотрудников. Это повлечет за собой расширение стадий ЖЦП использования BIM с увеличением уровней зрелости, что способствует росту уровня развития BIM у российских застройщиков.

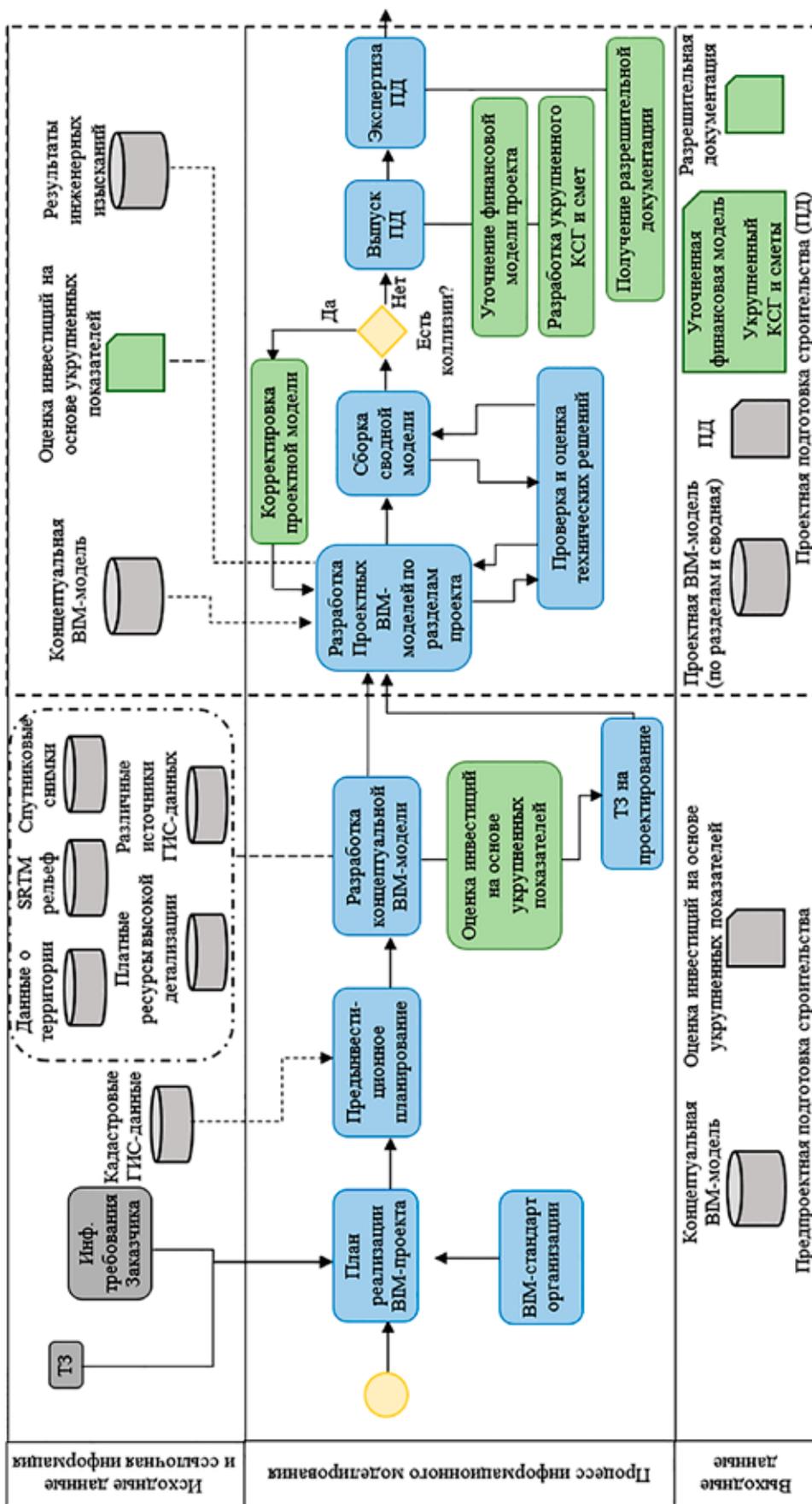


Рис. 3. Реализация BIM-проекта (предпроектная и проектная подготовка строительства (ПД))

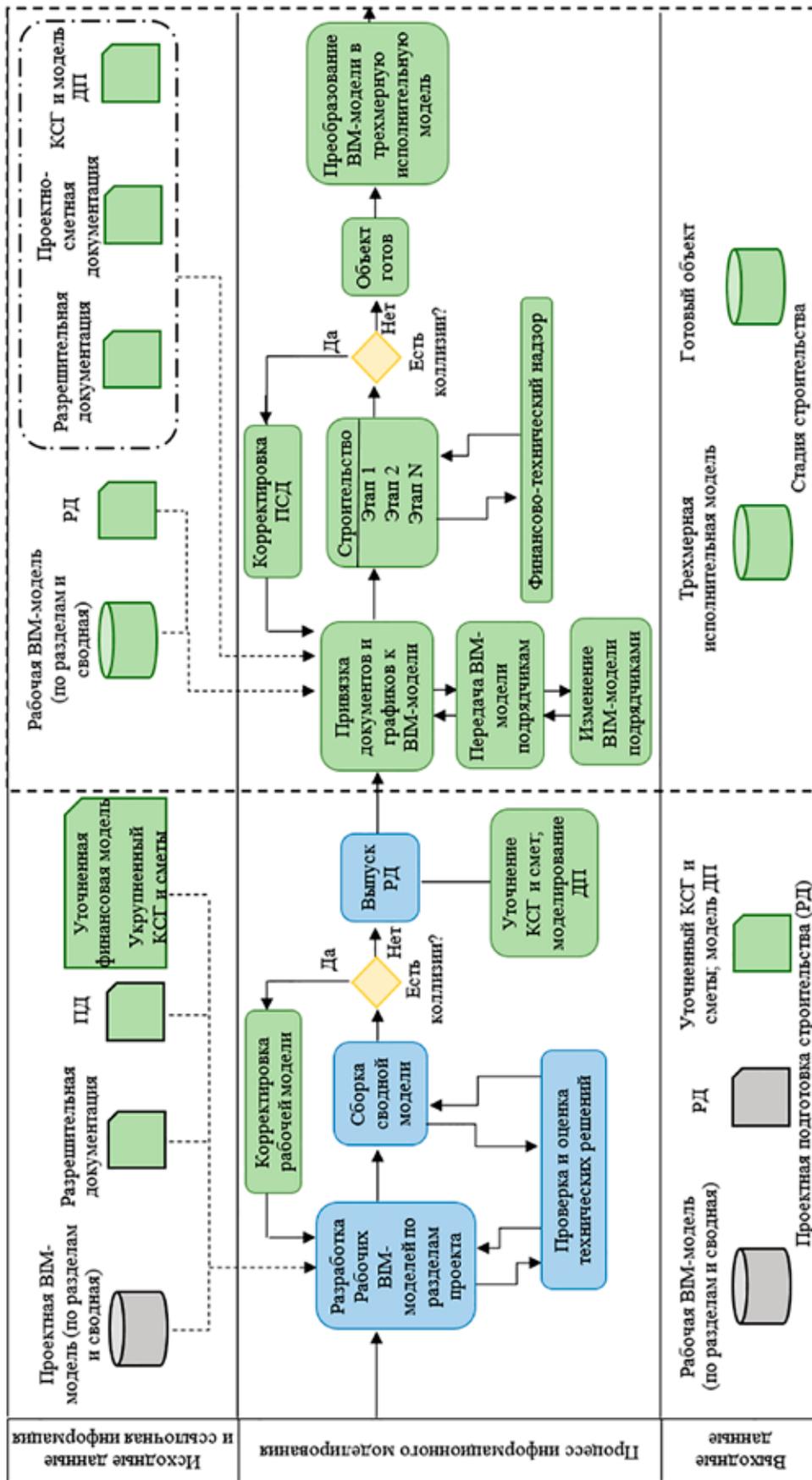


Рис. 4. Реализация BIM-проекта (проектная подготовка (РД) и строительство)

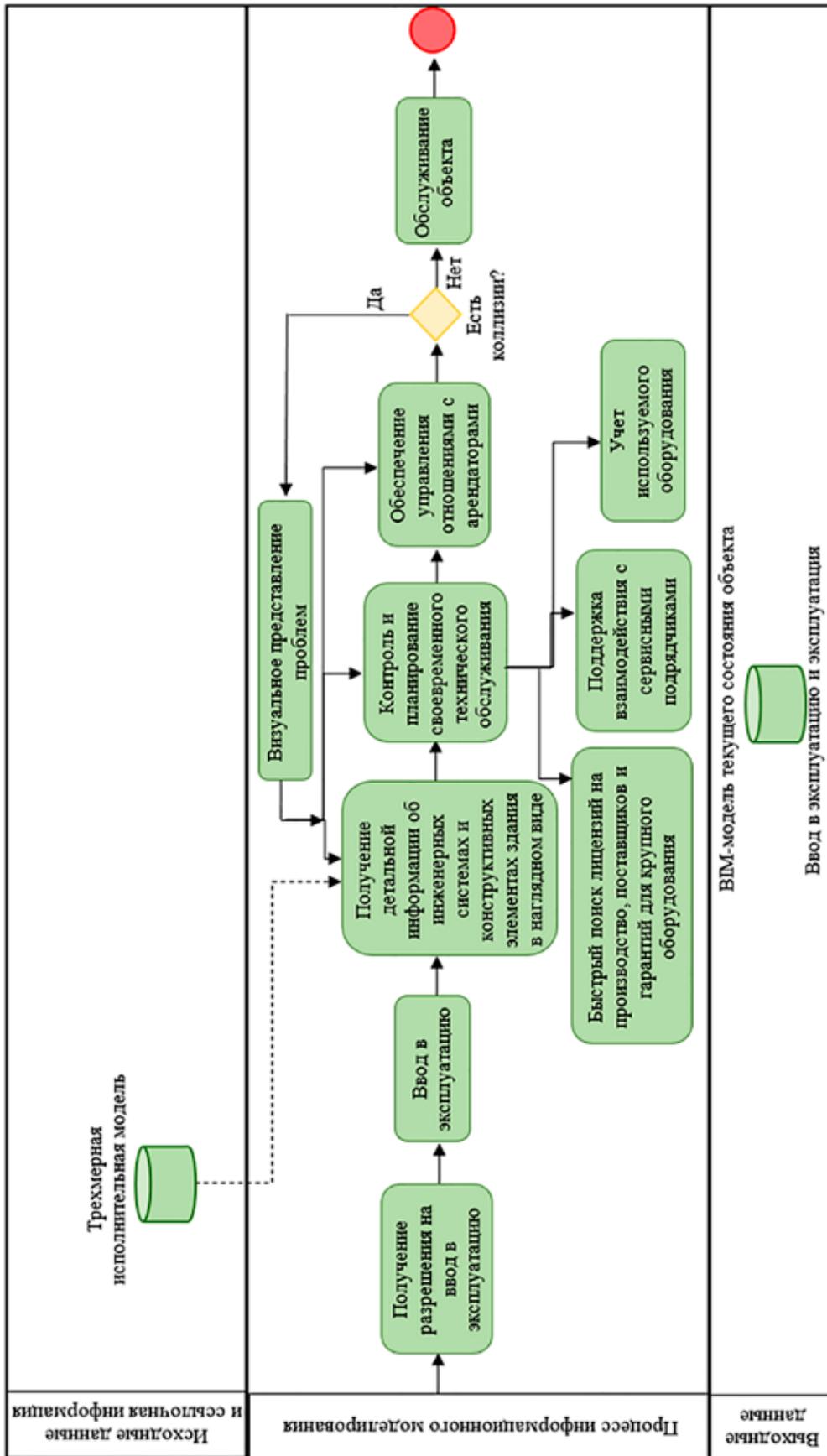


Рис. 5. Реализация BIM-проекта (ввод в эксплуатацию и эксплуатация)

Заключение

Барьеры внедрения BIM-технологий на строительном предприятии разнообразны. В данном исследовании решается проблема с недостаточной осведомленностью сотрудников в управлении жизненным циклом BIM-проекта. Необходимость решения данной проблемы объясняется низким уровнем развития BIM у российских застройщиков, который выявляется на основе анализа практик применения BIM.

Перед моделированием реализации BIM-проекта проводится анализ научных публикаций для выявления характеристик структуры ЖЦП BIM-проекта, определения роли и цели BIM на каждой стадии ЖЦП.

В исследовании предложены блок-схемы реализации строительного проекта с применением BIM-технологий, включающие стадии проектирования, строительства и эксплуатации, отличающиеся моделированием на основе результатов анализа научной литературы, что позволяет использовать схемы как инструкцию для упрощения процесса управления жизненным циклом проекта и повышения осведомленности сотрудников о работе с BIM.

Список литературы

1. Рыбин Е.Н., Амбарян С.К., Аносов В.В., Гальцев Д.В., Фахратов М.А. BIM-технологии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. № 1 (28). С. 98–105.
2. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Панин А.С. Организационное сопровождение BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2019. № 12 (135). С. 1628–1637.
3. Головин К.А., Копылов А.Б., Томилова Б.И. Анализ текущего состояния BIM-технологий на строительном рынке // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 278–282.
4. Lesniak A., Gorka M., Skrzypczak I. Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects. *Energies*. 2021. Vol. 14 (8). DOI: 10.3390/en14082090.
5. Уровень применения ТИМ застройщиками РФ при строительстве объектов жилого назначения. Центр компетенция по ТИМ. Цифровая академия. ДОМ.РФ. [Электронный ресурс]. URL: <https://наш.дом.рф/технологии-информационного-моделирования> (дата обращения: 01.10.2022).
6. Marco L., Manuele C., Davide T., Benedetta B. BIM Level of Detail for Construction Site Design. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 123. P. 581–589. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.10.111.
7. Moses T., Heesom D., Oloke D. Implementing 5D BIM on construction projects: Contractor perspectives from the UK construction sector. *Journal of Engineering Design and Technology*. 2020. Vol. 18. DOI: 10.1108/JEDT-01-2020-0007.
8. Nicał A., Wodynski W. Enhancing Facility Management through BIM 6D. *Procedia Engineering*. 2016. vol. 164. P. 299–306. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.623.
9. Vozgment N., Astafyeva O. Advantages of BIM modeling in the investment and construction sector in the context of digital transformations of the industry. *Bullet. University*. 2021. Vol. 7. P. 58–66. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-7-58-66.
10. Колчин В.Н. Применение BIM-технологий в строительстве и проектировании // Инновации и инвестиции. 2019. № 2. С. 209–214.
11. Маковецкая-Абрамова О.В., Лунева С.К., Гаврюшина А.Г. BIM-технологии на службе обеспечения безопасности населения // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2020. № 2 (52). С. 85–88.
12. Eldeep A.M., Farag M.A., Abd El-hafez L.M. Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study. *Ain Shams Engineering Journal*. 2022. Vol. 13. P. 1–7.
13. Liu Q., Cao J. Application Research on Engineering Cost Management Based on BIM. *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 183. P. 720–723.
14. Шалина Д.С., Степанова Н.Р. Трансформация технологий информационного моделирования при эксплуатации недвижимости // Фундаментальные исследования. 2021. № 10. С. 77–82.
15. Разработка процесса реализации BIM-проекта. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberpedia.su/11x4016.html> (дата обращения: 10.02.2023).

СТАТЬИ

УДК 37.013:378.1

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ НАГЛЯДНОГО ОБУЧЕНИЯ
В ТРУДАХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЕДАГОГОВ
КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА****Гараева Е.А.***ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: eagaraeva@list.ru*

Исследование отражает развитие теории и практики наглядного обучения в педагогическом наследии отечественных ученых конца XIX – начала XX в. Актуальность обращения к историко-педагогическому наследию обусловлена необходимостью использовать богатейший опыт, синергию педагогических традиций и инноваций в решении важнейших задач педагогической науки и практики. Целью настоящей статьи является анализ научно-педагогических подходов к развитию дидактического принципа наглядности в трудах отечественных ученых в рассматриваемый исторический период. В работе использовались такие методы исследования, как ретроспективный анализ историко-педагогической литературы, обобщение, систематизация полученных выводов. Методологическую основу исследования составили принципы системности, историзма, объективности. Научная новизна исследования состоит в том, что дополнено научное знание о реализации принципа наглядности в образовании России конца XIX – начала XX в. с позиции целесообразности, роли и возможностей использования наглядных средств и методов обучения; принципов разработки наглядных пособий и совершенствования работы педагога по их использованию в педагогической практике; определения нуждающихся в наглядном сопровождении аспектов содержания образования. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что выдающиеся деятели отечественной педагогической мысли конца XIX – начала XX в. опытом своей работы и многочисленными исследованиями актуализировали роль наглядного обучения в школьной практике. Практическая значимость исследования состоит в возможности включения его результатов в дидактические материалы для изучения учебной дисциплины «История педагогики и образования»; материалы могут быть полезны педагогам, студентам, специалистам по истории педагогики и российского образования.

Ключевые слова: дидактический принцип, педагогическое наследие, наглядность, наглядное обучение, принцип наглядности, средства наглядности

**THE DEVELOPMENT OF THE THEORY AND PRACTICE
OF VISUAL EDUCATION IN THE WORKS OF DOMESTIC
TEACHERS OF THE LATE XIX – EARLY XX CENTURIES****Garaeva E.A.***Orenburg State University, Orenburg, e-mail: eagaraeva@list.ru*

The study reflects the development of the theory and practice of visual education in the pedagogical heritage of domestic scientists of the late XIX – early XX centuries. The relevance of turning to historical and pedagogical heritage is due to the need to use the richest experience, synergy of pedagogical traditions and innovations in solving the most important tasks of pedagogical science and practice. The purpose of this article is to analyze the scientific and pedagogical approaches to the development of the didactic principle of visibility in the works of domestic scientists in the historical period under consideration. The paper used such research methods as a retrospective analysis of historical and pedagogical literature, generalization, systematization of the findings. The methodological basis of the study was the principles of systematicity, historicism, objectivity. The scientific novelty of the research consists in the fact that the scientific knowledge about the implementation of the principle of visibility in the education of Russia of the late XIX – early XX century has been supplemented from the standpoint of expediency, the role and possibilities of using visual aids and teaching methods; the principles of developing visual aids and improving the work of a teacher on their use in pedagogical practice; determining the aspects of content that need visual support education. The results of the study allow us to conclude that outstanding figures of Russian pedagogical thought of the late XIX – early XX centuries actualized the role of visual education in school practice with their work experience and numerous studies. The practical significance of the research is the possibility of including its results in didactic materials for the study of the discipline «History of Pedagogy and Education»; the materials can be useful to teachers, students, specialists in the history of pedagogy and Russian education.

Keywords: the didactic principle, pedagogical heritage, visibility, visual training, the principle of visibility, means of visualization

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обращения к педагогическому наследию ведущих ученых, раскрывающему становление и развитие теории и практики применения принципа наглядности в образовании России конца XIX – начала XX в., отражающему наиболее ценные идеи наглядного обучения, которые сегодня могут использоваться педа-

гогами при реализации в образовательном процессе активных средств визуализации. Проведенный анализ работ по методологии историко-педагогических исследований позволяет констатировать, что обращение современных ученых к историко-педагогическому знанию способствует наиболее ясному пониманию, осознанию, переосмыслению, объяснению современной тео-

рии и практики образования, что позволяет проводить более глубокий и содержательный анализ возникающих сегодня педагогических ситуаций и проблем. Решению многих актуальных педагогических задач способствует обращение к прошлой педагогической реальности, исследование, анализ актуальных вопросов образовательной практики сквозь призму изложения идей, теорий, концепций великих педагогов прошлого [1].

Изучение научных взглядов отечественных педагогов конца XIX – начала XX в. на развитие важнейшего дидактического принципа наглядности в обучении обусловлено необходимостью использования накопленного историко-педагогического опыта для решения важнейших на сегодняшний день задач в сфере образования. В процессе обращения к историко-педагогическому знанию у исследователя формируется понимание, что актуальные сегодня педагогические идеи являются обновленным вариантом на время забытых концепций и теорий. Профессор А.Н. Джурицкий отмечает: «Обращение к истории педагогики дает навыки научного исследования, знание педагогических категорий и понятий, умение работать с историко-педагогическими источниками» [2].

Знание истории образования, всесторонний анализ историко-педагогических идей обусловлены необходимостью использования в нынешней практической деятельности всего того, что было накоплено в воспитании и обучении предыдущими поколениями ученых-педагогов.

Обращение к источникам научной литературы, а также имеющийся опыт профессионально-педагогической деятельности позволяют констатировать, что проблема реализации принципа наглядности и актуализации его роли в образовательном процессе в настоящее время имеет особую значимость и активно обсуждается научно-педагогическим сообществом. Исследователями и педагогами-практиками демонстрируется опыт реализации данного принципа обучения в преподавании различных учебных дисциплин. Значительна практика эффективного использования наглядных методов и средств обучения при изучении естественнонаучных, социально-гуманитарных, физико-математических и других дисциплин. Широко рассмотрен опыт использования наглядности при изучении иностранных языков. Все это подтверждается многочисленными современными научными работами, отражающими опыт применения принципа наглядности в обучении в различных сферах и уровнях образования.

Обращение автора настоящей статьи к накопленному историческому опыту, необходимость анализа идей, влияния педагогической деятельности и научных работ отечественных педагогов конца XIX – начала XX в. на развитие теории и практики наглядного обучения обусловлены необходимостью использовать накопленный опыт в современной образовательной практике.

Цель исследования – историко-педагогический анализ научных взглядов отечественных ученых конца XIX – начала XX в. на развитие теории и практики наглядного обучения.

Материалы и методы исследования

В работе использовались такие методы историко-педагогического исследования, как ретроспективный анализ историко-педагогической литературы, обобщение, систематизация полученных выводов. В результате проведения исследования изучались и анализировались педагогические труды и учебные книги российских ученых-педагогов конца XIX – начала XX в. (В.П. Вахтеров, Н.А. Корф, Н.И. Пирогов, К.Д. Ушинский). Проводился анализ работ по методологии историко-педагогических исследований (М.В. Богуславский [3], Г.Б. Корнетов, М.А. Лукацкий [1]); а также научных материалов и авторских исследований, посвященных изучению педагогического наследия педагогов рассматриваемого исторического периода (М.В. Богуславский, Т.Н. Богуславская [4], И.А. Горячева [5]; Е.Ю. Ромашина, И.И. Тетерин [6]; Ю.И. Росова [7], Ю.И. Симакова [8]). Методологическую основу исследования составили принципы системности, историзма и объективности.

Результаты исследования и их обсуждение

Идеи развития теории и практики наглядного обучения не являются новыми для педагогической науки. На современном этапе ее развития накоплено достаточное количество исследований, отражающих способы и средства решения данной проблемы в различные исторические этапы, а также особенности использования данного дидактического принципа в преподавании различных учебных дисциплин. В данной статье рассмотрены и проанализированы научные взгляды на рассматриваемую проблему отечественных ученых конца XIX – начала XX в. (В.П. Вахтеров, Н.А. Корф, Н.И. Пирогов, К.Д. Ушинский).

Отметим, что в настоящее время накоплен значительный фонд научных знаний и методических материалов, отражающих анализ

различных точек зрения отечественных педагогов конца XIX – начала XX в. на решение важнейших проблем в сфере образования, в том числе:

– развития передового педагогического опыта и инновационных процессов (О.Б. Лобанова) [9];

– реализации идей развивающего обучения (А.В. Усова) [10];

– развития педагогических теорий в России (М.В. Фалей) [11].

В ходе подготовки статьи были изучены работы ученых, отражающих результаты исследования учебных книг К.Д. Ушинского (И.А. Горячева) [5], учебников и методических пособий Н.А. Корфа (Е.Ю. Ромашина, И.И. Тетерин) [6]; гуманистические идеи в педагогике В.П. Вахтерова (Ю.И. Россова) [7], Ю.И. Симакова [8].

Как показал проведенный анализ научной литературы, в настоящее время недостаточно исследований, отражающих научные взгляды отечественных ученых конца XIX – начала XX в. о роли наглядности в обучении как важнейшего стимула мыслительного процесса ребенка, как средства развития наблюдательности и эффективно-го усвоения учебного материала.

Огромный вклад в развитие теории и практики наглядного обучения отечественных педагогов Василия Порфирьевича Вахтерова, Николая Александровича Корфа, Николая Ивановича Пирогова, Константина Дмитриевича Ушинского. Выдающиеся деятели отечественной педагогической мысли опытом своей деятельности и многочисленными исследованиями актуализировали роль наглядного обучения в школьной практике, высокую значимость соблюдения данного принципа в процессе обучения в формировании у детей наблюдательности, логичности суждений, умения правильно выражать словами свои наблюдения и формулировать на их основе логические выводы.

В своих работах великий педагог К.Д. Ушинский отмечал, что реализация дидактического принципа наглядности обеспечивает развитие личности обучающегося. Ученый советовал педагогам уделять особое внимание наглядности, поскольку это средство, которое наиболее эффективно стимулирует мыслительный процесс ребенка.

К.Д. Ушинский писал: «дитя... мыслит формами, красками, звуками, ощущениями вообще... Облекая первоначальное учение в формы, краски, звуки, – словом, делая его доступным возможно большему числу ощущений дитяти, мы делаем вместе с тем наше учение доступным ребенку и сами входим в мир детского мышления» [12].

Важно, по мысли ученого, в процессе обучения использовать наглядные методы и приемы. Например, при работе с текстом он рекомендовал пользоваться символическими схемами («древами»), которые обладают возможностями ассоциативно связывать понятия в сознании обучающихся. При использовании наглядных форм работы актуализируется образное мышление ученика, обеспечивается наибольшая эффективность процесса перевода усвоенных понятий из кратковременной памяти в долговременную.

Известный деятель земской школы, автор большого количества учебных и методических пособий Николай Александрович Корф внес значительный вклад в развитие теоретических положений наглядного обучения, а именно в практику применения принципа наглядности в первоначальном обучении детей грамоте.

Ученый определял наглядность как одновременное участие большого количества внешних чувств – зрение, обоняние, осязание, вкус, ощущения. При этом считал зрение главным из чувств.

Н.А. Корф доказывал, что использование методов наглядного обучения позволяет более эффективно обучать детей родному языку, осуществлять их знакомство с предметами видимого мира, учить наблюдать, мыслить логически; говорил о важности использования принципа наглядного обучения; убеждал педагогическое сообщество в необходимости реализации наглядности, особенно в преподавании языка; призывал педагогов ценить и использовать в работе учебные книги с картинками (в особенности приводя в пример учебную литературу К.Д. Ушинского). Отмечал, что уроки наглядного обучения – это основа, на которой строится освоение норм правильной русской речи.

Особая заслуга Н.А. Корфа состоит в том, что он разработал и рекомендовал педагогам использовать алгоритм проведения урока наглядного обучения, в котором выделены такие этапы, как подготовительная (предварительная) беседа; чтение названий предметов по книге; указание предметов на картинах; краткое описание предметов и их частей; сравнение предметов между собой; повторение пройденного материала по вопросам педагога.

Николай Александрович ратовал за широкое и массовое использование наглядности в любой начальной школе – для того, чтобы «обучать детей родному языку, знакомить их с предметами видимого мира, научить детей наблюдать и мыслить» [13].

Педагог, ученый, деятель народного образования Василий Порфирьевич Вахтеров

считал основной целью образования умение ребенка устанавливать закономерные логичные взаимосвязи между приобретаемыми сведениями (получаемыми знаниями о предметах, явлениях, процессах). Наиболее эффективной для этого, по мысли В.П. Вахтерова, является самостоятельная познавательная деятельность. При этом основная роль отводится предметной наглядности. Следует отметить, что ученый не рассматривал наглядность как самостоятельный предмет преподавания, а определял ее как метод, используемый на начальном этапе обучения, в основе которого – наблюдение и эксперимент.

Василий Порфирьевич придавал большое значение и рекомендовал педагогам начальной школы использовать рисование, лепку, моделирование, чтение по ролям. Это позволяет судить о том, что в представлениях ученого идеи наглядного обучения находились в тесном взаимодействии с идеями практико-ориентированного обучения [14].

Важно отметить, что преимущество использования наглядного обучения в педагогической работе было доказано В.П. Вахтеровым путем эксперимента, в результате которого был сделан важный вывод, что в процессе обучения необходимо добиваться взаимосвязи слов, ясных понятий и представлений, складывающихся из ощущений. Педагог разработал методическое пособие «Русский букварь для обучения письму и чтению, русскому и церковнославянскому», составленное аналитико-синтетическим способом «чтение – письмо». В пособие включены иллюстрации изображенных предметов, начинающих на изучаемую букву, а также сюжетные картинки к текстам.

Педагогические идеи выдающегося деятеля в области народного образования Николая Ивановича Пирогова и сегодня являются источниками педагогического творчества и практической деятельности. В рамках данного исследования педагогическое наследие Н.И. Пирогова имеет большую значимость, поскольку в своих работах ученый отмечал, что сущность новейшей педагогики должна быть сосредоточена на ключевых идеях наглядности обучения, связи с законами развития личности и соблюдения принципа уважения человеческого достоинства.

По мнению ученого, наглядность – это важнейшее условие образования, без обеспечения которого возможно достижение только «механического» усвоения содержания предмета, которое не способствует дальнейшему развитию учеников.

Реализации принципа наглядности в процессе преподавания Николай Иванович

придавал особое значение. Ученый считал, что необходимо использовать этот принцип обучения в начальной школе и в гимназиях, что «наравне с грамотой должно быть одним из главных предметов элементарного учения». Его замечания относительно нового проекта «Положения о начальных народных училищах» были связаны с тем, что в нем не упоминалось о наглядности обучения, в то время как грамота только в единстве с наглядностью способствовала развитию детей.

Вместе с этим Н.И. Пирогов постоянно подчеркивал необходимость сочетания в практике обучения наглядности и слова, воздействия не только на «внешние чувства», но и на мышление, как «самую существенную способность человека». Особый акцент делался на рассмотрении преподавания таких наук, как история, география, естественные науки, изучение которых, по мнению ученого, должно обязательно сопровождаться использованием наглядных средств и методов обучения.

Следует отметить, что мысли Н.И. Пирогова о важности единения в процессе обучения слова и наглядности созвучны с идеями К.Д. Ушинского. Ученые едины во мнении, что обучение целесообразно начинать с изучения наиболее простых форм и предметов, окружающих детей, впоследствии переходя из области «материального созерцания» в область «отвлеченного созерцания».

Ученый отмечал важность в процессе профессиональной подготовки будущих учителей овладения ими наглядным методом обучения, позволяющим наиболее эффективно решать задачи по развитию у детей, особенно младшего школьного возраста, мышления и «соображения», наблюдательных способностей.

Н.И. Пирогов писал: «...Кто от души желает научить и воспитать будущее поколение, тот должен и наглядное учение принять к сердцу, ознакомиться с ним посредством размышления и опыта и положить его основой преподавания» [15].

В своих работах Н.И. Пирогов призывал педагогов заниматься самообразованием, совершенствовать используемые на уроках методы обучения, стремиться к более живому и наглядному способу изложения учебного материала, способствующему эффективному развитию смысла у учащихся и стимулирующему к дальнейшему постижению истины.

Проведенное исследование позволяет сформулировать ряд важных выводов. В результате осуществленного историко-педагогического анализа научных взглядов В.П. Вахтерова, Н.А. Корфа, Н.И. Пирогова,

К.Д. Ушинского было уточнено, что наглядность, как ведущий дидактический принцип обучения, рассматривался учеными в качестве важного средства, обеспечивающего формирование у обучающихся соответствующих качеств личности (наблюдательности, самостоятельности, логичности и полноты мышления), а также умений: «всматриваться в то, что перед глазами»; думать, созерцать, мыслить; логично выражать свои мысли и суждения; сравнивать изучаемые предметы и выводить на основе таких сравнений общие понятия; обобщать, классифицировать и распознавать изучаемые предметы. Наглядное обучение определялось учеными как необходимая форма организации учебной работы, использование которой способствует совершенствованию восприятия, улучшению понимания материала и запоминанию информации.

Изучение и анализ педагогических работ ученых конца XIX – начала XX в. позволяет констатировать, что в своих исследованиях они актуализировали значимость проведения уроков с использованием методов и средств наглядного обучения, в особенности, как отмечал Николай Александрович Корф, в начальной школе при обучении детей родному языку.

В исследовании представлено научно-педагогическое осмысление дидактического принципа наглядности в трудах русских педагогов, ученых как необходимого и закономерного средства организации образовательного процесса любого уровня сложности, а также как ведущего принципа, которым должен руководствоваться каждый педагог.

Заключение

В результате проведенного историко-педагогического анализа взглядов В.П. Вахтерова, Н.А. Корфа, Н.И. Пирогова, К.Д. Ушинского мы отмечаем, что выдающиеся деятели отечественной научной мысли опытом своей педагогической работы и многочисленными исследованиями актуализировали роль наглядного обучения в школьной практике, доказали высокую значимость соблюдения данного принципа в педагогической практике с целью наиболее эффективного формирования у детей самостоятельности, логичности суждений, умения правильно выражать словами свои наблюдения и формулировать на их основе логические выводы.

Представленные точки зрения отечественных педагогов конца XIX – начала XX в. позволяют сделать вывод, что в рассматриваемый период практика реализации наглядного обучения постоянно совершенствовалась и была нацелена не только

на решение практических вопросов, связанных с использованием средств, обеспечивающих визуальное представление учебного материала, разработкой пособий и методических материалов, но и на глубокий всесторонний анализ условий, способных и факторов, обеспечивающих дальнейшее развитие наглядности как средства познания объектов и образов посредством наблюдения, формирования компонентов мыследеятельности, активизации и стимулирования познавательной деятельности, обеспечения точности и правильности понимания детьми учебного материала.

Список литературы

1. Корнетов Г.Б., Лукацкий М.А. Предмет истории педагогики // Историко-педагогический журнал. 2013. № 1. С. 40–58.
2. От педагогики к инновациям. Профессор Александр Джуринский о том, что такое педагогика, почему она важна и почему она в России уникальна // ГАЗЕТА.RU. [Электронный ресурс]. URL: https://m.gazeta.ru/science/2013/09/02_a_5619697.shtml (дата обращения: 17.02.2023).
3. Богуславский М.В. История педагогики: методология, теория, персоналии: монография. М.: ФГНУ ИТИП РАО, Издательский центр ИЭТ, 2012. 434 с.
4. Богуславский М.В., Богуславская Т.Н. Патриотическое мировоззрение и общественно-педагогическая деятельность классика российского образования К.Д. Ушинского (к 200-летию со дня рождения) // Образование и общество. 2022. № 5 (136). С. 3–9.
5. Горячева И.А. Учебные книги К.Д. Ушинского как образец педагогической классики. Екатеринбург: Артефакт, 2019. 304 с.
6. Ромашина Е.Ю., Тетерин И.И. «Ученики к картине так все и тянутся»: руководство к наглядному обучению грамоте Н.А. Корфа // Вестник ПСТГУ. 2018. № 51. С. 73–81.
7. Россова Ю.И. «Новая педагогика» В.П. Вахтерова: детское сообщество как фактор социализации // Социализация личности в условиях глобализации и информатизации общества: сборник материалов международной научно-практической конференции (Тверь, 8 февраля 2016 г.) / Сост. и ред. И.Ю. Синельников. М.: ИСПО РАО, 2016. С. 50–53.
8. Симакова Ю.И. Гуманистические идеи в педагогике В.П. Вахтерова (1853–1924) // Начальная школа. 2002. № 9. С. 14–20.
9. Лобанова О.Б. Русская педагогическая мысль конца XIX – начала XX вв. о сущности педагогического опыта // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=271> (дата обращения: 01.02.2023).
10. Усова А.В. Идеи развивающего обучения в трудах педагогов XIX – начала XX столетия // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 5 (42). С. 160–162.
11. Фалей М.В. Развитие педагогических теорий в России в конце 19 – начале 20 века // Символ науки. 2015. № 2. С. 194–199.
12. Ушинский К.Д. Родное слово. Новосибирск: Мангазья, Детская литература, Сибирское отделение, 1997. 449 с.
13. Корф Н.А. Русская начальная школа: руководство для земских гласных и учителей сельских школ. СПб.: Тип. М.А. Хана, 1879. XV. 283. IV с.: табл., портр.
14. Вахтеров В.П. Избранные педагогические сочинения / Сост. Л.Н. Литвин, Н.Т. Бритаева. М.: Педагогика, 1987. 400 с.
15. Пирогов Н.И. Избранные педагогические сочинения / Сост. А.Н. Алексюк, Г.Г. Савенок. М.: Педагогика, 1985. 496 с.

УДК 378.1

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКА ИНЖЕНЕРНОГО ВУЗА В ПАРТНЕРСТВЕ С РАБОТОДАТЕЛЯМИ

Горшкова О.О.

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

В статье обозначены глобальные изменения, происходящие в мировой экономике, специфика инженерной деятельности, характерные особенности современной системы инженерного образования, являющиеся предпосылками ее трансформации с целью подготовки конкурентоспособного выпускника. Представлены результаты анализа и систематизации существующих работ по рассматриваемому вопросу, определено недостаточное использование возможностей партнерства инженерного вуза с предприятиями реального сектора экономики в индустриальном кластере в процессе подготовки конкурентоспособного выпускника, ориентированного на научно-технологическое развитие и устойчивое функционирование стратегических производственных отраслей. Представлены результаты по внедрению концепции, основой которой является обновленная дидактика инженерного образования, реализованная посредством функциональной модели, способствующей подготовке конкурентоспособного выпускника в партнерстве с предприятиями. Базовыми принципами являются: программно-целевой подход к управлению качеством инженерного образования; формирование практико-ориентированной образовательной среды инженерного вуза, предусматривающей вариативное взаимодействие и совместную деятельность с предприятиями; интеграция теоретической, практической, исследовательской составляющих на всех этапах образовательного процесса; преобразование и структурирование содержания инженерного образования, разработка и реализация практико-ориентированных методик, специальных форм и средств аудиторной и внеаудиторной деятельности обучающихся совместно с представителями предприятий реального сектора экономики, разработка и реализация программ дополнительного профессионального образования по рабочим профессиям и смежным направлениям подготовки в партнерстве с работодателями.

Ключевые слова: инженер, выпускник, инженерное образование, партнерство, работодатель, практико-ориентированное образование

FORMATION OF COMPETENCIES OF A GRADUATE OF AN ENGINEERING UNIVERSITY IN PARTNERSHIP WITH EMPLOYERS

Gorshkova O.O.

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

The article outlines the global changes taking place in the world economy, the specifics of engineering activities, the characteristic features of the modern system of engineering education, which are prerequisites for its transformation in order to prepare a competitive graduate. The results of the analysis and systematization of existing works on the issue under consideration are presented, it is determined that insufficient use of the partnership opportunities of an engineering university with enterprises of the real sector of the economy in an industrial cluster in the process of preparing a competitive graduate focused on scientific and technological development and sustainable functioning of strategic manufacturing industries. The results of the implementation of the concept, the basis of which is the updated didactics of engineering education, implemented through a functional model that promotes the preparation of a competitive graduate in partnership with enterprises, are presented. The basic principles are: a program-oriented approach to quality management of engineering education; the formation of a practice-oriented educational environment of an engineering university, providing for variable interaction and joint activities with enterprises; integration of theoretical, practical, research components at all stages of the educational process; transformation and structuring of the content of engineering education, development and implementation of practice-oriented methods, special forms and means of classroom and extracurricular activities of students together with representatives of enterprises of the real sector of the economy, development and implementation of programs of additional professional education in working professions and related areas of training in partnership with employers.

Keywords: engineer, graduate, engineering education, partnership, employer, practice-oriented education

Масштабные глобализационные изменения, гиперконкуренция в современном мире, трансформация мировой экономической системы в информационно-инновационный формат на основе принципов и технологий Индустрии 4.0 определяют необходимость цифровой трансформации, обеспечивающей инновации в различных отраслях, и предъявляют требования к индустриальной составляющей в эконо-

мике каждой страны [1]. Научно-технологическое развитие Российской Федерации, трансформация науки и технологий, изменения в организации научной, научно-технической и инновационной деятельности преобразуют специфику инженерной деятельности. Внедрение в производство инновационных технологий, стремительное распространение процесса цифровизации расширяют трудовой функционал

работника. Это выдвигает новые требования к системе инженерного образования по подготовке выпускника. В современных условиях конкурентоспособный выпускник должен обладать комплексом компетенций, позволяющих активно участвовать в инновационных производственных и технологических процессах, выдвигать и развивать новые идеи, быть готовым к реализации приоритетных проектов в стратегических для страны производственных отраслях (обрабатывающей, добывающей). Ведь именно инженерные кадры способны быть основой технологической и экономической независимости страны.

Цель исследования – подготовка конкурентоспособного выпускника в партнерстве инженерного вуза с предприятиями реального сектора экономики с целью обеспечения кадрами, ориентированными на научно-технологическое развитие и устойчивое функционирование стратегических производственных отраслей.

Материалы и методы исследования

Современная система профессионального образования характеризуется рядом особенностей, таких как: частые изменения в образовательных стандартах, корректировка набора формируемых компетенций, несоответствие профессиональных и образовательных стандартов, отрыв результатов процесса обучения в вузе от реальных требований современного производства, а соответственно неудовлетворенность работодателей уровнем подготовки выпускников, устаревающая материально-техническая база инженерных вузов. Все это не способствует подготовке выпускников, удовлетворяющих запросам современного общества и производства. Таким образом, существует реальная потребность в трансформации инженерного образования, а именно методологии, содержания, дидактики с учетом требований современного производства, подходов наукоемкого инжиниринга, принципов Индустрии 4.0. Данный процесс может быть реализован в партнерстве с предприятиями реального сектора экономики, что позволит подготовить выпускников, способных обеспечить научно-технологическое развитие и устойчивое функционирование стратегических производственных отраслей.

Вопросы повышения качества инженерного образования с позиции формирования партнерских взаимоотношений с работодателями рассматриваются с различных позиций. Нами проанализированы и систематизированы ряд исследований, где предложены практико-ориентированные

методики (В.С. Белгородский, О.М. Лаврова, С. Г. Грищенко, Н. Н. Кисель и др.), при этом внимание акцентируется на содержательном и технологическом компонентах [2]; методики практико-модульного обучения (В.В. Пивень, Е.Г. Коротких, М.М. Олсова и др.), ориентированные на структурирование модулей из отдельных дисциплин, при этом теоретические знания закрепляются в процессе практико-познавательной деятельности [3]. Для магистрантов и аспирантов исследователи (Е.М. Акишина, С.И. Челомбитко, О.И. Ребрин, И.И. Шолина и др.) рассматривают возможность организации выполнения научно-исследовательских работ непосредственно на площадках предприятий [4]. Нами определено, что в существующих исследованиях недостаточно отражена концептуальная идея подготовки конкурентоспособного выпускника в партнерстве инженерного вуза с предприятиями реального сектора экономики.

Анализируя представленные результаты зарубежных исследований (К. Heidenreich, Р.Дж. Хаас, П.Д. Хернандес, Л. Яньхуэй и др.), можно заключить, что в мировом образовательном пространстве реализация партнерских программ технических вузов, предприятий и бизнеса широко используется, способствуя повышению качества подготовки выпускников [5].

Следует отметить, что решение проблемы подготовки конкурентоспособных выпускников не только важно для экономической стабильности страны, но и является основой для построения индивидуальных траекторий развития в профессиональной деятельности выпускников, а в процессе обучения способствует удовлетворению образовательных потребностей обучающихся.

Таким образом, одним из возможных путей решения проблемы подготовки конкурентоспособных выпускников инженерных вузов является взаимодействие с предприятиями реального сектора экономики, что будет способствовать формированию комплекса востребованных компетенций, опыта практической деятельности.

В процессе исследования использованы следующие методы: теоретические, включающие изучение, систематизацию, анализ существующих подходов по вопросам трансформации системы профессионального образования с целью повышения качества подготовки выпускника; экспериментальные, предусматривающие реализацию положений дидактики инженерного вуза в партнерстве с работодателями; применение методов математической статистики в процессе обработки результатов и определения их достоверности.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

С целью трансформации процесса инженерной подготовки конкурентоспособных выпускников на основе изучения, анализа, систематизации и развития современных подходов, зарубежного и отечественного опыта к решению проблемы нами разработана концепция подготовки конкурентоспособного выпускника, ориентированного на развитие стратегических производственных отраслей, в партнерстве инженерного вуза с предприятиями реального сектора экономики. Основой концепции является обновленная дидактика инженерного образования (на рисунке Программа практико-модульного обучения) (рис. 1).

Обновленная дидактика предусматривала переход на программно-целевую систему управления качеством образования, что позволило установить реально достижимую цель по подготовке конкурентоспособного выпускника и реализовать необходимое кадровое, материально-техническое, информационное, методическое обеспечение образовательного процесса. Взаимодействие с предприятиями осуществлялось в рамках соглашений о партнерстве, которые были заключены между образовательной организацией (Сургутский институт нефти и газа) и предприятиями реального сектора экономики (ПАО «Сургутнефтегаз», ООО «Геотехэксперт»), предусматривающих совместную деятельность по подготовке выпускника (консультации при разработке учебно-методической документации, проведение учебных занятий, практик, экскурсий, курирование выполнения заданий, работ, проек-

тов, исследований, трудоустройство выпускников и др.). В рамках соглашений создана команда, включающая представителей вуза (Сургутский институт нефти и газа) и предприятий (ПАО «Сургутнефтегаз», ООО «Геотехэксперт»). Составление дорожной карты по реализации образовательных программ совместно с представителями ПАО «Сургутнефтегаз» (ПАО «СНГ»), ООО «Геотехэксперт» способствовало организации практико-ориентированной образовательной среды, в которой взаимодействовали субъекты, объединенные ее пространством.

Нами совместно с представителями предприятий проведена актуализация основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «Нефтегазовое дело», скорректированы учебный план, квалификационные требования к выпускнику и набор компетенций с учетом требований профессиональных и образовательных стандартов, работодателей в контексте принципов «Индустрии 4.0», способствующих формированию готовности к реализации приоритетных проектов в стратегических для страны производственных отраслях. Учебный план предусматривает формирование модулей, включающих несколько дисциплин, ориентированных на формирование определенных компетенций (табл. 1).

Реализация каждого модуля предусматривает занятия в аудиториях вуза и на базах предприятий-партнеров (практические занятия), что позволяет сформировать практико-ориентированный характер обучения, усилить его практическую направленность.

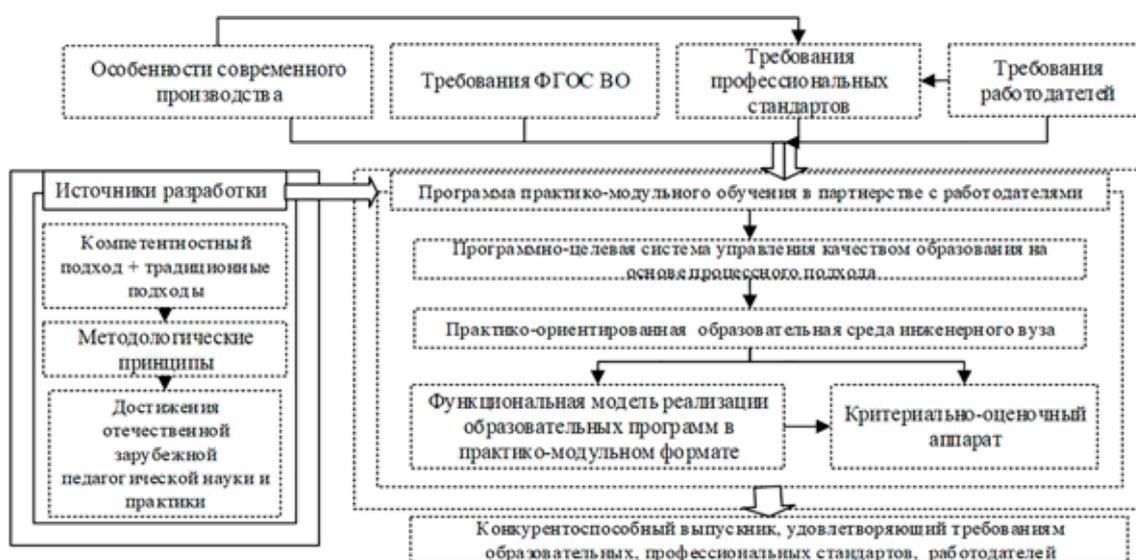


Рис. 1. Структура концепции

Таблица 1

Модули учебного плана

| Модуль | Дисциплины учебного плана | Предприятие для реализации |
|--|---|---|
| Модуль 1 Нефтегазовое оборудование | Гидравлические машины и гидропневмоприводы | ПАО «СНГ» подразделение ЦТПО |
| | Нефтегазовое оборудование | |
| Модуль 2 Физические основы разработки нефтяных месторождений | Нефтегазовая гидромеханика | ПАО «СНГ» |
| | Физика нефтяного и газового пласта | |
| Модуль 3 Информационные основы эксплуатации объектов добычи нефти | Численные методы | ПАО «СНГ» подразделение «СургутНИПИ-нефть» |
| | Прикладные программные продукты | |
| | Компьютерное проектирование | |
| Модуль 4 Скважинная добыча нефти | Скважинная добыча нефти | ПАО «СНГ» |
| | Методы повышения нефтеотдачи | |
| | Сбор и подготовка скважинной продукции | |
| Модуль 5 Разработка нефтяных и газовых месторождений | Разработка нефтяных и газовых месторождений (Часть 1), (Часть 2) | ПАО «СНГ» ООО «Геотехэксперт» |
| | Основы проектирования разработки месторождений нефти | |
| | Основы разработки нефтегазовых двухфазных скважин | |
| Модуль 6 Моделирование разработки нефтяных месторождений | Геологическое моделирование | ПАО «СНГ» ООО «Геотехэксперт» |
| | Гидродинамическое моделирование | |
| Модуль 7 Экспертная оценка качества моделей разработки месторождений | Экспертная оценка качества гидродинамических моделей разработки месторождений | ООО «Геотехэксперт» ПАО «СНГ» |

Разработанная нами обновленная дидактика предусматривает формирование мотивации обучающихся к обеспечению научно-технологического развития и устойчивого функционирования стратегических производственных отраслей (добывающей и обрабатывающей). Обучающиеся являются активными участниками образовательного процесса, реализующегося в атмосфере продуктивной практической деятельности (работа кружков, научных групп, участие в конкурсах, круглых столах, конференциях и др.).

Нами совместно с представителями предприятий произведено структурирование содержания инженерного образования, что позволило сформировать индивидуальные учебные планы (индивидуальные траектории) обучающихся, разработать и реализовать специальные формы и средства аудиторной и внеаудиторной деятельности в виде выездных лабораторных и практических работ, экскурсий и иного, ориентированных на формирование теоретических знаний и практического опыта. Дидактика предусматривает разработку новых, адаптацию существующих и внедрение в процесс обучения интерактивных технологий и методов (широко

применяются диалоговые, дискуссионные, организационно-деятельностные методы, разбор практических ситуаций («столкновение идей», «развития предложений», «приближения к реальной инженерной деятельности», «метод фальсификации» и др.).

Система заданий (проектов), разработанная при непосредственном участии представителей предприятий, включает задания, ориентированные на решение проблем, значимых для профессиональной деятельности. Предусмотрен широкий спектр многоуровневых заданий (проектов), часть из которых являются сквозными, выполняемыми на протяжении нескольких семестров в процессе курсового проектирования и ВКР. Предусмотрены индивидуальные и групповые задания, выполняемые в период теоретического обучения и практики. Сквозные комплексные задания и проекты увязываются с научными разработками кафедр. Результаты выполненных заданий (проектов) докладывались на проводимых открытых защитах, на конференциях, семинарах, круглых столах и ином, наиболее интересные решения опубликованы в изданиях различного уровня.

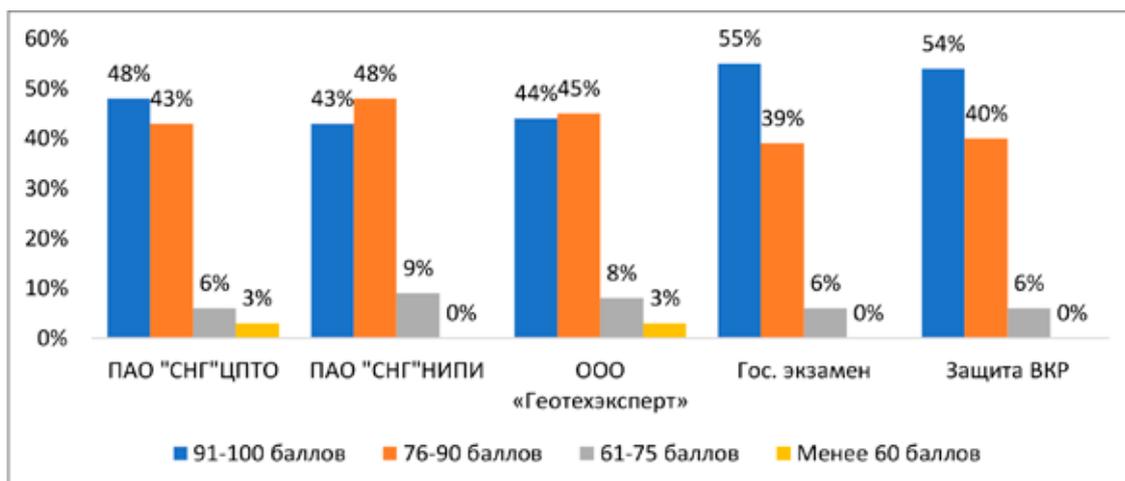


Рис. 2. Результаты ГИА и независимой оценки работодателей

Успешному выполнению системы заданий способствовал разработанный нами алгоритм выполнения заданий, предусматривающий целенаправленное обучение обучающихся способам их выполнения. В процессе выполнения заданий осуществляется формирование нового практического опыта посредством перехода от его теоретического осмысления к практическому применению.

Нами реализована ресурсная модель взаимодействия с предприятиями как в реальном времени (обучающиеся непосредственно наблюдают за этапами технологических процессов), так и в сетевом формате (виртуальные экскурсии, презентации, практические работы). Взаимодействие и совместная деятельность с предприятиями позволили компенсировать устаревающую и недостаточную материально-техническую базу за счет использования потенциала производственных мощностей предприятий в индустриальном кластере. В образовательном процессе использованы сетевые образовательные, информатизационные ресурсы, цифровые технологии. Разработаны и модернизированы существующие виртуальные работы (практические, лабораторные), экскурсии, презентации, 3D-проекты и иное, позволяющие изучать технологические процессы, оборудование на расстоянии, но в реальных производственных условиях; обеспечена возможность наблюдения за уникальными технологиями и оборудованием структурных подразделений предприятий, тем самым устранена проблема удаленности производственных объектов.

Условия реализации партнерских соглашений позволили обеспечить для 100% обучающихся места прохождения всех видов

практики в структурных подразделениях предприятий-партнеров. По результатам совместной деятельности по формированию конкурентоспособного выпускника инженерного вуза заключены договоры на обучение (это актуально для обучающихся на договорной основе). По результатам обучения и практической деятельности представители предприятий способствовали частичному трудоустройству обучающихся в подразделениях предприятий. Взаимодействие с предприятиями-партнерами, совместная деятельность по подготовке выпускников в соответствии с требованиями общества и производства позволили решить проблему трудоустройства.

Совместно с представителями предприятий проанализированы, актуализированы и разработаны программы дополнительного профессионального образования по рабочим специальностям и смежным направлениям подготовки. Их реализация способствовала формированию профессиональных и надпрофессиональных компетенций выпускника.

Об эффективности процесса подготовки конкурентоспособных выпускников в партнерстве с работодателями свидетельствуют: 1) соответствие сформированности уровня компетенций выпускников требованиям образовательных, профессиональных стандартов (результаты текущих, промежуточных аттестаций, Государственной итоговой аттестации);

2) соответствие уровня подготовки выпускников требованиям работодателей (результаты независимой комплексной оценки качества подготовки выпускников предприятиями-партнерами). Сопоставление результатов представлено на рисунке 2.

Следует отметить, что результаты независимой комплексной оценки качества подготовки выпускников и Государственной итоговой аттестации близки, что подтверждает их объективность. Представители предприятий выразили удовлетворенность качеством подготовки выпускников и подтвердили согласие на расширение сотрудничества, что подтверждает целесообразность и актуальность проводимой работы. 87% выпускников приглашены на работу в структурные подразделения предприятий-партнеров (оставшиеся 13% обучаются в магистратуре на очном отделении или трудоустроены в других компаниях).

Заключение

Разработанная и реализованная нами в партнерстве с работодателями концепция является инвариантной и может быть использована в практике базового и дополнительного образования с целью подготовки конкурентоспособного выпускника для стратегических производственных отраслей в партнерстве инженерного вуза с предприятиями реального сектора эко-

номики. инженерного образования. Это обеспечивает целостность и единство в достижении цели научно-технологического развития России, развитие ее интеллектуального потенциала.

Список литературы

1. Глазьев С.Ю. Глобальная трансформация через призму смены технологических и мирохозяйственных укладов // *AlterEconomics*. 2022. Т. 19. № 1. С.93-115. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2022.19-1.6.
2. Белгородский В.С., Лаврова О.М., Гусейнова С.Н. Практико-ориентированные модели инженерного образования // *История и педагогика естествознания*. 2022. № 1. С. 65-70.
3. Ребрин О.И., Шолина И.И. Новые модели инженерного образования // *Университетское управление: практика и анализ*. 2016. № 102 (2). С. 61–70.
4. Пивень В.В. Практико-ориентированный подход в совершенствовании образовательного процесса по инженерным направлениям // *Наука, технологии и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2020 г.* Белгород: ООО АПНИ, 2020. С. 149-152.
5. Горшкова О.О. Подготовка выпускников в зарубежных технических вузах на основе практико-ориентированных технологий // *Современные проблемы науки и образования*. 2021. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30584> (дата обращения: 03.01.2023).

УДК 37:004

ЦИФРОВЫЕ НАВЫКИ КАК КОМПОНЕНТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ: ГОТОВ ЛИ УЧИТЕЛЬ?

Егоров К.Б., Захарова В.А., Половина И.П.

*ФГАОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», Пермь,
e-mail: zaharova_va@pspu.ru*

В статье рассматриваются междисциплинарные аспекты проблемы подготовки учителя к формированию цифровых навыков обучающихся общеобразовательных организаций. С позиций общей педагогики и истории педагогики рассмотрены объем и содержание понятий, раскрывающих образовательные результаты: «цифровые навыки», «цифровая грамотность», «цифровая компетенция» и «цифровая компетентность». Раскрыты ретроспективы и перспективы изменения требований к владению цифровыми навыками и цифровой грамотности на различных этапах развития общества в XXI в., обозначены ключевые изменения требований современной экономики к выпускникам общеобразовательных организаций в части владения цифровыми навыками. В аспекте профессиональной педагогики соотнесены требования к владению цифровыми навыками в различных редакциях профессионального стандарта учителя общеобразовательной школы с требованиями к овладению цифровыми навыками, обозначенные в документах, регулирующих педагогическое образование. Отражены эмпирические данные, полученные в результате независимой оценки владения педагогами общеобразовательных организаций отдельными цифровыми навыками, обозначены сформированные компетенции и компетенции, требующие развития. На примере эмпирического исследования показаны возможности использования информационных и коммуникационных технологий для проведения независимой оценки одного из аспектов профессиональной подготовки учителей общеобразовательных организаций, анализа больших данных в сфере образования, которые могут выступить основой для принятия управленческих решений и для научных исследований.

Ключевые слова: функциональная грамотность, цифровая грамотность, цифровой навык, общее образование, профессиональное образование, педагогическое образование, независимая оценка качества образования, большие данные

Статья подготовлена в рамках Государственного задания № 07-00080-21-02 от 18.08.2021 (номер реестровой записи 730000Ф.99.1) на НИР по заказу Министерства просвещения Российской Федерации.

DIGITAL SKILLS AS COMPONENTS OF FUNCTIONAL LITERACY: IS THE TEACHER READY?

Egorov K.B., Zakharova V.A., Polovina I.P.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, e-mail: zaharova_va@pspu.ru

The article deals with interdisciplinary aspects of the problem of preparing a teacher for the formation student's compulsory educational organizations digital skills. From the standpoint of general pedagogy and the history of pedagogy, the paper considered the volume and content of concepts that reveal educational results such as: "digital skills", "digital literacy", "digital competence" and "digital competence". The retrospectives and prospects of changing the requirements for digital skills and digital literacy at various stages of the development of society in the XXI are revealed, the key changes in the requirements of the modern economy for graduates of general educational organizations in terms of possession of digital skills are identified. As the aspect of professional pedagogy, the requirements for mastering digital skills in various editions of the professional standard of a general education schoolteacher a correlated with the requirements for digital skills indicated in the pre-service teacher training documents. Empirical data of an independent assessment reflects the level of general educational teachers' digital skills, indicates formed competencies and competencies to develop. On the case of an empirical study, the investigation reflects the possibilities of using information and communication technologies for independent assessment of general education teacher's professional training, the analysis of big data in the field of education, which can serve as the basis for managerial decision-making and for scientific research.

Keywords: functional literacy, digital literacy, digital skill, general education, vocational education, teacher education, independent education quality assessment, big data

Формирование функциональной грамотности – новый образовательный результат общего образования согласно требованиям федеральных государственных образовательных стандартов (далее – ФГОС) начальной и основной школы. Функциональная грамотность рассматривается как комплекс умений, относящихся к решению учебных задач и жизненных проблемных ситуаций. Базой для формирования функциональной грамотности выступают предметные, мета-

предметные результаты и универсальные учебные действия [1; 2]. Формирование функциональной грамотности выступает основой безопасности общества, обеспечивая выполнение адаптивной, развивающей, пропедевтической, реабилитационной, профорIENTATIONной политехнической и воспитательной функций [3]. Можно отметить, что существует взаимосвязь формирования функциональной грамотности с обеспечением технологического суверенитета страны.

В процессе подготовки публикации авторами поставлены следующие исследовательские вопросы:

– как соотносятся понятия «цифровые навыки», «цифровая грамотность», «цифровая компетенция» и «цифровая компетентность»;

– какие требования к владению цифровыми навыками предъявляет современная экономика, какие из них касаются обучающихся по программам общего образования, постоянны ли в ретроспективе и перспективе образовательной практики перечень цифровых навыков, которые включаются в цифровую грамотность;

– какие требования к владению цифровыми навыками предъявляет профессиональный стандарт учителя;

– какие требования к овладению цифровыми навыками обозначены в документах, регулирующих подготовку будущего учителя;

– насколько учителя общеобразовательных организаций владеют цифровыми навыками.

Цель исследования – на основе независимой оценки отдельных цифровых навыков педагогов и анализа нормативных документов, отражающих требования к подготовке и профессиональной деятельности учителя общеобразовательных организаций, изучить готовность учителей общеобразовательных организаций к формированию цифровых навыков обучающихся.

Статья носит междисциплинарный характер, отражая связи следующих составляющих:

– общепедагогической, историко-педагогической (обозначая изменения, касающиеся содержания и результатов общего образования и, соответственно, профессионально-педагогической деятельности учителя);

– профессионально-педагогической (обозначая перспективы подготовки учителя в системе высшего и дополнительного профессионального образования);

– научно-технической (отражая влияние информационных технологий в современном обществе).

Материалы и методы исследования

В основу исследования положены следующие методологические, теоретико-педагогические положения и идеи:

– методология независимой оценки качества образования (К.Б. Егоров, В.А. Захарова);

– методологические основания формирования функциональной грамотности (К.Э. Безукладников, Д.Л. Готлиб, К.А. Занина, В.А. Захарова, О.Н. Новикова, Б.А. Круже, Л.В. Селькина, Ю.Ю. Скрипова, А.В. Худякова, М.А. Худякова, О.В. Шабалина).

В процессе подготовки материалов статьи использовались следующие подходы в области информационных и коммуникационных технологий:

– подходы к анализу больших данных в образовательной сфере (О.А. Фиофанова);

– технология использования надстройки MS Excel Power Query для подготовки больших данных к обработке (И.П. Половина, А.В. Лебедева);

– подходы к оценке ИКТ-компетенций педагогов и обучающихся, к обеспечению безопасности общеобразовательных организаций в сети Интернет (А.П. Шестаков).

При подготовке настоящей публикации авторами использованы результаты осмысления материалов диагностики цифровых навыков учителей общеобразовательных организаций, которая была проведена для департамента образования администрации г. Перми ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет» (далее – ПГГПУ).

Результаты исследования и их обсуждение

Объем и содержание понятий «цифровые навыки», «цифровая грамотность», «цифровая компетенция» и «цифровая компетентность». В трудах российских и зарубежных ученых функциональная грамотность рассматривается либо как монологическое образование, либо как набор различных видов функциональных грамотностей [4], среди которых выделяют цифровую грамотность. Рассматривая цифровую грамотность как один из аспектов функциональной грамотности, можно выделить отдельные цифровые умения или навыки (в англоязычной терминологии – skills).

Объем и содержание концепта «цифровая грамотность» рассмотрены в публикации Л.В. Волковой, Л.Р. Лизуновой, Ю.В. Волковой, включающих в содержание понятия «цифровая грамотность» учащихся 1–4 классов знания, умения, навыки, готовность ученика к поиску, пониманию, интеграции, оценке и созданию информации с применением цифровых средств и сетевых технологий [5, с. 42]. Указанные авторы приводят разные точки зрения на структуру цифровой грамотности, выделяя три модели, первая из которых содержит три компонента: информационную грамотность, коммуникационные умения и умения сотрудничества, умение создать цифровой контент, умение безопасно использовать цифровые инструменты, умение решать проблемы с применением цифровых инструментов [5, с. 42]; вторая – шесть компо-

ентов, дополняя к указанным выше составляющим медиаграмотность; третья модель включает три составляющие: «цифровое потребление, цифровые компетенции, цифровую безопасность» [5, с. 42] – и определяет структуру цифровой грамотности младших школьников, включающую цифровые компетенцию, потребление, безопасность. Цифровая грамотность данными авторами конкретизирована для учеников начальной школы через три группы умений: совместная деятельность, работа с информацией, безопасное использование цифровых инструментов [5, с. 42, 43].

Зарубежные источники (R. Tammaro, I.S. Iannotta, C. Ferrantino) содержат такие характеристики цифровой грамотности, как навыки, используемые в повседневной жизни и работе, в то время как цифровая компетентность отличается уверенным, критичным и ответственным использованием цифровых технологий, включением их в учебу, работу, общественную жизнь [6].

Согласно точке зрения Жанфранко Полици, цифровая грамотность в современном мире есть вариант медиаграмотности, включающая в себя практические навыки, необходимые для повседневного использования: операционные, информационные и творческие [7].

Как отмечает А.В. Худякова, ссылаясь на материалы рабочей группы ЮНЕСКО в сфере образования «Цифровые навыки для жизни и работы», цифровые навыки можно разделить на пользовательские и профессиональные, среди пользовательских навыков выделяют базовые и производные [4, с. 117–121].

Авторами настоящей публикации используется определение понятия «цифровые навыки», включающее использование цифровых технологий в управлении и обмене информацией, взаимодействие с использованием цифровых инструментов, создание и изменение цифрового контента, решение задач в цифровой среде [8, с. 33].

Т.А. Бороненко рассматривает цифровую компетентность учителя информатики, выделяя в ее составе «когнитивно-эвристический, мотивационно-ценностный, операционно-практикологический критерии», которые включаются в содержание общепользовательских, общепедагогических и предметно-педагогических цифровых компетенций [9].

В работах современных ученых выделяются частные аспекты цифровой грамотности, например вводится понятие «лингвоцифровая грамотность/компетенция», относящееся к разносторонней межкультурной коммуникации в иноязычной циф-

ровой среде [10]. Подобный аспект можно обозначить как предметно-методический.

Таким образом, отечественные и зарубежные источники отражают различные точки зрения на объем и содержание понятий «цифровые навыки», «цифровая грамотность», «цифровая компетенция» и «цифровая компетентность». Рассматривая перечисленные понятия как образовательные результаты, в качестве рабочего основания для классификации целесообразно использовать специфику решаемых задач, связывая компетентность с решением профессиональных задач, функциональную грамотность – с решением жизненных практических, каждодневных задач, элементарную грамотность – с решением учебных задач. Понятия «функциональные умения» и «функциональные навыки» используются как частичные синонимы, отличие которых состоит в степени автоматизации в соответствии с теорией поэтапного формирования умственных действий (автор П.Я. Гальперин), что в англоязычной литературе обозначается термином «skills».

Постоянен ли перечень цифровых навыков, которые включаются в цифровую грамотность? Изучая объем понятия «цифровая грамотность» как аспекта функциональной грамотности, следует обратить внимание на его постоянное изменение. Пространственно-временной характер функционального знания (изменение его содержания в разных регионах и в разные исторические периоды) отмечала В.А. Ермоленко [3]. Меняются также и функциональные умения/навыки.

Жанфранко Полици приводит результаты опроса учителей начальной и основной школы Великобритании, которые признают, что школа не дает необходимых для современной жизни навыков цифровой грамотности, притом что изучение соответствующего предмета (Computing) включено в учебный план Великобритании как обязательное уже на уровне начального общего образования [7].

Проведем ретроспективный анализ объема понятия «цифровая грамотность». Рассматривая документы Международных сопоставительных исследований PISA (Programme for International Student Assessment), целью которых выступает оценка функциональной грамотности, можно заметить, как меняются цифровые навыки, его наполняющие на различных исторических этапах:

– в исследовании PISA-2009 рассматривалась работа с ИКТ в аспекте цифрового чтения и исследовались навыки навигации (умения ориентироваться в цифровом тексте);

– в исследовании PISA-2015 акцентировано внимание на том, что во многих частях мира цифровая грамотность является ключом к участию в жизни общества: различия навигационного поведения учащихся при работе с цифровыми ресурсами отражают различия в производительности цифровой чтеца между странами/экономиками;

– в исследовании PISA-2018 оценивалось чтение текста на цифровом носителе, пользование навигацией, использование ссылок, включая умения понимать систему действий в цифровой среде; управлять устройствами и приложениями; искать и получать доступ к нужным текстам с помощью поисковых систем, меню, ссылок, вкладок и других функций; критично выбирать информационные источники; оценить качество информации и достоверность; читать тексты для подтверждения информации, выявления потенциальных расхождений и конфликтов и разрешать их;

– в исследовании PISA-2022 включено специальное направление ICT (информационные и коммуникационные технологии), в рамках которого оценивались пять умений: управление информацией, обмен информацией и цифровое взаимодействие, создание и преобразование цифрового контента, решение задач в цифровом контексте, безопасность цифровых технологий [11];

– планируемое исследование PISA-2025 носит название «Учимся в цифровом мире» (Learning in the Digital World assessment) и включает семь групп умений: алгоритмизация, моделирование и представление или структурирование данных; компьютерное моделирование автоматизации систем/видов деятельности; программирование и языки программирования; оценка возможности и способов автоматизации систем/видов деятельности; оценка эффективности (сложности) алгоритмов и программ, систем автоматизации; распределенные системы и параллельные вычисления [12].

Таким образом, требования к владению цифровыми навыками в составе цифровой грамотности как аспект функциональной грамотности характеризуются исторической изменчивостью. Это обусловлено изменением общества, его технологической, социальной и экономической составляющей: исследование PISA проводится по заказу «Организации по экономическому сотрудничеству и развитию» (Organization for Economic Co-Operation and Development, OECD), представляющей интересы сферы производства, инвесторов.

Исследования PISA оценивают функциональную грамотность учащихся общеобразовательных и профессиональных об-

разовательных организаций разных стран мира в возрасте 15 лет. Обозначенные в исследовании PISA аспекты цифровой грамотности достаточно быстро находят свое отражение в стандартах и программах общего образования. Соответственно возникает вопрос о готовности педагогов к формированию цифровой грамотности обучающихся, о владении самими педагогами цифровыми навыками. Обратимся к нормативным документам, регулирующим деятельность учителя.

Профессиональный стандарт педагога о требованиях в части цифровых навыков. Сопоставительный анализ требований профессионального стандарта «Педагог (педагогическая деятельность в сфере дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования) (воспитатель, учитель)», утвержденного Приказом Минтруда России от 18.10.2013 № 544н (в редакции от 5 августа 2016 г.) (далее – стандарт) и Проекта Приказа Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации «Об утверждении профессионального стандарта «Педагог (педагогическая деятельность в сфере начального общего, основного общего, среднего общего образования) (учитель)», подготовленного Министерством труда и социальной защиты Российской Федерации 31.01.2022 (далее – проект стандарта), показал следующие отличия.

Стандарт предусматривает, что преподающий любой предмет педагог формирует у обучающихся навыки, связанные с информационно-коммуникационными технологиями (далее ИКТ), владеет тремя видами ИКТ-компетентности: общепользовательской, общепедагогической, предметно-педагогической [13].

Проект стандарта педагога содержит требование к владению ИКТ-компетентностями:

– общепользовательская (работа с цифровой информацией с применением компьютера и других средств коммуникации, соблюдение правил защиты информации и персональных данных);

– общепедагогическая (организация педагогической деятельности и деятельности обучающихся с применением ресурсов и сервисов информационной образовательной среды и цифрового оборудования, применение норм информационной безопасности).

Проект стандарта также предусматривает:

– адекватное использование средств цифровой коммуникации, соблюдение норм информационной безопасности и защиты персональных данных;

– применение ресурсов информационной среды для развития учащихся с учетом их индивидуальных особенностей;

– использование для образовательных целей учебного и коммуникационного цифрового оборудования, безопасная цифровая коммуникация с участниками образовательного процесса [14].

Сопоставление действующего профессионального стандарта и проекта профессионального стандарта позволяет увидеть, что проект конкретизирует понятия общепользовательской ИКТ компетентности (для всех людей, живущих в современном обществе) и общепрофессиональной ИКТ компетентности (для педагогов), а также содержит требования в части цифровой коммуникации, цифровой безопасности, индивидуализации образовательного процесса с использованием цифровых технологий.

Требования к овладению цифровыми навыками, обозначенные в документах, регулирующих подготовку будущего учителя. Обратимся к документам, определяющим результаты подготовки будущего учителя в педагогических вузах по программам бакалавриата [15]. В инвариантной части учебного плана в состав общепрофессионального блока образовательных программ вводится коммуникативно-цифровой модуль. Коммуникативно-цифровой модуль содер-

жит дисциплины и практики, в соответствии которым приведены универсальные (УК) и общепрофессиональные (ОПК) компетенции: «Иностранный язык» (УК-4); «Русский язык и культура речи» (УК-3, УК-4); «Технологии цифрового образования» (УК-1, ОПК-2, ОПК-9); «Практика, направленная на формирование информационно-коммуникативных компетенций, цифровой грамотности профессиональной сферы педагога». Содержание данных компетенций систематизировано в таблице.

Одно из выделенных умений (УК-2.3.) входит в состав не коммуникативно-цифрового модуля, а модуля, связанного с учебно-исследовательской и проектной деятельностью.

Независимая оценка сформированности цифровых навыков педагогов общеобразовательных учреждений г. Перми проведена по заказу департамента образования администрации г. Перми по заявленному как стратегическое направление развития системы образования в городском округе. Мониторинг проводился как внешняя оценка качества образования организацией, не относящейся к сети образовательных организаций, учредителем которой является департамент образования администрации г. Перми. Отметим, что по аналогичной логике была проведена и оценка цифровых навыков учащихся [8].

Образовательные результаты, связанные с цифровыми навыками [15]

| Категория компетенций | Компетенция | Индикатор достижения |
|---|--|---|
| Универсальные компетенции: | | |
| «Системное и критическое мышление» | «УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач» | «УК-1.3. Анализирует источники информации с целью выявления их противоречий и поиска достоверных суждений» |
| «Разработка и реализация проектов» | «УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений» | «УК-2.3. Использует инструменты и техники цифрового моделирования для реализации образовательных процессов» |
| «Коммуникация» | «УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)» | «УК-4.3. Осуществляет коммуникацию в цифровой среде для достижения профессиональных целей и эффективного взаимодействия» |
| Общепрофессиональные компетенции: | | |
| «Информационно-коммуникационные технологии для профессиональной деятельности» | «ОПК-9. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности» | «ОПК-9.2. Демонстрирует способность использовать цифровые ресурсы для решения задач профессиональной деятельности» |
| «Разработка основных и дополнительных образовательных программ» | «ОПК-2. Способен участвовать в разработке основных и дополнительных образовательных программ, разрабатывать отдельные их компоненты (в том числе с использованием информационных и коммуникационных технологий)» | «ОПК-2.3. Осуществляет отбор педагогических и других технологий, в том числе информационных и коммуникационных, используемых при разработке основных и дополнительных образовательных программ и их элементов» [15] |

Результаты независимой оценки уровня владения цифровыми навыками учителями общеобразовательных организаций. Цифровые навыки педагогов общеобразовательных организаций оценены по следующим разделам, выделенным заказчиком как наиболее актуальные из цифровых компетенций модели PISA-2022:

раздел 1. «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач (решение задач в цифровом контексте)»;

раздел 2. «Как соблюдать правила личной и общественной безопасности при применении цифровых технологий (безопасность цифровых технологий)».

Материалы для оценки цифровых навыков учителей разработаны на базе ФГОС общего образования, международных сопоставительных исследований, с учетом решаемых педагогом профессиональных задач с использованием цифровых технологий. Доступными для анализа и обработки стали результаты 2525 педагогов, преподающих различные предметы, что составляет

45,5% всей совокупности учителей муниципальных общеобразовательных организаций г. Перми.

Анализ выполнения заданий по разделам педагогами общеобразовательных организаций показал следующее.

В разделе «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач» (рис. 1) более успешно педагоги показали следующие умения:

- отбор в соответствии с поставленной задачей цифровой инструмент (задание 4 – 92%; задание 6 – 77%);
- оценка возможности решения практических задач с применением цифровых инструментов (задание 5 – 83%);
- критичное использование информации из сети Интернет (задание 1 – 74%);
- отбор для решения практической задачи источников из сети Интернет (задание 3 – 76%);
- применение для решения практических задач географических информационных систем (ГИС) (задание 2 – 68%).

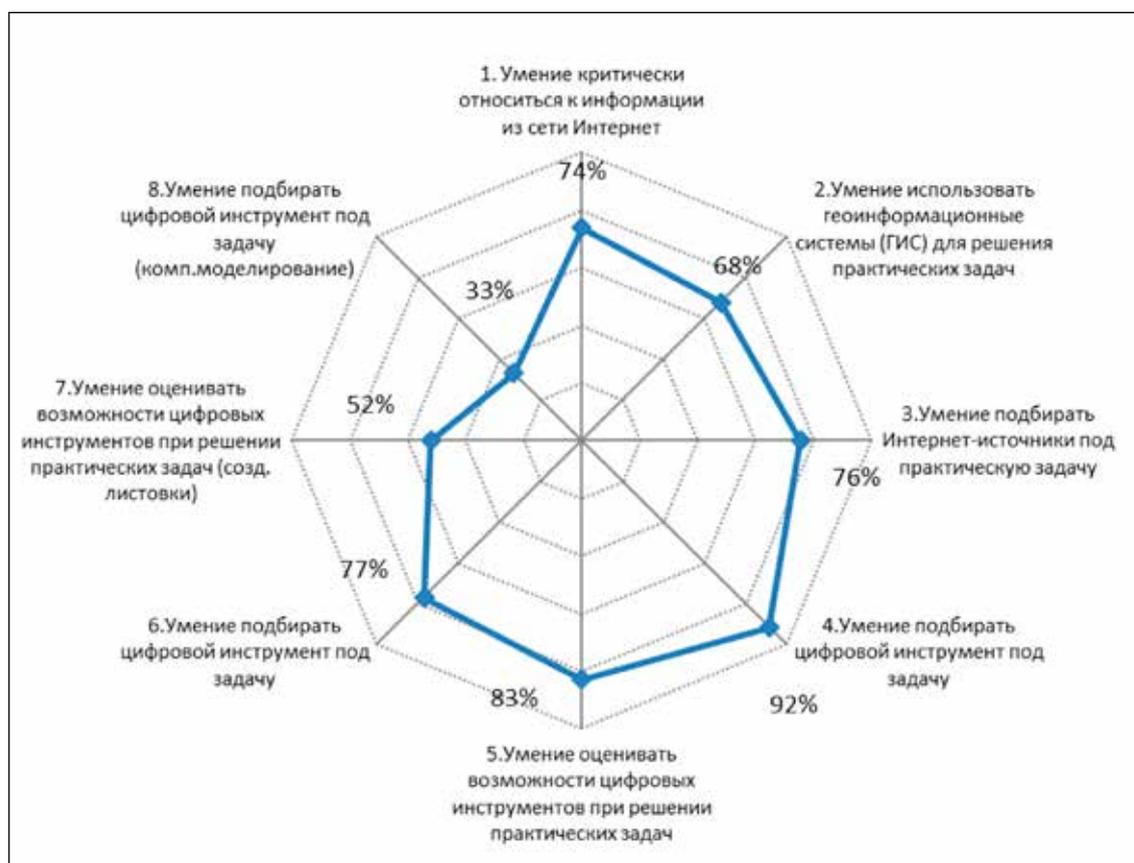


Рис. 1. Результаты выполнения заданий раздела «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач» (педагоги, % правильно выполненных заданий)

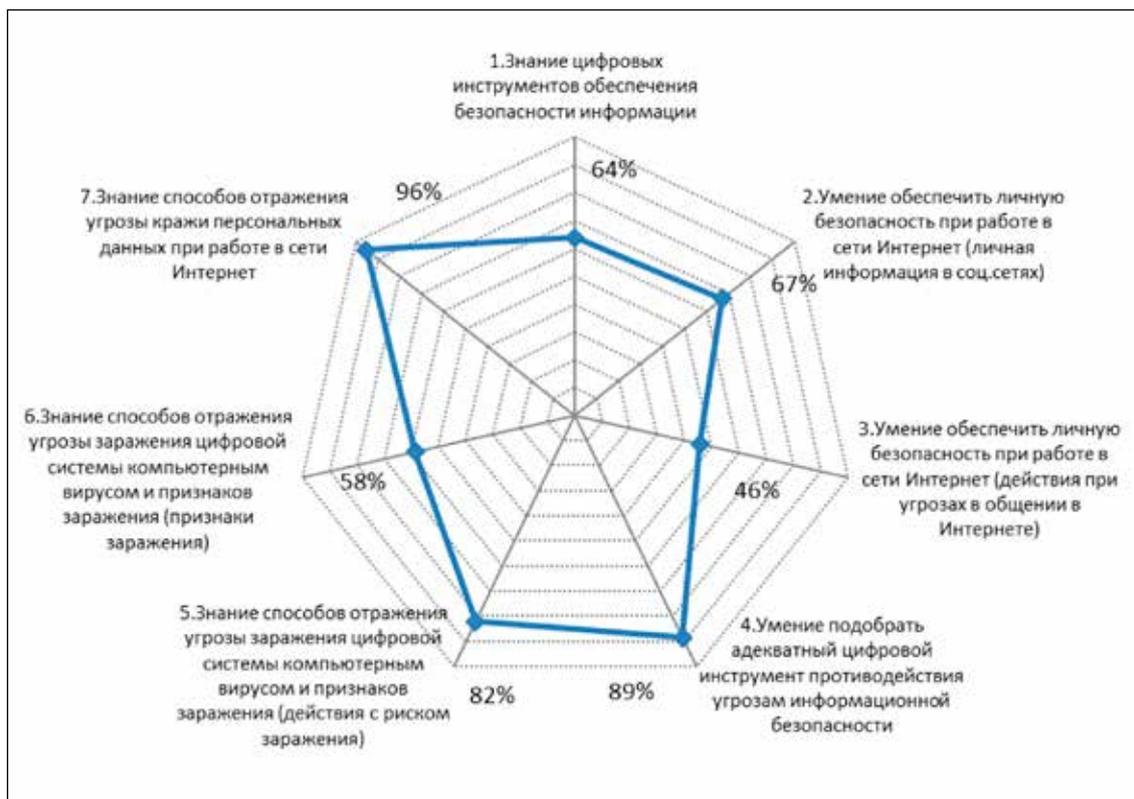


Рис. 2. Результаты выполнения заданий раздела «Как соблюдать правила личной и общественной безопасности при применении цифровых технологий» (педагоги, % правильно выполненных заданий)

Выполнение заданий раздела «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач» показало дефицитные умения:

- подбор инструмента для компьютерного моделирования (задание 8 – 33%);
- оценка возможности использования цифрового инструмента для решения практической задачи – создания листовки (задание 7 – 52%).

В разделе «Как соблюдать правила личной и общественной безопасности при применении цифровых технологий» (рис. 2) учителя успешно показали:

- знание методов отражения угрозы кражи персональных данных в сети Интернет (задание 7 – 96%);
- знание способов действия в ситуациях с высоким риском заражения компьютерным вирусом (задание 5 – 82%);
- умение подобрать инструмент для противодействия угрозам информационной безопасности (задание 4 – 89%);
- умение принять решение о целесообразности размещения личной информации в социальных сетях с целью обеспечения безопасности (задание 2 – 67%).

– знание инструментов обеспечения цифровой информации (задание 1 – 64%).

В разделе «Как соблюдать правила личной и общественной безопасности при применении цифровых технологий» в меньшей степени учителя смогли показать:

- знание признаков компьютерного заражения (задание 6 – 58%);
- действия при угрозах во время общения в сети Интернет (задание 3 – 46%).

Оценка показала более качественное выполнение педагогами заданий в разделе «Как соблюдать правила личной и общественной безопасности при применении цифровых технологий» (от 46 до 96%), в сравнении с заданиями раздела «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач» (от 33 до 92%).

Цифровые компетенции по направлению «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач», представленные в диагностике на базовом уровне сложности, достигнуты учителями на уровнях: средний уровень и уровень ниже среднего. Наименее успешно выполнены задания на умения критически от-

носиться к информации из сети Интернет, выбирать для решения практических задач источники из сети Интернет, оценивать возможности применения цифровых инструментов для решения практических задач. Сложными для учителей оказались выбор разных цифровых инструментов для решения одной практической задачи (задание 3) и задания, совмещающие выбор цифрового инструмента с решением какой-либо профессиональной задачи (задание 1).

Компетенция «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач» в исследованиях цифровых навыков сравнительно новая, но актуальная в условиях нарастающей цифровизации всех сфер жизни.

Цифровые компетенции по направлению «Как соблюдать правила личной и общественной безопасности при применении цифровых технологий» оценивались через задания базового уровня (задания 2, 6) и повышенного уровня (задания 1, 3, 4, 5, 7). Результаты показали, что учителя выполнили задания данного раздела лучше, чем задания раздела «Как приспособить цифровые технологии для решения учебных, практических и профессиональных задач». Это обусловлено, во-первых, специально организованной в Перми и Пермском крае работой, в которую непосредственно включены учителя информатики, но и различными информационными и воспитательными мероприятиями (в которые включены учителя других предметов). Однако задания повышенного уровня (задания 1, 3), связанные с современными средствами обеспечения безопасности в цифровой среде, до сих пор сложны для учителей.

Лучший результат педагоги показали также при выполнении заданий повышенного уровня на предотвращение кражи персональных данных (задание 4, 7). В то же время необходимо совершенствовать умения педагогов по направлению безопасного использования цифровых технологий, формировать умения противостоять новым видам цифровых угроз.

На основании проведенной оценки даны рекомендации департаменту образования г. Перми и руководителям образовательных учреждений: организовать подготовку педагогов к решению практических задач с использованием цифровой среды, использовать активные формы взаимодействия педагогов для обсуждения проблем, связанных с решением профессиональных и практических задач в цифровой среде, и обмена опытом, предусмотреть формы мотивации руководителей образовательных организаций и педагогов к приобретению и совер-

шению умений действовать в цифровой образовательной среде для решения профессиональных и практических задач.

Заключение

Таким образом, настоящее исследование позволяет сделать выводы как в аспекте научной значимости, так и применительно к практике деятельности современной системы общего и профессионального образования, оснований для управленческих решений.

С научной точки зрения проведенное исследование позволяет констатировать:

– в научно-техническом аспекте: изменение технологической составляющей экономики в современном цифровом обществе приводит к изменению требований не только к профессиональной, но и к базовой подготовке обучающихся – на уровне общего образования. Умения, которые ранее рассматривались как профессиональные (решение задач в цифровом контексте, компьютерное моделирование, владение языками программирования, управление распределенными системами и т.д.), в настоящее время относятся представителями сферы производства и инвесторов (заказчики международных сопоставительных исследований PISA-2025) к результату 15-летних обучающихся;

– в общепедагогическом и историко-педагогическом аспекте: вызванные преобразованием технологической составляющей общества изменения требований к содержанию и планируемыми результатам общего образования приводят соответственно к изменениям требований к профессиональной педагогической деятельности учителя, особенно в части использования информационных и коммуникационных технологий, владения цифровыми навыками;

– в профессионально-педагогическом аспекте: обновление профессиональных функций и компетенций специалистов (учителей общеобразовательных организаций) в условиях цифровизации экономики особенно заметно и находит отражение и в профессиональных стандартах педагога, и в документах, определяющих содержание и результаты педагогического образования.

С точки зрения практики управления в сфере образования исследование, с одной стороны, показало результативность проведенной в пермской системе образования работы по формированию умений, связанных с обеспечением безопасности использования цифровых технологий, с другой стороны, позволило обозначить умения решать задачи в цифровой среде как дефицитную область в подготовке педагога.

Отметим также в качестве перспективы развития системы профессионального образования, что разработанные учеными ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет» задания для оценки цифровых навыков учителей общеобразовательных школ носили компетентностный характер, содержали ситуации в рамках профессиональных задач. Подобные задания могут выступить основой для диагностических работ в как рамках независимой, так и внутренней оценки качества образования в педагогических вузах.

Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт начального общего образования. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31.05.2021 № 286. (Зарегистрирован 05.07.2021 № 64100). [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107050028> (дата обращения: 12.12.2022).
2. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31.05.2021 № 287 [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107050027> (дата обращения: 12.12.2022).
3. Ермоленко В.А. Развитие функциональной грамотности обучающегося: теоретический аспект // Пространство и время (альманах). 2015. Т. 8. Вып. 1: Пространство и время образования. [Электронный ресурс]. URL: 2227-9490e-aprov1_e-ast8-1.2015.12 (дата обращения: 12.12.2022).
4. Безукладников К.Э., Готлиб Д.Л., Занина К.А., Захарова В.А., Новикова О.Н., Крузе Б.А., Селькина Л.В., Скрипова Ю.Ю., Худякова А.В., Худякова М.А., Шабалина О.В. Сравнительный анализ подходов, программ и методик формирования функциональной грамотности младших школьников: коллективная монография. Пермь: ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», 2021. 170 с.
5. Волкова Л.В., Лизунова Л.Р., Волкова Ю.С. Цифровая грамотность младших школьников: результаты диагностики // Гуманитарные науки и образование. 2022. Т. 13. № 3 (51). С. 39–50. DOI: 10.51609/2079-3499_2022_13_03_39.
6. Tammara Rosanna, Iannotta Iolanda Sara, Ferrantino Concetta. Improving Digital Literacy In Primary Education. 11th International Conference on Education and New Learning Technologies, 2019. P. 9922–9927. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/334676625_improving_digital_literacy_in_primary_education (дата обращения: 21.08.2022). DOI: 10.21125/edulearn.2019.2472.
7. Polizzi Gianfranco. Digital literacy and the national curriculum for England: Learning from how the experts engage with and evaluate online content. Computers & Education. 2020. Vol. 152. P. 103859. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131520300592> (дата обращения: 12.12.2022). DOI: 10.1016/J.COMPEDU.2020.103859.
8. Половина И.П., Шестаков А.П., Захарова В.А., Егоров К.Б. Независимая оценка сформированности отдельных цифровых навыков обучающихся общеобразовательных организаций: подходы и результаты // Информатика и образование. 2021. № 9 (328). С. 31–39. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-9-31-39.
9. Бороненко Т.А., Федотова В.С. Индикаторы оценки уровня цифровой компетентности учителя информатики // Гуманитарные науки и образование. 2022. Т. 13. № 3 (51). С. 7–19. DOI: 10.51609/2079-3499_2022_13_03_07.
10. Безукладников К.Э., Безукладников В.К., Прохорова А.А. Исследование лингвоцифровой компетенции в контексте общей функциональной грамотности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Проблемы языкознания и педагогики. 2022. № 2. С. 105–121. DOI: 10.15593/2224-9389/2022.2.9.
11. PISA 2024 ICT Framework. OECD. April 2019. 59 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oecd.org/pisa/sites/edocument/PISA-2021-ICT-Framework.pdf> (дата обращения: 12.12.2022).
12. PISA 2024 Strategic Vision and Direction for Science. Final Draft. OECD. March 2020. 28 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA-2024-Science-Strategic-Vision-Proposal.pdf> (дата обращения: 12.12.2022).
13. Приказ Минтруда России от 18.10.2013 № 544н (ред. от 05.08.2016) «Об утверждении профессионального стандарта “Педагог (педагогическая деятельность в сфере дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования) (воспитатель, учитель)”» (Зарегистрировано в Минюсте России 06.12.2013 № 30550). [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70535556/> (дата обращения: 19.01.2023).
14. Проект Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ «Об утверждении профессионального стандарта “Педагог (педагогическая деятельность в сфере начального общего, основного общего, среднего общего образования) (учитель)”» (подготовлен Минтрудом России 31.01.2022). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56809182/> (дата обращения: 19.01.2023).
15. Письмо Министерства просвещения России от 14.12.2021 г. № АЗ-1100/08 «О направлении информации» (вместе с «Методическими рекомендациями по подготовке кадров по программам педагогического бакалавриата на основе единых подходов к их структуре и содержанию (“Ядро высшего педагогического образования)”»). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409505/96c60c11ee5b73882df84a7de3c4fb18f1a01961/ (дата обращения: 19.01.2023).

УДК 378.14

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ, ОСНОВАННАЯ НА НЕПРЕРЫВНОЙ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СТУДЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Закиева Р.Р.

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,
e-mail: rafina@bk.ru*

Данная статья посвящена проблеме управления качеством образования в техническом университете на основе критериальной оценки и мониторинга профессионального развития студента. Данная работа является продолжением проводимых автором исследований управления качеством образования. В статье обосновывается идея важности соотнесения результатов мониторинга профессионального развития студента с требованиями, предъявляемыми к выпускнику, указанными в федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования по конкретной (инженерной) специальности, представлен алгоритм «движения» от оценки к корректировке учебного процесса, рассмотрен пример усреднения веса различных оценочных процедур, продемонстрирована модель управления качеством образования, основанная на непрерывной объективной оценке профессионального развития студента технического университета. Механизм управления качеством образования включает мониторинг и оценку профессионального развития студентов, анализ образовательной ситуации и принятие решений о корректировке содержания и методов формирования готовности будущих специалистов к инженерной деятельности. Оценка достоверности представленных результатов подтверждается использованными методами исследования: теоретические (анализ философской, социологической, психолого-педагогической литературы, государственных и нормативных документов по проблеме исследования; аналитико-синтетическое рассмотрение научных публикаций); эмпирические (педагогическая диагностика, анализ результатов образовательной деятельности); статистические (статистические и численные методы обработки полученных данных); прогностические методы (проспективный анализ). Важность представляет сделанный автором вывод о том, что важна корректировка дидактических условий профессионального и личностного развития обучающихся на основе учета показателей, проведенного мониторинга профессионального развития студента.

Ключевые слова: качество образования, профессиональная подготовка, управление качеством образования, методология и технология профессионального образования, будущий инженер

MODEL OF EDUCATIONAL QUALITY MANAGEMENT BASED ON CONTINUOUS OBJECTIVE ASSESSMENT OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF A TECHNICAL UNIVERSITY STUDENT

Zakieva R.R.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, e-mail: rafina@bk.ru

This article is devoted to the problem of managing the quality of education at a technical university based on a criteria-based assessment and monitoring of a student's professional development. This work is a continuation of the studies carried out by the author of education quality management. The article substantiates the idea of the importance of correlating the results of monitoring a student's professional development with the requirements for a graduate specified in the federal state educational standards of higher education in a specific (engineering) specialty, presents an algorithm for "moving" from assessment to correction of the educational process, considers an example of averaging the weight of various assessment procedures, demonstrated a model of education quality management based on continuous objective assessment of the professional development of a student of a technical university. The mechanism for managing the quality of education includes monitoring and evaluating the professional development of students, analyzing the educational situation and making decisions on adjusting the content and methods of forming the readiness of future specialists for engineering activities. The assessment of the reliability of the presented results is confirmed by the research methods used: theoretical (analysis of philosophical, sociological, psychological and pedagogical literature, state and regulatory documents on the research problem; analytical and synthetic review of scientific publications); empirical (pedagogical diagnostics, analysis of the results of educational activities); statistical (statistical and numerical methods for processing the obtained data); prognostic methods (prospective analysis). The importance is the conclusion made by the author that it is important to adjust the didactic conditions for the professional and personal development of students based on the indicators taken into account, the monitoring of the student's professional development.

Keywords: quality of education, vocational training, quality management of education, methodology and technology of vocational education, future engineer

Энергетическая отрасль стремительно меняется, а значит, стремительно меняются и требования к подготовке кадров для энергетических компаний. Поэтому в высшем энергетическом образовании нужно, как в той сказке про Алису в Стране чудес, бе-

жать со всех ног, чтобы только оставаться на месте, а чтобы куда-то попасть, надо бежать как минимум вдвое быстрее. Многократная смена места работы, рода занятий, социального окружения, места жительства и стиля жизни становится нормой в постин-

дустриальном обществе. Чтобы оставаться современным, человек должен обладать новой комбинацией интеллектуальных, социальных и личностных качеств. Значение традиционных формальных институтов постепенно снижается, вместо них на первый план выходят модели «обучения через всю жизнь», которые поддерживают индивида на каждом этапе его жизненной и карьерной траектории. Для того, чтобы извлекать пользу из краткосрочного обучения и сохранять гибкость и мобильность, от индивида требуется способность к эффективному обучению, умение адаптироваться к новым условиям, поддерживая при этом внутреннее равновесие и сохраняя устойчивость к психологическим и физическим стрессам [1].

Энергетика будущего немыслима без высококвалифицированных специалистов. А какой же он, современный студент инженерной специальности? В первую очередь, наверное, компетентный, готовый создавать «инженерный продукт» в определенной области по конкретному направлению (профилю) подготовки. Мы считаем, что есть только один способ выявить компетентность – поместить студента в ситуацию, которая моделирует его реальную профессиональную практику. Например, в Казанском государственном энергетическом университете впервые в России начали использовать в учебно-образовательном процессе тренажеры-симуляторы, моделирующие работу одного из самых современных, самых мощных, энергоэффективных и безопасных реакторов. Целью данной статьи является разработка модели управления качеством образования, описывающей процесс объективной оценки профессионального развития студентов с применением цифровых технологий и способов корректировки процесса обучения на основе полученной информации.

Современный инженер – комплексный технический специалист, творчески реша-

ющий фундаментальные и прикладные задачи по управлению и оптимизации производства по конкретному направлению (профилю) подготовки.

Измерительным инструментом, позволяющим своевременно сигнализировать о возможных сбоях в образовательном процессе (на разных его уровнях), является система критериев, индикаторов и измерительных процедур. Реальный студент может в динамике сопоставлять себя с требованиями к выпускнику, указанными в ФГОС ВО. Оценивая достижения студентов, их развитие, мы можем вносить изменения в направления функционирования системы управления качеством образования.

Основными принципами управления качеством образования являются: профессионализм, объективность, достоверность, полнота, точность информации о качестве образования; открытость, прозрачность процедур оценивания; доступность информации о состоянии и качестве образования для различных групп потребителей; повышение потенциала внутренней оценки, самооценки, самоанализа студента [2]. Портфолио учебных и внеучебных достижений обучающихся позволяет учитывать результаты, достигнутые студентами в разнообразных видах деятельности: учебной, научно-исследовательской, творческой, социальной, коммуникативной и др., управлять культурно-образовательным пространством развития личности инженера. Портфолио является эффективным инструментом поддержки высокой учебной мотивации обучающихся и позволяет формировать рейтинговую оценку индивидуальных достижений, свидетельствующую о качестве их подготовки [3].

Нами разработана модель (рис. 2), раскрывающая алгоритм, логику и последовательность действий при оценивании сформированности профессиональной компетентности будущего инженера (рис. 1).

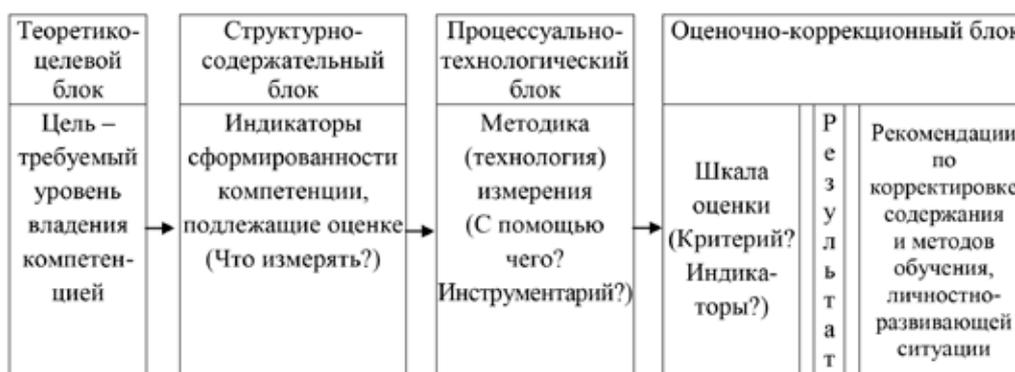


Рис. 1. Алгоритм «движения» от оценки к корректировке учебного процесса

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--|---|--|----------------------------|---|--------------------------|--|---|--|-----------------------------|---|--|--|--|
| Цель: динамическая корректировка образовательного процесса | | | | | | | | | | | | | | | |
| Основные подходы | | | | | | | | | | | | | | | |
| системный | | компетентностный | | кибернетический | | деятельностный | | личностно-ориентированный | | | | | | | |
| Основные принципы | | | | | | | | | | | | | | | |
| эмерджентности | адекватности функций и структуры | целостности | целесообразности | выделение типичных функций инженера | соответствия профстандарту | связи смысла, знания, опыта | адекватности индикаторов | принятия профессиональной деятельности как ценности | владения научной основой и опытом инженерной деятельности | поддержки принятия смысла и личной ответственности | саморазвития и креативности | | | | |
| Предмет оценки – развитие компетентности | | | | | | | | | | | | | | | |
| Смысловая сфера личности | | | Знание основ инженерной деятельности | | | Опыт решения профессиональных задач | | Самоорганизация, самоконтроль, самооценка | | | | | | | |
| Критерии и индикаторы сформированности | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Мотивационно-смысловой</i> | | <i>Когнитивные</i> | | <i>Деятельностно-практический</i> | | <i>Профессионально-рефлексивный</i> | | Шкала оценки | | | | | | | |
| Мотивация учебной деятельности | | Предметные знания | | Критическое мышление | | Профессиональная направленность | | Низкий уровень | | | | | | | |
| Профессиональные установки | | Метапредметные знания | | Коммуникативные навыки | | Память, запоминание, сохранение и воспроизведение | | Средний уровень | | | | | | | |
| | | Специальные инженерные знания | | Креативность | | | | Высокий уровень | | | | | | | |
| | | | | Координация | | | | Неполное и неустойчивое проявление признаков компетентности | | | | | | | |
| | | | | Расчет, проектирование, сборка, измерение и контроль | | | | Готовность к решению знакомых типовых задач | | | | | | | |
| | | | | Профессиональная направленность | | | | Творческий уровень инженерной деятельности | | | | | | | |
| | | | | Креативность | | | |  Конкурентоспособный выпускник («ИДЕАЛЬНЫЙ Я») | | | | | | | |
| Методики и технологии измерения профессиональной компетентности | | | | | | | | | | | | | | | |
| А.А. Реина | | И.М. Кондакова | | Б.А. Жигалева | | Л. Старик | | Л. Михельсона | |  Динамика развития | | | | | |
| | | | | | | Дж. Брунера | | Р.М. Белбина | | Программа дает рекомендации в зависимости от индивидуальных особенностей каждого студента | | | | | |
| | | Тесты и кейс-измерители | | | | Тренажеры и симуляторы | | Т.Д. Дубовицкой | | | | | | | |
| | | | | | | | | А.Р. Луриа | | | | | | | |
| | | | | | | | | О.С. Анисимовой | | | | | | | |
| Инструменты измерения | | | | | | | | | | | | | | | |
| нейротехнологии и элементы искусственного интеллекта | | | технологии виртуальной и дополненной реальности | | | нейротехнологии и элементы искусственного интеллекта | | | |  Механизм управления | | | | | |
| Управление образовательным процессом | | | | | | | | | | | | | | | |
| управление содержательным компонентом подготовки инженера | | | управление процессуальным (технологическим) компонентом системы подготовки инженера | | | управление развитием цифровой образовательной среды | | | управление культурно-образовательным пространством развития личности инженера | | | | | | |
| оценка подготовленности студентов по компетенциям, соответствующим данному этапу обучения, с использованием цифровых ресурсов | | оценка представленности в изучаемых модулях теоретических и инструктивно-методических основ, необходимых для овладения профессиональным и компетенциями, соответствующими данному этапу подготовки | | внесение структурно-содержательных изменений в изучаемые модули на основе оценки качества профессиональной подготовки студентов и дидактического анализа модулей | | анализ и корректировка дифференцированных программ и индивидуальных маршрутов» студентов в соответствии с данными об их эффективности | | оценка и самооценка готовности преподавателей к работе со студентами по установленным образовательным программам, организация внутрикорпоративного обучения преподавателей в соответствии с выделенными «дефицитами» | | экспертная оценка и усовершенствование программного обеспечения, комплекта образовательных ресурсов, реализуемых в цифровой образовательной среде университета | | применение профессионально-ориентированных форм воспитания и социализации обучающихся | | применение «продвинутыми» студентами и со студентами с низкими результатами обучения | |
| Результат: поддержание и непрерывное повышение качества образовательного процесса | | | | | | | | | | | | | | | |

Целевой блок (сбор и анализ информации о ситуации)

Структурно-содержательный блок (принятие решения о путях ее достижения)

Процессуально-технологический блок (выбор средств выполнения решения)

Управленческий блок (реализация нововведений, анализ результатов)

Рис. 2. Модель управления качеством образования

Пример усреднения веса различных оценочных процедур

| | Мотивационно-смысловой критерий | | Когнитивный критерий | | Деятельностно-практический критерий | | Профессионально-рефлексивный критерий | | Итоговый рейтинг |
|--------|--|------------|--|------------|--|------------|--|------------|------------------|
| | Максимально допустимое значение | Вклад, в % | Максимально допустимое значение | Вклад, в % | Максимально допустимое значение | Вклад, в % | Максимально допустимое значение | Вклад, в % | |
| Лимит | 16% | | 40% | | 30% | | 14% | | 100% |
| Расчет | 16% / 2 методики измерения = 8% – вес одной методики измерения | | 40% / 10 компетенций (ОПК – 5 шт. + ПК – 5 шт.) = 4% – вес одной компетенции | | 30% / 10 методик измерения = 3% – вес одной методики измерения | | 14% / 2 методики измерения = 7% – вес одной методики измерения | | |
| Пример | Номинальное значение по шкале, например, 4 из 5 | 12,8% | НАПРИМЕР: ОПК-1: $4\% / 3 = 1,33\%$ Интервал: $5,12\% \div 2,56\% = 1,33\%$ Интервал: $6,4\% \div 5,12\% = 2,66\%$ Интервал: $7,69\% \div 6,4\% = 4\%$ Номинальное значение по шкале, например, 8 из 10 | 32% | Номинальное значение по шкале, например, 9 из 10 | 27% | Номинальное значение по шкале, например, 9 из 10 | 12,6% | 84,4% |

По каждому из представленных выше критериев сформированности профессиональной компетентности происходил подсчет рейтинга-процента с помощью лимитов по критериям. По каждому из проверяемых индикаторов задавался лимит вклада – максимально возможный балл, выраженный в процентах, то есть лимиты по всем процедурам подбирались так, что их сумма давала 100%. Пример продемонстрирован в таблице.

При построении шкалы оценки были выделены три уровня сформированности инженерной компетентности: низкий уровень (неполное и неустойчивое проявление признаков компетентности); средний уровень (готовность к решению знакомых типовых задач); высокий уровень (продуцирование творческих, нестандартных решений).

Механизм управления качеством образования представляет собой систему управленческого цикла – завершённую последовательность действий, направленных на достижение целей по совершенствованию качества образования [4]. В составе

этого цикла: сбор и анализ информации о соответствии профессионального развития студентов логике (этапам) формирования компетенций, представленным в образовательной программе; выявление «дефицитов» в профессиональном развитии, связанных с недостатками в содержательных и процессуально-методических компонентах обучения, а также в других параметрах образовательной ситуации; внесение корректирующих изменений в образовательную ситуацию, носящих адресно-дифференцированный характер – учитывающих различия в уровнях профессиональной успешности студентов.

Механизмы управления качеством образования на основе оценки профессионального развития студентов направлены на решение следующих задач: «формирование максимально объективной оценки качества подготовки обучающихся; совершенствование структуры и актуализации содержания образовательных программ; совершенствование ресурсного обеспечения образовательного процесса; повышение

компетентности и уровня квалификации педагогических работников; повышение мотивации обучающихся; усиление взаимодействия образовательной организации с профильными предприятиями и организациями; предоставление всем участникам образовательного процесса достоверной информации о качестве работы образовательной организации; противодействие коррупционным проявлениям в ходе реализации образовательного процесса» [5].

К критериям профессионального развития будущего инженера, требующим оценивания, в исследовании отнесены следующие: мотивационно-смысловой, когнитивный, деятельностно-практический, профессионально-рефлексивный. Для каждого из критериев имеются свои индикаторы сформированности, методики и инструменты измерения.

Процесс измерения уровня сформированности компетентности выпускника проходит по следующему алгоритму:

1. Информационный этап – получение информации о процессе и результатах деятельности обучающихся, их предметных достижениях и овладении профессиональными функциями.

2. Аналитический этап – обработка собранной информации в соответствии с показателями профессиональной подготовки на соответствующем этапе обучения. С учетом реальных проблем, которые решают специалисты данного профиля, запросов работодателей составляются задачи, проектные ситуации для проверки компетентности.

3. На этапе презентации решения задачи (реализации проекта) отслеживаются все параметры компетенции.

4. Информационно-коммуникационный этап, на котором предстает многопараметрическая информационная картина ситуации развития студентов.

5. Корректирующий этап – внесение на основе полученной информации корректировок в процесс обучения.

6. Прогностический этап – определение возможностей и направлений развития для различных уровней групп студентов.

Управление качеством образования состоит в том, что отслеживание достижений студентов дает ориентиры для корректировки процесса обучения: содержания, методов и в целом ситуации развития студента – будущего инженера [6]. При этом сама оценка носит вспомогательный характер, она позволяет получить информацию о том, что именно, какие параметры образовательной ситуации надо корректировать, исправлять. Профессиональный опыт выступал в процессе опытно-экспериментальной работы в качестве «продукта» инженер-

но-ориентированного обучения. При этом студенты также включались в анализ неудач, недостатков, «пробелов» в решении профессионально-направленных учебных задач, в исправление собственных ошибок.

Заключение

В связи с массовым переходом вузов в индустрию 4.0 приоритетное внимание уделяется не усвоению учебных дисциплин, а деятельностно-интегративным результатам обучения, профессиональной готовности студента. Разработанная модель технологически представляет концепцию использования контроля и оценки профессионального профиля студентов с целью динамической корректировки образовательного процесса. Предложенная модель, как можно предположить, дает целостное представление об управлении образовательным процессом на основе критериальной оценки и мониторинга профессионального развития студента с использованием цифровых ресурсов. В ходе опытной работы студентам предлагалось с помощью программного продукта в динамике сопоставлять реальные свои успехи с требованиями к выпускнику, прописанными в федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования (ФГОС ВО) по данной (инженерной) специальности. В данном исследовании показаны новые возможности использования такой информации, которая позволяет, определяя «пробелы» в содержании, технологии и других характеристиках образовательного процесса вносить в него соответствующие изменения.

Список литературы

1. Методические рекомендации по внедрению моделей формирования и оценки общих компетенций обучающихся в соответствии с ФГОС СПО. [Электронный ресурс]. URL: https://ioe.hse.ru/data/2020/09/03/1580603982/Методические_рекомендации_ОК_Приложение_к_письму_согласование_рекомендаций.docx (дата обращения: 19.01.2023).

2. Положение о системе оценки качества образования. [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/79/574/16386.php> (дата обращения: 19.01.2023).

3. Положение «О внутренней независимой оценке качества образования по образовательным программам высшего образования. [Электронный ресурс]. URL: http://rgup.ru/img/images/18_от_27.01.20.pdf (дата обращения: 19.01.2023).

4. Сериков В.В. О мышлении педагога-исследователя и условиях его развития // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Проблемы высшего образования. 2022. № 2. С. 55–61.

5. Разинкина Е.М., Раев К.В., Калинина О.В. Внутренняя система оценки качества образования: независимая оценка профессиональных компетенций педагогических работников // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки 2019. Т. 10. № 2. С. 220–226.

6. Сериков В.В., Закиева Р.Р. Риски в условиях цифровой трансформации образования // Ценности и смыслы. 2022. № 4 (80). С. 99–110.

УДК 378:372.881.1

«МЕТОД ДУБЛИРОВАНИЯ» В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ**Колесников Д.Е., Саблина М.А., Богданова Н.В.***ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Санкт-Петербург, e-mail: opettaja2018@gmail.com*

В статье рассматривается авторский метод использования аутентичных видеоматериалов на занятиях иностранного языка, получивший название «метод дублирования». Преподаватели иностранного языка находятся в постоянном поиске эффективных методов и форм работы по обучению иностранному языку вне аутентичной языковой среды. Цифровые технологии сделали видеоматериалы широкодоступными: фильмы, телепередачи и новости стали важным элементом процесса изучения иностранного языка. Видеоматериалы содержат не только актуальный контент, такой как политические новости, обзор экономических тенденций, но и социальную и культурную среду, в которой используется изучаемый язык. Благодаря занятиям, включающим работу с аутентичными видеоматериалами, обучающиеся могут распознавать и использовать целевой язык не только как кодовую систему, состоящую из текста и голоса, но и как механизм для создания контекстуального значения за его пределами. В статье предлагается алгоритм использования аутентичных видеоматериалов с помощью «метода дублирования», который помогает оптимизировать учебный процесс. Обучающийся получает пример использования языкового материала в аутентичных ситуациях, что в дальнейшем помогает строить собственное высказывание. «Метод дублирования» стимулирует комплекс когнитивных процессов обучающегося, таких как память, мышление, внимание, восприятие, способствует выработке фонетических и просодических навыков, а также позволяет развить социолингвистическую и коммуникативные компетенции, т.е. имеет мультимодальный, процессуальный характер.

Ключевые слова: цифровые технологии, аутентичные видеоматериалы, аудиовизуальная информация, социолингвистическая компетенция, алгоритм работы с видеоматериалом

THE “DUPLICATION METHOD” IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE USING VIDEO MATERIALS**Kolesnikov D.E., Sablina M.A., Bogdanova N.V.***Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg,
e-mail: opettaja2018@gmail.com*

The article discusses the author's method of using authentic video materials in foreign language classes, called the “duplication method”. Foreign language teachers are constantly looking for effective methods and forms of teaching a foreign language outside of an authentic language environment. Digital technologies have made video materials widely available: films, TV shows and news have become an important element in the process of learning a foreign language. The videos contain not only relevant content, such as political news, an overview of economic trends, but also the social and cultural environment in which the language being studied is used. Through activities that include working with authentic video materials, learners can recognize and use the target language not only as a code system consisting of text and voice, but also as a mechanism for creating contextual meaning beyond it. The article proposes an algorithm for using authentic video materials using the “duplication method”, which helps to optimize the learning process. The student receives an example of the use of language material in authentic situations, which later helps to build their own statement. The “duplication method” stimulates a complex of cognitive processes of the student, such as memory, thinking, attention, perception, contributes to the development of phonetic and prosodic skills, allows the development of sociolinguistic and communicative competencies, i.e. has a multimodal, procedural character.

Keywords: digital technologies, authentic video materials, audiovisual information, sociolinguistic competence, algorithm for working with video material

Изучение иностранного языка в аутентичной среде имеет явное преимущество перед изучением иностранного вне среды общения с носителями языка. Поэтому перед преподавателем стоит задача подобрать наиболее эффективные методы и универсальные инструменты преподавания иностранного языка в рамках практико-ориентированного подхода.

Язык в своей основе социален и адаптивен, поэтому основное внимание в его изучении должно быть уделено современной лексике, а не его формальной структуре.

Материалы и методы исследования

Теоретические исследования по проблеме использования коммуникационных технологий преподавания и изучения иностранного языка показали, что прежде всего необходимо учитывать индивидуальные цели обучающегося и максимальное внедрение аутентичных текстов и ролевых ситуаций [1–3].

Согласно Е.А. Должич, С.В. Дмитричковой и П.И. Санчес, «в соответствии с опросом 63% современных студентов воспринимают больше информации через ви-

зуальный канал, чем через аудиальный, им сложно усвоить информацию, представленную сплошным текстом без изображений. Поэтому наиболее эффективным средством обучения современных молодых людей является использование таких инструментов визуализации, как мультимедийные презентации, изображения, графики, таблицы, интеллект-карты, видео и подкасты. Привлечение современных мультимедийных средств позволяет повысить интерес студентов к изучению иностранного языка и сделать уроки более наглядными» [2].

Вопрос использования аутентичных видеоматериалов в преподавании иностранных языков является актуальным, так как цифровые технологии сделали фильмы и видеоролики доступными благодаря их широкому распространению в сети Интернет [4; 5].

Цель исследования – рассмотреть «метод дублирования» при использовании аутентичных видеоматериалов на занятиях по иностранному языку и алгоритм его этапов.

Под аутентичным материалом авторами статьи понимается материал, являющийся лингвистически аутентичным, то есть созданный носителями языка и представленный в неадаптированной форме. Аутентичный видеоматериал пробуждает интерес к изучению языка, тем самым стимулируя учебную мотивацию. Преимущества использования видео в образовательных целях заключаются в том, что, во-первых, в отличие от аудиоматериалов, полагающихся только на слух, видео является аудиовизуальным материалом, который может помочь пониманию иноязычной культуры в дополнение к языковому обучению; во-вторых, видео позволяет обучающимся легко понять контекст материала.

Перед преподавателем иностранного языка стоят следующие задачи:

- мотивировать обучающихся к более эффективному изучению языка;
- отобрать актуальный видеоконтент для курса обучения, который заинтересовал бы обучающихся разного уровня подготовки;
- определить алгоритм работы для оптимизации процесса обучения;
- разработать систему упражнений и заданий на развитие речевых умений;
- провести контроль усвоения языкового материала.

Результаты исследования и их обсуждение

Обычно для обучения иностранному языку используются специально созданные видеоматериалы в качестве приложений к учебникам, которые соответствуют уров-

ню курса обучения. В методических руководствах для преподавателей содержатся описание и рекомендации по проведению практических занятий на основе просмотренных видеоматериалов. Проведенное исследование показало, что «преподаватели иностранных языков любят использовать видео, потому что оно мотивирует учащихся, создает ощущение реального мира на занятии, естественно создает языковой контекст и позволяет учащимся услышать подлинный язык в контролируемой среде. Кроме того, видео может дать студентам реалистичные модели для подражания для ролевой игры; может увеличить осведомленность о других культурах с точки зрения обучения его адекватного применения» [6, с. 96].

Разработанный для практикующих преподавателей немецкого языка бесплатный сайт Гёте-Института (<https://www.goethe.de/spr/ueb/dlb/bie.html>) содержит «Видеоматериалы «DeutschlandLabor» с упражнениями (табл.).

Онлайн-упражнения сайта Гёте-Института к видеоматериалам

| | |
|--|--|
| Onlineübungen zum Video bei Deutsch für Dich | Онлайн-упражнения для видео в Deutsch für Dich |
| Arbeitsblätter für den Präsenzunterricht | Рабочие листы для работы в классе |
| Handreichungen für Lehrkräfte | Руководство для учителей |
| Manuskript zum Mitlesen und Wortschatzhilfen | Рукопись (транскрипция видео) для чтения и словарный запас |

Однако существуют некоторые опасения, что видеоролики, созданные как дополнительный материал, могут быть не вполне аутентичными, и в результате снижается мотивация к изучению иностранного языка. Это происходит, когда обучающиеся обнаруживают, что видео не соответствует действительности, а является просто «движущимся учебником». В ряде случаев образовательные фильмы на иностранном языке являются скучными по сравнению с реалистическими фильмами и не вызывают интереса у обучающихся.

Возникает вопрос, по каким критериям преподавателю необходимо подбирать или использовать готовые видеокурсы. На наш взгляд, целесообразно опираться на принципы отбора аудиовизуальных средств обучения, сформулированные М.С. Миловидовой:

1. Принцип коммуникативной направленности <...>.
2. Принцип гуманизации развивающего обучения <...>.

3. Принцип профессиональной направленности <...>.

4. Принцип тематической соотнесенности <...>.

5. Принцип нарастания трудностей <...>.

6. Принцип ориентации на обучаемого <...>.

7. Принцип управления учебным процессом, принцип системности, принцип комплексности <...>» [7, с. 277–279].

Психофизиологические исследования показали, что фильмы вызывают эмоции у зрителей [8], стимулируя звуковые и визуальные каналы одновременно, естественным образом обеспечивают реалистичные разговорные ситуации и положительно влияют на улучшение коммуникативных навыков обучающихся в когнитивном аспекте.

В обучении иностранному языку эффективно использовать видео с субтитрами в качестве аутентичного материала, который ориентирован на снятие языковых барьеров и на понимание содержания видео обучающимися.

Следует отметить, что начало исследований использования субтитров в обучении иностранному языку связывают с именем К. Прайса [9]. Исследования по использованию субтитров в обучении иностранному языку начали проводить с 1980-х гг., и, согласно их результатам, было доказано, что видео с субтитрами более эффективны, чем без субтитров. Среди работ российских ученых можно выделить статью А.С. Фомиченко, в которой рассматривается использование аутентичных фильмов с субтитрами при работе со студентами в процессе изучения новой лексики на материале английского языка [10], работу М.М. Исуповой, посвященную использованию неигровых аутентичных видеоматериалов при обучении иностранному языку студентов неязыковых вузов [11], а также исследование Е.А. Рубцовой, Т.Ю. Романовой и Е.В. Поляковой, в котором анализируются критерии отбора аутентичных видеофильмов [12].

Субтитры эффективно использовать как способ, помогающий понять аутентичный материал на всех этапах обучения, особенно на начальных этапах. Например, чтобы выучить специальную лексику вне контекста, требуется довольно много времени, так как обучающиеся не используют ее в повседневной речи, и, следовательно, это является дополнительной нагрузкой. Видео с субтитрами не только развивает навыки слушания, но и зрительно фиксирует формы слов, что, несомненно, расширяет словарный запас.

Обучающемуся необходимы не только грамматика, систематическое структурное описание языка, но и набор средств, позволяющих почувствовать себя активным участником учебного процесса, поэтому важно использовать практико-ориентированный подход в обучении, где имеется взаимосвязь между лингвистическим и визуальным мышлением.

В данной статье мы предлагаем рассмотреть «метод дублирования» – метод работы с видеоматериалом, который был разработан и опробован на занятиях иностранного языка в Высшей школе международных отношений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Следует отметить, что работа с видеоматериалами по данному методу представляет собой дополнение к основному курсу обучения. В качестве видеоматериалов используются уже готовые учебные видеокурсы, которые можно найти в сети Интернет. Данные курсы содержат материал разного уровня сложности, поэтому преподавателю необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- на начальном этапе в основе видеокурса должен быть сюжет, поддерживающий интерес учащихся, созданный на наборе непрерывных событий;

- видео озвучивается носителями языка;
- подбирается видеоматериал, отражающий реальные жизненные языковые ситуации, соответствующие повседневной или профессиональной жизни.

Перейдем к рассмотрению этапов работы. (Деление работы на этапы является условным, так как преподаватель ориентируется на уровень подготовки группы и решает сам, когда переходить от одного этапа к другому.) Авторы рекомендуют следующие четыре этапа с различными пошаговыми алгоритмами.

Первый и второй этапы используются на начальном (уровень А0–А1), третий – на базовом (уровень А1–А2), четвертый – на продвинутом (уровень В1–В2) этапах обучения.

Первый этап. Разговорные темы: «Знакомство», «Семья», «Свободное время», «В кафе», «Учеба в университете» и т.д.

Шаг 1. Преподаватель раздает транскрипцию текста видеоролика.

Шаг 2. Студентам предлагается прочитать текст всем вместе, затем посмотреть видео (не менее трех раз) и обратить внимание на ритмику языка, темп речи и интонацию.

Шаг 3. «Метод дублирования». При следующем просмотре предлагается проговорить текст про себя вместе с действующими лицами, затем вслух всем вместе.

Шаг 4. «Метод дублирования». Отключается звук видео, обучающиеся самостоятельно дублируют текст. Если это диалог или полилог, текст распределяется по ролям.

Шаг 5. Составляются вопросы к видео. На данном этапе обучающиеся приобретают навыки постановки общих и специальных вопросов.

Шаг 6. Пересказывается текст без опоры на видео.

Следует отметить, что с каждым этапом работы повышается уровень самостоятельности обучающихся. На втором этапе обучающийся самостоятельно записывает тексты монолога/диалога/полилога из видео, что является одним из письменных видов работы. В этом случае активно развиваются навыки аудирования и письма. Записывать текст самостоятельно можно начинать и на первом этапе при наличии «открытых» субтитров в виде подстрочников.

Второй этап. Разговорные темы с более сложным контентом: «Погода», «Здоровье», «Путешествия», «В музее», «В городе» и т.д.

Шаг 1. Преподаватель знакомит с новой лексикой, которая будет звучать в видеоролике.

Шаг 2. Просматривается видео не менее двух раз.

Шаг 3. Записывается текст монолога/диалога/полилога от руки.

Шаг 4. «Метод дублирования». Отрабатывается текст вслух вместе с персонажем/персонажами видео.

Шаг 5. «Метод дублирования». Озвучивается текст с отключенным звуком.

Шаг 6. Пересказывается текст без опоры на видео.

На первом и втором этапах работы по «методу дублирования» с российскими студентами, изучающими финский язык, используются видеокурсы «Supisuomea 1» и «Supisuomea 2».

На третьем этапе преподавателем предлагаются видеоматериалы, тексты которых направлены на совершенствование социокультурной компетенции. На данном этапе используется подборка видео по темам национальных праздников, знакомства с национальными традициями, изучения коллекций национальных музеев, достопримечательностей, особенностей национальной архитектуры и т.п. Язык представляет собой один из инструментов создания и передачи национальной культуры. Иными словами, освоение иностранного языка означает не только его использование, но и изучение общественно-культурного компонента страны, в которой язык сформировался. В сети Интернет можно найти и подобрать аутентичные видеоматериалы

с социокультурным компонентом с озвучиванием или субтитрами (обзорные экскурсии о достопримечательностях, по национальным музеям и выставкам, с рассказами о духовных ценностях и образе жизни людей страны изучаемого языка).

Третий этап. Разговорные темы с социально-культурным компонентом региона специализации: «Национальная кухня», «Традиции и обычаи», «Национальные праздники», «Музеи и достопримечательности», «Охрана окружающей среды» и т.д.

Шаг 1. Обучающийся просматривает видео и сам записывает новые слова и выражения.

Шаг 2. «Метод дублирования». Отрабатывается текст вслух вместе с персонажем/персонажами видео.

Шаг 3. «Метод дублирования». Обучающийся озвучивает видео с отключенным звуком.

Шаг 4. Пересказывается текст без опоры на видео.

На третьем этапе работы по «методу дублирования» с российскими студентами, изучающими финский язык, используется видеокурс «Kuulostaa hyvältä».

На четвертом этапе, в рамках профессионально ориентированного курса, видео подбирается по направлению обучения, в основе которого используется специальная лексика. На данном этапе идет «наращивание» профессиональной лексики и повторение общеупотребительной лексики. Кроме того, тем, кто работает в международной сфере, требуется активно использовать и общеупотребительную лексику, поэтому так важно ее повторение. При подборке видео необходимо следовать не только обязательным темам изучения, но и учитывать потребности обучающихся, чтобы иметь возможность определить содержание курса.

Четвертый этап. Темы в рамках профессионально ориентированного курса.

Студенты сами подбирают видео, соответствующее изучаемым темам по программе обучения, озвучивают его, следуя ранее изложенным рекомендациям, формируя языковое портфолио:

1. Ссылка на видеоролик по теме в рамках профессионально ориентированного курса.

2. Список новых слов и выражений по теме видеоролика.

3. «Метод дублирования». Аудиозапись – озвучивание ролей видеоролика – возможно по ролям.

4. Вопросы к содержанию видеоролика. На данном этапе преподаватель выполняет корректирующую функцию.

Следование данным рекомендациям имеет важное значение как с точки зре-

ния усвоения студентами фонетических и просодических особенностей изучаемого языка, так и лексики и грамматики. Темы видеороликов должны соответствовать темам основной программы обучения. Время изучения каждой темы с преподавателем, как правило, варьируется от 2 до 4 академических часов без учета времени на подготовку. Преподаватель может увеличить время изучения темы в соответствии с количеством студентов в группе и потребностями обучаемой группы. Дополнительно времени могут потребовать, например, отработка произношения и понимания на слух, более глубокая проработка грамматики, расширение словарного запаса на основе темы видеокурса. В этом случае работа по «методу дублирования» предлагается в качестве домашнего задания.

На заключительном этапе работы по «методу дублирования» с российскими студентами, изучающими финский язык, используется видео «Eduskunta: Suomen julkisin työpaikka», посвященное деятельности парламента Финляндии.

Выводы

Предлагаемый «метод дублирования» не только стимулирует комплекс когнитивных процессов обучающегося, таких как память, мышление, внимание, восприятие, но и способствует выработке фонетических и просодических навыков, т.е. имеет мультимодальный, процессуальный характер. Обучающийся получает пример использования языкового материала в аутентичных ситуациях, что в дальнейшем помогает строить собственное высказывание. Языковая компетенция накапливается по мере того, как обучающийся сталкивается с новыми ситуациями и контекстами.

Применяя «метод дублирования», можно отметить следующее:

- обучающиеся сосредотачивают внимание на определенной ситуации;
- озвучивая диалоги и полилоги, обучающиеся активно взаимодействуют друг с другом, являясь активными производителями учебного контента;
- обучающиеся действуют так, как если бы они действовали в реальных повседневных или рабочих ситуациях;
- обучающиеся могут использовать видеоматериал для многократного самостоятельного повторения;
- обучающиеся изучают иностранный язык в максимально приближенных аутентичных ситуациях.

Распространенная критика использования видео в обучении заключается в том, что просмотр видео является пассивным

методом обучения и не требует от обучающихся активных действий по сравнению с использованием статических материалов, таких как картинки или текст, восприятие которых более активно. Нами было отмечено, что при использовании предлагаемого «метода дублирования» обучающиеся становятся активными и заинтересованными участниками учебного процесса, что делает занятия более эффективными. Быстро развивающиеся цифровые технологии ставят перед преподавателями новые вызовы и создают возможности выбирать и обновлять традиционные методы и инструменты преподавания.

Список литературы

1. Джуманова Л.С., Тулегенова М.К. Применение мультимедийных технологий в обучении иностранным языкам // *Austrian Journal of Humanities and Social Sciences*. 2014. Т. 1. №1–2. С. 141–147.
2. Должич Е.А., Дмитриченкова С.В., Санчес П.И. Использование мультимедийных средств в обучении иностранному языку // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29894> (дата обращения: 08.02.2023).
3. Антоновская О.Г., Бесклубная А.В., Васильева Ю.С. и др. Психолого-педагогические вопросы современного образования: монография. Чебоксары: ИД «Среда», 2021. 172 с.
4. Агасиева И.Р., Мамедова Г.Б. Современные подходы и методы обучения иностранному языку // *Современный ученый*. 2020. № 1. С. 8–13.
5. Котов К.С., Слукина А.А., Мартынова А.С. Использование метода аутентичного преподавания в подготовке выпускников высших учебных заведений // *Гуманитарные и социальные науки*. 2022. Т. 91. № 2. С. 164–171.
6. Коваль О.И. Использование видео в качестве аудиовизуальных материалов на занятиях иностранного языка // *Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. Серия: Педагогика. Психология. Социальная работа. Ювенология. Социокинетика*. 2013. Т. 19. № 4. С. 96–99.
7. Миловидова М.С. Принципы отбора и организации видеоматериалов в процессе обучения «переводчиков в сфере профессиональной деятельности» // *Современные методы и технологии исследования германских языков: международный сборник научных статей / под ред. С.И. Дубинина*. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2005. С. 274–280.
8. Лазарус Р. Теория стресса и психофизиологические исследования // *Эмоциональный стресс / под ред. Л. Леви*. Л.: Медицина, 1970. С. 178–209.
9. Price K. Closed-captioned TV: An untapped resource // *Newsletter*. 1983 Vol. 12. № 2. P. 1, 8. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.matsol.org/assets/documents/Currentsv12no-2Fall1983.pdf> (дата обращения: 15.10.2022).
10. Фомиченко А.С. Использование аутентичных фильмов с субтитрами при работе со студентами в процессе изучения новой лексики (на материале английского языка) // *Современные исследования социальных проблем*. 2021. Т. 13. № 4. С. 584–591.
11. Исупова М.М. Использование неигровых аутентичных видеоматериалов при обучении иностранному языку студентов неязыковых вузов // *Историческая и социально-образовательная мысль*. 2016. Т. 8. № 2/2. С. 148–153.
12. Рубцова Е.А., Романова Т.Ю., Полякова Е.В. Критерии отбора аутентичных видеофильмов при обучении иностранных учащихся устной разговорной речи на продвинутом этапе обучения // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Филологические науки*. 2017. Т. 3 (69). С. 66–78.

УДК 37.03:378.1

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРЕАТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ

Крутова О.В., Крутова И.А.

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени Н.В. Татищева», Астрахань,
e-mail: okrutova007@yandex.ru, irinkrutova@yandex.ru*

В статье обоснована потребность специального формирования креативного технического мышления личности как средства для подготовки востребованных кадров в условиях Четвертой промышленной революции, способных обеспечить технологический суверенитет страны. Сформулировано определение понятия «формирование креативного технического мышления» как целенаправленная, контролируемая и диагностируемая педагогическая деятельность, формирующая практическую подготовленность и личностные качества к рационализаторской и изобретательской деятельности в ходе создания материальных объектов с признаками субъективной новизны и полезности. Описаны инновационные образовательные стратегии и технологии, позволяющие подготовить обучающихся к реализации всех этапов инженерной деятельности – от целеполагания и планирования до создания конечного практически значимого продукта, такие как проектное обучение, STEM-технология и метод управляемых открытий. Внедрение данных стратегий предложено через реализацию новых видов и формы организации занятий, таких как проектные коворкинги, инженерные практикумы и публичная защита созданного технико-технологического продукта. Рассмотрено содержание образовательной программы по робототехнике, ориентированной на создание ситуаций поиска решения конструкторских задач и на обучение конструированию и объектно-ориентированному программированию. В процессе выполнения проектного задания у обучающихся формируются базовые конструкторские навыки, умение выстраивать логическую структуру управляющей механизм программы, проектировать и создавать конечный продукт. Специально организованный учебный процесс способствует формированию личностных качеств – умения работать в команде, формулировать, оценивать и отстаивать собственные идеи, рефлексировать собственную деятельность. Приведены примеры некоторых моделей роботов, созданных проектантами.

Ключевые слова: приоритетные направления, креативное мышление, проектное обучение, STEM-технология, метод управляемых открытий, робототехника

METHODS OF LEARNING CREATIVE TECHNICAL THINKING OF THE PERSONALITY

Krutova O.V., Krutova I.A.

*Astrakhan State University named after N.V. Tatishchev, Astrakhan,
e-mail: okrutova007@yandex.ru, irinkrutova@yandex.ru*

The article substantiates the necessity of special formation of creative technical thinking of an individual as a means to train in-demand personnel in the conditions of the Fourth Industrial Revolution, capable of ensuring the technological sovereignty of the country. The article defines the notion of “creative technical thinking formation” as a purposeful, controlled and diagnosed pedagogical activity shaping the practical readiness and personal qualities for rationalisation and invention activities in the process of creating material objects with subjective novelty and usefulness features. Innovative educational strategies and technologies have been described to prepare students to implement all stages of engineering activities from goal-setting and planning to the creation of a final practically significant product, such as project-based learning, STEM-technology and method of guided discoveries. The implementation of these strategies is proposed through the implementation of new types and forms of classes organisation, such as project-based co-working, engineering workshops and public defence of the created technical-technological product. The content of the robotics educational programme on creating problem-solving situations and teaching design and object-oriented programming is reviewed. The project assignment provides students with basic design skills, the ability to build the logical structure of the programme control mechanism, to design and create the final product. The specially organised learning process contributes to the formation of personal qualities – the ability to work in a team, to formulate, evaluate and defend one’s own ideas, to reflect on one’s own activities. Examples of some robot models created by the designers are given.

Keywords: Priority areas, creative thinking, project-based learning, STEM technology, guided discovery method, robotics

Четвертая промышленная революция в России ориентирована на развитие тех отраслей науки, производства и технологий, которые обеспечат конкурентоспособность страны в мировой экономике по приоритетным направлениям. С целью подготовки будущих инженеров, ученых, IT-специалистов к работе в передовых наукоемких отраслях и перспективных направлениях по всей стране создается сеть образовательных учреждений дополнитель-

ного образования (региональные школьные технопарки, «Кванториумы», «Точки роста», Центры технологической поддержки образования); программы технической направленности реализуются в общеобразовательных школах, колледжах, вузах. На прошедшем в феврале 2023 года Совете ректоров вузов актуализирована проблема создания научно-технических бюро, направленных на подготовку молодежи к созданию новых киберфизических объектов

и систем. На территории данных площадок подрастающее поколение приобретает опыт в области робототехники, компьютерного программирования, 3D-моделирования, познает основы инженерной деятельности, учится разрабатывать стратегию решения производственных задач и проектных технических заданий.

Региональная особенность технологических программ и проектов обусловлена экономическими потребностями того или иного региона. Так, например, Каспийский регион является важным звеном транспортно-логистического канала Север-Юг, здесь осуществляются добыча полезных ископаемых и освоение биоресурсов. Поэтому при обучении школьников и студентов актуальными являются изучение физических основ работы и конструирование роботов-погрузчиков, роботов-перевозчиков, беспилотных транспортных средств, складских систем учета и распределения грузов, систем управления движением транспортных потоков, систем слежения за объектами, роботизированных буровых установок, нефтяных вышек, танкеров и т.п. [1].

Помимо значимости самих конечных продуктов, получаемых в процессе создания роботов, важным является образовательный процесс, направленный на их разработку, как способствующий формированию у личности креативного мышления. Понятие «креативное мышление» трактуется как «способность продуктивно участвовать в процессе выработки, оценки и совершенствовании идей, направленных на получение инновационных и эффективных решений» [2]. На основании мнений ученых по определению терминов «креативное мышление», «техническое творчество», «изобретательская деятельность» сформулировано следующее понимание понятия «формирование креативного технического мышления» как целенаправленная, контролируемая и диагностируемая педагогическая деятельность, формирующая практическую подготовленность и личностные качества к рационализаторской и изобретательской деятельности в ходе создания материальных объектов с признаками субъективной новизны и полезности.

Цель исследования состоит в разработке и реализации методов формирования креативного мышления личности в процессе реализации образовательного процесса по программе образовательной робототехники.

Материалы и методы исследования

В качестве методологической основы внедрения модели формирования креатив-

ного мышления реализован деятельностный подход в обучении, предполагающий, что все знания, умения и навыки человек приобретает в процессе собственной деятельности [3]. Это требует коренного изменения, перестройки всего учебного процесса по обучению продуктивной деятельности, отказа от традиционных форм организации образовательного процесса в виде классно-урочной системы и перехода к внедрению инновационных образовательных стратегий и технологий. К ним, прежде всего, относятся проектное обучение, STEM-технология и метод управляемых открытий. Данные стратегии определили новые виды и формы организации занятий, такие как проектные коворкинги, инженерные практикумы и публичная защита созданного технико-технологического продукта.

Результаты исследования и их обсуждение

Проектное обучение является эффективным инструментом решения актуальных проблем естественно-научного и технического образования, позволяющим сформировать у обучающихся умения применять научные знания для создания новых практически значимых продуктов. В образовательных системах европейских стран, а также Китая, США и Австралии имеется положительный опыт внедрения данного метода в обучение как школьников, так и студентов [4].

Проектная деятельность внедрена через использование методик, направленных на побуждение обучающихся к самостоятельному выявлению этапов деятельности, таких как целеполагание, планирование, установление правил, алгоритмов, закономерностей и осуществление деятельности по выполнению проектного задания [5]. Функция педагога-ментора заключается в том, чтобы в нужный момент вербально и в знаках оформить сделанное будущим ученым «открытие». Роль современного педагога как наставника должна быть «в большей мере сосредоточена на наиболее сложных моментах организации, осуществления и рефлексии образовательного процесса» [6, с. 39].

Для достижения цели проекта в заданное время целесообразно использовать метод управляемых открытий, который позволяет сделать процесс работы над проектом активным и саморегулируемым. В процессе обучения человек не только самостоятельно создает конечный продукт, но и усваивает метод его создания [7]. В процессе создания технического объекта ученики осваи-

вают способы выполнения следующих видов деятельности:

- 1) формулирование цели проектного задания;
- 2) выделение идеи достижения цели;
- 3) проектирование, создание прототипа, прообраза предполагаемого объекта;
- 4) разработка программы преобразования прототипа в реальный объект;
- 5) реализация программы преобразования прототипа в реальный объект;
- 6) установление соответствия свойств полученного объекта заданным в цели.

Образовательная среда, в которую погружаются проектанты, максимально схожа с обстановкой высокотехнологичных компаний, научных центров и конструкторских бюро. Процесс работы обучающихся над проектом уподобляется работе реальных специалистов. Перед ними ставится цель по созданию практически значимого продукта, достичь которую необходимо в определенные сроки, в соответствии с критериями оценки создаваемого продукта. Организованная таким способом проектная работа позволяет развить у обучающихся когнитивные способности, ориентирует на самообучение, позволяет им оценить свои слабые и сильные стороны, знания и способности, что в конечном итоге формирует креативное техническое мышление. Итоговое оценивание воплощенного в жизнь проекта происходит на публичной защите, где презентующий доказывает «жизнеспособность» собственных проектов. Это способствует формированию у соискателя умений отстаивать свою точку зрения, оппонировать, давать оценку разработке других участников, рефлексировать собственную деятельность.

Образовательная робототехника – это эффективный инструмент развития инженерного творчества, закладывающий основы системного мышления посредством интеграции математики, физики, технологии, черчения, информатики. При этом в сознании учащихся возникает четкая связь между вышеуказанными предметами, появляется понимание необходимости и смысла обучения и важности инновационных решений и идей. Образовательные технологии, применяемые при преподавании робототехники, способствуют овладению учащимися универсальными учебными действиями, а сам предмет является мотивирующим аспектом, будучи достаточно интересной, современной интегративной наукой. Наиболее узнаваемой образовательной технологией, в ходе реализации которой активно используются робототехнические образовательные решения, представляется

STEM-технология. STEM-технология подразумевает получение учащимися интегрированных знаний в области естественных наук с развитием способностей применять знания на практике. Освоение обучающимися программ обучения робототехники создает предпосылки для формирования инженерных кадров, которые затем составят научный и технический потенциал страны.

На данный момент существует множество робототехнических конструкторов, выпущенных разными производителями из разных стран мира. Образовательные решения Lego являются самыми развитыми и проработанными на данный момент. Помимо самих конструкторов, образовательные решения Lego включают комплексы инструкций и справочники, которые находятся в свободном доступе в Интернете [8]. Однако при подробном описании пошаговой сборки той или иной модели робота в данных материалах отсутствуют описания образовательной программы для конкретной возрастной группы обучающихся и педагогических технологий, направленных на формирование креативного технического мышления в процессе занятий робототехникой.

В итоге на сегодняшний день существует достаточное количество дидактического материала, который в полной мере отвечает на вопрос «чему учить». При этом без ответа остается вопрос «как учить». Поэтому можно найти достаточное количество подтверждений тому, что робототехника активно внедряется в образовательный процесс, но лишь единичные авторы говорят об эффективности такого внедрения и конкретных образовательных результатах, которые оно дает [9].

Большинство публикаций, демонстрирующих успешное применение программ обучения робототехнике, дают понять, что сам курс может очень сильно варьироваться, а степень успешности напрямую зависит от роли учителя, грамотной организации принципов деятельностного обучения. Взаимодействие преподавателя и учащегося должно носить характер сотрудничества, учащиеся должны проявлять собственный интерес в выдвижении идей по постройке собственных конструкций, только в таком случае будет достигнута максимальная эффективность образовательного процесса. Взаимодействие учащегося и преподавателя будет эффективным в случае максимального участия педагога в процессе работы над проектом. Взрослый должен проявлять такой же интерес к конструктору и работе с ним, как и дети, традиционный «инструкционный» подход неприменим, иначе

учащиеся начинают работать с конструктором отдельно от преподавателя, лишь со сверстниками или вовсе теряют интерес к работе.

Разработанная и внедренная в образовательный процесс дополнительная программа «Основы робототехники» ориентирована на создание ситуаций поиска решения конструкторских задач, а также на обучение объектно-ориентированному программированию. Программа формирует базовые конструкторские навыки, умение выстраивать логическую структуру управляющей механизмом программы, способствует формированию умения работать в команде, формулировать, оценивать и отстаивать собственные идеи. Дальнейшее освоение конструктора в купе с расширенным набором делает возможным создание серьезных проектов, развитие самостоятельного технического творчества и участие в робототехнических соревнованиях. Актуальность программы продиктована высокими темпами развития и внедрения робототехнических технологий во все сферы деятельности человека. Педагогическая целесообразность настоящей программы заключается в развитии созидательных способностей, научного мировоззрения и креативного технического мышления. Методическое сопровождение программы соблюдает современные требования к формам и методам образования, построенным на принципах взаимообучения, постановки проблемных задач и проектного обучения, что является ее отличительной особенностью.

В ходе реализации программы обучающиеся выполняют самостоятельные работы по программированию роботов на заданные цели и усовершенствованию их конструкции. Содержание программы направлено на поэтапное формирование знаний и умений, способствующих освоению способов управления роботами с применением специальных модулей и датчиков («звук модуля», «индикатор состояния», «экран модуля», «кнопки управления модулем», «большой мотор», «средний мотор», «датчик касания», «датчик цвета», «датчик гироскопа», «датчик расстояния»). Далее учащиеся осваивают способы программирования платформы на движение по заданной траектории с выполнением определенных команд («перемещение по прямой», «разворот в заданном направлении», «независимое управление», «движение по кривой», «остановиться у линии», «остановиться у объекта», «многозадачность», «остановиться под углом»). На занятиях по теме «Инженерная лаборатория» учащиеся осваивают

деятельность по сборке и испытанию моделей и прототипов роботов (робот с конической передачей, платформа, поднимающаяся по наклонной плоскости, и др.). После освоения базовых навыков учащиеся переходят к самостоятельному проектированию и сборке различных технических объектов (устройство, создающее звуковые эффекты, система сигнализации, аниматронная рука, поднимающая и перемещающая груз, и др.). В процессе испытания осуществляется устранение недостатков конструкции и управляющей программы.

По окончании программы необходимо выполнить проектную работу и защитить ее с демонстрацией законченного устройства с определенными технологическими и качественными характеристиками. На рисунках 1 и 2 приведены созданные обучающимися модели роботов. Первый робот способен двигаться по заданной траектории; второй – выполняет функции влажной уборки поверхности пола.



Рис. 1. Испытание робота, движущегося по заданной траектории



Рис. 2. Испытание робота-уборщика

В ходе выполнения простейших робототехнических проектов обучающиеся осваивают виды деятельности, которые являются ключевыми для любого ученого-исследователя, изобретателя или инженера. При переходе на уровень профессионального образования увеличивается сложность проектных заданий. Качество освоения проектно-исследовательских, конструкторских и технологических компетенций обеспечивается внедрением кейс-технологий. Этот метод обучения погружает проектантов в реальные ситуации, которые необходимо исследовать и предложить возможные решения для решения реальных производственных проблем. Например, для обеспечения навигации мобильных роботов в условиях склада студентами было предложено применить особую конструкцию несущей платформы на базе всенаправленных колес и систему навигации, использующую компьютерное зрение [10].

Заключение

Образовательная робототехника – эффективный инструмент повышения мотивации, развития интеллектуальных способностей и расширения кругозора молодежи. Важным аспектом обучения робототехнике является то, что обучающиеся приобретают важнейшие в современном мире навыки творческой работы и исследовательской деятельности. Они приобретают умения пошагового решения задач, выработки гипотез и анализа результатов, применения знаний физики, информатики и математики для создания практически значимых продуктов. Для обучения данным умениям была разработана и внедрена дополнительная программа «Основы робототехники». Программа состоит из небольших блоков, помимо основного блока «Приводная платформа», включает модули «Инженерная лаборатория», «Мозговой штурм», методическое сопровождение которых тщательно проработано и систематизировано. Освоение программы носит практический характер, ключевыми развиваемыми навыками являются способность самостоятельного конструирования с использованием конструктора, способность к построению логических цепочек управляющей про-

граммы, решению технических задач и получение навыков технического творчества. Главными задачами реализации программы представляются развитие креативного технического мышления подрастающего поколения и формирование будущего кадрового потенциала региона и страны.

Список литературы

1. Прояненко Л.А., Фролов С.С., Шиповская С.В. Дополнительное образование и подготовка учителя физики в современных реалиях // Конвергенция современных образовательных политик для решения проблем Каспийского региона: сборник трудов Международной научно-практической конференции. (Астрахань, 21–22 апреля 2022 года). Астрахань: Астраханский государственный университет, 2022. С. 151–156.
2. Авдеев Н.А., Демидова М.Ю. Основные подходы к оценке креативного мышления в рамках проекта «Мониторинг формирования функциональной грамотности» // Отечественная и зарубежная педагогика. 2019. № 4 (61). С. 125–145.
3. Тальзина Н.Ф. Деятельностная теория обучения как основа подготовки специалистов // Вестник Московского университета: Педагогическое образование. 2009. № 3. С. 17–30.
4. Pounds P.E.I. Teaching mechatronics with tuned problem-based projects. Australasian Journal of Engineering Education. 2015. V. 20. No.1. P. 41–58. DOI: 10.7158/D14-002.2015.20.1.
5. Krutova I., Stefanova G., Dergunova O., Ismukhambetova A. Training University Students for the Development of Innovative Products and Technologies. AIP Conference Proceedings. 2022. V. 2647. P. 020021. DOI: 10.1063/5.0104625.
6. Малиничев Д.М., Арпентьева М.Р. Инновационные тренды цифровизации высшего образования: нейротехнологии и роботы в образовательном диалоге // Информационное общество. 2022. № 5. С. 35–42. DOI: 10.52605/16059921_2022_05_35.
7. Дергунова О.Ю., Крутова И.А., Фисенко М.А., Исмухамбетова А.С. Формирование технико-конструкторской компетентности будущего учителя физики // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 12-2. С. 306–311. DOI: 10.17513/snt.39477.
7. Инструкции LEGO Mindstorms NXT/EV3. [Электронный ресурс]. URL: https://smartep.ru/index.php?page=lego_mindstorms_instructions#p2 (дата обращения: 15.02.2023).
8. Dobriborsci D., Bazylev D., Margun A. Teaching students the basics of control theory using NI ELVIS II. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2017. V. 75. P. 420–427. DOI: 10.1007/978-3-319-59451-4_42.
9. Абушкин Х.Х., Дадонова А.В. Межпредметные связи в робототехнике как средство формирования ключевых компетенций учащихся // Учебный эксперимент в образовании. 2014. № 3(71). С. 32–35.
10. Тамков П.И., Гладышев М.Д. Складской мобильный робот // Каспий и глобальные вызовы: материалы Международной научно-практической конференции (Астрахань, 23–24 мая 2022 года). Астрахань: Астраханский государственный университет, 2022. С. 726–732.

УДК 37.014.3

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГРУЗИНСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ОБ ОБЩЕМ ОБРАЗОВАНИИ

Маркова О.В.

ГБОУК ВО «Волгоградский государственный институт искусств и культуры», Волгоград,
e-mail: daly70@mail.ru

В 1991 г. в результате референдума Грузия вышла из состава Советского Союза и получила независимость. Государственная политика в области образования определила стратегию приоритетного развития национальной системы образования. Роль образования определялась задачами построения демократического общества, правового государства, рыночной экономики. Предстоящие образовательные реформы должны были преодолеть имеющееся отставание уровня национального образования от мировых тенденций развития образовательной сферы. Основу реформирования общего образования составят принятые законодательные акты, регулирующие отношения в образовательной сфере и выступающие в качестве инструментов национальной образовательной политики. Данная статья – это авторский взгляд на развитие нормативно-законодательных и правовых аспектов грузинского законодательства об общем образовании, начиная с обретения Грузией независимости и до современного этапа. Цель исследования – выявить особенности развития законодательства Грузии в области общего образования в период образовательных реформ. Научная новизна исследования заключается в определении взаимосвязи модернизации образовательного законодательства на примере Закона «Об общем образовании Грузии» с социально-политической практикой, современными запросами общества, экономическими условиями и международными обязательствами в сфере образования. В статье представлены рассуждения, позволяющие в динамическом контексте проанализировать действующее законодательство в системе общего образования Грузии, основные тенденции и проблемы.

Ключевые слова: закон об общем образовании в Грузии, реформа образования, развитие образования в Грузии, общее образование в Грузии, система образования, страны постсоветского пространства, образовательная политика, реформа школьного образования

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF GEORGIAN LEGISLATION ON GENERAL EDUCATION

Markova O.V.

Volgograd State Institute of Arts and Culture, Volgograd, e-mail: daly70@mail.ru

In 1991, as a result of a referendum, Georgia seceded from the Soviet Union and gained independence. The State policy in the field of education has determined the strategy of priority development of the national education system. The role of education was determined by the tasks of building a democratic society, a rule of law, and a market economy. The upcoming educational reforms were supposed to overcome the existing lag in the level of national education from the global trends in the development of the educational sphere. The basis for the reform of general education will be the adopted legislative acts regulating relations in the educational sphere and acting as instruments of national educational policy. This article is the author's view on the development of regulatory, legislative and legal aspects of Georgian legislation on general education, starting from the moment of Georgia's independence and up to the present stage. The purpose of the study is to identify the peculiarities of the development of Georgian legislation in the field of general education during the educational reforms. The scientific novelty of the study is to determine the relationship between the modernization of educational legislation on the example of the Law "On General Education of Georgia" with socio-political practice, modern demands of society, economic conditions and international obligations in the field of education. The article presents arguments that allow analyzing the current legislation in the general education system of Georgia, the main trends and problems in a dynamic context.

Keywords: law on general education in Georgia, education reform, development of education in Georgia, general education in Georgia, education system, post-Soviet countries, educational policy, school education reform

Геополитические, социально-экономические последствия распада СССР как единого государства и обретение независимости Грузии в 1991 г. сопровождалось комплексом проблем, среди которых поиск национальной идентичности, пути формирования государства и нормативно-правовое обеспечение образовательной деятельности. За годы построения демократического общества в Грузии происходит динамичное развитие общественных отношений в сфере образования, рост подзаконного правотворчества и, как результат, внесение многочисленных изменений и дополнений в закон «Об общем образовании». В этой связи объ-

ективные исследования различных аспектов правового регулирования образовательных отношений, опыт реформирования законодательства Грузии на уровне образовательной политики представляется весьма актуальным для многих регионов, в том числе бывших советских республик в разрезе возможного правоприменения полученных результатов. Цель исследования – выявить особенности развития законодательства Грузии в области общего образования в период образовательных реформ на примере закона Грузии «Об общем образовании» от 08.04.2005 (далее – закон). Результаты исследований правовых отношений и го-

сударственной политики Грузии в области образования воплощены в научных трудах Д. Китиашвили [1], К.С. Гаджиева [2]. Особенности трансформации национальных образовательных систем на современном этапе характеризуют исследования ученых С.В. Ивановой [3], Т.Э. Мариносян [4]. Научная новизна работы состоит в попытке охарактеризовать особенности правовых условий реформирования грузинской системы общего образования и выявить взаимосвязь модернизации законодательства в сфере образования с современными запросами общества, потребностями инновационной экономики и международными обязательствами.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу исследования составляет системный подход, в рамках которого образование и управление им рассматриваются как системы, включающие в себя элементы и связи между ними. В процессе исследования автор также использовал концептуальный анализ комплекса документов: Конституция Грузии, закон Грузии «Об общем образовании», нормативно-правовые акты в области образования Республики Грузия, материалы публичных выступлений грузинских политических деятелей.

Результаты исследования и их обсуждение

С первых дней независимой республики образование было включено в число национальных приоритетов Грузии. На переходном этапе правительство пересматривает государственные цели школьного образования и ясно указывает на отход от советского образования. Это положило начало масштабной реформе образования. Коренное преобразование национальной системы образования в 1990-е гг. должно было привести ее в соответствие с тенденциями развития страны, сделать систему образования гибкой и ориентированной на качественные образовательные результаты. Темп преобразований в системе образования требовал адекватных мер и оперативного упорядочения образовательной правовой базы. Однако в начале 1990-х гг. при всем стремлении Грузии к переменам еще сильно было влияние союзного законодательства. По мнению С.В. Ивановой, «это объясняется наличием жесткой иерархически выстроенной и хорошо структурированной системы, которая существовала и развивалась более 70 лет» [3, с. 6]. Перед Правительством Грузии стояла задача построить собственную законодательную базу, регулируюшую

общественные отношения в сфере образования. Среди конституционно-правовых норм устройства Республики Грузии право на образование получило закрепление в статье 27 Конституции Грузии как важнейшее право личности в современном демократическом устройстве общества [5]. Помимо Конституции, в июне 1997 г. Правительством Грузии был подписан закон «Об образовании», направленный на достижение национальной системой образования качественно нового уровня, укрепление институционального потенциала и мобилизации государственных, частных ресурсов. В документе были отражены новые цели образования, содержание образования, методика преподавания, установлены полномочия субъектов образовательных процессов. Обратимся к основным положениям закона 1997 г., действующего вплоть до 2005 г. Среди принципов образовательной политики особенно выделялся принцип гуманизации, провозглашающий идеи гармонически духовного и физического воспитания, педагогики сотрудничества, отказа от прежних устаревших отношений в отрасли. Вопросы устройства и структуры системы управления образованием были обозначены базовыми невзаимозаменяемыми компонентами, которые можно соотнести с тремя подсистемами – содержательной, функциональной и организационно-управленческой:

- 1) государственные образовательные стандарты и образовательные программы;
- 2) образовательные и научно-исследовательские заведения;
- 3) органы управления образованием.

Все три подсистемы решают задачу формирования единого образовательного пространства на всей территории, с понятными требованиями к учреждениям и исполнителям образовательного процесса, с минимальным набором установок к содержанию образования, прописанного в отраслевых стандартах и программах. Закон интегрировал в себе как общие положения, так и положения, регулирующие отношения в отдельных подсистемах образования Грузии. Программа общего образования охватывала начальную, базовую и среднюю общеобразовательные программы. В законе провозглашалась обязательность начального образования, продолжительность которого составляла шесть лет. Кроме этого, государство брало ответственность обеспечивать за свой счет «обучение ремеслу лиц, получивших только начальное общее образование и не достигших 18-летнего возраста» [6].

Для последующих институциональных и структурных преобразований в области образовательных услуг в 1997 г. Министер-

ство образования и науки разработало «Программу по перестройке и укреплению образования», включенную в закон. Ее исполнение фактически началось в 2001 г., когда программа была профинансирована за счет кредита Всемирного банка (45 млн долл. США) сроком на 12 лет. Основные направления этого документа предусматривали профессиональное развитие учителей, разработку профессиональных стандартов и регламентов оценки национальной образовательной инфраструктуры. Образовательная инфраструктура, организационно-управленческая подсистема является наиболее сложным из элементов системы образования. В этой связи особенностью закона является наличие правовых норм, закрепляющих понятие и правовой статус школьного округа как среднего звена управления образованием. Округ наделялся правами лицензирования учебной деятельности, аттестации и аккредитации просветительских учреждений. Статус педагога образовательного учреждения определялся практически так же, как и в других государствах. К нему предъявлялись требования иметь высшее педагогическое образование и своевременно проходить аттестацию. Отметим, что в это же время начинается модификация уровней общего образования. Был издан приказ (Приказ Министра образования Республики Грузия № 312 от 08.05.1996) об этапах перехода на 12-летнее образование в средних школах. Инициатива органично адаптировала выпускников грузинских общеобразовательных учреждений к контексту развитых стран и качественно сближала их с мировым образовательным пространством. Завершился этот переход на повсеместное 12-летнее обучение в грузинских школах в 2008 г. Среди особенностей Закона следует назвать закрепление в статье 13 понятия нетипичного образования, создание нетипичных (авторских) образовательных учреждений, в которых осуществляется «научно-педагогическая, творческая деятельность, внедряются научно обоснованные педагогические инновации, происходит интенсивное обучение» [6]. Начальное образование для несовершеннолетних провозглашалось обязательным и финансировалось за счет государства, а основное, среднее и высшее образование обеспечивалось за свой счет. Таким образом, в период своего действия закон 1997 г. адаптировал образовательную систему к новым экономическим реалиям, создал условия для самостоятельности учреждений и появления авторских образовательных методик. Однако многие инициативы реализовать не удалось, практика дальнейших его по-

правок исчерпала допустимый ресурс, и документ перестал отвечать требованиям времени. Новый закон Грузии «Об общем образовании» был подписан 8 апреля 2005 г. (далее – закон) [7]. В качестве основных целей государственной политики в сфере общего образования были заявлены: формирование свободной личности, обеспечение ее необходимыми знаниями, формирование гражданского сознания учащихся, содействие осознанию учащимися уважения к культурным ценностям, правам и обязанностям перед семьей, обществом, государством. Внося изменения в основной закон об образовании, законодатели обеспечили доступность получения общего образования. Вторая глава закона гарантирует основные права и свободы учащихся, родителей и учителей. К национальным особенностям этого раздела следует отнести норму о праве школы на недискриминационное ограничение права и свободы посторонних лиц в учебное время. Важно отметить, что при спорах о законности введения ограничений доказывание должно осуществляться стороной, по чьей инициативе они были введены. Статья 14 гарантирует «свободу выражения», т.е. получение и распространение любой информации, привлечение добровольных пожертвований, свободное высказывание мнений участниками образовательного процесса. Среди широких гарантий личной свободы особый интерес вызывают нормы, посвященные взаимоотношениям школы и религиозных организаций. Статья 18 провозглашает свободу вероисповедания, что предполагает право на выбор убеждений и запрет на требования совершения действий, противоречащих убеждениям. Следует обратить внимание на разрешительную, а не запретительную формулировку нормы, например учащиеся в праве в свободное от школы время добровольно изучать религию или совершать религиозный ритуал, если это служит получению религиозного образования. Согласно положениям нового закона в Грузии общее образование имеет три ступени: начальную (6 лет), базовую (3 года) и среднюю (3 года). Полное общее образование на сегодня в Грузии составляет 12 лет. Особое внимание в законе уделено созданию комплексной системы безопасности образовательного учреждения, способной предотвратить любое нанесение ущерба учащемуся и образовательной деятельности, обеспечить их эффективную защиту. Грузия включила в свое образовательное законодательство отдельную норму о дисциплине (статья 19) в широком смысле этого слова, подразумевающая дисциплину школьную. Она предполагает разумность, обоснованность и сораз-

мерность требований и наказаний, виды и порядок наложения которых определяется школой самостоятельно. При этом обязанностью школы является разъяснение учащемуся или учителю сути совершенного им дисциплинарного проступка. В целях поддержания дисциплины учащихся, педагогов и контроля учреждений норма устанавливает полномочия института школьных приставов (мандатури), включая личный допрос, дисциплинарное преследование. Мандатури – это государственные служащие, в обязанность которых входит следить за порядком в учебных заведениях, за соблюдением этических и правовых норм. Глава четвертая закона определяет систему управления образованием, перечисляет полномочия Парламента Грузии, Правительства Грузии, Министерства образования и науки, местных органов власти, а также образовательных учреждений. Нельзя не отметить подробное описание в законе правового статуса участников образовательного процесса, особенно учителей. С целью подготовки квалифицированных кадров, повышения компетентности учителя, его профессионального развития, повышения качества обучения и преподавания правительство утвердило «Схему начала деятельности, профессионального развития и карьерного роста учителя» (далее – схема). Данный порядок, основанный на профессиональном стандарте образовательной деятельности, предусматривает появление регламентированной обязанности учета и активации учителей в госреестре, а также выделяет в правовом статусе учителя восемь видов должностных позиций. В схеме определены: порядок начала деятельности учителя, порядок объявления вакансии на должность учителя и проведение конкурса в публичной школе, критерии оценки деятельности, порядок ведения электронной системы оценки учителя (рейтинг) и др. Руководит оценкой труда учителя специальная государственная комиссия. В этих же целях была создана информационная система управления образованием, в задачи которой входит информационно-аналитическая и учетная деятельность. Решение остальных операционных вопросов развития образования Закон возлагает на органы местного самоуправления. Законодательная норма четко определяет правовые основания деятельности общеобразовательного учреждения, которое проходит две стадии формирования своего статуса – авторизацию и аккредитацию ресурсами Национального центра развития качества образования. Важно отметить особенности управления образовательным учреждением в Гру-

зии. Структура менеджмента школы в Грузии включает педагогический совет, попечительский совет, дирекцию, самоуправление учащихся и дисциплинарный комитет (мандатури). В целях обжалования решений дисциплинарного комитета уставом может предусматриваться апелляционный комитет. Не менее трех раз в год в школе должен собираться попечительский совет, в функции которого входят выборы директора, утверждение бюджета, локальных нормативных актов, определяющих деятельность учреждения. Совет имеет большие полномочия при разборе конфликтов. В законе предусматривается как назначение, так и избрание директора образовательного учреждения. При этом в одной школе директор может работать не более двух сроков по шесть лет и не может совмещать свою должность с любой другой оплачиваемой деятельностью. Участие в конкурсе на должность директора при выборной форме – платное. Победителя конкурса регистрируют в информационной системе управления образованием, а попечительский совет заключает с ним трудовой договор. Надзор за исполнением общеобразовательным учреждением требований национального законодательства осуществляет Министерство образования и науки Грузии. В случае выявления крупных нарушений министерство ходатайствует перед попечительским советом школы о досрочном прекращении полномочий директора. Министерство правомочно также распускать попечительский совет, если в публичной школе ввиду его деятельности нарушается законодательство, а также досрочно прекращать полномочия директора, если публичная школа ввиду деятельности директора в течение одного года получит два письменных предупреждения или не проведет работу по замечаниям. Законом предусматривается наличие педагогического совета, председатель которого избирается на три года. Что касается ученического самоуправления как структурной единицы школы, то его главная задача обозначена как обеспечение общественного порядка. Нормативы финансирования школ и объем государственной поддержки регулируются централизованно, в расчете на одного обучающегося. Правительство страны предоставляет Парламенту расчеты подушевого финансирования и координированную Министерством образования и науки «Схему начала деятельности, профессионального развития и карьерного роста учителя». Финансирование образования одного учащегося осуществляется в течение 12 лет по ваучерному принципу. Если за это время учащийся не освоил програм-

му, попечительский совет образовательного учреждения может выступить с инициативой продления срока финансирования до получения учащимся базового образования. Обращает на себя внимание, что проводимая в годы реформ языковая политика в отношении этнических меньшинств и русского языка была недостаточно эффективна для многонациональной Грузии. Согласно Конституции Грузии государственным языком Грузии является грузинский [5]. Если в советское время русский язык, как обязательный предмет в национальных школах Грузии, преподавался с третьего класса, то после распада СССР и до 2005 г. русский язык имел статус негосударственного языка, а с 2005 г. он имеет статус иностранного языка. Только в последние годы стали реализовываться государственные образовательные проекты, демонстрирующие понимание актуальности темы дальнейшего полиэтнического проживания и желание сохранить баланс между стремлением поднять статус государственного языка и учетом интересов остальных языков.

Заключение

Порядок и активы, поддерживающие ресурсное состояние системы образования, направления и тенденции, стимулирующие развитие образования в любом государстве, определяются образовательным законодательством. Таким образом, в генезисе образовательного законодательства постсоветских государств одновременно протекают две тенденции: первая – унификация законодательства в соответствии с мировыми стандартами, которая позволила выстраивать национальные системы образования на основе позитивного мирового опыта; и вторая – разумный учет имеющихся национальных традиций обучения и воспитания школьников [8, с. 10]. На всех этапах реформ процессы гуманизации образования, демократизации общественной жизни, интеграции в мировое образовательное пространство проходили в русле разнообразных институциональных преобразований, надлежащего органичного законодательства. Безусловно, за эти годы в Грузии накоплен богатый организационный и правовой опыт развития национальной системы образования, который может

быть использован странами постсоветского пространства. Необходимость дальнейшей модернизации системы образования и развития образовательного законодательства обусловлены задачами преодоления отставания страны от мировых тенденций развития образования. Сегодня очевиден разрыв между качеством школьного образования и изменившимися запросами, интересами как общества, так и каждого субъекта образовательного процесса. Среди негативных факторов влияния на ситуацию автор выделяет потерю темпа законодательных преобразований и, как следствие, снижение эффективности правовых решений, отставание национальной образовательной системы, образовательной политики от потребностей времени и быстро меняющихся условий. Кроме того, необходимо знание конкретной зависимости между законодательными актами и порождаемыми ими результатами в процессе реформ. Другими словами, любой процесс связан с контролем результатов, в основе которых могут быть такие критерии, как оценка экономической эффективности, действенности, справедливости, инклюзивности и т.д.

Список литературы

1. Китиашвили Д. Реформа общего образования в Грузии (1991–2013): дис. ... докт. пед. наук. Тбилиси, 2016. 214 с.
2. Гаджиев К.С. Геополитика Кавказа. М.: Международные отношения, 2001. 462 с.
3. Иванова С.В. Об общих чертах образовательных систем стран на постсоветском пространстве // Отечественная и зарубежная педагогика. 2014. № 5 (20). С. 5–9.
4. Мариносян Т.Э., Елкина И.М. Особенности образовательных систем постсоветского пространства (серия научных трудов «Образование в странах постсоветского пространства: 25 лет поиска собственного пути» в 4-х т.). М.: Луч, 2018. Т. 2. 195 с.
5. Конституция Республики Грузия (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <https://matsne.gov.ge/ru/document/view/30346?publication=36> (дата обращения: 01.02.2022).
6. Закон Грузии об образовании от 27.06.1997 г. (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <https://hischool.jofa.me/433378.html> (дата обращения: 09.12.2022).
7. Закон Грузии от 08.04.2005 г. № 1330 «Об общем образовании» // Законодательный вестник Грузии. 2022. URL: <https://matsne.gov.ge/ru/document/view/29248?publication=90> (дата обращения: 20.05.2022).
8. Овчинников А.В. Генезис законодательства в области образования в странах постсоветского пространства // Пространство и Время. 2015. Т. 8. № 1. С. 10.

УДК 37.01:373.31

ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ

Рябова Е.В.*ФГБВОУ ВО "Академия гражданской защиты МЧС России", e-mail: elena5080@yandex.ru*

В статье представлен своеобразный взгляд на проблему развития координационных способностей младших школьников со стороны педагогической эргономики. Рассматривается реализация эргономической технологии в обучении младших школьников, включающая пять компонентов: цель, задачи, содержание, деятельность (формы, методы, средства, условия), результат. Проведен анализ научной литературы по исследованию сущности понятия «эргономическая технология». Уточнено понятие «эргономическая технология обучения». Особое внимание уделено эргономическим условиям обучения младших школьников, обеспечивающих качество их учебно-спортивной деятельности (психолого-педагогические условия, которые способствуют личностному и интеллектуальному развитию обучающихся; физиологические условия, обеспечивающие соответствие специального оборудования физиологическим свойствам младших школьников; здоровьесберегающие условия, направленные на сохранение здоровья детей и безопасность образовательной среды; условия дидактического эргодизайна, которые включают доступность и функциональный комфорт элементов образовательной среды и способствуют успешному усвоению образовательных программ). Определены критерии (правильность, быстрота, рациональность и находчивость) и уровни развития координационных способностей младших школьников (высокий, средний, низкий). Описан эксперимент по выявлению уровня развития координационных способностей младших школьников. Представлен сравнительный анализ констатирующего и формирующего этапов эксперимента, сделаны основные выводы.

Ключевые слова: эргономическая технология, младшие школьники, эргономические условия, развитие координационных способностей, обучение, здоровье, упражнения

ERGONOMIC TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF COORDINATION ABILITIES OF JUNIOR SCHOOLCHILDREN

Ryabova E. V.*Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
e-mail: elena5080@yandex.ru*

The article presents a peculiar view on the problem of the development of coordination abilities of junior schoolchildren from the side of pedagogical ergonomics. The implementation of ergonomic technology in teaching younger students is considered, which includes 5 components: goal, tasks, content, activity (forms, methods, means, conditions), result. The analysis of scientific literature on the study of the essence of the concept of «ergonomic technology» was carried out. The concept of «ergonomic learning technology» has been clarified. Particular attention is paid to the ergonomic conditions for teaching younger students that ensure the quality of their educational and sports activities (psychological and pedagogical conditions that contribute to the personal and intellectual development of students; physiological conditions ensure that special equipment meets the physiological properties of younger students; health-saving conditions aimed at maintaining the health of children and safety of the educational environment; didactic ergonomic design conditions, which include the accessibility and functional comfort of the elements of the educational environment and contribute to the successful assimilation of educational programs). Criteria (correctness, speed, rationality and resourcefulness) and levels of development of coordination abilities of junior schoolchildren (high, medium, low) are determined. An experiment to identify the level of development of coordination abilities of younger schoolchildren is described. A comparative analysis of the ascertaining and forming stages of the experiment is presented, the main conclusions are drawn.

Keywords: ergonomic technology, junior schoolchildren, development of coordination abilities, ergonomic conditions, education, health, exercises

Одним из приоритетных направлений государственной образовательной политики РФ является обеспечение оптимальных условий для сохранения и укрепления здоровья будущих поколений. Данная тенденция отражена в федеральном государственном образовательном стандарте начального общего образования (ФГОС НОО) [1], который определяет важность физического воспитания и развития обучающихся, организацию условий, обеспечивающих сохранение и профилактику здоровья младших школьников, создание эргономической насыщенной образовательной среды.

В последнее время наблюдается тенденция к ухудшению показателей физического развития, физической подготовленности, состояния здоровья подрастающего поколения, быстрого снижения двигательной активности детей 7–9 лет. В свою очередь, уровень развития основных двигательных координационных способностей у 20–40% учащихся начальной школы характеризуется как низкий, что непосредственно сказывается на состоянии их здоровья и физическом развитии.

Поиск новых технологий, с помощью которых можно улучшить общее состояние здоровья детей и научить их координиро-

вать свои движения, является актуальной задачей образования. Эргономические технологии выступают эффективным средством оптимизации учебно-спортивного процесса с учетом возрастных особенностей младших школьников и использования специальных физических упражнений для развития их координационных способностей.

В статье обоснованы целесообразность и авторское видение использования эргономической технологии в развитии координационных способностей младших школьников.

Материалы и методы исследования

Изучение научной литературы свидетельствует о сложности понятия «эргономическая технология» по отношению к педагогической деятельности, немногочисленности и узости трактовок данного понятия. При этом эргономическая технология рассматривается как дидактическая

система обучения (Р.С. Сафин [2]); инновационная технология, безопасная для здоровья труда, удобства и профессиональной активности личности (А.А. Шепелева, Н.И. Щелкунова, Л.М. Желяскова [3]).

На основе проведенного анализа нами уточнено понятие «эргономическая технология обучения», которая рассматривается как система функционирования взаимосвязанных компонентов (формы, методы, средства, условия) образовательного процесса, обеспечивающая качество учебной деятельности, индивидуальное развитие, сохранение, укрепление здоровья и безопасность учащихся.

В ходе научного исследования была предпринята попытка разработать эргономическую технологию развития координационных способностей младших школьников, имеющую пятикомпонентную структуру (табл. 1).

Таблица 1

Эргономическая технология развития координационных способностей младших школьников

| Структурные элементы эргономической технологии | Суть технологических элементов |
|--|---|
| 1. Цель | Развитие координационных способностей младших школьников |
| 2. Задачи | – определить координационные способности младших школьников; – выявить наиболее эффективные физические упражнения как средства развития координационных способностей младших школьников; – подобрать и проанализировать формы, средства, условия и методы развития и оценки координационных способностей младших школьников; – изучить уровень развития координационных способностей младших школьников посредством использования физических упражнений |
| 3. Содержание | Содержание отбирается в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом начального общего образования. ФГОС НОО включает в себя не только объем необходимой общеобразовательной подготовки, но и максимально допустимый объем учебной нагрузки по годам обучения. Эргономические требования в рамках государственного стандарта устанавливают основные нормы и правила, направленные на сохранение здоровья школьников в процессе их учебной деятельности. Под эргономическими требованиями мы определяем требования, которые предъявляются к образовательной среде в целях оптимизации деятельности субъектов процесса с учетом их социально-психологических, психофизиологических, психологических, антропологических, физиологических и других объективных характеристик и возможностей. В этом случае эргономические требования являются основой при отборе содержания образования, установления номенклатуры учебного оборудования, выборе эргономических требований к средствам обучения, мебели, приспособлениям, оргтехнике, при формировании предметной среды обучения |
| 4. Деятельность (формы, методы, средства, условия) | Формы: уроки, спортивные секции, коллективные и индивидуальные. Методы: специальные упражнения на развитие координационных умений, игра, наблюдение, метод экспертных оценок, аппаратные методы и метод тестов. Средства: средства компьютерной и видеотрансляции; звуколидер и светоллидер; специальные тренажерные устройства; технические устройства, автоматически регистрирующие параметры движений. Условия: психолого-педагогические, физиологические, здоровьесберегающие, условия дидактического эргодизайна |
| 5. Результат | Развитость координационных способностей младших школьников |

Отдельным элементом, который представляет особый интерес, являются эргономические условия:

– психолого-педагогические условия, которые способствуют личностному и интеллектуальному развитию обучающихся, через осуществление индивидуального подхода, стимулирование интереса и мотивации, создание ситуации успеха и ситуации выбора в процессе обучения;

– физиологические условия, обеспечивающие соответствие специального оборудования физиологическим свойствам младших школьников, их двигательным, силовым, скоростным, биомеханическим и энергетическим возможностям.

– здоровьесберегающие условия, направленные на сохранение здоровья детей и безопасность образовательной среды;

– условия дидактического эргодизайна, которые включают доступность и функциональный комфорт элементов образовательной среды и способствуют успешному усвоению образовательных программ [4].

При этом, рассматривая понятие «координационные способности», которое изначально использовалось для конкретизации представлений о физическом качестве ловкости, мы придерживаемся точки зрения В.М. Зациорского о том, что координационные способности – это способности человека к согласованию и соподчинению отдельных движений в единую, целостную двигательную деятельность, то есть умение быстро, точно, целесообразно, экономно и находчиво решать двигательные задачи [5].

Ю.И. Разинов [6] также подтверждает, что координационные способности выполняют важную функцию по увязке и систематизации различных двигательных движений в единое целое.

Мы согласны с В.И. Ляхом [7], который определил, что сензитивным периодом развития координационных способностей выступает возраст от 7 до 12 лет. При этом у девочек от 8 до 9 лет происходит в 5 раз больше таких периодов, чем, например, у девочек от 9 до 10 лет (в 4 раза больше) или от 13 до 14 лет. Надо отметить, что исследователь сравнил возрастно-половые особенности мальчиков и девочек при развитии координационных способностей.

Так, например, различия несущественны в проявлении способностей к восприятию, дифференцированию и к ориентированию в пространстве. Также было установлено, что в таких показателях развития координационных способностей, как абсолютные в метаниях на меткость попадания, в прыжках на точность, средние итоги

у мальчиков и девочек одинаковы или девочки имеют преимущество [7].

В свою очередь, К.С. Замашкин и С.Ю. Толстова называют младший школьный возраст «фундаментом» и «золотым возрастом» для быстрого развития координационных способностей и выполнения упражнений на координацию.

Данные ученые выделили показатели развития координационных способностей:

– быстро реагировать на различные сигналы, в частности на движущийся объект;

– точно и быстро выполнять двигательные действия за минимальный промежуток времени;

– дифференцировать пространственные временные и силовые параметры движения;

– приспосабливаться к изменяющимся ситуациям, к необычной постановке задачи;

– прогнозировать (предугадывать) положение движущегося предмета в нужный момент времени;

– ориентироваться во времени [8].

Координационные способности – это целый комплекс двигательных способностей, которые определяются временем освоения двигательных функций, умением преобразовывать двигательную активность при неожиданной смене обстоятельств.

Координационные способности традиционно делят на три группы.

К первой группе относятся способности, формирующиеся под влиянием факторов: пространство, время, динамика – т.е. умение обучающегося регулировать движения в пространстве, чувствовать временные и динамические показатели движения.

Ко второй группе – способности, определяющие умение младшего школьника чувствовать равновесие, поддерживать статическое положение тела и балансировать при движении.

Третья группа координационных способностей включает умение выполнять двигательные операции без избыточной напряженности мышц или скованности.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование проводилось в течение одного учебного года. В эксперименте приняли участие 20 учеников начальной школы (8–9 лет) с равным уровнем физической подготовки. 10 чел. в контрольной группе (КГ) и 10 чел. в экспериментальной группе (ЭГ).

Контрольная группа занималась по традиционной программе, а в экспериментальной группе была реализована эргономическая технология и применялся комплекс физических упражнений, направленный на развитие координационных способностей.

Таблица 2

Результаты тестирования экспериментальной и контрольной групп в начале и в конце эксперимента ($M \pm m$) при $p < 0,05$

| Тесты | Контрольная группа | | Экспериментальная группа | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | В начале | В конце | В начале | В конце |
| Бег змейкой, с | 8,6±1,3 | 8,4±1,0 | 8,3±0,6 | 8,0±0,8 |
| Челночный бег 3x10, с | 10,6±1,3 | 10,6±1,0 | 10,5±0,9 | 9,2±1,2 |
| Прыжки через скакалку, количество раз | 24±2 | 26±4 | 29±2 | 33±3 |
| Прыжки в длину с места, см | 137,8±1,2 | 139,6±1,4 | 141,2±0,8 | 143,4±1,6 |

Определение уровня развития координационных способностей младших школьников (высокий, средний, низкий) проводилось с помощью тестирования. В ходе исследования были использованы тесты В.И. Ляха [7]: «Бег змейкой», «Челночный бег 3x10», «Прыжки через скакалку», «Прыжки в длину с места».

Анализ научных исследований позволяет главными критериями оценки координационных способностей считать правильность, быстроту, рациональность и находчивость. Данные критерии проверялись во всех четырех тестах.

Сравнительный анализ констатирующего и формирующего этапов эксперимента показал увеличение уровня развития координационных способностей младших школьников в экспериментальной группе (табл. 2).

Результаты контрольной группы остались прежними. Полученное эмпирическое значение t-критерия находится в зоне незначимости. Наибольшее количество человек с высоким уровнем в контрольной группе наблюдается в тесте «Бег змейкой», со средним уровнем в тестах «Прыжки через скакалку» и «Прыжки в длину с места», и с низким – «Челночный бег 3x10».

Показатели в экспериментальной группе возросли. Полученное эмпирическое значение t-критерия находится в зоне значимости. В ЭГ наибольшее количество человек с высоким уровнем наблюдается в тестах «Челночный бег 3x10», «Прыжки через скакалку», со средним уровнем в тесте «Бег змейкой» и с низким – «Прыжки в длину с места».

При сравнении результатов тестирования контрольной и экспериментальной групп после экспериментальной работы по t-критерию достоверность различий была выявлена во всех четырех тестах.

Полученные результаты контрольной и экспериментальной групп свидетельствуют о том, что увеличение показателей

произошло в экспериментальной группе. Выявлено достоверное ($p < 0,05$) различие показателей между группами в конце эксперимента с преимуществом в экспериментальной группе.

Заключение

Результаты педагогического эксперимента показали целесообразность применения эргономической технологии в образовательном процессе как средства развития координационных способностей у младших школьников. Проведенный нами сравнительный анализ результатов развития координационных способностей у младших школьников в разных условиях (с применением эргономической технологии и без ее реализации) показал необходимость учитывать влияние таких факторов, как совершенствование физического воспитания школьников в реалиях современного образования, рассмотрение гендерных особенностей детей, использование новых технологий в развитии их координационных способностей и др.

Реализация эргономической технологии в обучении младших школьников способствует совершенствованию образовательного процесса, всестороннему развитию личности, ее координационных способностей, обеспечивает качественную подготовку подрастающего поколения в благоприятно-развивающей среде. В связи с этим благодаря эргономической технологии решается триединая задача: повышение эффективности деятельности по развитию координационных способностей, сохранение здоровья и качественное и всестороннее развитие личности.

Список литературы

1. Приказ Министерства просвещения РФ от 31 мая 2021 года № 286 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования». [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/400907193/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/#block_1000 (дата обращения: 11.05.2022).

2. Корчагин Е.А., Сафин Р.С. Основы педагогики и андрагогики. Казань: Издательство Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2017. 225 с.
3. Шепелева А.А., Щелкунова Н.И., Желяскова Л.М. Эргономические технологии и безопасная больничная среда // Успехи современного естествознания. 2005. № 11. С. 86–86.
4. Рябова Е.В. Формирование готовности студентов к созданию эргономических условий обучения младших школьников: дис. ... канд. пед. наук. Махачкала, 2013. 187 с.
5. Спортивная метрология / Под ред. В.Н. Зацiorsкого. М.: Физкультура и спорт, 1982. 256 с.
6. Разинов Ю.И. Координационные способности младших школьников // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2012. № 1. С. 268–272.
7. Искурин В.Б., Лях В.И. Координационные способности спортсменов. М.: Спорт, 2019. 208 с.
8. Замашкин К.С., Толстова С.Ю. Развитие координационных способностей у детей младшего школьного возраста // Успехи современного естествознания. 2013. № 10. С. 28–29.

УДК 378.1

**РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДИДАКТИКИ****Старыгина С.Д., Нуриев Н.К.***ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: svetacd_kazan@mail.ru, nurievnk@mail.ru*

В работе установлена и обоснована одна из главных причин наступившей кризисной ситуации в образовании. Установлено содержание и инвариантная последовательность операций мыслительной процедуры, на основе которой человек, используя свой ресурсный потенциал, решает любые проблемы проектно-конструктивным способом. Показано, что в ходе эволюции на основе закона естественного отбора эта процедура, «решение проблем», оказалась «зашитой» в геномном коде человека и является инвариантной сущностной его характеристикой. Исходя из второго начала термодинамики, обосновано утверждение, что чем сложнее проблема, тем больше ресурсов необходимо затратить на ее решение. Показано, что эффективность результата мыслительной процедуры при решении сложной проблемы (по вероятности) в основном зависит от ресурсных потенциалов человека, решающего проблему. Обоснована необходимость использования мыслительно-сущностного подхода для проектирования любых дидактических систем. На основе системно-параметрического подхода построена SADT-модель инвариантной мыслительной процедуры «решение проблем» человеком и на ее основе идентифицированы атрибуты-параметры ресурсов, требуемых для решения любой проблемы. Обоснована достоверность трех фундаментальных утверждений: 1) о необходимости условий для создания цифрового начала-платформы дидактики; 2) о возможности повышения эффективности результатов мыслительной процедуры «решения проблем» только через приращение ресурсов, необходимых для реализации этой процедуры; 3) о необходимости соответствия степеней свободы мыслительной процедуры при обучении и дальнейшей работе. Далее, уже на основе этих утверждений, разработано второе фундаментальное теоретико-методологическое начало-платформа дидактики. В целом эта дидактическая платформа представлена как функционально-структурная SADT-модель, на основе которой уже можно проектировать любые дидактические системы с цифровыми технологиями. Приведен минимально необходимый список комплекса системообразующих дидактических методик, формирующих вариативную составляющую для любых цифровых технологий обучения.

Ключевые слова: мыслительная процедура, начало-платформа дидактики, проектирование дидактических систем, цифровые технологии, цифровая платформа, интеллект-карта развития, гибкие технологии обучения

**DEVELOPMENT OF A THEORETICAL AND METHODOLOGICAL
INSTRUMENTAL DIGITAL PLATFORM OF DIDACTICS****Starygina S.D., Nuriev N.K.***Kazan National Research Technological University, Kazan,
e-mail: svetacd_kazan@mail.ru, nurievnk@mail.ru*

The paper identifies and substantiates one of the main reasons for the crisis situation in education. The content and invariant sequence of operations of the mental procedure are established, on the basis of which a person, using his resource potential, solves any problems in a design-constructive way. It is shown that in the course of evolution on the basis of the law of natural selection, this procedure of “problem solving” turned out to be “sewn up” in the human gene code and is an invariant essential characteristic of it. Based on the second principle of thermodynamics, the statement is justified that the more complex the problem, the more resources need to be spent on its solution. It is shown that the effectiveness of the result of a mental procedure in solving a complex problem depends on the resource potentials of the person solving the problem. The necessity of using a mental-essential approach for the design of any didactic systems is substantiated. Based on the system-parametric approach, a SADT model of an invariant mental procedure “problem solving” by a person is constructed. The reliability of three fundamental statements is substantiated. Further, already on the basis of these statements, a second fundamental theoretical and methodological principle has been developed – the didactics platform. In general, this didactic platform is presented as a functional and structural SADT model, on the basis of which it is already possible to design any didactic systems with digital technologies.

Keywords: mental procedure, the beginning of didactics, design of didactic systems, digital technologies, digital platform, intelligence-development map, flexible learning technologies

Первое (эвристическое) начало-платформа дидактики было положено классно-урочной системой, предназначенной для одновременного обучения группы (класса) обучающихся через созданную учителем образовательную среду на основе своей эвристической методики.

По всей вероятности, Ян Коменский является одним из первых педагогов-ученых,

который открыл дидактическую закономерность, что эффективность показателей обучения быстро растет только в том случае, если образовательная среда будет организована по принципу природосообразности [1] для конкретного обучающегося, т.е. в наибольшей степени соответствует его природным задаткам. Далее, известный психолог Л.С. Выготский опытным путем установил

психолого-дидактическую закономерность [2], что эффективность обучения в любой дидактической системе зависит от «зоны ближайшего развития» обучающегося и т.д. Таким образом, с исторической точки зрения можно утверждать, что первое теоретико-методологическое начало-платформа дидактики было эвристическим и основано на сущностном (природосообразном) подходе к организации и реализации подготовки обучающегося.

Из истории развития образовательных систем известно, что лучший (по эффективности) образец дидактической системы для определенной эпохи формировал образовательную парадигму [3] этой эпохи.

Стоит подчеркнуть, что жизнедеятельная среда человека от одной эпохи к другой все время усложняется за счет специально организованной обществом деятельности по преобразованию жизнедеятельной среды, нацеленной на увеличение ее комфортабельности. Разумеется, в такой ситуации человеку приходится очень быстро учиться для того, чтобы решать все более и более сложные проблемы для достижения своего благополучия и конкурентоспособности в обществе. С другой стороны, под «прессингом» требований к дидактическим системам «быстро и качественно научить» решать сложные проблемы в разных областях жизнедеятельности образовательные парадигмы также были вынуждены меняться от одной эпохи к другой.

В нашу эпоху «парад» эвристических образовательных парадигм закончился и сформировалась кризисная ситуация для образовательных систем, т.е. стало очевидно, что на принципиальном уровне адаптировать предыдущую парадигму, основанную на эвристическом начале-платформе дидактики, практически стало невозможно. Это связано с тем, что в нашу эпоху «расширилась» мыследеятельная среда человека. До кризиса мыследеятельная [4] среда человека имела всего две степени свободы: когнитивную и реальную, т.е. человек думал, делал, учился думать и делать, а также вынужден был получать результаты, которые позволяли бы ему быть востребованным и комфортно существовать в жизнедеятельной среде. В нашу эпоху мыследеятельная процедура человека стала с тремя степенями свободы: когнитивной, реальной и цифровой (виртуальной). Разумеется, в этой ситуации учиться с целью повышения эффективности мыследеятельной процедуры в среде с двумя степенями свободы, а затем переучиваться, чтобы быть конкурентоспособным и успешно работать в мыследеятельной среде с тремя степенями свободы,

теряет всякий смысл. Поэтому эта причина была одной из главных, и в этой эпохальной ситуации «потребовалась» цифровая трансформация теоретико-методологического инструментария дидактики.

Следует особо подчеркнуть, что цифровая трансформация теоретико-методологического инструментария дидактики никак не изменяет и не делает «ревизию» предметной области дидактики. В целом происходит переход (цифровая трансформация) с аналоговой (делай как учитель), эвристической (опыта обучения), сущностной (природосообразной), теоретико-методологической платформы дидактики на цифровую платформу, основанную на формализованном мыследеятельно-сущностном и системном параметрическом подходе.

Цель – разработать теоретико-методологическую инструментальную цифровую платформу дидактики и продемонстрировать возможность проектирования на этой платформе дидактических систем нового (цифрового) поколения.

Методы исследования – дидактический, системный анализы, методология структурного анализа и проектирования SADT.

Мыследеятельная процедура как сущностная характеристика разума человека. Весь исторический путь развития человека показывает, что основным сущностным инструментальным средством-ресурсомживания человека в жизнедеятельной среде является его разум. Как следует из результатов исследований по психологии, нейронаукам, искусственному интеллекту и т.д. [5], разум – это нейронная гиперсетевая структура мозга, которая самоорганизовывалась в ходе эволюции на основе действия закона естественного отбора. В то же время, как следует из многовековой практики и результатов исследований, разум позволяет человеку, при определенных условиях и наличии ресурсов, на основе какой-то инвариантной хранимой (закрепленной в генетическом коде) мыследеятельной процедуры, оперативно решать любые проблемы проектно-конструктивным (ПК) способом. Как показывают результаты исследований [6, 7], в целом мыследеятельностная процедура представляет собой комплекс из трех последовательных взаимосвязанных операций (подпроцедур). По факту, можно сказать, что в любой необходимой ситуации и в любой момент времени в психической системе человека «автоматически» запускается цепочка мыследеятельных подпроцедур «решение проблемы». На практике это происходит так: любая цель человека всегда порождает проблему «как достичь этой цели», и при этом неосознанно психической

системой человека запускается последовательность следующих мыследеятельностных процедур для решения проблемы:

А – формализация. Используя средства-ресурсы (знания, способности, опыт, навыки и др.), человек формализует проблемную ситуацию в психической системе. Это означает, что он из жизнедеятельной среды выделяет проблемную ситуацию с представлением ее в виде «преград» на пути к цели, а также формирует задачи, которые необходимо решить для преодоления этих преград.

В – конструирование. Используя средства-ресурсы (знания, способности, опыт, навыки и др.), человек конструирует планы решения задач, полученных на предыдущей процедуре.

С – исполнение. Используя средства-ресурсы (знания, способности, опыт, навыки и другие ресурсы), человек решает задачи по сконструированному на предыдущей процедуре плану.

Нетрудно заметить, что эта мыследеятельная АВС-процедура решения любой проблемы ПК-способом оказывается очень затратной по времени, и при этом, как известно, физически невозможно заранее запасти время, как любые другие ресурсы. В этой ситуации, требующей, как правило, оперативных действий, «у эволюции с его механизмом естественного отбора» не оставалось другого выхода кроме как «зашить» неизменяющуюся при решении любых проблем мыследеятельную процедуру «решение проблем» в генетический код человека разумного. Таким образом, мыследеятельная процедура – это хранимая процедура, которая является сущностной характеристикой его психической системы.

В то же время, как постулат можно утверждать, что чем сложнее проблема, тем больше ресурсов необходимо затратить на ее решение. Таким образом, человек, у которого больше ресурсных потенциалов

разума в составе его психической системы, имеет больше шансов решить сложную проблему, т.е. он с большей вероятностью способен решать сложные проблемы. В свою очередь, из сказанного следует, что стремление человека к приращению своих ресурсов, по всей вероятности, также «зашито» как характеризующее его сущностное свойство. Разумеется, только этим можно объяснить стремление любого нормального человека к познанию, а также к приращению других своих ресурсных потенциалов.

В целом все ресурсы, необходимые для решения любых проблем, можно разделить на две категории [7]: внутренние (знания, способности, воля, здоровье и т.д.) и внешние (временные, информационные, социальные, материальные и т.д.).

Информационная (концептуальная) модель сущностной мыследеятельной процедуры разума человека. С позиции системно-параметрического подхода любую проблемную ситуацию можно представить как конфликтную ситуацию в условиях неопределенности (с неизвестной информацией о ресурсах) [8], а также ее можно представить как конфликт между человеком и его жизнедеятельной средой. Разумеется, в любой конфликтной ситуации у человека неизменно возникает цель, которая порождает проблему. Представим эту конфликтную ситуацию как динамическую системную организацию. Тогда процесс решения проблемы (конфликтной ситуации) можно представить, как инвариантную SADT-модель [9] работы любой динамической системы (в рассматриваемом случае эта динамическая система – инвариантная мыследеятельная процедура разума человека). На рис. 1 приводится SADT-модель инвариантной мыследеятельной процедуры человека, которая у него на неосознанном уровне возникает при необходимости решения любой проблемы.



Рис. 1. Инвариантная SADT-модель работы мыследеятельной процедуры



Рис. 2. Инвариантная SADT-модель сущностного комплекса мыслительных процедур человека

Согласно модели любая динамическая система (в том числе мыслительная процедура) инвариантно может функционировать только по такой процедуре:

S – ресурсы сложности проблемы ВХОДа преобразуются в случайные ресурсы результата X ВЫХОДа под воздействием C – ресурсов способностей УПРАВЛЕНИЯ с помощью Z – ресурсов знаний МЕХАНИЗМа.

Особо стоит отметить, что без средств-ресурсов (в данном случае это ресурсы с атрибутами: S , C , Z) эта динамическая система – процедура работать не будет (это следует из второго закона термодинамики [10]). При этом очевидно, что эффективность результата (например, случайное событие результата: X – решил проблему или $X1$ – не решил проблему) будет во многом зависеть от состояния развития ресурсных потенциалов человека, который решает эту проблему.

На основе инвариантной SADT-модели мыслительной процедуры (рис. 1) и инвариантной вербальной модели ABC-процедуры человека «решение проблем»: A – формализация проблемы; B – конструирование планов решения задач; C – исполнение этих планов в жизнедеятельной среде – построим новую инвариантную каскадную SADT-модель комплекса сущностных мыслительных процедур человека (рис. 2).

Как было уже сказано, согласно SADT-модели любая динамическая система (в том

числе мыслительная процедура) может функционировать только так:

S – ресурсы сложности проблемы ВХОДа преобразуются в случайные ресурсы результата X ВЫХОДа под воздействием A , B , C – ресурсов способностей УПРАВЛЕНИЯ с помощью $Z1$ – теоретических (в основном); $Z2$ – методологических (в основном); $Z3$ – эвристических знаний (в основном) и D – других ресурсов МЕХАНИЗМа.

Очевидно, что вероятность $P(X)$ результата – случайного события, X – решил проблему, зависит от состояния ресурсных потенциалов человека, решающего эту проблему, т.е. зависит в основном от конкретных значений ресурсных потенциалов параметров: A , B , C , $Z1$, $Z2$, $Z3$, D , S . Таким образом, формально эту вероятность $P(X)$ можно записать через неявный функционал $F(*)$, т.е. $P(X) = F(A, B, C, Z1, Z2, Z3, D, S)$ и при этом мыслительный ресурсный потенциал конкретного человека, решающего проблему в момент времени t , можно записать как множество величин с конкретными значениями потенциалов: $Pot(t) = \{A = a1, B = b1, C = c1, Z1 = z1, Z2 = z2, Z3 = z3, D = d1\}$. Как было отмечено в работе [7], сложность S любой проблемы характеризуется минимальным комплексом ресурсов, которые необходимо затратить человеку для решения этой проблемы, например, допустим, сложность какой-то проблемы равна $S = \{A = aa1, B = bb1, C = cc1, Z1 = zz1, Z2 = zz2, Z3 = zz3, D = dd1\}$. Разумеется,

в этой модели (как в реальной жизнедеятельной среде) исходим из предположения, что человек способен решить эту проблему с вероятностью близкой к единице, если его ресурсный потенциал больше сложности проблемы, т.е. $Pot(t) > S$ [11].

Второе теоретико-методологическое цифровое начало-платформа дидактики. Теоретико-методологическое цифровое начало-платформа дидактики основано на трех фундаментальных утверждениях.

Утверждение 1. Любое теоретико-методологическое цифровое начало-платформа дидактики (явно или неявно) должно быть основано как минимум на мыследеятельно-сущностном и системно-параметрическом подходах.

Стоит отметить, что первое (эвристическое) теоретико-методологическое начало дидактики также основано на природосообразном, т.е. мыследеятельно-сущностном подходе, который в неявном виде выражен в этом начале дидактики Яном Коменским «о необходимости организации и реализации обучения, исходя из принципа природосообразности», т.е. соответствия этого обучения задаткам конкретного ученика. Разумеется, о «цифровом» начале в ту эпоху не могло быть и речи, это «цифровое» начало актуально только для нашей эпохи.

Утверждение 2. Повышение эффективности результатов мыслительных процедур, используемых человеком при решении любых проблем, всегда происходит проектно-конструктивным способом (ПК-способом) в логическом конструкте инвариантной процедуры SADT-модели и только через приращение ресурсных потенциалов сущностной мыследеятельной ABC-процедуры в его психической системе.

Как было уже показано, две процедуры функционирования, т.е. SADT-модели и ABC-процедуры, являются сущностными процедурами в рамках своих классов систем. При этом в иерархии единой классификации инвариантная ABC-процедура разума «вложена» в инвариантную процедуру функционирования SADT-модели, по которой (на принципиальном уровне) работают одинаково (инвариантно) все динамические системы. Эффективность результата работы любой динамической системы (в том числе мыследеятельной ABC-процедуры) не зависит от самого логического конструкта инвариантной процедуры SADT-модели (рис. 1): «ресурсы ВХОДа перерабатываются в ресурсы ВЫХОДа по воздействию ресурсов УПРАВЛЕНИЯ с помощью ресурсов МЕХАНИЗМА». Это означает, что эффективность результата работы любой динамической системы зависит только от качества

и количества самих ресурсов. Из этого следует достоверность Утверждения 2.

Утверждение 3. Обучение человека, нацеленное на повышение эффективности результатов мыследеятельных процедур, должно проходить в образовательной среде той же размерности (с теми же степенями свободы), что и дальнейшая его деятельность в жизнедеятельной среде.

В целом достоверность этого утверждения очевидна, т.е. если развитие мыследеятельных процедур при обучении, например, проводилось только в когнитивной и реальной среде, то заниматься профессиональной деятельностью в среде с тремя степенями свободы, т.е. в когнитивной и реально-цифровой мыследеятельной среде, будет сложно.

Опираясь на Утверждение 1 и Утверждение 2, теоретико-методологическое (цифровое) начало-платформа дидактики может быть представлено в виде функционально-структурной SADT-модели платформы дидактики, которая представлена на рис. 3.

Таким образом, любая дидактическая система (как динамическая система) с цифровой педагогической технологией при наличии внутренних ресурсов (знаний, способностей, воли и т.д.) и внешних ресурсов (временных, информационных, материальных и т.д.) функционирует таким образом:

ресурсы ВХОДа преобразуются в ресурсы ВЫХОДа под воздействием ресурсов УПРАВЛЕНИЯ с помощью ресурсов МЕХАНИЗМА.

В этой модели-платформе дидактической системы приняты следующие обозначения.

Атрибуты-параметры ВХОДа: А, В, С – формализационные, конструктивные, исполнительские способности обучающегося [11], значения: a_1, v_1, c_1 – ресурсные потенциалы этих способностей до начала процесса обучения; POL, CHL – полнота и целостность знаний обучающегося, т.е. этот комплекс параметров, который формирует и характеризует качество системности знаний обучающегося, а значения pol_1 и chl_1 – конкретные значения ресурсных потенциалов этих параметров до начала обучения.

Атрибуты УПРАВЛЕНИЯ: комплекс M1 – M8 являются специально разработанными взаимосвязанными педагогическими цифровыми методиками [12]. Системная организация этих методик формирует единую цифровую педагогическую технологию. Цифровые методики следующие:

M1 – цифровая методика обучения быстрого приращения ресурсных потенциалов обучающегося, используемых в его мыследеятельных процедурах.

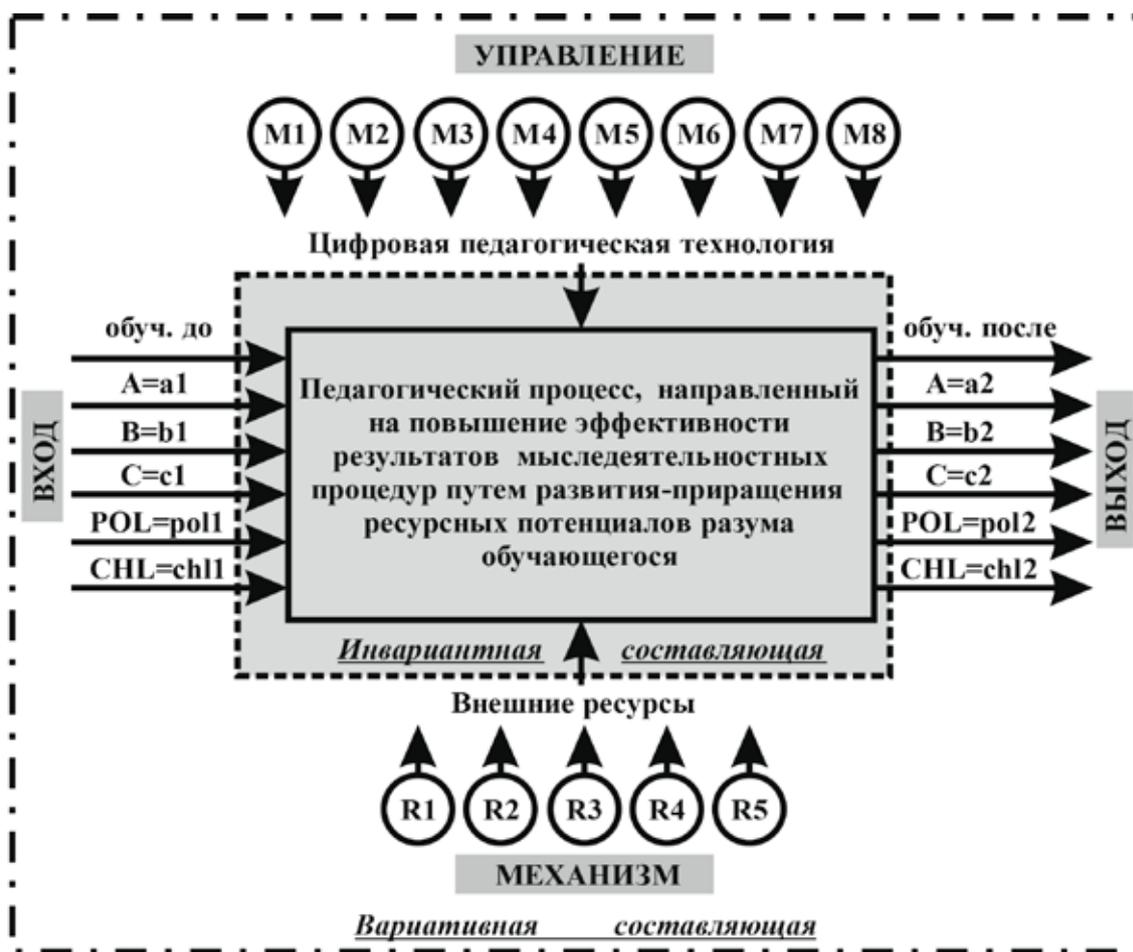


Рис. 3. Функционально-структурная SADT-модель – платформа для проектирования дидактических систем с цифровой технологией

M2 – цифровая методика мониторинга приращения ресурсных потенциалов обучающегося по ходу обучения.

M3 – цифровая методика оценки сложности учебных проблем и вопросов.

M4 – цифровая методика оценки качества системности знаний.

M5 – цифровая методика оценки целесообразной продолжительности тестирования и решения учебных проблем.

M6 – цифровая методика оценки ресурсных потенциалов: А – формализационных, В – конструктивных, С – исполнительских способностей.

M7 – цифровая методика педагогического и инженерного проектирования smart-системы «Электронный ассистент педагога».

M8 – цифровая методика оценки качества smart-системы «Электронный ассистент педагога».

Атрибуты МЕХАНИЗМА представляют собой специально разработанный комплекс

R1 – R4 набор взаимосвязанных внешних ресурсов:

R1 – теоретических, методологических, эвристических дидактически обработанных и системно организованных информационных учебных материалов.

R2 – преподаватель.

R3 – сетевая smart-система «Электронный ассистент педагога».

R4 – базы тренировочных учебных проблем и вопросов с экспертной оценкой их сложности.

R5 – диагностические базы учебных проблем и вопросов с экспертной оценкой их сложности.

Атрибуты ВЫХОДА: А, В, С, POL, CHL со значениями ресурсных показателей: a2, b2, c2, pol2, chl2, увеличенных – приращенных в процессе обучения.

Проектирование дидактической системы на цифровой платформе. Проектирование любых дидактических систем нового (цифрового) поколения на концептуальном

уровне должно удовлетворять как минимум следующим основным требованиям:

1. Учебный материал (контент) формируется на основе полного и целостного учебного курса (УК) в рамках учебного плана.

2. Проектирование реализуется на разработанной цифровой платформе.

3. Образовательная среда обучения должна соответствовать требованию Утверждения 3.

Модель минимально требуемой организации реально-цифровой образовательной среды показана на рис. 4.

Минимальный список обязательно требуемых субъект-объектных участников для организации реально-цифровой образовательной среды обучения следующий:

УК – специально разработанный учебный курс с тремя вариантами сложности. По экспертной оценке, максимально доступная (обучающимся с разными ресурсными потенциалами) для понимания информация.

Преподаватель – профессионал-предметник.

Электронный ассистент – сервисный «развивающийся по версиям от “простого к сложному”, масштабируемый» программный продукт, содержащий учебный и диагностический материалы по УК, а также обладающий, например, функциональными возможностями: проводит поэтапный мониторинг, анализирует состояние приращения ресурсов, выявляет «провальные» дидактические ситуации, а также принимает решения и некоторые управленческие действия по их устранению и т.д. Электронный асси-

стент в первую очередь помощник преподавателя, а затем консультант обучающихся.

Интеллект-карта – информационный графический объект, на котором отражаются уровни развития ресурсных потенциалов каждого обучающегося за предусмотренные этапы обучения.

Группа обучающихся: каждый обучающийся из группы имеет определенный уровень развития ресурсных потенциалов в предметной области. Перед началом занятий этот уровень может быть нулевым. От этой информации отталкивается преподаватель при выборе сложности своего варианта УК, для изложения материала в офлайн-режиме.

Пример-прототип проектирования дидактической системы на SADT-модели – платформе с гибкой педагогической цифровой технологией. Целью организованного обучения, построенного на цифровой платформе по какой-то педагогической цифровой технологии, является то, чтобы за отпущенное по учебному плану время для подготовки добиться как можно больших значений приращений ресурсных потенциалов обучающегося, необходимых для повышения эффективности результатов работы его мыследеятельной процедуры по решению проблем. При цифровой трансформации эту цель можно определить так: за время T, в процессе обучения, ресурсный потенциал со значениями (a1, v1, c1, pol1, chl1) обучающегося требуется довести до ресурсного потенциала со значениями (a2, v2, c2, pol2, chl2) (рис. 3).

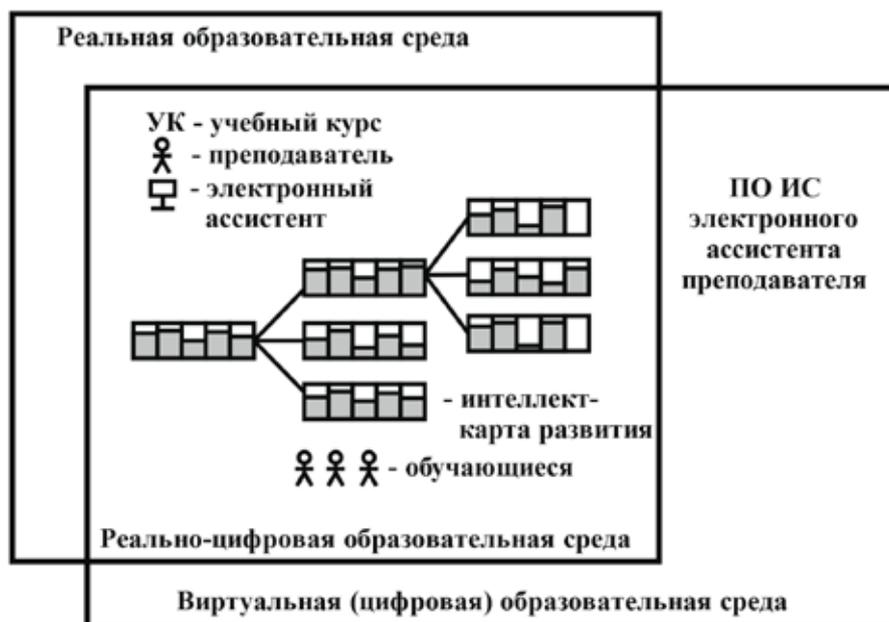


Рис. 4. Модель организации реально-цифровой образовательной среды

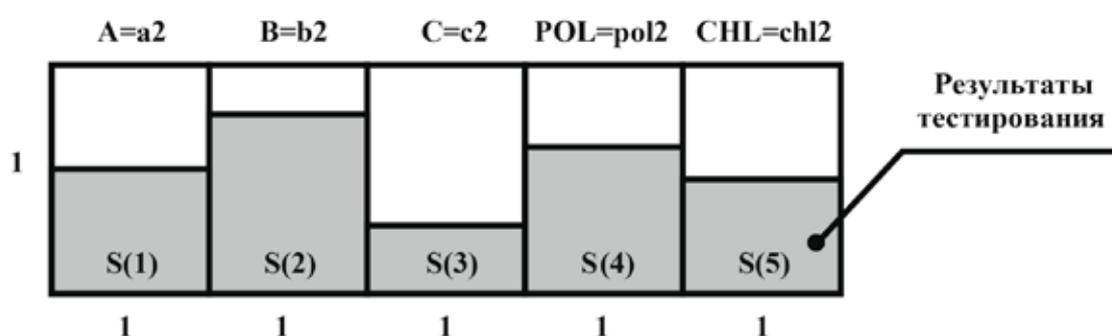


Рис. 5. Интеллект-карта развития-приращения ресурсных потенциалов обучающегося за период обучения в дидактической системе по цифровой технологии

Количественные значения показателей приращенных ресурсных потенциалов обучающегося за период времени подготовки можно представить графически, например, как интеллект-карту (рис. 5) его успехов в освоении какой-то конкретной компетенции в рамках какого-то учебного курса (УК).

На рисунке 5

$$P(x) = \sum S(i) / 5,$$

где $S(i)$ – площадь закрашенной области, $i = 1, 5$

$P(x)$ – вероятность того, что обучающийся решит любую проблему в рамках изучаемого учебного курса.

Особенности организации и реализации обучения на негибкой и гибкой технологиях подготовки. Следует сразу отметить, что трудоемкость работы по гибкой педагогической технологии подготовки обучающихся значительно выше, чем по негибкой. В целом особо следует подчеркнуть, что при всех других равных педагогических условиях подготовки существует значимое отличие в значениях показателей эффективности при реализации на практике обучения по «гибкой» и «негибкой» педагогическим цифровым технологиям. По статистическим данным, отличие показателя эффективности «гибкой» от «негибкой» технологии обучения в среднем составляет примерно 19,3%. Эти различия в значениях показателей эффективности получены в результате многократных педагогических экспериментов, сделанных на больших выборках, в которых получен устойчивый (значение среднеквадратического отклонения равно 3,2%) результат. Примерно такая же разница наблюдается в значениях показателей эффективности между «гибкой» и «негибкой» технологиями в результатах ежегодных выпускных государственных экзаменов студентов, на-

пример, по дисциплине «Вычислительная математика» по IT направлению подготовки «Информационные системы и технологии».

В чем состоит принципиальная разница использования «гибкой» технологии обучения от «негибкой», поясним на следующем примере. Допустим, по учебному плану необходимо освоить какую-то компетенцию в рамках определенного учебного курса (УК), в котором представлен дидактически обработанный достоверный, структурированный по разделам и по подразделам учебный материал. При этом также допустим, что граф структуры организации материала УК имеет вид, представленный на рис. 6.

Отметим, что при организации и реализации обучения по «негибкой» педагогической цифровой технологии, интеллект-карта обучающегося строится только один раз, как результат оценки качества освоения компетенции в рамках УК в конце обучения. Если педагогический процесс обучения организуется и реализуется по «гибкой» цифровой технологии, то интеллект-карта (ИК) строится по мере прохождения обучения в системе реального времени. На рассмотренном примере, т.е. когда граф структуры организации содержания УК имеет вид, представленный на рис. 6, ИК обучающегося строится по технологическому маршруту по мере освоения им компетенции в рамках УК: Первое ИК (на основе результатов тестов) строится по окончании изучения раздела 1 (ИК1). Затем, по мере освоения подраздела 2.1, строится ИК 2.1. Далее, аналогично, строится ИК 2.2. Затем, на основании результатов ИК 2.1 и ИК 2.2, строится усредненный результат ИК2. Далее (на основе результатов тестов), строится ИК3. И наконец, на основании усредненных результатов ИК1, ИК2, ИК3, строится итоговая усредненная ИК (УК).

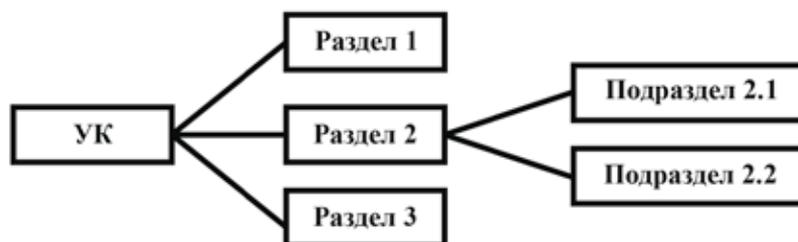


Рис. 6. Граф структуры организации содержания учебного материала в рамках УК

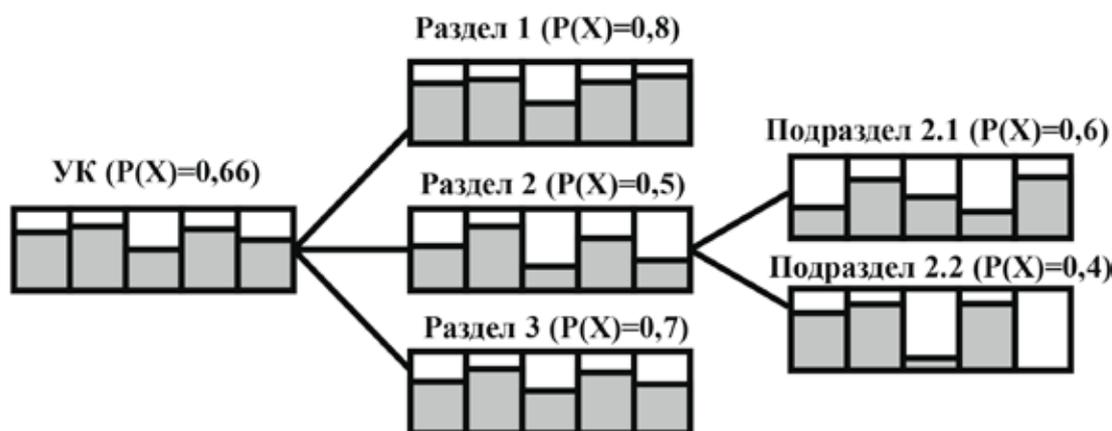


Рис. 7. Интеллект-карта как навигатор для управления развитием ресурсных потенциалов обучающегося в процессе подготовки

На рис. 7 приводится вид результирующей ИК (УК) обучающегося с вычисленным значением оценки вероятности $P(X) = p$, где $P(X)$ – вероятность (шанс) случайного события X , того, что обучающийся с определенным состоянием ИК, после овладения в процессе обучения требуемой компетенции в рамках УК (со средней сложностью проблем S), решит любую проблему или ответит на любой вопрос сложности не выше S .

В целом текущий мониторинг, на основе обратной связи по ИК, т.е. на основе визуализированной информации о текущем состоянии достижений обучающегося по освоению компетенции в рамках каждого раздела, создает возможность (в системе реального времени) реализации индивидуализированных корректирующих мероприятий, направленных на улучшения качества освоения компетенции этим обучающимся. Стоит подчеркнуть особую значимость рефлексии обучающегося, которая тоже обеспечивает высокие значения показателей эффективности этой технологии. Таким образом, гибкая педагогическая цифровая технология обучения – это самоорганизующаяся в процессе обучения технология, которая на основе тренда «негибкой», например, известной классической педа-

гогической технологии, в нашем случае основанная на цифровом варианте «Проектно-развивающего обучения» [13, 14], показывает устойчиво высокий результат.

В конечном счете о качестве эффективности подготовки обучающихся по тем или иным педагогическим технологиям можно судить только после окончания обучения, т.е. по их конкурентоспособности в профессиональной сфере. В нашем случае за последние пять лет подготовлено более пятисот IT-специалистов (бакалавров, магистров). Как следует из статистики, более 98% выпускников пользуются спросом на рынке труда и работают по специальности.

Выводы

1. На основе дидактического и системного анализов установлена одна из основных причин наступившей кризисной ситуации в образовании, которая на практике проявляется как дисгармония между регламентирующими образовательную деятельность документами и реальным состоянием образовательной среды.

2. Обоснована актуальность решения проблемы разработки теоретико-методологического цифрового начала-платформы дидактики.

3. Разработано цифровое начало-платформа дидактики.

4. Продемонстрирована возможность проектирования на этой платформе любых вариантов дидактических систем нового (цифрового) поколения.

3. Обоснована практическая целесообразность (по показателю эффективности) проектирования дидактических систем с гибкой цифровой технологией управления, на основе мониторинга (интеллект-карт) прошлых достижений обучающегося.

Список литературы

1. Коменский Я.А. Избранные педагогические сочинения. В 2-х т. Т. 1. М.: Педагогика, 1982. 656 с.
2. Дубровина И.В. Л.С. Выготский и современная детская практическая психология (к 120-летию со дня рождения Л.С. Выготского) // Вестник практической психологии образования. 2016. № 2 (47). С. 3–9.
3. Мустафаева З.С. Социально-педагогический анализ факторов становления образования и воспитания в контексте смены педагогических парадигм // Гуманитарные и социальные науки. 2016. № 4. С. 201–212.
4. Розин В.М. Проблемы и особенности реформирования Г.П. Щедровицким мышления, науки, педагогики и других областей знания // Философия и культура. 2021. № 6. С. 15–28.
5. Анохин К.В., Новоселов К.С., Смирнов С.К., Ефимов А.Р., Матвеев Ф.М. Искусственный интеллект для науки и наука для искусственного интеллекта // Вопросы философии. 2022. № 3. С. 93–105.
6. Старыгина С.Д., Нуриев Н.К. Параметрический подход в педагогике: метрическая модель «развивающего» обучения с цифровой технологией подготовки // Управление устойчивым развитием. 2022. № 1 (38). С. 96–104.
7. Старыгина С.Д. Теория развития ресурсных потенциалов личности и ее приложение к дидактике в эпоху цифровой экономики // Управление устойчивым развитием. 2022. № 3 (40). С. 90–98.
8. Коптев Д.С. Анализ конфликтной ситуации с позиции транзактного анализа на примере кейса // В сборнике: Медиация в современном мире: проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 103–106.
9. David A. Marsa and Clement L. McGoman. SADT: Structured Analysis and Design Technique. McGraw-Hill, 1988.
10. Карпенко И.А. Интерпретация некоторых следствий второго закона термодинамики в контексте современных физических исследований // Вопросы философии. 2019. № 4. С. 58–68.
11. Старыгина С.Д., Нуриев Н.К., Печеный Е.А. Разработка платформы для проектирования образовательных систем с цифровыми технологиями // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020. № 2 (50). С. 44–58.
12. Нуриев Н.К., Старыгина С.Д. Численная оценка продолжительности контрольного задания // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22. № 1. С. 61–67.
13. Мухаметзянова Ф.Ш., Ибрагимов Г.И. Развитие фундаментальных исследований в области профессионального образования (результаты исследований ИПП ПО РАО в 2013 году) // Казанский педагогический журнал. 2014. № 1 (102). С. 9–27.
14. Троещестова Д.А. Развитие инженерного таланта: проектно-развивающий подход // Психология способностей и одаренности: материалы всероссийской научно-практической конференции / Под ред. В.А. Мазилова. 2019. С. 226–229.

УДК 37.01:378.147

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ В ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ

Сухарев А.И., Ланщикова Г.А., Позднякова Т.Ю.

ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск,
e-mail: mail@omgpu.ru

В статье описана специфика самостоятельной работы как формы организации учебной деятельности, приведена классификация ее видов, представлены уровни самостоятельности. Отмечена актуальность практико-ориентированного обучения в современных условиях. Основы самостоятельной работы изложены на примере реализации практико-ориентированного обучения студентов на факультете искусств Омского государственного педагогического университета (ОмГПУ). Весь процесс обучения с практической направленностью на развитие студента в обстановке, представляющей будущую профессиональную деятельность, базируется не столько на академических занятиях, сколько на самостоятельной работе студентов. Целью данного исследования является изучение видов и методов самостоятельной работы, выявление потенциала практико-ориентированного обучения в подготовке студентов к самостоятельной художественно-творческой работе. Вовлечение обучающихся в реализацию реального проекта позволяет им приобрести необходимые навыки профессиональной деятельности в рамках учебного времени. В статье дано описание необходимых организационных условий проведения академических и самостоятельных занятий студентов. Отмечено, что для художественного образования важно понимание специфики практико-ориентированного обучения, основная роль в котором отводится интеграции учебных предметов художественного и профессионального модулей; усвоению обучающимися теоретических положений при выполнении самостоятельных проектов; рефлексивному осмыслению результатов учебной деятельности.

Ключевые слова: самостоятельная работа, практико-ориентированное обучение, художественное образование, проектирование, творческий проект

INDEPENDENT WORK OF STUDENTS IN A PRACTICE-ORIENTED LEARNING MODEL

Sukharev A.I., Lanschikova G.A., Pozdnyakova T.Yu.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mail@omgpu.ru

The article describes the specifics of independent work as a form of organization of educational activities, provides a classification of its types, presents the levels of independence. The relevance of practice-oriented learning in modern conditions is noted. The basics of independent work are set out on the example of the implementation of practice-oriented teaching of students at the Faculty of Arts of the Omsk State Pedagogical University (OmSPU). The entire learning process with a practical focus on the development of the student in an environment that represents the future professional activity is based not so much on academic studies as on the independent work of students. The purpose of this study is to study the types and methods of independent work, to identify the potential of practice-oriented learning in preparing students for independent artistic and creative work. Involving students in the implementation of a real project allows them to acquire the necessary skills for professional activities within the framework of study time. The article describes the necessary organizational conditions for conducting academic and independent studies of students. It is noted that for art education it is important to understand the specifics of practice-oriented education, the main role in which is given to the integration of subjects of artistic and professional modules; assimilation by students of theoretical provisions in the implementation of independent projects; reflective comprehension of the results of educational activities.

Keywords: independent work, practice-oriented learning, art education, design, creative project

В настоящее время в системе художественного образования наблюдается значительное сокращение количества аудиторных академических часов профессионально-художественного модуля, что ведет к значительному снижению потенциальной возможности выполнять крупные творческие задания, впоследствии представляющие тематику курсовых и выпускных квалификационных проектов. Увеличение вследствие этого количества часов на самостоятельную работу студентов (СРС) влечет за собой и смену ориентиров в системе отношений «обучающийся – педагог». Субъектом становится студент, а вектор образовательного процесса устремляется на его

собственную познавательную активность. Результативность обучения обеспечена готовностью к реализации профессионального художественного творчества. В системе художественного образования становится актуальным практико-ориентированное обучение. ФГОС предусматривает определенные условия организации академических занятий и самостоятельной работы [1]. В процессе практико-ориентированного обучения (в том числе работая самостоятельно) студент приобретает не только опыт практической деятельности, но и овладевает профессиональными компетенциями.

Цель исследования – раскрытие потенциала практико-ориентированного обучения

в подготовке студентов художественно-творческих специальностей к самостоятельной работе по реализации учебно-творческих проектов.

Материалы и методы исследования

В процессе проведения исследования были использованы методы: анализ, обобщение и систематизация научной литературы по вопросам организации самостоятельной работы студентов с применением практико-ориентированного метода обучения.

Самостоятельная работа учащихся в научных изданиях рассматривается как «форма организации их учебной деятельности, осуществляемая под прямым или косвенным руководством педагога, в ходе которой учащиеся преимущественно или полностью самостоятельно выполняют различного вида задания с целью развития знаний, умений, навыков и качеств личности» [2, с. 107]. Ее эффективность характеризуется прочностью усвоения знаний, минимумом помощи педагога, степенью самоконтроля учащегося, что влечет за собой переход от внешнего управления учебной деятельностью к ее самоорганизации [3, с. 57]. Структурные элементы учебной деятельности без непосредственного руководства педагога можно схематично представить в виде последовательности учебных действий: планирование задач и методов – самоорганизация – самоконтроль – саморегулирование – самоанализ результатов. Отдельные элементы могут изменяться по характеру учебных задач. Структура деятельности студента и педагога должна непременно согласовываться и в планировании задач, и в осуществлении намеченных действий, и в их регулировании.

Самостоятельную работу классифицируют по различным признакам. По способу организации она может проходить фронтально, индивидуально, в группах (до 6 чел.) или парах. По месту проведения она может быть аудиторной (в мастерской, лаборатории, кабинете), внеаудиторной (на объекте, экскурсии, в музее и т.д.). По виду учебной деятельности: работа с учебной, справочной литературой или первоисточниками, выполнение упражнений, форэскизов, проектов, конструирование, моделирование и др.

По характеру внутреннего содержания различают четыре уровня самостоятельности. Низкий уровень (репродуктивный) представлен работами по образцу. Это, по сути, перенос уже существующего метода решения в аналогично сконструированные условия внутри учебной дисциплины. Основой для работ выступают конкретные алгоритмы, представленные педагогом

и уже апробированные обучающимися. Этот уровень более характерен для пред-профессионального и среднеспециального образования, но встречается и на первом курсе высшего образования. К пороговому уровню относят реконструктивно-вариативный тип работ, с сознательным проецированием знаний и умений в определенных ситуациях, что благоприятствует активизации мыслительной деятельности. К продвинутому уровню относят эвристические самостоятельные работы, для выполнения которых необходим непрерывный поиск новых решений, систематизация и перенос полученных сведений в нестандартные ситуации. Высший уровень (характерный для студентов старших курсов) выражен внутрипредметными и межпредметными исследовательскими работами с познавательными задачами: анализом необычных ситуаций; выявлением типичных признаков учебных проблем, поиском рациональных способов их решения [4, с. 10].

СРС – неотъемлемый компонент образовательного процесса в соответствии с требованиями ФГОС. СРС удачно вписывается в концепцию практико-ориентированного обучения, различия в его видах касаются степени охвата этих элементов. Существуют два концептуальных варианта обучения такого вида. В первом случае источник практического опыта – в усвоении сведений, представленных профильными либо непрофильными учебными предметами в сочетании с образовательными методиками и технологиями практической направленности [5]. В другом варианте в качестве преимущественного практического опыта рассматривают непосредственно учебную, производственную и преддипломную практики [6].

Исследователи отмечают существенное различие обучающихся по уровню готовности к самостоятельной работе в вузе: одни уже обладают универсальными учебными компетенциями (в логическом понимании и запоминании информации, в устном и письменном воспроизведении материала, в проектировании и т.д.), а другие не имеют устойчивой ориентации на самостоятельное освоение учебного материала и самоорганизацию. В современных реалиях художественного образования при организации процесса обучения необходимо придерживаться специфических принципов СРС: интерактивности обучения (построение диалога, обеспечивающего обратную связь с целью контроля, коррекции учебных действий); совершенствования интеллектуального потенциала (выстраивание различных стилей мышления, в том числе алгоритмического, наглядно-образного и др.); целост-

ности всего дидактического цикла (в рамках темы, раздела, модуля) [4, с. 8].

Результаты исследования и их обсуждение

Итак, для эффективности использования СРС в общем функционировании образовательного процесса в художественном вузе необходимо обеспечить не только трансформирование приобретенных знаний и умений в устойчивый стереотип интеллектуальной, практической и научно-исследовательской деятельности обучающегося, но и воспитание у него навыков самоорганизации, самосовершенствования и самореализации для эффективности самостоятельных профессиональных действий. Решение данных задач последовательно воплощается в педагогическом опыте кафедры дизайна, монументального и декоративного искусства (ДМиДИ) ОмГПУ. Для их полной реализации учебному заведению следует обеспечить ряд условий, среди которых материально-техническая база; необходимый фонд информации; обоснованность наполнения семестровых заданий, их взаимосвязь с рабочей программой учебных дисциплин; рациональное сопровождение педагогами на всех этапах СРС, организация контроля за исполнением.

Авторами данной статьи в предыдущей публикации обозначена педагогическая цель СРС – разглядеть способности обучающихся, выявить их готовность к освоению следующего этапа образовательной программы. Погружение студентов в условия самостоятельного решения задач позволяет педагогу, направляющему их деятельность, увидеть реальную картину, связанную с тем багажом компетенций, которым они в состоянии активно пользоваться [7]. Наличие самостоятельности, безусловно, необходимо при выполнении курсовых работ, творческих и дипломных проектов,

научных исследований и т.п. Практическая направленность помогает студенту быстро включаться в реальную профессиональную деятельность, дает не только бесценный практический опыт, но и формирует структуру творческой личности, а СРС эффективно способствует конструированию неординарных, креативных ситуаций. Основными продуктами учебной деятельности студентов являются творческие проекты, составление портфолио, презентации. Целью СРС при разработке индивидуального/группового проекта может выступать способность к составлению прогнозов, выполнению моделей и проектированию. Алгоритм работы над проектом можно описать действиями: диагностика ситуации (проблема, цель); проектирование (задачи, этапы, теоретическая модель, проектные действия, обобщение результатов); рефлексия (соответствие результата замыслу, оценка качества, перспективы развития). Учебные действия соотнесены с этапами проектирования (таблица), которые наиболее полно раскрыты в учебном пособии сотрудников кафедры ДМиДИ «Творческий проект» [8].

На разных этапах обучения, помимо академических работ, в образовательный процесс введены предметные и межпредметные самостоятельные работы. С помощью подобной интеграции осваиваются теоретические знания и практические способы действия из разных областей науки и искусства, что создает условия и для постановки новых учебных задач. Сочетание смежных предметов позволяет студентам перенести освоенные методы действий в иную творческую реальность, ее результатом могут быть как отдельные композиционные разработки, так и рождение оригинального творческого проекта, а образовательным эффектом – становление компетентности.

Этапы проектирования

| № пп | Этап проектирования | Учебные действия | Тип работ, уровень самостоятельности |
|------|--------------------------------|---|---|
| 1 | Предпроектный анализ | Диагностика ситуации. Изучение темы проектирования в историческом аспекте. Анализ аналогов. Обмерные работы | Работы по образцу, (репродуктивный) |
| 2 | Разработка эскизного материала | Композиционные и цветовые поиски, форэскизы. Выполнение картона в натуральный размер | Реконструктивно-вариативный тип работ (пороговый) |
| 3 | Реализация проекта | Подготовка объекта и художественных материалов. Работа в материале | Эвристические, межпредметные работы (продвинутый, высший) |
| 4 | Рефлексия | Оценка и осознание результатов учебной деятельности. Составление портфолио, презентации | Уровень различен |

В конце учебного года возможен другой тип самостоятельной работы, реализуемый в процессе прохождения практики. Цель учебной и производственной практик – мониторинг способности студента транслировать приобретенные за учебный год профессиональные компетенции из теоретических сведений в квазиреальные условия. В качестве основного предлагается проектное задание, студенты разрабатывают проектную композицию, начиная со сбора материала (анализа, выбора формата и техники исполнения, компоновочного графического и цветового решений и т.д.) и заканчивая воплощением самого проекта в материале. В данной предметной деятельности важная роль отведена рефлексивному осмыслению. Различают рефлексию текущую и итоговую. Текущая рефлексия необходима для осознания постепенного продвижения студента по образовательному маршруту. Итоговая – завершает логически обособленный этап учебной деятельности самооценкой [9].

Базируясь на требовании научной и практической актуальности содержания образовательного процесса, авторы считают целесообразным трактовать СРС как процедуру формирования у студентов профессиональных компетенций при выполнении реальных проектов. При осуществлении практико-ориентированной модели обучения происходит трансформация роли педагога: из «источника» готовых знаний – в фасилитатора, организующего и направляющего учебную деятельность. Реализуются следующие принципы, способствующие творческой самореализации обучающихся: свободы (независимость выбора теоретического материала, темпа его усвоения, представления собственных творческих работ и пр.), самостоятельности (определение личной траектории учебного

процесса) и сотрудничества (взаимодействие педагога и студента).

В ходе обучения акцентируется внимание на практической значимости законов изобразительного искусства и технологий художественного творчества, изучаемых на профессионально-художественных дисциплинах (проектирование, спецрисунок, спецживопись, основы производственного мастерства и др.). Их поэтапное усвоение организовано на примере небольших по объему и времени исполнения прикладных проектных заданий (фрагменты мозаики, витража, росписи), несложных в технологическом плане (рис. 1).

Профессиональные компетенции обучающихся формируются пошагово как на аудиторных занятиях, так и при сопровождении проектов. Большое внимание уделяется адаптации первокурсников к особому образовательному пространству. При этом важно, чтобы содержание профильных дисциплин уже на начальных курсах было ориентировано на личную поисковую деятельность. При дальнейшем обучении планируется деятельность студента, раскрывается его позиция по выбранному самостоятельному способу решения учебно-творческих задач. Для работы студентам предоставляются реальные объекты, обучающиеся самостоятельно выполняют эскизные композиционные поиски-разработки творческого проекта (рис. 2).

Таким образом, эффективность практико-ориентированного обучения напрямую зависит от интеграции ресурсов образовательного процесса, активных познавательных действий обучающегося и его подготовленности к новой креативной деятельности. Для саморазвития и самоорганизации студентов следует уделять внимание и метакогнитивным способам, в частности наблюдению, планированию, регуляции.

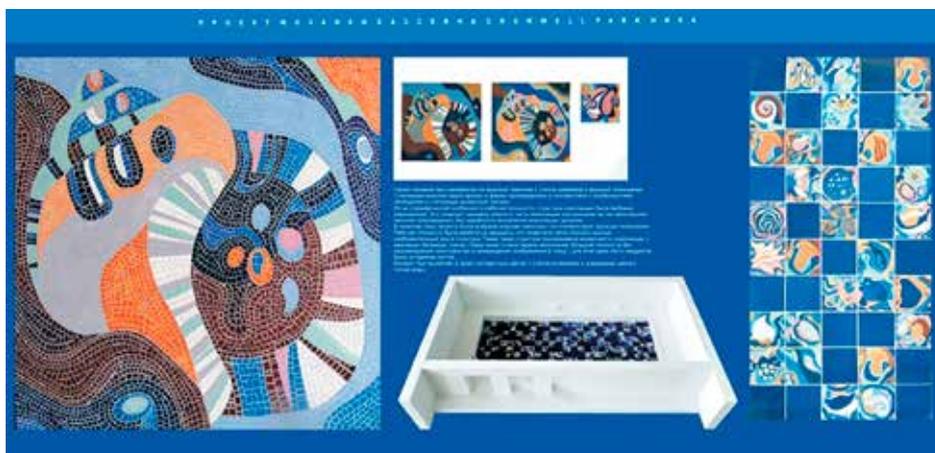


Рис. 1. Проект мозаики для бассейна

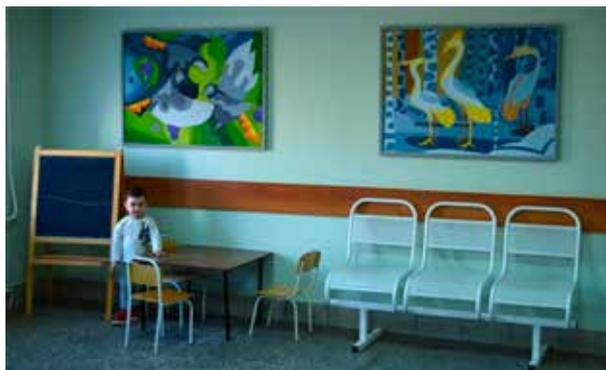


Рис. 2. Панно в Детской городской поликлинике № 8 г. Омска



Рис. 3. Роспись в Детском доме № 3 для детей с ограниченными возможностями



Рис. 4. Работа над социальным проектом в Областной детской клинической больнице г. Омска

Выше описан опыт работы кафедры ДМиДИ ОмГПУ по внедрению видов самостоятельной работы как ресурса для перехода к практико-ориентированному обучению. Бесспорно, многие вопросы еще ожидают своего решения. К примеру, существует потребность в преодолении инерт-

ности мышления и профессионального «выгорания» педагогов старшего возраста; необходимости осуществления межпредметных (и метапредметных) связей; в повышении значимости курсовых и выпускных квалификационных проектов; в долгосрочных взаимовыгодных связях с проектными организациями, работодателями; в организации системы стимулирования талантливых студентов.

При самостоятельной реализации обучающимися социальных заказов (проектов) необходимо принимать во внимание важность поддержки кураторами. Так, студенты 1–3 курсов специальности 54.05.01 «Монументально-декоративное искусство» при содействии ведущих педагогов кафедры ДМиДИ успешно реализовали социальный проект «Давай раскрасим этот мир!» (г. Омск), исполнив роспись помещений в Детском доме № 3 для детей с ограниченными возможностями, Областной детской клинической больнице и др. (рис. 3, 4).

Выводы

Итак, изложим основные выводы по исследованию:

- принципы самостоятельности и свободы обучающихся в определении личной траектории учебного процесса отражают практическую ориентированность модели обучения, ее актуальность продиктована тотальным сокращением количества аудиторных академических часов на изучение дисциплин профессионально-художественного модуля, предусмотренным ФГОС увеличением СРС;

- разные уровни самостоятельности по характеру решения заданий (от репродуктивного выполнения работ по образцу до эвристических и межпредметных исследовательских работ) рационально использовать на всех стадиях проектирования, при этом эффективность самостоятельной работы

обучающихся напрямую зависит от грамотно выстроенной последовательности учебных действий по планированию и саморегулированию учебной деятельности;

– СРС при выполнении проектных заданий осуществляется не только на академических занятиях, но и во время прохождения учебной/производственной практики и может служить показателем способности студента к применению приобретенных профессиональных компетенций как в квазиреальных, так и в реальных условиях с непрерывным рефлексивным осмыслением;

– преодолению разрыва между теорией и практикой может способствовать ориентирование на требования ФГОС к результатам обучения и требования профессионального стандарта по специальности; на максимальную адаптацию содержания курса и видов деятельности к трудовым функциям специалиста, на использование возможности «распределенной по времени» непрерывной практики в течение учебного года, без отрыва от обучения теоретического; проведение мастер-классов по данной специальности для студентов; создание на базе учебных заведений исследовательских творческих площадок; тесное сотрудничество вуза с организациями в рамках сетевого взаимодействия по реализации образовательных программ и др.

Список литературы

1. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования // Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. [Электронный ресурс]. URL: <http://fgosvo.ru/fgosvo/153/150/26> (дата обращения: 01.11.2022).
2. Тютюкова И.А. Педагогический тезаурус. М.: Издательство АНО ВО «Институт непрерывного образования», 2016. 170 с.
3. Шестак Н.В. Высшая школа. Технология обучения. Словарь. М.: Вуз. книга, 2019. 80 с.
4. Меренков А.В., Куньшиков С.В., Гречухина Т.И., Усачева А.В., Вороткова И.Ю. Самостоятельная работа студентов: виды, формы, критерии оценки: учебно-методическое пособие / Под общ. ред. Т.И. Гречухиной, А.В. Меренкова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. 80 с.
5. Дмитренко Т.А. Профессионально-ориентированные технологии обучения: монография. М.: Прометей, 2003. 327 с.
6. Ветров Ю.П. Клушина Н.П. Практико-ориентированный подход // Высшее образование в России. 2002. № 6. С. 43–46.
7. Сухарев А.И., Ланщикова Г.А. Практико-ориентированное обучение в системе художественного образования (из опыта работы кафедры дизайна, монументального и декоративного искусства ОмГПУ) // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2021. № 2 (31). С. 192–199.
8. Сухарев А.И., Ланщикова Г.А., Криса В.Б., Дорохов Е.Д. Творческий проект: учебное пособие. Омск: Издательство ОмГПУ, 2020. 84 с.
9. Хуторской А.В. Современная дидактика: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2021. 406 с.

УДК 37.01:372.851

О ВЫБОРЕ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРАКТИКУМА ПО ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКЕ

¹Тутынина О.И., ¹Беспалько А.А., ²Мазниченко В.В.

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, e-mail: tutynina@mail.ru;

²Волго-Вятский филиал Московского технического университета связи и информатики, Нижний Новгород, e-mail: maznich@mail.ru

В статье рассматривается методика выбора и составления задач по теории вероятностей и математической статистике для студентов высших учебных заведений. В работе выделяются аспекты, которые важно учитывать при составлении задач. На конкретных примерах из опыта обучения студентов экономических и инженерных специальностей показано, как использование практико-ориентированных задач позволяет устанавливать межпредметные связи с профильными дисциплинами и способствует формированию профессиональных компетенций. Важную роль в условии задачи играет выбор числовых данных, который в некоторых случаях позволяет вывести обсуждение решения на более высокий уровень. Также рассматриваются примеры заданий, численные данные для которых определяются и подбираются самими учащимися. Еще одно направление, реализуемое при составлении задач по теории вероятностей и математической статистике – это задачи с познавательными и веселыми сюжетами. Занимательность используется как средство активизации учебной работы при объяснении сложного материала или для поддержания трудоспособности учащихся в конце занятия. Важную методическую роль играет практика придумывания таких задач самими студентами. Результаты проведенного исследования наглядно показывают, что правильный выбор задач служит не только для закрепления теоретического материала, но и для повышения эффективности обучения, формирования профессиональных компетенций. Учащиеся будут более активно участвовать в познавательном процессе, если сделать для них этот процесс более интересным, полезным и занимательным.

Ключевые слова: задачи по теории вероятностей и математической статистике, практико-ориентированные задачи, составление условий, численные данные, занимательные и познавательные задачи, междисциплинарные связи, профессиональные компетенции, познавательный процесс

ON THE CHOICE OF TASKS FOR A WORKSHOP ON PROBABILITY THEORY AND MATHEMATICAL STATISTICS

¹Tutynina O.I., ¹Bespalko A.A., ²Maznichenko V.V.

¹National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevskiy, Nizhny Novgorod, e-mail: tutynina@mail.ru;

²Volga-Vyatka Branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Nizhny Novgorod, e-mail: maznich@mail.ru

The article discusses the method of selecting and composing problems in probability theory and mathematical statistics for students of higher educational institutions. The paper highlights aspects that are important to take into account when compiling tasks. Using concrete examples from the experience of teaching students of economic and engineering specialties, it is shown how the use of practice-oriented tasks makes it possible to establish interdisciplinary connections with specialized disciplines and contributes to the formation of professional competencies. An important role in the problem condition is played by the choice of numerical data, which in some cases allows you to bring the discussion of the solution to a higher level. Examples of tasks are also considered, numerical data for which are determined and selected by the students themselves. Another direction implemented in the compilation of problems in probability theory and mathematical statistics is problems with informative and funny stories. Entertaining is used as a means of activating educational work when explaining complex material or to maintain the ability of students to work at the end of the lesson. The results of the conducted research clearly show that the correct choice of tasks serves not only to consolidate the theoretical material, but also to increase the effectiveness of training, the formation of professional competencies. Students will be more actively involved in the cognitive process if this process is made more interesting, useful and entertaining for them.

Keywords: problems in probability theory and mathematical statistics, practice-oriented problems, drawing up conditions, numerical data, entertaining and cognitive tasks, interdisciplinary connections, professional competencies, cognitive process

Известный советский математик и педагог И.В. Арнольд отмечал, что решение учеником любой задачи должно преследовать определенные цели: обучающие, развивающие и воспитательные [1]. Для этого при составлении математического задания следует четко определять его место и роль в процессе освоения учебного материала, степень самостоятельности учащегося

при работе над ним, знания, умения и навыки, необходимые для получения конечного результата. Особую роль в этом процессе И.В. Арнольд отводил фабуле или сюжету математической задачи. Задачи должны быть актуальными, познавательными и занимательными, чтобы вызвать у учащихся интерес к их решению. Даже шаблонные типовые задания, без которых никак

не обойтись при изучении математических дисциплин, можно «оживить» необычным сюжетом или нестандартной постановкой вопроса.

Методика подбора и составления условий задач актуальна не только при обучении математике в школе или в учреждениях среднего профессионального образования, но и в высших учебных заведениях. Проблема заключается в том, что приложения математики в специальных дисциплинах становятся востребованными на старших курсах обучения, а сам этот предмет изучается на первом и втором курсах и является для многих студентов, особенно непрофильных специальностей, сложным в силу своей абстрактности и отвлеченности. Целью исследования является актуализация преподавания теории вероятностей и математической статистики путем решения специальной подборки задач, позволяющих установить межпредметные связи с профильными дисциплинами и повысить познавательную активность учащихся.

Материалы и методы исследования

Опыт преподавания дисциплины «Теория вероятностей и математическая статистика» студентам как технических, так и экономических специальностей наглядно показывает, что содержание курса в том и другом случаях остается практически неизменным. Небольшая разница может быть только в количестве часов и, соответственно, в объеме учебного материала. Это не означает, что методика преподавания тоже должна быть одинаковой для студентов различных профилей, потому что компетенции, которые должны формироваться при изучении теории вероятностей и математической статистики, для разных направлений существенно различаются. Дифференцировать обучение и, соответственно, повысить эффективность учебного процесса можно путем соответствующего подбора практических заданий с учетом специализации учащихся [2, 3].

Материалами исследования выступают задачи по теории вероятностей и математической статистике, как известные в учебной литературе, так и составленные авторами самостоятельно.

В качестве методов исследования мы выделяем три основных направления работы над условиями практических заданий, которые при желании можно обобщить на любые разделы дисциплины «Математика»:

1) практико-ориентированные задачи, условия которых составляются в соответствии с профилем обучения;

2) выбор числовых данных задач, которые позволяют провести эффективное обсуждение полученных результатов;

3) задачи с занимательными, познавательными и веселыми сюжетами для активизации учебной работы.

Практико-ориентированные задачи

Несмотря на то, что в настоящее время имеется достаточное количество сборников задач по теории вероятностей и математической статистике, рекомендованных студентам самых разных специальностей, они чаще всего предлагают стандартные сюжеты заданий, не содержащие профессиональной направленности. И если для студентов экономических факультетов подобные примеры довольно часто встречаются в учебной литературе [4, 5], то при обучении будущих инженеров различных направлений преподавателям приходится придумывать и составлять их в большинстве случаев самостоятельно. Для этого не только необходимо знать свой предмет, но и хорошо ориентироваться в дисциплинах профессионального блока [6].

В частности, для студентов, обучающихся в институте связи по специальности «Инфокоммуникационные системы и сети», мы готовим задачи, связанные с передачей и приемом сигналов. Например, вместо того, чтобы решать типовые примеры с шарами, картами и рулеткой, студенты выполняют задания с электрическими цепями, содержащими замыкающие и размыкающие реле, и находят вероятности прохождения сигнала по участку цепи при разном количестве реле и различных способах их подключения (схемы подключений можно варьировать бесконечно). В задачах на гипергеометрическое распределение им предлагается определить вероятности разрыва определенного количества жил при повреждении кабеля. Практически в каждом разделе дисциплины основная масса задач носит подобный характер.

Вот пример задания на использование формулы полной вероятности и формулы Байеса:

«При передаче сообщений с космической станции на Землю используется двоичный код, “единица” и “ноль” в котором встречаются в среднем в соотношении $m:n$. Статистические свойства помех при передаче сигнала таковы, что в среднем искажаются k сообщений “единица” и p сообщений “ноль”. Определить вероятность того, что:

а) поступивший сигнал был принят без искажений;

б) сигнал, который был принят без искажений, оказался “единица”».

Для студентов экономического факультета, осваивающих специальность «Финансы и кредит», по той же теме дается задача с другим условием:

«Банк выдает физическим лицам три вида кредитов: кредиты на покупку автомобиля, кредиты на покупку жилья и потребительские кредиты. В среднем $m\%$ от всех выданных кредитов составляют автокредиты, $n\%$ – ипотека, остальные кредиты – потребительские. Вероятности того, что кредит не будет возвращен, для них равны a , b , c соответственно. Найти вероятность того, что:

а) очередной выданный кредит не будет возвращен;

б) невозвращенный кредит оказался кредитом на покупку автомобиля».

Легко видеть, что математические шаблоны условий и, соответственно, решения двух последних задач абсолютно идентичны. Однако, как показывает практика, если первое задание дать группе учащихся-экономистов, а второе – группе будущих инженеров, то они вызовут гораздо меньший интерес и познавательную активность студентов. Именно поэтому рекомендуется использовать такую фабулу задач, чтобы, обсуждая вопросы теории вероятностей и математической статистики, устанавливать междисциплинарные связи с профильными предметами. В результате такого подхода студенты получают наглядное представление о применимости изучаемого материала в практической деятельности и более эффективно овладевают профессиональными компетенциями.

Подбор числовых данных

Важный аспект при составлении задач, на который указывал И.В. Арнольд, заключается в выборе числовых данных [1]. Во многих случаях подбор исходных параметров позволяет выйти за рамки текущего условия задачи и вывести решение на новый уровень обсуждения.

В качестве примера приведем известную задачу на нахождение числовых характеристик дискретных случайных величин [7, с. 248]:

«Некий брокер имеет некоторую фиксированную сумму денег, которую может вложить в ценные бумаги трех видов. Случайными величинами выступают доходности этих ценных бумаг, для которых задаются соответствующие законы распределения. Требуется определить наиболее выгодное вложение средств».

В исходной задаче средний ожидаемый доход, который находится как математическое ожидание случайной величины, получается различным, что дает основание

вложить деньги в ценную бумагу, для которой он получается самым большим. Однако мы изменили численные данные таким образом, чтобы средний ожидаемый доход во всех трех случаях получился одинаковым. Это приводит к продолжению обсуждения и естественному заключению о том, что мерой «выгодности» в случае одинаковой доходности может служить риск, связанный с покупкой акций: неудачно вложив средства, можно недополучить средний ожидаемый доход или потерять деньги. Естественнее сделать выбор в пользу тех ценных бумаг, риск для которых будет наименьшим. Рассчитав степень риска как среднее квадратичное отклонение, снова численно получаем близкие результаты (опять-таки за счет подбора данных задачи) и переходим к обсуждению еще одной возможности, когда средства вкладываются поровну в покупку всех трех видов ценных бумаг. Повторяя вычисления, студенты убеждаются в том, что ожидаемый доход при этом остается на прежнем уровне, а вот риск уменьшается почти в два раза, что является наглядной иллюстрацией экономического принципа диверсификации.

Еще один прием, который мы активно используем в своей работе, касается формулировки данных задачи непосредственно при участии самих студентов. На занятии по теме «Зависимость дискретных случайных величин» вся группа учащихся составляет совместный закон распределения двух случайных величин: к примеру, оценок по высшей математике и по философии, полученных ими в предыдущую сессию. Затем они находят законы распределения отдельных компонент и условные законы распределения: распределение оценок по философии, при условии получения отличной оценки по математике или распределение баллов по математике при условии несданного экзамена по философии. Далее определяются числовые характеристики распределения и рассчитывается коэффициент линейной корреляции. На основании полученного значения для коэффициента корреляции формулируется вывод о наличии и характере линейной зависимости между этими двумя случайными величинами.

Такой же подход часто нами используется при изучении раздела «Математическая статистика». В качестве выборки, подлежащей исследованию, студенты сами предлагают различные наборы данных: количество денег, потраченных ими за предыдущий день, баллы ЕГЭ, полученные ими по какой-либо дисциплине, количество поездок в общественном транспорте за неделю и многое другое. В результате

обсуждения составляется выборка, которую учащиеся исследуют, составляя интервальный или дискретный вариационный ряд. Они строят многоугольник частостей, график выборочной функции распределения, находят числовые характеристики выборки и обсуждают полученные результаты с позиций поставленной задачи.

Занимательный сюжет задачи

Еще одно важное соображение при выборе и составлении задач – их увлекательность и занимательность. Нередко бытует мнение о том, что занимательность, как привлекательная сторона обучения, должна иметь место только в школе, где перед учителем стоит задача формирования познавательного интереса учащихся к своему предмету. В высшем учебном заведении такой подход часто считается излишним, так как туда приходят учиться уже достаточно взрослые люди, сумевшие сделать свой профессиональный выбор, и, следовательно, не нуждающиеся в дополнительном стимулировании к получению знаний.

Практика показывает, что это, безусловно, не так. В частности, занимательность может использоваться как своеобразная разрядка при объяснении большого по объему или трудного материала. Известно, что на протяжении всего занятия уровень интеллектуальной активности учащихся меняется и обычно снижается к концу пары. С другой стороны, решение задач на семинарах начинается с самых легких и далее идет с возрастающей трудностью, поэтому на конец занятия приходится самая большая умственная нагрузка. Чтобы сгладить это противоречие и поддержать трудоспособность студентов, мы используем веселые и занимательные задачи, вызывающие у ребят оживление и интерес.

Вот, например, задача на формулу Бернулли:

«Студент бросает монету. Если монета упадет орлом, он идет в кино, если монета упадет решкой – он садится играть на компьютере, если монета встанет на ребро, он отправится на занятия, а если повиснет в воздухе – будет готовиться к зачету. Считая эти исходы равновероятными, найти вероятность, что

а) в результате пяти попыток молодому человеку трижды выпадет необходимость идти на занятия;

б) все десять попыток окончились необходимостью готовиться к зачету».

Занимательность может служить эмоциональной основой для изучения наиболее трудных вопросов изучаемого материала, например для решения задач повышенной сложности. В таком случае наглядный сю-

жет помогает при разборе условия задачи и выборе методов ее решения. Например, вариант задачи на использование формулы Байеса, в которой требуется не только правильно выбрать гипотезы, но и найти условные вероятности события, которые по условию не заданы:

«Двое полицейских независимо друг от друга ведут слежку за наркоторговцем. Преступник может находиться либо в отеле, либо в кабаке, переходя из одного места в другое случайным образом. В отеле он находится 30% времени, а в кабаке – 70%. Первый полицейский передает ошибочные сведения в 2% случаев, а второй – в 8% случаев. В некоторый момент времени первый полицейский сообщил, что наркоторговец находится в отеле, а второй – что он находится в кабаке. Куда нужно выехать группе захвата, чтобы с большей вероятностью произвести арест преступника?»

Интересные и занимательные задачи по теории вероятностей, которые мы собирали в течение многих лет, нашли отражение в работе [8]. Тем не менее банк таких задач непрерывно пополняется.

Результаты исследования и их обсуждение

Наш опыт преподавания дает основание считать, что выбор задач в соответствии с изложенными выше принципами позволяет актуализировать обучение теории вероятностей и математической статистике в соответствии с профессиональной направленностью учащихся, а использование веселых и занимательных сюжетов активизирует работу студентов на практических занятиях. Разумеется, создание «банка» заданий – длительный и трудоемкий процесс, но сами студенты охотно принимают в нем участие, что демонстрирует высокий уровень вовлеченности их в процесс освоения дисциплины. Привлечение учащихся к составлению новых задач несет большой методический смысл: помогает им научиться выделять из сюжета структуру задачи и выбирать метод ее решения.

Практика показывает, что фантазия студентов не знает границ. В качестве примера приводим задачу, составленную студенткой второго курса по теме «Теорема гипотез. Формула Байеса»:

«Доктор Хаус ставит диагноз пациенту. Он подозревает у него одну из трех болезней: васкулит, волчанка или ревматоидный артрит. Вероятности этих заболеваний равны соответственно $1/2$, $1/6$ и $1/3$. Чтобы дифференцировать диагноз, Хаус назначил анализ, дающий положительный результат с вероятностью 0,1 для васкулита,

0,2 для волчанки и 0,9 для артрита. Анализ провели 5 раз, и он дал четыре положительных результата и один отрицательный. Требуется помочь доктору Хаусу с постановкой наиболее вероятного диагноза».

Заключение

Правильный выбор задач служит не только для закрепления теоретического материала, но и для установления межпредметных связей между дисциплинами, которые играют важную роль в формировании профессиональных компетенций. В любом возрасте и на любой стадии обучения учащийся будет более активно участвовать в познавательном процессе, если сделать для него этот процесс более интересным, полезным и занимательным.

Список литературы

1. Арнольд И.В. Принципы отбора и составления арифметических задач. М.: МЦНМО, 2008. 45 с.

2. Тутынина О.И., Куанышев В.Т. Компетентностный подход как средство преодоления кризиса преподавания высшей математики в вузах // Качество высшего и среднего профессионального образования в условиях перехода на федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения: материалы LX межвузовской научно-методической конференции (Новосибирск, 25 апреля 2019 г.). Новосибирск: Издательство Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, 2019. С. 227–233.

3. Власова Е.А., Меженная Н.М., Попов В.С., Пугачев О.В. Методические аспекты обеспечения дисциплины «Теория вероятностей» в техническом университете // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 11 С. 96–103.

4. Красс М.С., Чупрынов Б.П. Математика для экономического бакалавриата. М.: ИНФРА-М, 2022. 472 с.

5. Песчанский А.И. Математика для экономистов: основы теории, примеры и задачи. М.: ИНФРА-М, 2022. 520 с.

6. Дорохова О.Е., Крылов А.Н. Методика конструирования метапредметных задач по высшей математике // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 6. С. 114–119.

7. Малыхин В.И. Математика в экономике. М.: ИНФРА-М, 2000. 356 с.

8. Зеленцов Б.П., Тутынина О.И. Теория вероятностей в познавательных и забавных задачах. М.: Либроком, 2019. 138 с.

УДК 378.147

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ

Ульянов В.Ю., Гришин С.Е., Зверева К.П., Норкин И.А., Клоктунова Н.А.
ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов,
e-mail: ksenya.zvereva.91@mail.ru

Актуальность цифровой трансформации образования в преподавании травматологии и ортопедии определяется следующими тремя факторами: внедрением цифровых технологий, изменяющих и формирующих новые способы и тактики лечения; доминированием в молодежной среде цифрового формата общения; медленной адаптацией преподавателей высшей школы и еще более медленным внедрением в образовательный процесс эффективных цифровых форматов, инструментов и методов. Целью данного исследования стало определение наиболее эффективных образовательных практик с применением информационных технологий, которые бы способствовали повышению качества преподавания дисциплины «Травматология и ортопедия». В статье обобщен 16-летний опыт кафедры травматологии и ортопедии СГМУ им В.И. Разумовского по применению цифровых технологий в процессе преподавания этой дисциплины. Показано, что использование цифровых технологий в рамках модели «Виртуальная кафедра 2.0» находится на этапе активного освоения разнообразных инструментов, что позволит сформировать базовые цифровые компетенции будущего врача. Прогнозируется необходимость перехода к модели «Виртуальная кафедра 3.0», что позволит сформировать профессиональные отраслевые компетенции в сфере цифрового развития, тем самым создавая обогащенную образовательную среду. Обсуждаются перспективы использования в преподавании 3D-моделирования, дополненной и виртуальной реальности.

Ключевые слова: травматология и ортопедия, преподавание, цифровые технологии, модель виртуальной кафедры

STUDY OF ALUMINUM ALLOY ROLLING OIL ANTIFRICTION PROPERTIES BY ULTIMATE REDUCTION METHOD

Ulyanov V.Yu., Grishin S.E., Zvereva K.P., Norkin I.A., Kloktunova N.A.
Saratov State Medical University, Saratov, e-mail: ksenya.zvereva.91@mail.ru

The relevance of the digital transformation of education in the teaching of traumatology and orthopedics is determined by the following three factors: the introduction of digital technologies that change and form new methods and tactics of treatment; dominance in the youth environment of the digital format of communication; slow adaptation of higher education teachers and even slower introduction of effective digital formats, tools and methods into the educational process. The purpose of this study was to determine the most effective educational practices using information technology that would improve the quality of teaching the discipline "Traumatology and Orthopedics". The article summarizes the 16-year experience of the Department of Traumatology and Orthopedics of V.I. Razumovsky on the use of digital technologies in the process of teaching this discipline. It is shown that the use of digital technologies within the framework of the "Virtual Department 2.0" model is at the stage of active development of various tools, which will allow the formation of basic digital competencies of the future doctor. It is predicted that it is necessary to move to the "Virtual Department 3.0" model, which will allow the formation of professional industry competencies in the field of digital development, thereby creating an enriched educational environment. The prospects for using 3D modeling, augmented and virtual reality in teaching are discussed.

Keywords: traumatology and orthopedics, teaching, digital technologies, virtual department model.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Последние годы наблюдается стремительная цифровая трансформация общества. Её правовые основы закреплены в Постановлении Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1836 «О государственной информационной системе «Современная цифровая образовательная среда»; Указе Президента Российской Федерации от 21 июля 2021 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»; Распоряжении Правительства РФ от 21 декабря 2021 г. № 3759-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации науки и высшего образования» [1-3].

Современные информационные технологии все чаще используются в систе-

ме здравоохранения. Во многих медицинских исследованиях невозможно обойтись без компьютера и специального программного обеспечения, знаний и навыков в сфере информационных и «сквозных» технологий, востребованных на рынке труда и необходимых в будущей профессиональной деятельности. Этот процесс сопровождается существенными изменениями в медицинской теории и практике, связанными с внесением корректив на этапе подготовки медицинских кадров [4].

Актуальность цифровой трансформации преподавания травматологии и ортопедии определяется следующими тремя факторами: внедрением в отрасль цифровых технологий, изменяющих и формирующих

новые способы и тактики лечения; доминированием в молодежной среде цифрового формата общения; медленной адаптацией преподавателей высшей школы и еще более медленным внедрением в образовательный процесс эффективных цифровых форматов, инструментов и методов. Конкурентоспособными и востребованными будут те медицинские университеты, которые смогут обеспечить подготовку врачей – травматологов-ортопедов, обладающих надпредметными цифровыми компетенциями. В соответствии с этим перед кафедрами травматологии и ортопедии появляется новая задача – способствовать формированию знаний, умений и навыков в области информационных технологий, необходимых врачу – травматологу-ортопеду в профессиональной деятельности для разработки баз данных, работы с системами поддержки принятия врачебных решений (СППВР), медицинскими информационными системами.

Цель исследования – выявить наиболее эффективные практики преподавания с использованием информационно-коммуникационных технологий для повышения качества преподавания травматологии и ортопедии.

Материал и методы исследования

Нами обобщен 16-летний опыт кафедры травматологии и ортопедии Саратовского ГМУ им В.И. Разумовского Минздрава России по применению цифровых технологий в процессе преподавания дисциплины «Травматология и ортопедия» для студентов 5-6 курсов лечебного, педиатрического и медико-профилактического факультетов, а также клинических ординаторов и аспирантов.

Результаты исследования и их обсуждение

Эволюция внедрения цифровых технологий на кафедре травматологии и ортопедии СГМУ включала три этапа.

Рассматривая первый (подготовительный) этап, следует отметить, что в учебном процессе широко использовались изготовленные на кафедре электрифицированные стенды, макеты, тренажеры, муляжи, комплекты фотографических альбомов, рентгенограмм, таблиц и наборы слайдов по всем темам практических занятий и лекционных курсов. На данном, эмпирическом, этапе делались первые попытки составления баз данных и работы с большими данными.

Перелом в мышлении профессорско-преподавательского состава кафедры наступил в начале 2000-х годов. На втором

(начальном) этапе был успешно реализован следующий принцип: в основе преподавания специальности «Травматология и ортопедия» в сложившихся современных условиях должно лежать гармоничное сочетание традиционных и инновационных технологий [5]. Одной из таких новаций стал локальный Центр симуляционного обучения, заработавший в сентябре 2006 г. при методологической поддержке кафедры травматологии и ортопедии в СГМУ им. В.И. Разумовского. На базе Центра студенты отрабатывали необходимые в клинической практике навыки, которые в дальнейшем применяли при работе с больными. Для обеспечения этого процесса Центр был оборудован специальными наглядными пособиями и симуляторами с современным программным обеспечением.

Другой новацией явился научно-образовательный центр (НОЦ) в области травматологии и ортопедии, созданный несколькими годами позже на базе Саратовского ГМУ и Саратовского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии (СарНИИТО) [6]. В рамках НОЦ начались первые проекты по внедрению информационных технологий в процесс преподавания дисциплины «Травматология и ортопедия». Так, была создана информационная система (совместная база данных травматологических больных СГМУ им В.И. Разумовского и СарНИИТО), которая использовалась специалистами в области травматологии для объективной оценки и сравнительного анализа информации, полученной в результате применения различных методов лечения пациентов с травмами опорно-двигательной системы. На основании анализа данных генерировались основные положения, формулировались выводы и практические рекомендации, которые в последующем были интегрированы в учебный процесс и позволяли обучающимся выстроить эффективную клинико-диагностическую и лечебную модель.

Уже на втором этапе сотрудники кафедры пришли к пониманию, что эффективность инноваций в значительной степени зависит от уровня и качества информационной поддержки и сопровождения процесса. Был разработан ряд программных продуктов целевого назначения для использования в научно-исследовательской и образовательной деятельности. В 2009-2012 гг. кафедра совместно с СарНИИТО и СГУ им. Н.Г. Чернышевского выполнила научно-исследовательскую работу по теме «Разработка вычислительно-информационных технологий компьютерного моделирования

на параллельных вычислительных комплексах травматологических и операционных процессов для оперативной выработки диагностических и лечебных рекомендаций». По тематике выполняемого научного исследования была подготовлена и защищена кандидатская диссертация [7]. В целом второй этап характеризуется инициативным точечным внедрением цифровых технологий в преподавание травматологии и ортопедии.

Третий, современный, этап ведет отсчет с 2010 года. На данном этапе началась реализация модели «Виртуальная кафедра 2.0». Основной акцент в ней делался на формировании базовых цифровых компетенций врача – травматолога-ортопеда. Преподаватели стали использовать новые возможности цифровых технологий для обеспечения эффективности процессов обучения травматологии и ортопедии в современных условиях. Так как компетентностная модель выпускника должна учитывать стремительное развитие цифровых и сквозных технологий, она расширена знанием основ работы с облачными сервисами, принципами и алгоритмами поиска информации в сети Интернет, современного программного обеспечения и функционального оборудования для травматологии и ортопедии; умением различать и применять основные виды цифровых медицинских ресурсов, системы поддержки принятия решений; владением навыком использования актуальных специализированных программ и функционального оборудования для лечения больных травматолого-ортопедического профиля. Это неизбежно влечет за собой необходимость формирования у самого преподавателя дисциплины «Травматология и ортопедия»

таких цифровых компетенций, как использование онлайн-инструментов, умение визуализировать материалы по курсу с использованием цифровых технологий и создавать виртуальные площадки для студенческой группы, использовать возможности социальных сетей для целей преподавания и т.д. Третий этап характеризуется осознанием профессорско-преподавательским составом кафедры необходимости активного использования в обучении информационных технологий и цифровых инструментов.

Сегодня, когда цифровая среда для студента является привычной, комфортной и кажется безопасной, коммуникация с обучающимися, помимо традиционных устоявшихся форм, может осуществляться в форматах вебинаров, онлайн-лекций, онлайн-консультаций и видеоконференций, организации удаленной работы в случае необходимости с использованием ресурсов образовательного портала Саратовского ГМУ им В.И. Разумовского, платформ «Вебинар» и Moodle.

В качестве обязательного компонента модель виртуальной кафедры включает в себя применение симуляционных видео, которые показали высокую эффективность в изучении курса «Травматология и ортопедия», поэтому важным направлением в деятельности кафедры последних лет стало создание по инициативе заведующего кафедрой травматологии и ортопедии д.м.н., профессора И.А. Норкина учебно-методических фильмов и их размещение в электронной образовательной среде вуза. Данные фильмы были созданы для обучения студентов и врачей-ординаторов различным современным методикам остеосинтеза (рис. 1).



Рис. 1. Обложки учебно-методических фильмов, созданных на кафедре травматологии и ортопедии Саратовского ГМУ им В.И. Разумовского

В учебно-методическом фильме «Методика накостного остеосинтеза при переломах дистального отдела бедренной кости» на симуляционной модели бедренной кости и интраоперационно показаны особенности хирургического доступа, выполнения оперативных приемов, а также минимальная комплектация набора хирургических инструментов и компоненты металлоконструкции [8]. В фильме «Блокируемый интрамедуллярный остеосинтез при переломах диафиза бедренной кости» показаны особенности выполнения операции, начиная от хирургического доступа и заканчивая ушиванием раны [9]. В видеопособии «Остеосинтез аппаратом внешней фиксации осложненных переломов костей голени» демонстрируется методика внеочагового остеосинтеза, комплектация аппаратов внешней фиксации, точки проведения спиц и стержней, наложения колец и монтирования системы [10]. Обучение с использованием фильмов субъективно воспринимается студентами лучше, чем обучение по 2D-изображениям.

Внедрение модели «Виртуальная кафедра 2.0» потребовало пересмотра фонда оценочных средств. Сотрудниками кафедры была разработана программа ЭВМ «Программа оценки результативности подготовки студентов» [11]. Она реализует алгоритм, позволяющий оценить уровень сформированности компетенций и трудовых функций студентов в целом, а также в отдельных кластерах по специальности «Травматология и ортопедия». В результате тестирования программа выдает рекомендации по повышению качества образования. С использованием цифровых технологий были перестроены сами модули оценки «Знать – уметь – владеть». Для оценки компонента «Знать» используется онлайн-тестирование на базе образовательного портала СГМУ им В.И. Разумовского. Также по желанию преподавателя тестирование качества «обучение» может осуществляться и с помощью сервиса Online Test Pad (<https://www.onlinetestpad.com/>). В компоненте «Уметь» ставится задача активнее использовать цифровые ресурсы для построения индивидуальных траекторий освоения дисциплины. Для персональных траекторий обучения преподавателями кафедры используются сервисы Zoom, Yandex, ВКонтакте <https://vk.com/>. Развивая компонент «Владеть», преподаватели кафедры разработали кейс заданий согласно содержанию рабочих программ с размещением на образовательном портале. На базе указанного портала с целью оптимизации процесса написания клинической истории болезни размещено учеб-

но-методическое пособие, определяющее последовательность исследования больного методами опроса, осмотра, пальпации, перкуссии, сравнительных измерений. Обучаемые с большим интересом участвуют в проведении клинических разборов уникальных случаев в виде презентаций типа «История одной травмы», во время которой они анализируют уже выполненные лечебные мероприятия и предлагают различные варианты своих, анализируя и обосновывая их, разбирая возможные ошибки и осложнения в процессе лечения пациентов.

В формировании клинического мышления обучающихся одной из основных компонент является применение в образовательном процессе СППВР. Это позволяет не только «погрузиться» в цифровой мир травматолого-ортопедического будущего, но и ознакомить студентов с различными вариациями клинико-диагностических и лечебных мероприятий при патологиях опорно-двигательного аппарата, а также проводить «беспристрастный» контроль полученных знаний. На базе Научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии Саратовского ГМУ им. В.И. Разумовского и кафедры травматологии и ортопедии Саратовского ГМУ им. В.И. Разумовского были разработаны и внедрены в практику регистры медицинской информации «Исходы хирургического лечения осложненной травмы шейного отдела позвоночника», «Мониторинг висцеральных осложнений в остром и раннем периодах травматической болезни спинного мозга», база данных лейкоцитарных показателей иммунной реактивности организма у пациентов с воспалительными осложнениями различного генеза после эндопротезирования крупных суставов (коленного или тазобедренного) [12-15].

Для формирования базовых цифровых компетенций врача – травматолога-ортопеда рекомендуем использовать в образовательном процессе хорошо зарекомендовавшие себя цифровые инструменты. Так, технологии инфографики и визуализации учебных материалов осуществляются с помощью программных продуктов PowerPoint, Canva (<https://www.canva.com/>), Visme (<https://www.visme.co/>). Майндмэппинг (составление диаграмм связей) функционален при визуализации и структурировании проблемы и ее дальнейшем совместном обсуждении (MindMap (<https://www.mindmeister.com/>)). В создании привлекательной инфографики удобны сервисы «Инфограмм» (<https://infogram.com/>). Автоматизировать общение со студентами позволяют чат-боты. Их интеграция с платформой «ВКонтакте» по-

звонит быстро получать обратную связь, информировать о возможных изменениях в расписании, напоминать о сроках сдачи работ и т.п.

В процессе преподавания дисциплины «Травматология и ортопедия» каждый преподаватель сталкивается с проблемами повышения мотивирования студентов на качественное освоение курса, авральным подходом к заданиям, формальным, нетворческим выполнением практических и самостоятельных работ. Нами апробированы цифровые технологии активизации процесса обучения. Во-первых, для оперативного контроля самостоятельной работы студентов, совместного обсуждения и решения возникающих в ходе выполнения самостоятельной работы проблем очень удобна «виртуальная доска» (Miro (<https://miro.com/app/dashboard/>), Padlet (<https://padlet.com/>), Mentimeter (<https://www.mentimeter.com/>)). Во-вторых, студентов стимулирует заполнение цифрового профиля и его ведение в процессе обучения дисциплине «Травматология и ортопедия», то есть у них возникает дополнительная мотивация для успешного прохождения курса. В процессе обучения постоянно актуализируется информация о достижениях обучающегося, их участии в научно-практических конференциях, написании научных статей и научно-исследовательской деятельности. В-третьих, проведение брейн-рингов с использованием программы MyQuiz позволяет повысить интерес к изучаемому предмету, а также провести контроль знаний в «непринужденной обстановке».

Для организации самостоятельной работы студента используется цифровая среда электронных научных библиотек открытого доступа и по подписке университета – Электронная научная библиотека https://elibrary.ru/project_risc.asp, ЭБС IPR BOOKS <http://www.iprbookshop.ru/>, ЭБС «Консультант студента» <https://www.studentlibrary.ru/> и ЭБС «Консультант врача».

Скажем несколько слов о применении инструментов, направленных на минимизацию рисков использования цифровых технологий на занятиях. Несмотря на то что с момента наших публикаций, посвященных рискам при внедрении информационных технологий [16-18], прошло свыше 10 лет, проблема продолжает оставаться актуальной. Наряду с выявленными ранее рисками появляются и новые. Нельзя игнорировать современные черты образа жизни молодого поколения – использование смартфонов является неотъемлемым элементом повседневной практики. При-

менение гаджетов на занятиях студентами приветствуется, но есть и риски использования смартфонов на практических занятиях: вместо изучения материала студенты могут «уйти» в социальные сети или заняться интернет-серфингом. Прогнозируя данный риск, для включения мобильных устройств в образовательный процесс авторы предлагают использовать технологию QR-кода, посредством которого студент получает доступ к заданиям, лекциям, тестам и другим материалам.

Дальнейшее развитие модели «Виртуальной кафедры 2.0» мы связываем с включением во все звенья образовательного процесса специализированного программного обеспечения для врачей – травматологов-ортопедов. Уже много лет студенты и ординаторы имеют возможность освоить работу с комплексом аппаратно-программной автоматизированной обработки и протоколирования медицинских диагностических исследований «АрхиМед» российского производителя программного оборудования ООО «Мед-Рей». Изучение клинической дисциплины «Травматология и ортопедия» требует наглядности. Например, ведущим и незаменимым методом диагностики в травматологии и ортопедии остается рентгенография. Умение правильно интерпретировать рентгеновское изображение, устанавливать и обосновывать с его помощью предварительный диагноз можно считать основным практическим навыком обучаемых, а также частью их профессиональной компетенции. Для закрепления практического навыка коллектив кафедры выпустил учебные пособия, в т.ч. в электронном виде, в которых представлены цифровые рентгенограммы наиболее часто встречаемых нозологических единиц как травматологического, так и ортопедического профиля [19; 20].

Реализуя модель «Виртуальной кафедры 2.0», д.м.н. профессор В.Ю. Ульянов прошел переподготовку на базе Сеченовского медицинского университета и стал сертифицированным специалистом по телемедицине. Внедрение данной новации позволило не только сделать высококвалифицированную помощь доступной даже в отдаленных регионах страны, но и значительно повысило уровень знаний и квалификации не только специалистов, но и обучающихся, участвующих в данном процессе.

Кафедрой травматологии и ортопедии Саратовского ГМУ им. В.И. Разумовского успешно апробировано применение технологии 3D-печати в преподавании дисциплины «Травматология и ортопедия» (рис. 2).

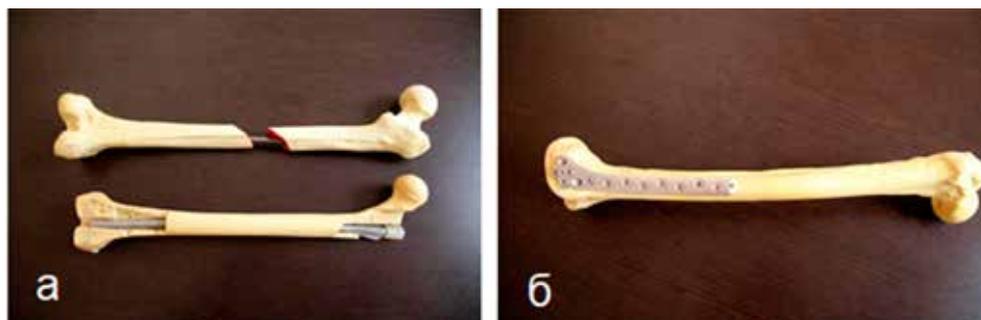


Рис. 2. Макеты, изготовленные на 3D-принтере:
 а – диафизарного перелома бедренной кости с интегрированным интрамедуллярным штифтом;
 б – перелома бедренной кости, синтезированного при помощи пластины

Важно отметить, что возможность тактильного изучения костных структур в норме и при патологии существенно расширяет опыт будущего врача и позволяет лучше усвоить учебный материал. Наш опыт свидетельствует о том, что обучение на моделях, изготовленных по технологии 3D-печати, субъективно воспринимается студентами как более удовлетворительное, чем обучение исключительно по 2D-изображениям. Аналогичные позитивные результаты от применения моделей, изготовленных по технологии 3D-печати, в преподавании травматолого-ортопедических дисциплин получены и другими авторами: на примере 41 ординатора Lim P.K. et al. доказали, что макеты переломов вертлужной впадины, изготовленные по технологии 3D-печати, позволяют освоить соответствующий материал гораздо лучше, чем обучение с помощью изображений, полученных с помощью компьютерной томографии [21]. Wu A.M. et al. обучали группы студентов проведению оценки переломов таза и позвоночника. Группа, обученная на макетах, изготовленных по технологии 3D-печати, в последующем тесте показала значительно более высокую точность оценки, чем группа, обученная на материалах, полученных с помощью компьютерной томографии. В своем исследовании эта группа авторов доказала, что патологические изменения в областях тела со сложными анатомическими условиями – таких, как таз или позвоночник – понимаются студентами лучше, если в учебном процессе используются макеты, изготовленные по технологии 3D-печати [22].

В современном образовании возможно применение 3D-визуализаций – таких, как дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR). AR интегрирует трехмерные визуализированные объекты в реальный мир, а VR отображает полностью анимированный трехмерный мир. Тем не ме-

нее Huang Z. et al. в своем исследовании показывают, что использование в обучении моделей, созданных с помощью 3D-печати, дает значительно лучшие результаты, чем применение AR/VR. Анатомические ориентиры, линии переломов с классификациями и механизм перелома вертлужной впадины лучше распознавались учащимися, обучавшимися на моделях, созданных с помощью 3D-печати, чем теми, кто готовился к тесту с использованием AR/VR [23]. Поэтому перспективным является создание и внедрение в учебный процесс гибридных симуляторов, сочетающих в себе макеты, изготовленные с помощью 3D-печати, и VR-визуализации, например для отработки навыков проведения операций на позвоночнике, с максимально реалистичными тактильными ощущениями [24].

Дальнейшие перспективы применения информационных технологий связаны с трансформацией проекта: необходимо осуществить переход от модели «Виртуальная кафедра 2.0» к модели «Виртуальная кафедра 3.0». В нашем представлении «Виртуальная кафедра 3.0» может стать официальной структурной единицей коллаборации медицинских университетов, осуществляющей подготовку студентов в рамках определенной специализации. «Виртуальная кафедра 3.0» – это динамичная организационная модель, главной задачей которой является формирование профессиональных отраслевых компетенций в сфере цифрового развития. «Виртуальная кафедра 3.0» ориентирует на процесс обучения, а не предоставления информации, она снимает проблему отделения студентов и лучших преподавателей во времени и пространстве. Виртуальная кафедра – перспективная модель, она может быть построена на сочетании сотрудничества равных в отличие от модели, продвигаемой рядом ведущих российских университетов, когда

в цифровой среде право лекций и всей архитектуры курсов остается только за 2-3 университетами, а за провинцией – практические занятия и техническая реализация шаблонных решений. Понятно, что в медицинском университете онлайн-образование имеет свои ограничения, однако в то время, как при традиционном подходе лекция обычно читается один раз в запланированный день, в модели «Виртуальная кафедра 2.0» студенту предоставляется возможность снова и снова слушать лекцию того преподавателя, за которым закреплена данная учебная нагрузка. В модели «Виртуальная кафедра 3.0» появится возможность слушать лекцию признанного специалиста по конкретной теме. Обучение через повторение является неотъемлемым преимуществом модели «Виртуальной кафедры 3.0». Если у студента или ординатора возникает проблема с освоением курса, то он может получить поддержку от профессорско-преподавательского состава всех кафедр травматологии и ортопедии из тех вузов, которые создали коллаборацию. Также может быть запланировано проведение индивидуальных цифровых стажировок для профессорско-преподавательского состава на базе ведущей кафедры.

Одним из первых «Виртуальную кафедру 3.0» разработали и внедрили в Шэньянском политехническом университете – для обучения по одной специальности объединилось 8 университетов Китая [25]. В России близкие по идеологии к «Виртуальной кафедре 3.0» проекты реализуют Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова (проект научно-практических мероприятий с использованием телемедицинских технологий), Евразийский ортопедический форум (ЕОФ), одним из стратегических партнеров которого является НИИТОН СГМУ (проект онлайн-клуба ЕОФ), и профессиональный клуб травматологов-ортопедов. Первые попытки реализации модели «Виртуальная кафедра 3.0» на базе кафедры травматологии и ортопедии в виде чтения лекционного материала к.м.н., доцентом Марковым Д.А. проходят в рамках сотрудничества с Самаркандским государственным медицинским университетом (Узбекистан).

Заключение

Использование цифровых технологий в преподавании травматологии и ортопедии в рамках модели «Виртуальная кафедра 2.0» находится на этапе активного освоения разнообразных цифровых инструментов,

что позволит сформировать базовые цифровые компетенции будущего врача.

Переход на образовательную модель «Виртуальная кафедра 3.0» будет способствовать развитию профессиональных цифровых компетенций в сфере цифрового развития, создавать обогащенную образовательную среду; преодолевать пространственные ограничения, повышать качество преподавания, совместно создавать и использовать цифровые образовательные ресурсы; укреплять сотрудничество между профильными кафедрами медицинских университетов.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2021 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726> (дата обращения: 31.01.2023).
2. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1836 «О государственной информационной системе «Современная цифровая образовательная среда». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/74922854> (дата обращения: 31.01.2023).
3. Распоряжение Правительства РФ от 21 декабря 2021 г. № 3759-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации науки и высшего образования». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403203308> (дата обращения: 31.01.2023).
4. Садчиков Д.В., Кулигин А.В., Клоктунова Н.А., Барсукова М.И., Лушников А.В., Букин И.А., Подрезова Г.В., Зеулина Е.Е. Методическая система кафедры скорой неотложной и анестезиолого-реанимационной помощи // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 10. С. 177-181.
5. Адамович Г.А., Решетников А.Н., Левченко К.К., Бахтеева Н.Х., Зарецков А.В., Киреев С.Н., Белоногов В.Н., Марков Д.А., Эдиев М.С., Зверева К.П., Попков Е.В. Преподавание травматологии и ортопедии на кафедре высшей школы в современных условиях // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27993> (дата обращения: 31.01.2023).
6. Гришин С.Е., Ульянов В.Ю., Островский В.В., Пучиньян Д.М., Норкин И.А. Травматология и ортопедия в Саратове: история, традиции, достижения: в 3 томах. Т. II. Саратов: Изд. центр Саратов. гос. мед. ун-та, 2021. С. 281-282.
7. Кауц О.А. Хирургическое лечение околоушных переломов проксимального отдела бедренной кости и их последствий (экспериментально-клиническое исследование): автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 2010. 25 с.
8. Зуев П.П., Моисеев Е. П., Норкин И.А. Методика костного остеосинтеза при переломах дистального отдела бедренной кости: учебно-методический фильм. Обязательный экземпляр зарегистрирован 10.08.2020. № 032200164.
9. Зуев П. П., Моисеев Е. П., Норкин И.А. Блокируемый интрамедуллярный остеосинтез при переломах диафиза бедренной кости: учебно-методический фильм. Обязательный экземпляр зарегистрирован 10.08.2020. № 032200161.
10. Зуев П.П., Моисеев Е.П., Норкин И.А. Остеосинтез аппаратом внешней фиксации осложненных переломов костей голени: учебно-методический фильм. Обязательный экземпляр зарегистрирован 10.08.2020. № 032200162.
11. Зверева К.П., Моисеев Е.П., Марков Д.А., Ульянов В.Ю., Норкин И.А. Программа оценки результативности подготовки студентов. № регистрации (свидетельства) 20200664106. Дата публикации 08.11.2020.

12. Островский В.В. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2021621615 РФ. Регистр медицинской информации пациентов с травмами позвоночника. Заявл. № 202162150222 от 27.07.2021, опублик. 27.07.2021. Бюлл. №8.
13. Ульянов В.Ю. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2022622137 РФ. Регистр медицинской информации «Исходы хирургического лечения осложненной травмы шейного отдела позвоночника». Заявл. № 2022621983 от 10.08.2022; опублик. 25.08.2022. Бюлл. №9.
14. Норкин И.А., Ульянов В.Ю. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2022622136 РФ. Регистр медицинской информации «Мониторинг висцеральных осложнений в остром и раннем периодах травматической болезни спинного мозга». Заявл. № 2022622046 от 18.08.2022, опублик. 25.08.2022. Бюлл. № 9.
15. Садчиков Д.Д., Пучиньян Д.М., Норкин И.А. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2022622244 РФ. База данных лейкоцитарных показателей иммунной реактивности организма у пациентов с воспалительными осложнениями различного генеза после эндопротезирования крупных суставов (коленного или тазобедренного). Заявл. № 2022622173 от 12.09.2022, опублик. 14.09.2022. Бюлл. № 9.
16. Гришин С.Е. Прогноз развития информационных рисков и угроз // Информационная безопасность регионов. 2011. № 2. С. 93-96.
17. Овчинников С.А., Гришин С.Е. Угрозы личности, обществу и государству при внедрении информационных технологий // Информационная безопасность регионов. 2011. (2). С. 26-31.
18. Овчинников С.А., Гришин С.Е. Комплексный подход к рассмотрению теории управления рисками при внедрении информационных технологий // Вестник СГСЭУ. 2011. (5). С. 188-191.
19. Федонников А.С., Моисеев Е.П. Программа мониторинга и оценки медико-организационной и социально-психологической составляющих реабилитации после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2018610955 23.11.2017.
20. Норкин И.А., Адамович Г.А., Решетников А.Н. и др. Рентгенодиагностика заболеваний костей и суставов: учебное пособие. Саратов: Изд-во СГМУ, 2016. 136 с.
21. Lim P.K., Stephenson G.S., Keown T.W., Byrne C., Lin C.C., Marecek G.S., Scolaro J.A. Use of 3D Printed Models in Resident Education for the Classification of Acetabulum Fractures. *Journal of Surgical Education*. 2018. No. 75(6). P. 1679-1684. DOI: 10.1016/j.jsurg.2018.04.019.
22. Wu A.M., Wang K., Wang J.S., Chen C.H., Yang X.D., Ni W.F., Hu Y.Z. The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Ann Transl Med*. 2018. Vol. 6. No. 20. P. 403. DOI: 10.21037/atm.2018.09.59.
23. Huang Z., Song W., Zhang Y., Zhang Q., Zhou D., Zhou X., He Y. Three-dimensional printing model improves morphological understanding in acetabular fracture learning: A multicenter, randomized, controlled study. *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13. No. 1. P. e0191328. DOI: 10.1371/journal.pone.0191328.
24. Weidert S., Mayr M., Achilles F., Greiner A., Rubenbauer B., Becker C., Sommer F., Kammerlander C. Erprobung eines neuartigen Hybrid-Simulators für dorsale bildwandlerunterstützte perkutane Wirbelsäulenoperationen. *Die Wirbelsäule*. 2018. Vol. 02. No. 01. P. 87. DOI: 10.1055/s-0043-125162.
25. Хуа В. Повышение качества преподавания в вузах с опорой на создание виртуальной кафедры // Современное педагогическое образование. 2021. № 12. С. 232-235.

УДК 376.2

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ КОРРЕКЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

¹Чернобровкин В.А., ¹Карлова Ю.В., ¹Мужилевская Д.В.,¹Барбина В.Д., ²Чернобровкина М.В.¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: chernobrov.vl@mail.ru, karlova.yulya5@mail.ru, 92797@mail.ru, barbvik@mail.ru;²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна», Санкт-Петербург, e-mail: masha01april@mail.ru

Настоящая статья посвящена исследованию научно-методических подходов коррекционно-педагогического сопровождения детей с ограниченными возможностями здоровья. Поиск новых технологий, соответствующих современному технологическому прогрессу, выступает приоритетным направлением в образовательном пространстве Челябинской области. В условиях модернизации системы образования РФ одной из актуальных является проблема обучения и воспитания детей с ограниченными возможностями здоровья. В январе 2022 г. на базе МОУ СОШ № 20 г. Магнитогорска был открыт второй в Челябинской области и единственный в Магнитогорске Ресурсный класс для особо нуждающихся детей с расстройством аутистического спектра. Недостаточная разработанность концептуально-методологических основ коррекционно-педагогического сопровождения детей с ОВЗ и РАС требует безотлагательной проработки и является серьезным обоснованием педагогической целесообразности реализации предлагаемого исследования. По результатам исследования разработан и апробирован комплекс психолого-педагогических мероприятий, включающий специальное методическое пособие «РоботПлюс», образовательно-игровые технологии, нетрадиционные техники игровой деятельности с робототехническим устройством «Robonova-1», игровые упражнения, консультативный материал «Познавательный интерес вашего ребенка» и практическое портфолио «РоботПлюсМалыш», направленные на дальнейшее обеспечение социализации и развития детей с ОВЗ и РАС, повышение профессиональных компетенций будущих специалистов, обеспечение высокого уровня жизнедеятельности участников образовательного процесса. Определены новые педагогические подходы, способствующие достижению коррекционно-развивающего эффекта образовательного процесса с детьми с ограниченными возможностями здоровья.

Ключевые слова: расстройство аутистического спектра, современное образовательное пространство, цифровая образовательная среда, коррекционно-педагогическая работа, безопасность, коррекционные и развивающие технологии, робототехнические устройства

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES CORRECTIONAL AND PEDAGOGICAL SUPPORT CHILDREN WITH DISABILITIES

¹Chernobrovkin V.A., ¹Karlova Yu.V., ¹Muzhilevskaya D.V.,¹Barbina V.D., ²Chernobrovkina M.V.¹Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk,
e-mail: chernobrov.vl@mail.ru, karlova.yulya5@mail.ru, 92797@mail.ru, barbvik@mail.ru;²Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg,
e-mail: masha01april@mail.ru

This article is devoted to the study of scientific and methodological approaches to correctional and pedagogical support for children with disabilities. The search for new directions corresponding to modern technological progress is a priority in the educational space of the Chelyabinsk region. In the context of the modernization of the education system of the Russian Federation, one of the most urgent is the problem of teaching and educating children with disabilities. In January 2022, on the basis of the Secondary School No. 20 in Magnitogorsk, the second in the Chelyabinsk Region and the only one in the city of Magnitogorsk Resource Class for children with special needs with an autism spectrum disorder was opened. The insufficient development of the conceptual and methodological foundations of correctional and pedagogical support for children with disabilities and ASD requires urgent study and is a serious justification for the pedagogical expediency of implementing the proposed study. Based on the results of the study, a set of psychological and pedagogical measures was developed and tested, including a special methodological manual "RobotPlus", educational and gaming technologies, non-traditional techniques for playing activities with the robotic device "Robonova-1", game exercises, advisory material "Cognitive interest of your child" and practical portfolio "RobotPlusMalysh", aimed at further ensuring the socialization and development of children with disabilities and ASD, improving the professional competencies of future specialists, ensuring a high level of life of participants in the educational process. New pedagogical approaches have been identified that contribute to the achievement of the correctional and developmental effect of the educational process with children with disabilities. echnologies.

Keywords: autism spectrum disorder, modern educational space, digital educational environment, correctional and pedagogical work, safety, correctional and developmental technologies, robotic devices

Разработка фундаментальных исследований, поиск новых подходов, соответствующих современному технологическому прогрессу, выступают приоритетными направлениями в образовательном пространстве региона Челябинской области. В условиях модернизации системы образования РФ одной из актуальных является проблема обучения и воспитания детей с ограниченными возможностями здоровья. Приоритетным направлением государственной политики в сфере образования является инклюзивное образование детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), в том числе с расстройством аутистического спектра (РАС).

В январе 2022 г. на базе МОУ СОШ № 20 г. Магнитогорска был открыт второй в Челябинской области и единственный в Магнитогорске Ресурсный класс для особо нуждающихся детей с расстройством аутистического спектра. Важность и значимость открытия ресурсного класса была подтверждена поддержкой и присутствием на открытии уполномоченной по правам ребенка в Челябинской области Евгении Майоровой, начальником службы инклюзивного образования Министерства образования и науки Челябинской области Марины Меркуловой, куратором проекта, председателем Челябинской областной организации помощи детям «Открытое сердце» Елизаветы Кирилловой, а также руководства ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», института гуманитарного образования и кафедры дошкольного и специального образования.

Сложность и серьезность данного неврологического отклонения детей требует создания специальных образовательных условий, поиска и применения новых, специально разработанных педагогических моделей и технологий, способствующих достижению развивающего эффекта образовательного процесса, а также высокопрофессиональной компетентности педагогов, работающих с такими детьми. Недостаточная разработанность концептуально-методологических подходов коррекционно-педагогического сопровождения детей с ОВЗ и РАС выступает серьезным обоснованием педагогической целесообразности, значимости реализации предлагаемого исследования.

Актуальность реализации исследования определяется возрастающей численностью детей с ОВЗ и в то же время происходящими в обществе интеграционными и информационными процессами, которые требуют обновления системы образования,

ориентированной на вхождение в мировое образовательное пространство. Современная коррекционная педагогика нуждается в инновационных коррекционно-развивающих образовательных технологиях, способных дополнить имеющиеся традиционные методики и позволить организовывать доступное качество образования детям с ОВЗ. Многочисленные медицинские исследования до сих пор не выявили единой концепции относительно причин появления РАС у детей. Известно, что большую роль играют генетические и биологические факторы, вызывающие отклонения в развитии ребенка на раннем этапе [1, с. 180].

Одним из активно развивающихся в настоящее время направлений робототехники является образовательная робототехника как ее дидактическая модель и интеграционная междисциплинарная область, в том числе с использованием андроидных робототехнических устройств, роботов телеприсутствия [2, 3] во взаимодействии робот – ребенок [4], позволяющая вовлечь в воспитательно-образовательный процесс обучающихся разного уровня, возраста и физических возможностей их здоровья, о чем свидетельствуют результаты исследований как отечественных, так и зарубежных педагогов и экспертов [5–8].

Цель исследования – анализ ключевых положений, концепций и материалов, направленных на формирование научно-методических подходов коррекционно-педагогического сопровождения детей с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с расстройством аутистического спектра, для создания специального в Магнитогорске и Челябинской области научно-методического центра на базе ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании представлены данные, основанные на применении методов теоретической и эмпирической направленности: теоретический анализ, классификация, психологическая диагностика, наблюдение, беседа, исследование опытно-экспериментальной работы с детьми с ОВЗ, в том числе с РАС, математическая и статистическая обработка результатов исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование проводилось на базе образовательных организаций разного вида г. Магнитогорска Челябинской области: Ресурсный класс на базе МОУ СОШ № 20

г. Магнитогорска (5 детей с РАС), Логопед.дос – Центр речевого развития детей (2 группы с нарушениями в речевом развитии: 21 ребенок), Студия раннего развития – родительский клуб «Дом», работающая по технологии Марии Монтессори (2 группы: среднего и старшего дошкольного возраста – 32 ребенка) с использованием антропоморфного робота-тьютора из серии «RoboNova-1». Общее количество экспериментальной выборки участников составило 58 чел.

Недостаточная исследовательность коррекционно-педагогического сопровождения детей с особенностями психофизического развития с использованием андронидных робототехнических устройств как важнейшего социально-психического механизма успешной социализации детей обусловила разработку и апробацию методического комплекса коррекционно-педагогических мероприятий, направленных на активизацию и улучшение диагностируемых показателей. Дети, страдающие РАС, испытывают проблемы с пониманием чужих эмоций, поэтому робот должен как можно точнее воспроизводить и воспринимать их [9, с. 1]. С ребенком-аутистом общаются на непонятном ему языке, но если подобрать язык понятный ему, то становится возможным и диалог. Согласно научным исследованиям отечественных и зарубежных авторов роботы хорошо зарекомендовали себя в реабилитации детей с аутизмом [10–12].

После подготовительного поисково-аналитического этапа разработки и моделирования методического комплекса коррекционно-педагогических мероприятий была осуществлена его поэтапная последовательная апробация, включая констатирующий, деятельностный формирующий и контрольный этапы в названных выше образовательных организациях.

Для проведения *констатирующего* этапа исследуемых экспериментальных групп с целью выявления исходного уровня искомых показателей отношения и реакции детей на участие в образовательных мероприятиях с использованием андронидного робототехнического устройства «RoboNova-1», определения параметров их когнитивного и эмоционального развития, познавательной активности, владения речевыми навыками, социальной адаптированности, нами был разработан специальный диагностический инструментарий, основные критерии и сравнительные показатели которого представлены в таблице, проведена беседа с педагогами и родителями. Анализируя данные, представленные в ходе

проделанной опытно-поисковой работы, был сделан вывод о том, что основные показатели диагностических критериев у детей с ОВЗ и РАС находятся на границе низкого и среднего уровней развития, что обусловило инертность их интереса, слабую степень социальной адаптированности, владения речевыми навыками и желания участвовать в диалоговых ситуациях.

Для проведения *формирующего* этапа, в ходе исследовательской работы по коррекционно-педагогическому сопровождению детей с ОВЗ и РАС было разработано специальное методическое пособие «Робот-Плюс», включающее в себя комплекс из десяти практико-ориентированных занятий и мастер-классов «Невероятные приключения с Роботом Степой», образовательно-игровые технологии, нетрадиционные техники игровой деятельности с робототехническим устройством, игровые упражнения, а также консультативный материал «Познавательный интерес вашего ребенка» и практическое портфолио «РоботПлюсМалыш» для заполнения в процессе прохождения занятий. Среди наиболее понравившихся детям занятий были представлены: «Мы в безопасности», «Давайте знакомиться», «Будь самостоятельным!», «Угадай, чей голос», «Конструктивное общение», «День цветов» и др. Разработанный комплекс занятий отличается игротерапевтическим содержанием и был представлен в обновленном, экспериментальном виде. Предлагаемый консультативный материал направлен на совершенствование развития интереса детей через образовательную робототехнику в игре и рекомендован как педагогам, так и родителям, в котором посредством систематизированной информации в формате электронных брошюр родителям был представлен полезный, легко доступный и качественно отобранный материал для улучшения эффективности воспитания детей.

Функциональные возможности устройства «RoboNova-1» достаточно широки: это современный уникальный танцующий андронидный робот-конструктор: умеет ходить, танцевать, кувыряться, делать акробатические трюки, издавать световые излучения с музыкальным сопровождением; управляется с помощью программы Roboscript; осуществляет движение за счет 16 мощных цифровых сервоприводов, разработанных компанией Hitec; имеет гироскоп, датчик наклона, акселерометр, Bluetooth-модуль, ультразвуковой и инфракрасный сенсоры, программируется с использованием специального софта.

Критерии и значения показателей диагностического инструментария исследуемых экспериментальных групп на констатирующем и контрольном этапах

| Экспериментальная группа | Показатели и критерии диагностического инструментария | Значения показателей | | |
|--|--|----------------------|-----------|-----------|
| | | Высокое | Среднее | Низкое |
| | | Констатирующий | | |
| | | Контрольный | | |
| Родительский клуб «Дом»: р. среднего и старшего дошкольного возраста (32 чел.) | – степень проявления творческой инициативы, эмоциональной отзывчивости; познавательного интереса | 6/18,74% | 13/40,63% | 13/40,63% |
| | | 11/34,38% | 18/56,25% | 3/9,37% |
| | – уровень владения речевыми и языковыми навыками | 5/15,62% | 21/65,63% | 6/18,75% |
| | | 7/21,87% | 22/68,76% | 3/9,37% |
| | – степень социальной адаптированности и психологической комфортности | 3/9,4% | 10/31,25% | 19/59,35% |
| | | 8/25% | 17/53,13% | 7/21,87% |
| | – степень увлеченности, желаний общения с роботом-андроидом | 13/40,63% | 14/43,75% | 5/15,62% |
| | | 28/87,5% | 3/9,37% | 1/3,13% |
| Логопед.doc: гр. среднего и старшего дошкольного возраста (21 чел.) | – степень проявления творческой инициативы, эмоциональной отзывчивости; познавательного интереса | 8/38,09% | 10/47,63% | 3/14,28% |
| | | 9/42,86% | 11/52,38% | 1/4,76% |
| | – уровень владения речевыми и языковыми навыками | 1/4,77% | 17/80,95% | 3/14,28% |
| | | 5/23,81% | 15/71,43% | 1/4,76% |
| | – степень социальной адаптированности и психологической комфортности | 2/9,52% | 15/71,43% | 4/19,05% |
| | | 7/33,33% | 13/61,91% | 1/4,76% |
| | – степень увлеченности, желаний общения с роботом-андроидом | 8/38,09% | 9/42,86% | 4/19,05% |
| | | 18/85,72% | 3/14,28% | 0 |
| Ресурсный класс на базе МОУ СОШ № 20 г. Магнитогорска (5 чел.) | – степень проявления творческой инициативы, эмоциональной отзывчивости; познавательного интереса | 1/20% | 2/40% | 2/40% |
| | | 2/40% | 2/40% | 1/20% |
| | – уровень владения речевыми и языковыми навыками | 1/20% | 1/20% | 3/60% |
| | | 2/40% | 2/40% | 1/20% |
| | – степень социальной адаптированности и психологической комфортности | 0 | 2/40% | 3/60% |
| | | 1/20% | 3/60% | 1/20% |
| | – степень увлеченности, желаний общения с роботом-андроидом | 2/40% | 2/40% | 1/20% |
| | | 4/80% | 1/20% | 0 |

Для успешной реализации предлагаемого методического комплекса были созданы и использованы специальные психолого-педагогические условия, которые предполагали:

- разработку и апробацию специальной программы из 10 коррекционно-развивающих занятий с использованием робототехнического устройства;

- подготовку тьюторского сопровождения для использования андроидного робототехнического устройства на занятиях;

- создание обогащенной предметно-развивающей среды со специальной площадкой для робота в опоре на принципы разнообразия, полифункциональности, вариативности, трансформируемости, доступности и безопасности для осуществления познаватель-

ной увлеченности и эмоциональной отзывчивости детей;

- вовлеченность и мотивацию ребенка в учебный процесс от присутствия на занятии робота, лишеного эмоциональной неуравновешенности, готового к выполнению команд со стороны преподавателя и ребенка, способного выступать в роли дружелюбного «сообучающегося», похожего на маленького человечка, для последующей активизации социального взаимодействия с реальными детьми;

- взаимосвязь специально организованных занятий с самостоятельной деятельностью детей (решение проблемных, игровых, творческих ситуаций, визуального и тактильного контакта с роботом).

В отношении методологии и техники разработки – использование методического конструктора, предполагающего наряду с традиционными (наглядные, словесные, практические, игровые) и нетрадиционные методы и приемы (управление роботом с помощью пульта, планшета, в том числе и самими детьми; создание программ простейших алгоритмов последовательности его движений; использование с участием робота стимулирующих методов, специальных игровых упражнений, полей, электронных брошюр, памяток, инструкционных карт), направленных на повышение внимания, целостности восприятия детей, в зависимости от степени их возможностей и ограниченности здоровья.

Характерными особенностями работы с данным методическим комплексом явилось не только знакомство с новыми предметами, материалами и техникой их применения, но и создание у детей положительного эмоционального настроения, поддержание, активизация интереса к новым технологиям с возможностью общения, управления, простейшего программирования движений андроида, который является своеобразным социальным посредником-коммуникатором между педагогом и ребенком, в силу возможности выступать объектом не только для игровой деятельности, но и учебного моделирования, конструирования, а также демонстрацией для решения задач социально-коммуникативного, познавательного, речевого, физического и художественно-эстетического направлений.

По результатам *контрольного* этапа проведенной коррекционно-педагогической работы с использованием андроида робототехнического устройства «Робопова-1», представленных в таблице, было выявлено, что в исследуемых экспериментальных группах Логопед.доп и Родительский клуб «Дом» показатели значительно улучшились в сторону увеличения средних и высоких значений. Средние и высокие значения показателей представленного диагностического инструментария уверенно демонстрировали дети с РАС Ресурсного класса на базе МОУ СОШ № 20 г. Магнитогорска.

На заключительно-обобщающем этапе осуществлялась обработка, анализ и интерпретация результатов проведенной работы, уточнение и обобщение основных выводов.

Предлагаемый комплекс и консультативный материал позволили не только улучшить когнитивную и эмоциональную сферу детей с ОВЗ и РАС, но и активизировать их взаимоотношения в группе, создать довери-

тельную атмосферу как в образовательной организации, так и в рамках взаимоотношений в семьях детей. Соглашаясь с мнением компетентных исследователей при проведении нашего эксперимента, было определено, что роботу проще привлечь внимание ребенка и процесс обучения становится более эффективным, чем при занятии с человеком [13]. Использование консультативного материала позволило не только информировать родителей (законных представителей) об особенностях развития детей, но и находить пути выхода из некоторых сложных воспитательных ситуаций, не травмируя их психику, формировать способность детей самостоятельно решать задания, искать выход из поставленной проблемы и более тесно контактировать друг с другом, преодолевать изоляцию и стигматизацию, с которыми приходится сталкиваться людям с РАС, позволив им развиваться и расти по мере их сил и возможностей [14].

Рассмотрев полученные данные в статистике критерия Фридмана для сопоставления показателей, измеренных в условиях на одной и той же выборке испытуемых, было установлено, что величины показателей от условия (работа без андроида) к условию (работа с роботом) изменяются. Использован алгоритм применения критерия Фридмана: 1) ранжировать индивидуальные значения каждого испытуемого, полученные им в нескольких замерах в ходе ряда длительности с роботом по пособию; 2) суммировать показатели и определить эмпирическое значение χ^2 . В этом случае сопоставление показателей было уравновешено по всем признакам, значимым для исследования.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов экспериментального исследования с учетом теоретических трудов о коррекции и развитии детей с ОВЗ подтверждается комплексностью и адекватностью методов опытно-поискового анализа, соответствующих основным его задачам; объективностью способов оценки результатов эксперимента, корректностью реализованной работы и возможностью применения полученных результатов в дальнейшем. Согласно данным расчетов по χ^2 – критерию Фридмана, большая часть показателей равны или превышают критические значения, что подтверждает статистическую достоверность проведенного исследования и эффективность использования андроидных робототехнических устройств в воспитательно-образовательной, игровой деятельности, в особенности с детьми с ОВЗ и РАС.

Эффективность использования предлагаемого методического комплекса в коррекции и развитии детей с ОВЗ и РАС, в сравнении с традиционными подходами, включая эмоционально-уровневый, прикладной поведенческий, рекомендуемые при нарушениях эмоциональных контактов, либо когнитивных функций и т.д., заключается, на наш взгляд, в его комплексности, интегрированности, корреляционной способности, альтернативной предназначенности; хотя выбор коррекционного подхода для каждого ребенка является индивидуальным и далеко не всегда однозначным. Осознание значимости коррекционно-педагогического сопровождения детей с ОВЗ и РАС, эффективности его использования посредством игровой деятельности с применением андроидного устройства подтверждается мнением авторов о том, что многие вмешательства с использованием несоциальных объектов доступны для детей с РАС, однако гуманоидные роботизированные вмешательства могут быть более интересными для детей.

Заключение

По результатам исследовательской работы коррекционно-педагогического сопровождения детей с ОВЗ и РАС мы пришли к выводам педагогической целесообразности использования андроидных робототехнических устройств: включение их в контекст воспитательно-образовательной, игровой деятельности, в особенности с детьми с ОВЗ и РАС, дает заметные положительные коррекционно-развивающие результаты. Робот-андроид – не только объект игровой деятельности, но и средство учебного моделирования и конструирования, способное оказывать содействие в решении воспитательно-образовательных, коррекционно-развивающих задач социально-коммуникативного, познавательного, речевого, физического, художественно-эстетического развития. Робототехника раздвигает горизонты коррекционно-педагогической деятельности, в особенности с детьми с ОВЗ, позволяет использовать врожденный интерес детей к технике в процессе их успешной социализации [15, с. 155].

Основные целевые ориентиры и результаты реализуемого проекта:

– положительные эмоции, стабилизация психики, усиление восприимчивости и неугасающего интереса к андроидному устройству, в силу его стабильности, лишённости эмоциональных проявлений, предсказуемости реагирования на поведение детей;

– улучшение двигательных навыков в стремлении повторить движения робота;

– развитие внимательности, большей усидчивости, расширение познавательных, языковых, речевых, умственно-мыслительных способностей и навыков;

– расширение социальной адаптации, проявление большей независимости и самостоятельности в поведении, повышение коммуникативного взаимодействия с детьми и взрослыми;

– использование андроида позволяет осуществлять более персонализированную коррекционную работу с возможностью проецировать индивидуальные маршруты в зависимости от специфики проявления отклонений детей с ОВЗ.

Основные положения настоящего исследования были доложены на Панельной дискуссии Консорциума «Медицинские роботы и системы интеллектуального управления: диагностика, реабилитация, хирургия», проходившем во время Российской недели здравоохранения – 2022 в ЦВК «Экспоцентр» (г. Москва, 5 декабря 2022 г.), где ведущие представители медицинских учреждений, научных организаций и производственных компаний представили спектр решений и технологических возможностей медицинской робототехники, наметили перспективы направления развития отрасли и особенности интеграционных процессов.

Список литературы

1. Кувшинова И.А., Новожилова Д.А., Чернобровкин В.А. Развитие межполушарного взаимодействия у детей дошкольного возраста с расстройствами аутистического спектра // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2022. Вып. 2 (62). С. 179–187. DOI: 10.23951/2307-6127-2022-2-179-187.
2. Вязова Н.В., Макашова В.Н., Чистякова Н.С. Внедрение робота телеприсутствия в образовательный процесс // Новые информационные технологии в образовании и науке. 2019. Вып. 2. С. 53–59.
3. Ромазанов М.Р., Рябчевский В.О., Пастухова Е.И. Анализ современных подходов при создании роботов телеприсутствия // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии: материалы VIII Международной научно-технической интернет-конференции молодых ученых. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 58–62.
4. Шандаров Е.С., Зимица А.Н., Ермакова П.С. Анализ поведения робота-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот – ребенок // Гуманитарная информатика. 2014. Вып. 8. С. 52–64.
5. Гагарина Д. Робототехника для детей с особенностями развития: мнения экспертов. [Электронный ресурс]. URL: <https://edurobots.org/2015/09/robototexnika-dlya-detey-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami/> (дата обращения: 17.01.2022).
6. Skaskellati B., Admoni H., Matorin M. Robots for use in autism research. *Annu Rev Biomed Eng.* 2012. No. 14. P. 275–294. DOI: 10.1146/annurev-bioeng-071811-150036.
7. Ben Robins, Paul Dickerson, Penny Stribling, Kerstin Dautenhahn. Robot-mediated joint attention in children with au-

tism: A case study in robot-human interaction. *Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systemsinteraction Studies*. 2004. No. 5 (2). P. 161–198.

8. Русякова Е.Е., Пустовойтова О.В., Киселева Ю.П., Яковлева Л.А. Теория и практика использования робототехники в образовательном процессе // *Высшее образование в России*. 2019. № 6. С. 158–167.

9. Омельченко Е.Я., Мухамадиева А.Р., Воронов Е.В., Чигинцева Е.Г., Аболмасова Л.С. Разработка комплекса движений антропоморфного робота для развития детей с расстройством аутистического спектра // *Электротехника*. 2018. Т. 4. № 2. С. 1–4.

10. Laurie Dickstein-Fischer, Elizabeth Alexander, Xiaonan Yan, Hao Su, Kevin Harrington, Gregory S Fischer An affordable compact humanoid robot for Autism Spectrum Disorder interventions in children. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011. No. 5319–5322. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091316.

11. Литвинова Г.В., Рязанцев А.Е. Использование робота NAO в коррекции ребенка с аутизмом // *Человеческий капитал*. 2019. № 5 (125). DOI: 10.25629/HC.2019.05.14.

12. Сунагатуллина И.И., Пушкарева А.А. Использование робототехники в работе с детьми, имеющими расстройства аутистического спектра // *Коррекционно-педагогическое образование*. 2020. № 1 (21). С. 48–52.

13. Dautenhahn Kerstin. Socially intelligent robots: dimensions of human-robot interaction. *Philos Trans. R. Soc Lond B Biol Sci*. 2007 Apr 29. № b 362 (1480). P. 679–704. DOI: 10.1098/rstb.2006.2004.2007.

14. Kumazaki H., Yoshikawa Y., Yoshimura Y. The impact of robotic intervention on joint attention in children with autism spectrum disorders. *Molecular autism* 2018. No. 9. P. 46. DOI: 10.1186/S13229-018-0230-8.

15. Чигинцева Е.Г., Аболмасова Л.С. Использование робототехники в реабилитации детей с расстройством аутистического спектра // *Экология, здоровье и безопасность в современном образовательном пространстве: сборник научных трудов по результатам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, 2018. С. 152–155.

УДК 378.1:372.851

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МЫШЛЕНИЕ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА:
ПОНЯТИЙНЫЙ АНАЛИЗ И ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ
В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ****Чигиринская Н.В., Григорьева О.Е., Бочкин А.М., Андреева М.И.***ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград,
e-mail: nvtchi@yandex.ru.*

Статья посвящена понятийному анализу и опыту формирования вычислительного мышления будущего инженера. Приводится исторический обзор генезиса и развития понятия «вычислительное мышление». Сделан акцент на близости этого понятия и понятия «алгоритмическое мышление». Выявлена сущность инженерной деятельности по проектированию новой техники и технологии. Обосновано, что построение новой технической и конструкторской документации аналогично построению алгоритма решения вычислительной задачи. Сопоставлены виды мышления и выделены три составляющие, а также свойства вычислительного мышления. Рассмотрены функции методической среды технического вуза, и на их основе выявлен дидактический потенциал дисциплины «Численные методы». Апробация авторского курса позволила выявить две параллельные стратегии формирования вычислительного мышления будущего инженера. Описан конструкт методического комплекса «Элементы вычислительной математики». Даны практические рекомендации по эффективному формированию и развитию вычислительного мышления в исполнении триады: лекция – практика – лабораторная работа. Приведен пример авторской активации ментальных схем с помощью преподавателя и в процессе самостоятельной и командной работы студентов. Предложено использование смешанного обучения с использованием ИКТ. Доказана целесообразность перехода от педагогического к математическому сопровождению студентов на старших курсах вуза.

Ключевые слова: вычислительное мышление, вычислительная задача, компетенции инженера, математическое моделирование, математическое сопровождение профессиональной подготовки

**METHODOLOGICAL AND METHODICAL FOUNDATIONS
FOR THE DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL
INTELLECTION OF A FUTURE ENGINEER****Chigirinskaya N.V., Grigoreva O.E., Bochkin A.M., Andreeva M.I.***Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: nvtchi@yandex.ru*

The article is devoted to conceptual analysis and experience in the formation of computational thinking of a future engineer. A historical overview of the genesis and development of the concept of “computational thinking” is given. Emphasis is placed on the proximity of this concept and the concept of “algorithmic thinking”. The essence of engineering activity on the design of new equipment and technology is revealed. It is substantiated that the construction of new technical and design documentation is similar to the construction of an algorithm for solving a computational problem. The types of thinking are compared and three components are singled out, as well as the properties of computational thinking. The functions of the methodological environment of a technical university are considered and, on their basis, the didactic potential of the discipline “Numerical Methods” is revealed. Approbation of the author’s course made it possible to identify two parallel strategies for the formation of the computational thinking of the future engineer. The construct of the methodological complex “Elements of Computational Mathematics” is described. Practical recommendations are given for the effective formation and development of computational thinking in the performance of the triad: lecture-practice-laboratory work. An example of the author’s activation of mental schemes with the help of a teacher and in the process of independent and team work of students is given. The use of blended learning using ICT is proposed. The expediency of the transition from pedagogical to mathematical support of students in the senior courses of the university is proved.

Keywords: computational intellection, computational problem, engineer competencies, mathematical modeling, mathematical support for professional training

История возникновения термина «вычислительное мышление восходит к 220 г. до н.э., когда Архимед, используя методы вычислительной математики, получил двухстороннюю оценку для числа π . Таких примеров можно привести достаточно много, Их роднит то, что вычисления начались с осознанной потребности человека в получении приближенных методов решения насущных задач (геометрических вычислений, а также потребностей механики, физики, химии и других областей науки и техники). Вычислительная математика смогла

обеспечить возможность человеку «...манипулировать цифровыми представлениями и моделями... все люди в какой-то мере занимаются вычислительным мышлением уже в повседневной жизни...» [1].

В технических вузах численные методы изучаются в виде отдельных глав при изучении высшей математики, математического моделирования, методов оптимизации. Этот подход закреплен в рекомендациях Европейского общества инженерного образования (SEFI) в документе «Математика для европейского инженера» [2]. В боль-

шинстве российских технических вузов предмет «Численные методы» является самостоятельным и читается на втором курсе.

Говоря о дисциплине «Численные методы», следует отметить, что она является основной в подготовке специалистов в области вычислительной математики, а также физики и информатики в классических и педагогических университетах. В современных условиях, когда Россия столкнулась с необходимостью отстаивания собственного технологического суверенитета, существенно возрастает роль инженера как носителя технологической культуры. Только на основе возрождения лучших образцов инженерных школ, базирующихся на фундаментальной подготовке в области математики и, в частности развитом вычислительном мышлении, Россия сможет доказать свою самостоятельность и технологическую независимость [3]. Поэтому целью исследования является описание феномена «вычислительное мышление инженера» и анализ опыта его формирования в процессе профессиональной подготовки.

Материалы и методы исследования

Методами исследования являлись: понятийно-терминологический анализ нормативных документов, контент-анализ рабочих программ, сравнительно-сопоставительный анализ педагогического опыта.

В нормативной базе ФГОС ВО [4] в качестве формируемых в образовательной деятельности вузов компетенций специалистов по направлению 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (далее соответственно – программа бакалавриата, направление подготовки) присутствуют компетенции, реализуемые с помощью вычислительного мышления: УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач; ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

Мы разделяем методологию проектирования целей инженерного образования, основанную на положениях личностно-деятельностного подхода (Б.Г. Ананьев, П.Я. Гальперин, Н.Ф. Талызина и др.), культурологического подхода (Е.В. Бондаревская, И.Я. Лернер, С.В. Кульневич и др.), а также личностно-ориентированного подхода (Н.А. Алексеев, В.В. Сериков, И.С. Якиманская и др.) согласно которым цели инженерного образования проектируются сообразно

целям инженерной деятельности, а личность будущего инженера рассматривается как ценностное ядро системы образования.

Каковы цели инженерной деятельности на сегодняшнем культурно-историческом и технико-экономическом этапе развития России? Наиболее полно эти цели отражены в понятии «инжиниринг», в классической трактовке, приведенной в издании «Britannika» [5]: «применение науки к оптимальному преобразованию ресурсов природы для нужд человечества... осознанное применение научных принципов проектирования или разработки конструкций, машин, аппаратов или производственных процессов, или работ, использующих их по отдельности или в комбинации; создание и использование их с полным пониманием их конструкции... в отношении предполагаемой функции, экономичности эксплуатации и безопасности». Иногда термин «инжиниринг» определяется более свободно, как «производство или сборка двигателей, станков и деталей машин». Основными функциями инжиниринга являются **исследовательская деятельность** – поиск новых принципов и процессов с использованием математических и научных концепций, *экспериментальных методов* и принципов индукции (*курсив авт.*), – и **генерация новых знаний**.

Следует отметить, что существует упрощенное понимание инжиниринга, под которым понимаются технические консультационные услуги, связанные с разработкой и подготовкой производственного процесса и обеспечением нормального хода процесса производства и реализации продукции [6]. Такой поверхностный подход считаем неприемлемым, поскольку он уже оказал негативное влияние на результат инженерной подготовки в вузах и, как следствие – на утрату технологического суверенитета России [7].

Поскольку современный инженерный вуз нацелен на подготовку квалифицированного инженера в любой отрасли технического знания, то круг задач по подготовке такого специалиста существенно расширен [3]. От современного инженера, обладающего системными знаниями – назовем его системным инженером, – требуется проектирование нового объекта (инженерного продукта), когда системы еще нет. Необходимо отдельные элементы новой, пока еще только создаваемой, системы, физические и другие свойства которой в неявном виде представлены разными инженерными знаниями, объединить в безотказно работающую модель, нужно по отдельным частям воссоздать образ нового на основе общих

связей и отношений [8, 9]. Также необходим анализ возможных рисков и неудач от взаимовлияния различных частей сложной инженерной системы, а также надежные алгоритмы отладки ошибочных проб. Причем время и финансовые затраты на такие алгоритмы не могут быть бесконечны, их необходимо минимизировать. Необходимо прогноз дальнейшей работы механизма, как связанной системы. Современные инженерные задачи, относящиеся к разделам механики, физики твердого тела, материаловедения решаются с помощью систем твердотельного или 3D-моделирования. Например, пакеты SolidWorks, Solid Edge, Marc 3D, «КОМПАС 3D + ВЕРТИКАЛЬ» и аналогичные создают, с применением различных схем, приближенное решение, используя моделирование на сетках. Системы предлагают пользователю набор готовых шаблонов решений, описываемых системой дифференциальных уравнений. Инженер должен, с большей или меньшей степенью детализации, описать поведение системы в узлах пространственной сети. Затем, используя возможности вычислительных методов, система «достраивает» решение до конечного требуемого результата. Получается твердотельная модель технической системы, описывающая ее с достаточной степенью точности. Необходимую возможность описания и конструирования новой технической системы представляет отдельная область математики – численные методы.

Результаты исследования и их обсуждение

Обратимся к этимологии термина. Сам термин *вычислительное мышление* был впервые использован Сеймуром Пейпертом в 1980 г. и повторно был использован им в 1996 г. Особый интерес к этому понятию в 2006 г. проявила Жаннетта Винг, профессор Питсбургского университета Карнеги-Меллона. С ее точки зрения [10], вычислительное мышление – это *фундаментальное* умение для понимания жизни и ее развития в современном мире, необходимое для решения задач, проектирования систем и понимания человеческого поведения с помощью понятий, фундаментальных для информатики: «Это абстракция, которая может быть автоматизирована, и это то, чем занимаются вычисления». Здесь видны три основных структурных элемента вычислительного мышления: (1) абстракция – формулировка проблемы; (2) автоматизация – представление решения в виде алгоритма; (3) анализ – исполнение и оценка (рефлексия) результата.

Соотношение мышления и объекта в данном случае выстроено на основе парадигмы: «Если я хочу познать данное мне Все, то как я это могу сделать?» [11]. Для того, чтобы инженеру сформировать и самостоятельно развивать вычислительное мышление, ему необходимо понимание сути самих чисел, а также умение сопоставлять эти числа с логическими операциями над ними, то есть, по сути, разрабатывать некий алгоритм решения задачи для создания технической конструкции нового инженерного продукта. Вычислительная математика в данном случае должна заменить рутинные функции человека.

Как связаны численные методы и вычислительное мышление будущего специалиста и какими свойствами должно обладать вычислительное мышление?

Психологи выделяют три вида мышления [12]: предметно-действенное (практическое), конкретно-образное и абстрактное. Инженер по роду своей деятельности мыслит и образно и абстрактно. Сравнительный анализ исследований [1, 12, 13] позволяет утверждать, что ему присущи свойства алгоритма: дискретность, определенность, результативность, массовость. Не останавливаясь подробно на каждом из них, отметим, что для инженерной деятельности наиболее важными являются последние два.

В чем заключается дидактический потенциал дисциплины «Численные методы» в среде технического вуза? Общепринятыми функциями методической среды инженерного вуза являются: организационная, методологическая и информационная. Они реализуются на занятиях лекционного типа.

Проведенный авторами контентный анализ рабочих программ дает право утверждать, что методология и методика преподавания дисциплины «Численные методы» для разных направлений подготовки инженеров существенно различаются. Поскольку для технического специалиста – инженера – важна *реальная* профессиональная задача, для которой он должен подобрать наиболее эффективный метод решения, то акцент следует делать на практических занятиях, показывая типовые расчетные и проектные процедуры, не раскрывая особенности их реализации. Исследователями, например Т.А. Степановой [14], предложены два «параллельных способа обучения», повышающие роль самостоятельной работы и создающие условия для освоения материала в сжатые сроки. Первый подход предполагает деление предметной части на классы эквивалентности, что позволяет распределить такие монозадания между студентами и организовать публичную за-

питу решений. Второй предусматривает возможность применения проектного подхода – формирование рабочей группы и декомпозиция комплексной задачи на несколько монозадач. Какой из способов обучения выбрать – решает преподаватель исходя из возможностей темы (декомпозиции материала на логически связанные части), возможностей студентов, их индивидуальных психологических характеристик, а также наличия соответствующей вычислительной базы.

Отметим особенности дидактической и методической работы по результатам опыта преподавания предмета «Численные методы». Всего исследование охватило более 200 чел. по двум направлениям подготовки «Программная инженерия» и «САПР».

На начальном этапе обучения целесообразно применение первого подхода, при котором активация ментальных схем, связанных с решением каждой конкретной задачи индуцируется и поддерживается преподавателем. Каждый элемент построенной ментальной цепи может быть как ранее сформированным, например, на занятиях по предметам «Математический анализ», «Линейная алгебра» и «Программирование», а может быть субъективно новым – являющимся неизвестным отображением новой математической реальности. Очень полезным дидактическим подспорьем явился разработанный авторами методический комплекс «Элементы вычислительной математики», включающий в себя теоретические материалы по пяти основным разделам (системы линейных уравнений, итерационные методы для нелинейных уравнений, нелинейные системы, численное интегрирование, задача Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений). Комплекс содержит материалы практических занятий, где отрабатываются основные навыки вычислений и заканчиваются заданиями на проведение лабораторных работ, вопросами к отчету по лабораторным работам и рекомендациями по составлению протокола. Каждый студент имеет возможность предварительного знакомства с материалами теории и практики еще до проведения соответствующего занятия. Учебное пособие снабжено глоссарием и ссылками на обширную литературу, что благоприятно сказывается на углубленном изучении новой и актуализации ранее полученной информации. Лекционные и практические занятия проводятся парами переменного состава, как правило, это два наиболее квалифицированных преподавателя кафедры. Ранее эти же преподаватели читали курсы математического анализа, линейной алгебры

и аналитической геометрии и акцентировали внимание студентов на вычислительных аспектах инженерных задач.

Приведем пример, иллюстрирующий данную дидактическую стратегию. При изучении темы «Нахождение собственных векторов и собственных значений, спектрального радиуса матрицы» студентам была предоставлена информация из соответствующего раздела «Линейной алгебры». Следует отметить алгоритм изучения тем. Он был выстроен в виде триады учебного комплекса: лекции – практические занятия – лабораторные работы. На лекции были актуализированы знания, связанные с нахождением характеристического многочлена, собственных чисел и собственных значений методом непосредственного развертывания, методом Крылова и методом Данилевского. Вопросы решения соответственно линейных однородных систем приближенными методами были подробно рассмотрены на практическом занятии. Аналогично был рассмотрен алгоритм нахождения матрицы поворота в методе Данилевского. В лабораторной работе (рисунок) студентам предлагалось найти соответственно собственные значения тремя предложенными способами и самостоятельно оценить трудоемкость и точность каждого из них.

После проведенного критического анализа предложенных методов студентам было предложено самостоятельно, в составе мини-групп из трех человек, выбрать алгоритм наиболее быстрый и удобный с точки зрения написания программы на языке C++ (C#).

Группа распределила роли в соответствии с функционалом вычислительных компетенций: консультирование и использование фундаментальных знаний в области численных методов (*теоретик*), реализация метода с помощью компьютерной программы (*программист*) и проведение сравнительного анализа алгоритмов, условий применимости и точности решений (*аналитик*). Коротко отметим, что функциональные роли участников группы не были инициированы педагогом, а явились следствием саморефлексии студентов. Установлено, что выбор программных средств достаточно важен, так как определяет стратегию информационного и математического сопровождения профессиональной траектории студентов на старших курсах и в практической деятельности. Именно поэтому для студентов инженерного направления полезно при изучении численных методов использовать языки программирования общего назначения, освоенные на 1...2 курсах в общеобразовательных дисциплинах.

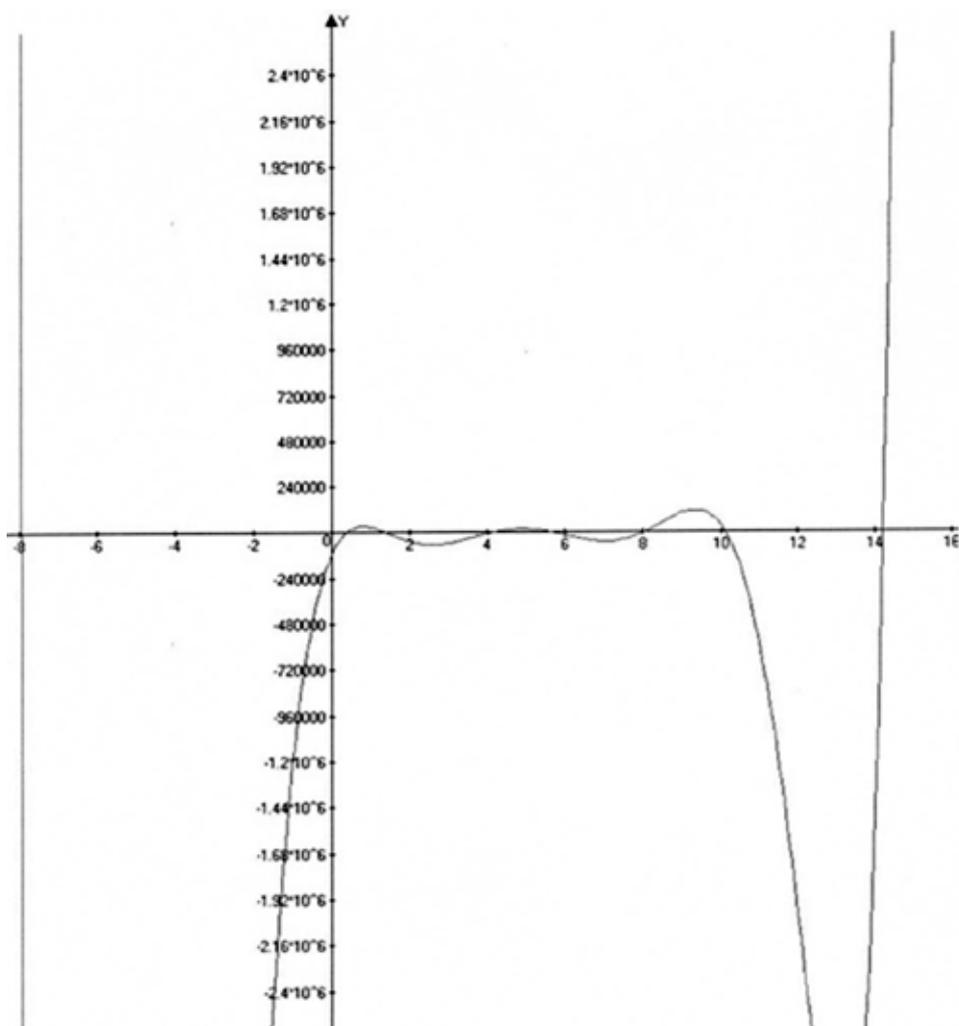
```

CRT - программа завершена
1 6 4 0 0 6 3 1
0 -3 -2 1 5 3 7 0
1 1 0 1 2 1 0 8

Матрица:
1.0000  0.0000 -1.0000  1.0000  2.0000  1.0000  0.0000  1.0000
0.0000  2.0000 -2.0000  3.0000  2.0000  6.0000 -3.0000  1.0000
-1.0000 -2.0000  3.0000  0.0000  2.0000  4.0000 -2.0000  0.0000
1.0000  3.0000  0.0000  4.0000  2.0000  0.0000  1.0000  1.0000
2.0000  2.0000  2.0000  2.0000  5.0000  0.0000  5.0000  2.0000
1.0000  6.0000  4.0000  0.0000  0.0000  6.0000  3.0000  1.0000
0.0000 -3.0000 -2.0000  1.0000  5.0000  3.0000  7.0000  0.0000
1.0000  1.0000  0.0000  1.0000  2.0000  1.0000  0.0000  8.0000

Имеет характеристический полином с коэффициентами:
1.0000 -36.0000 406.0000 -456.0000 -22627.0000 166783.0000-452386.
0000 447362.0000-110163.0000
    
```

а)



б)

Таблица значений (а) и корни (б) характеристического полинома

Исходя из вышеназванных функций вычислительного мышления выделяются соответственно стратегии его формирования: *алгоритмизации* – четкое определение последовательности вычислительных действий, *абстрагирования* – способности выделять главное, без ущерба для основного смысла решения задачи; *декомпозиции* – фрагментация задач и алгоритмов на отдельные смысловые части, которые понятны и приняты всеми участниками группы; *обобщения* – выявление общих черт структуры и алгоритмов ранее решенных задач и качественно новых с последующей адаптацией полученного алгоритма на класс потенциально возможных задач; *рефлексия* – установление качества постановки задачи и алгоритма ее решения.

На основе анализа проведенной методической работы был выдвинут комплекс дидактических условий, среди которых наиболее значимыми являются:

1. Активизация познавательной активности путем включения задач, отражающих многообразие выбора способов решения и неоднозначность достигнутого результата.

2. Учет влияния индивидуальных особенностей, психологических возможностей студентов на широту и темп предоставления теоретического материала и практических заданий.

3. Возможности современных информационно-коммуникативных технологий и вычислительной математики, программного обеспечения.

4. Формирование ценностной установки на совместную, командную деятельность.

5. Участие самих студентов в подборе, решении профессионально значимых задач и создании коллективно-распределенной среды, имитирующей будущую инженерную деятельность.

6. Выход в квазипрофессиональные среды, участие в проектной деятельности.

Заключение

Сделаем некоторые выводы по результатам проведенной работы. Вычислительное мышление является своего рода связующим звеном между вычислительной математикой и инжинирингом. Оно может быть применимо к различным техническим и общеобразовательным дисциплинам. Однако наиболее логично и целесообразно его развитие в инженерном вузе происходит на материале курса «Численные методы». Содержание курса «Численные методы» является достаточно эклектичным, а потому сложным для освоения. Целесообразно инъективное включение элементов курса «Численные

методы», например, в разделы специальных глав математики, которые могут быть прочитаны на старших курсах бакалавриата, специалитета или магистратуры. Существенное значение для выбора содержания имеют ранее сформированные знания и навыки самостоятельной и командной работы студентов, а также опыт решения проектных задач, содержание которых зависит от направления подготовки инженеров. Необходимо использовать возможности смешанного обучения с использованием современных информационных технологий. Целесообразен переход от педагогического сопровождения на младших курсах к сопровождению математическому на этапе профессиональной подготовки будущего инженера. Под математическим сопровождением в данном случае понимается совместная работа преподавателя математики со студентом старших курсов (или с уже состоявшимся специалистом, выпускником университета), успешно завершившим изучение математических дисциплин естественнонаучного блока. Необходимость в таком сотрудничестве возникает при включении студентов старших курсов в профессиональную инженерную деятельность, связанную с применением математических методов для решения инженерных задач. Подобное математическое сопровождение описано в работе [6]. Для инженеров, включенных в творческую инженерную деятельность, как правило, недостаточно использовать алгоритмы и методы, «защитые» в распространенные CAD/CAM/CAE системы. На этом уровне инженерной деятельности требуется адаптация широко применяемых систем (разработка новых) – этот процесс связан с необходимостью выбора рациональных математических методов, т.е. от инженера требуется вычислительное мышление. Для успешного решения таких задач используется не педагогическое, как на младших курсах, а именно математическое сопровождение.

Список литературы

1. Хеннер Е.К. Вычислительное мышление // Образование и наука. 2016. № 2 (131). С. 18–33. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-2-18-33.
2. The 18th SEFI Mathematics Working Group seminar on Mathematics in Engineering Education / SEFI Brussels. 2016. 229 p.
3. Чигиринская Н.В. Возможен ли ренессанс инженерного образования в России, или что должна противопоставить система высшего профессионального образования угрозам и вызовам сегодняшнего времени // Технологическое обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической отрасли: сб. науч. ст. 14-й МНТК, посвящ. 50-летию Брянской научной школы технологов-машиностроителей (Брянск, 5–7 октября 2022 г.) / Под общ. ред. Д.И. Петрешина; БГТУ. Брянск, 2022. С. 259–264.

4. ФГОС ВО (3++) по направлениям бакалавриата. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://fgosvo.ru/fgosvo/index/24/> (дата обращения: 16.01.2023).
5. Инжиниринг // Энциклопедия «Британника». 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.britannica.com/technology/engineering> (дата обращения: 31.01.2023).
6. Инжиниринг // Википедия. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Инжиниринг> (дата обращения: 10.02.2023).
7. Стенограмма заседания Совета по науке и образованию. 08.02.2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://prezident.org/tekst/stenogramma-zasedaniya-soveta-po-nauke-i-obrazovaniyu-08-02-2023.html> (дата обращения: 09.02.2023).
8. Грецова Н.В., Грецов М.В., Авдеюк О.А., Чигиринская Н.В., Соловьева О.Ю., Павлова Е.С. Математическое моделирование дзета-потенциала в примембранном слое // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 2. С. 39–43.
9. Чигиринская Н.В. Стохастическая компетенция будущего инженера как предпосылка развития стохастической культуры инженера: сущность, проблема формирования, перспективы // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 3. С. 196–200.
10. Report of a Workshop on The Scope and Nature of Computational Thinking. 2014. 114 p. [Электронный ресурс]. URL: gasstationwithoutpumps.wordpress.com/2010/08/12/algorithmic-vs-computational-thinking (дата обращения: 26.12.2022).
11. Шилов С.Е. Философские начала электронного мышления. Новое определение материи. [Электронный ресурс]. URL: http://lib.ru/POLITOLOG/SHILOW_S/s_materia.txt, 2004 (дата обращения: 13.02.2023).
12. Клунникова М.М., Пушкарева Т.П. Методы и средства развития вычислительного мышления при обучении дисциплине «Численные методы» // Современное образование. 2017. № 2. С. 95–101. DOI: 10.25136/2409-8736.2017.2.23067.
13. Ершов А.П., Звенигородский Г.А., Первин Ю.А. Школьная информатика: концепции, состояния, перспективы / Препринт № 152. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1979. 51 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ershov.iis.nsk.su/ru/node/805749> (дата обращения: 26.12.2022).
14. Степанова Т.А. Методическая система обучения курсу «Численные методы» в условиях информационно-коммуникационной предметной среды: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Красноярск, 2003. 28 с.

УДК 37.01:376.6

ЦЕННОСТНОЕ САМООПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИЧНОСТИ С ПОЗИЦИЙ НАУЧНОЙ РАЦИОНАЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Яковлева Н.Ф.

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева»,
Красноярск, e-mail: kspu@kspu.ru

Ценностное самоопределение с позиций классической педагогики понимается как «передача» ценностей существующей государственной идеологии подрастающему поколению. Научная рациональность классической педагогики оперирует методами исследования внешних по отношению к ребенку способов педагогического воздействия, способствующего формированию ценностей, и не объясняет внутренние механизмы процесса перехода общественных ценностей во внутренний план личности. Инструментарий научной рациональности неклассической педагогики позволяет представить ценностное самоопределение как «восхождение» личности к ценностям. В поле рассмотрения включаются ценностно-смысловое восприятие личностью окружающей действительности, переживание ситуации, внутренние механизмы процесса образования ценностей. Осознается важность рефлексии прошлого, настоящего и будущего, объектами которой выступают события своей жизни, осмысление эффективности способов деятельности, анализ ее результатов, поиск взаимосвязей между успешностью и способами ее достижения. С позиций научной рациональности постнеклассической педагогики ценностное самоопределение рассматривается как нелинейный процесс «сборки» ценностных структур под влиянием неожиданных изменений (флуктуаций). Постнеклассическая педагогика при объяснении механизмов ценностного самоопределения использует понятия «ценностно-смыслового хаоса» как источника возможных вариантов ценностных структур (аттракторов). Аттракторами могут быть состояния безразличия к своей судьбе, агрессивного протеста, активного преодоления и др. Поэтому ценностная структура личности не является ни единственно возможной, ни неизменной, а ценностное самоопределение можно описывать как вероятностное превращение одной из возможных ценностных структур в действительную.

Ключевые слова: ценностное самоопределение, научная рациональность, классическая, неклассическая постнеклассическая педагогика

VALUE SELF-DETERMINATION OF THE INDIVIDUAL FROM THE STANDPOINT OF SCIENTIFIC RATIONALITY OF VARIOUS TYPES

Yakovleva N.F.

Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk,
e-mail: kspu@kspu.ru

Value self-determination from the standpoint of classical pedagogy is understood as the “transfer” of the values of the existing state ideology to the younger generation. The scientific rationality of classical pedagogy operates by methods of research of methods of pedagogical influence external to the child, contributing to the formation of values, and does not explain the internal mechanisms of the process of transition of social values into the inner plan of the individual. The tools of scientific rationality of non-classical pedagogy allow us to present value self-determination as the “ascent” of a person to values. The field of consideration includes the value-semantic perception of the surrounding reality by a person, the experience of the situation, the internal mechanisms of the process of value formation. The importance of reflection of the past, present and future is realized, the objects of which are the events of one’s life, understanding the effectiveness of methods of activity, analyzing its results, searching for relationships between success and ways to achieve it. From the standpoint of scientific rationality of postnonclassical pedagogy, value self-determination is considered as a nonlinear process of “assembling” value structures under the influence of unexpected changes (fluctuations). Post-non-classical pedagogy, when explaining the mechanisms of value self-determination, uses the concepts of “value-semantic chaos” as a source of possible variants of value structures (attractors). Attractors can be states of indifference to their fate, aggressive protest, active overcoming, etc. Therefore, the value structure of a person is neither the only possible nor unchangeable, and value self-determination can be described as a probabilistic transformation of one of the possible value structures into a real one.

Keywords: value self-determination, scientific rationality, classical, non-classical post-non-classical pedagogy

Ценностное самоопределение личности относится к одной из важнейших дефиниций, описывающих социальную природу человека, поскольку характеризует базовые потребности, смыслы, интересы, мотивы, которыми человек осознанно или бессознательно руководствуется в своей жизни. В социальных науках накоплен достаточно большой объем теоретических представлений о ценностном самоопределении, пред-

ставленных в виде совокупности его отдельных элементов – видов ценностей, методов изучения ценностных ориентаций, способов включения в различные виды деятельности, способствующих формированию ценностного отношения к тем или иным объектам реальности. Анализ развития научных представлений о ценностном самоопределении как целостном явлении показывает, что оно по-разному понималось

на классическом, неклассическом, постнеклассическом этапах развития педагогической науки. Каждый из этих этапов характеризуется особым типом научной рациональности. Научная рациональность относится к одному из универсальных понятий философской мысли и означает совокупность способов научного представления окружающей реальности в виде логически стройной, обоснованной системы взаимосвязанных понятий, суждений, законов, логических операций. По мнению Фокиной З.Т., позволяет осуществить переход от несущественных признаков к установлению глубинных взаимосвязанностей и выбрать способ системно-структурной организации результатов научного познания [1]. Различные типы научной рациональности – классический, неклассический, постнеклассический – выделены и описаны В.С. Степиным на основании трех критериев. Первым критерием выступают особенности картины мира, вторым – особенности средств и операций деятельности, третьим – ценностно-целевые ориентации субъекта деятельности, их осмысление и рефлексия [2]. Согласно В.С. Степину, научная рациональность в классической науке предполагает, что мышление выполняет роль стороннего наблюдателя, изучающего природу объекта, но не влияющего на результаты познания. В неклассической науке складываются особые отношения мышления к объекту и самому себе: объект изучения «вплетается» в человеческую деятельность, а его образ строится с учетом средств изучения. Постнеклассический тип рациональности опирается на идеи об особом месте наблюдателя, о корреляции между способами описания объекта и познавательными средствами. В постнеклассическом типе научной рациональности образ объекта не рассматривается как единственно возможный, а описывается как «категориальной сеткой», в которой причинность включает нелинейность связи между воздействием и реакцией, развитие описывается вероятностными превращениями возможного в действительное и зависит от способа взаимодействия наблюдателя с объектом.

В основе представленного исследования лежит идея об изучении развития представлений о ценностном самоопределении личности от его понимания как детерминированного процесса, задающего социально желаемый «каркас» ценностей, до описания в терминах постнеклассического этапа развития науки как нелинейного самоорганизующегося процесса.

Целью данной работы является анализ представлений о сущности, структуре,

функциях ценностного самоопределения личности с позиций научной рациональности классической, неклассической и постнеклассической науки.

Материалы и методы исследования

Исследование осуществлялось совокупностью взаимосвязанных теоретических методов, адекватных цели исследования. Представления о сущности ценностного самоопределения личности как смысловой структуры жизненного мира человека изучались конститутивным анализом. Представления о содержании и функциях ценностного самоопределения на разных этапах развития науки изучались методом структурно-функционального анализа. В исследовании также применялся метод научного обобщения для перехода от частных характеристик ценностного самоопределения к установлению его общих свойств.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с целью и указанными методами исследования были определены его этапы – изучение представлений о сущности, структуре и функциях ценностного самоопределения в классической педагогике (первый этап исследования), в неклассической (второй этап), в постнеклассической (третий этап). Оговорим, что данные этапы мы не связываем с фиксированными временными рамками. Кроме этого, следует признать, что на каждом этапе развития педагогической науки зарождались ростки новых представлений, характерных для следующего типа научной рациональности.

Рассмотрим представления о ценностном самоопределении в классической науке. Самое понятие «ценность» было введено И. Кантом как характеристика «предельных» безусловных характеристик человеческого бытия. Ценность по И. Канту – это «должное», разделяемое всеми членами общества. При этом следование должному (ценностям) основано на «...благотворению не по склонности, а из чувства долга» [3, с. 168]. В работах неокантианцев самое философия предстает как теория ценностей и предпринимается попытка их систематизации. Так, Г. Риккерт выделил области ценностей, которые следует воспитывать у подрастающего поколения: стремление к истине, искусство, этика отношений, личная жизнь, религия [4, с. 168]. Классический период в развитии педагогической науки еще не оперирует понятием «ценностное самоопределение», этот термин появится гораздо позднее, но он характеризуется пониманием неотделимости

ценности от человека, важности передачи и усвоения ценностей не только для приспособления человека к социальному обществу, но и для обретения смысла жизни. Г. Риккерт расширяет функциональное понимание ценности от долженствования до поиска смысла бытия и считает лишенным смысла то, что нельзя отнести к ценностям. В классической педагогике воспитание всегда ориентировалось на ценности, принятые в обществе и обозначенные в государственных нормативных документах. Примером таких документов может служить «Юности честное зерцало» Петра I, описывающий ценные черты добродетельного характера того времени: прилежание, учтивость, покорность, трудолюбие. Другим примером документа, задающего общественные ценности, является «Моральный кодекс строителя коммунизма», ориентирующий на воспитание преданности делу коммунизма, высокое сознание общественного долга, непримиримость к несправедливости, тунеядству, нечестности, карьеризму, стяжательству и др. Возвращаясь к критериям научной рациональности В.С. Степина, попробуем осуществить их проекцию на понимание ценностного самоопределения в классической педагогике. Педагогическая картина мира (первый критерий) определялась существующей государственной идеологией, нормы которой принимались в качестве ценностей воспитания. Относительно второго критерия – особенностей средств и операций деятельности, следует отметить, что в классической педагогике осуществлялся активный поиск форм, методов, приемов и средств воспитания, направленного на «передачу» нормативных ценностей подрастающему поколению. Но главной их особенностью является характер внешнего по отношению к ребенку воздействия. Рассмотрим третий критерий научной рациональности – ценностно-целевые ориентации субъекта деятельности, их осмысление и рефлексия. Принято считать, что в классической педагогике преобладали субъект-объектные отношения, согласно которым педагог является субъектом деятельности, а ребенок – объектом. При этом нельзя отрицать, что в работах педагогов-классиков зарождается представление о ребенке не только как об объекте, но и как о субъекте воспитания, который может принимать или отвергать педагогическое воздействие. Однако будет справедливым утверждение того факта, что в классической педагогике не рассматривались внутренние механизмы процесса перехода общественных ценностей во внутренний план личности, их осмысление и рефлексия.

Перейдем к рассмотрению понимания ценностного самоопределения с позиций научной рациональности неклассической педагогики. Происхождение понятия «ценностное самоопределение» связывается с работами М.Р. Гинсбурга. Он предложил модель личностного самоопределения, содержащую ценностно-смысловые и странственно-временные аспекты, и определил широкий спектр личностно значимых позитивных ценностей как главный критерий его успешности [5].

В последующих работах ценностное самоопределение выступает как самостоятельная дефиниция и предлагаются новые подходы к пониманию его сущности, структуры и функций. Ценностное самоопределение рассматривается в новой педагогической картине мира, в которой ценности не «передаются», а усваиваются личностью. В зависимости от направленности собственной активности индивид может выступать не только объектом, но и субъектом ценностного самоопределения. Так, в раннем детстве он выступает в роли объекта, некритично усваивающего транслируемые обществом ценности и их иерархию, в последующей жизни усвоение ценностей происходит сознательно. В детерминацию ценностного самоопределения кроме внешних факторов включаются и внутренние, диалектическое единство которых порождает феномен диспозиционной активности личности, проявляющейся множеством форм: принятием, несогласием, протестом, противостоянием. Педагогическая наука неклассического периода «пронизана» идеями экзистенциализма, и ее интересуют внутренние механизмы процесса усвоения (интериоризации) и образования («кристаллизации») ценностей. Л.С. Выготский указал на важность изучения *переживания* ребенка, в котором «сплавлены» особенности ситуации и то, каким образом она переживается. Переживание Л.С. Выготский образно представил как призму, «преломляющую» влияние среды на ребенка. Результаты «преломления» будут зависеть от того, как ситуацию осознает и осмысливает ребенок, какие эмоции она у него вызывает. Переживание, согласно В.С. Выготскому, определяет ценностно-смысловое восприятие ситуации и может рассматриваться как механизм образования ценностей [6].

В качестве примера рассмотрим непосредственное переживание ребенком значимого для него события детства как отражение какой-либо экзистенциальной потребности (в любви, в безопасности). Степень, качество и знак переживания зависят от того, насколько велика, сильна и зна-

чима эта потребность для ребенка, который сознательно или бессознательно оценивает вероятность ее удовлетворения и наличие/отсутствие собственных ресурсов. Высокая вероятность удовлетворения актуальной потребности (например, в безопасности) и достаточные ресурсы ребенка (он зовет мать, и она берет его на руки) вызывают положительные эмоционально окрашенные переживания, которые являются «затравкой» для преобразования потребности и ее «кристаллизации» в ценность для ребенка. Если же опыт ребенка подсказывает ему, что вероятность удовлетворения актуальной потребности низкая, а собственных ресурсов у него недостаточно, то это вызывает переживание, окрашенное негативными эмоциями, избегая которые, ребенок отказывается от данной потребности, и ценность не формируется. Таким образом, первыми механизмами образования ценностей являются переживание экзистенциальной потребности и оценка вероятности ее удовлетворения с помощью внешних и внутренних ресурсов. В зависимости от знака переживаемых ребенком эмоций, он стремится к уменьшению отрицательных эмоций и к усилению положительных. Иными словами, в условиях переживания депривации конкурирующих потребностей выбор между ними будет осуществлен в пользу той актуальной потребности, которая в данный момент представляется наиболее достижимой. Поэтому ценностный выбор, осуществляемый на основе минимизации переживания отрицательных эмоций и максимизации положительных, в неклассической педагогике рассматривается как еще один механизм ценностного самоопределения.

Коснемся еще одного механизма усвоения ценностей, который приводит к образованию ценностных доменов, где на разных полюсах «уживаются» ценности противоположные по знаку – механизму компенсации. Этот механизм реализуется в условиях переживания такой ситуации, на которую у ребенка нет опыта адекватного реагирования. В этом случае даже минимальная положительная эмоция способна компенсировать неудовлетворенную потребность и закрепить ценностное отношение к объекту. Так, например, формируются ценностные домены, где на одном полюсе ценность «Я никому не верю», а на противоположном – «Я полностью доверяю своему другу». Таким образом, отличительные особенности второго критерия научной рациональности – средств и операций деятельности неклассического этапа развития – заключаются в смещении к методам изучения внутренних механизмов цен-

ностного самоопределения, основанных на переживании личностью событий своей жизни. Третий критерий научной рациональности – ценностно-целевые ориентации субъекта деятельности – также имеет свои особенности в неклассической педагогике, придающей важность осознанию ценностно-смысловых оснований своих мыслей, чувств, поступков, деятельности. Объектами рефлексии, порождающей, например, такие смыслы ценностей образования, как «старание», «настойчивость», «результат», «оценка», выступают осмысление эффективности способов своей деятельности, анализ ее результатов, поиск взаимосвязей между успешностью и способами ее достижения. Другим ценностно-порождающим объектом рефлексии является коммуникация с другими людьми во всей ее многофункциональности, включающей эмпатию; понимание целей, мотивов, намерений других людей; установление их формального и неформального статуса, роли; оценку результативности деятельности; поиск источников конфликтов. Рефлексия позволяет осмыслить переживание ситуации с разных позиций и увидеть в ней новые грани: в тупике – возможные выходы, в страдании – очищение, в конфликте – развитие. Кроме рефлексии настоящего и прошлого, неклассическая педагогика рассматривает и рефлексии будущего – мысленное конструирование возможного (желаемого, ожидаемого) образа предстоящей жизни, позволяющее мобилизовать внутренние ресурсы для личностного развития.

Перейдем к рассмотрению ценностного самоопределения с позиций научной рациональности постнеклассической педагогике. В классической педагогике ценностное самоопределение рассматривается как «передача» ценностей социума подрастающему поколению, в неклассической – как усвоение (интериоризация), «восхождение» к ценностям в специально организованной деятельности и в спонтанно возникающих ситуациях, в том числе пограничных. Но в том и в другом случае итогом является ценностный «каркас», на который личность будет опираться в своей жизни. За пределами рассмотрения остаются вопросы о том, почему в схожих ситуациях у разных людей формируются разные ценности; почему результаты ценностного самоопределения не находятся в линейной зависимости от условий воспитания и среды жизнедеятельности; почему ценности не остаются неизменными в течение всей жизни. Для их объяснения постнеклассическая педагогика обращается к теории саморазвивающихся систем – синергетике. С точки зрения Кня-

зевой Е.Н., Курдюмовой С.П., личность является саморегулируемой и саморазвивающейся системой, при этом ее развитие обладает всеми признаками нелинейности [7]. Обратимся к рассмотрению социальной ситуации развития как источника ценностного самоопределения с синергетических позиций [8]. Во-первых, она обладает свойством нелинейности, что означает возможность появления неожиданных изменений (флуктуаций). Флуктуации выводят ситуацию из состояния равновесия и погружают ее в ценностно-смысловой хаос, в котором возможны образования новых структур, поскольку хаос содержит множество иных возможных состояний (аттракторов), один из которых выбирается ребенком осознанно или бессознательно. Из всех возможных аттракторов «притягивается» тот, который наиболее соответствует внутренним ресурсам человека и ресурсам окружающей его в данный момент среды. Иными словами, в ценностно-смысловом хаосе в конус притяжения попадает один из аттракторов, который на обломках разрушенной ценностной структуры осуществляет «сборку» новой, и она становится определяющей для поведения ребенка [8].

Рассмотрим возможные аттракторы (состояния) в ценностно-смысловом хаосе, порожденном флуктуацией (переживанием психологической травмы утраты родителей или родительского попечения). В первом варианте в точке бифуркации негативная флуктуация социальной ситуации развития из ценностно-смыслового хаоса, «кишащего» бездной возможностей, «притягивает» аттрактор безразличия к своей судьбе, покорности (делайте со мной, что хотите) [8]. То есть ценностно-смысловой хаос сменяется экзистенциальным вакуумом – жизнь не имеет смысла, ничего не ценю, ничего не хочу. Возможен и второй вариант: в точке бифуркации из порожденного психологической травмой ценностно-смыслового хаоса «притягивается» аттрактор агрессивного протеста. Ребенок в такой ситуации погружен в невротическое бытие: все плохо, пусть будет еще хуже и не только мне, но и другим. В третьем варианте развития социальной ситуации из ценностно-смыслового хаоса «притягивается» аттрактор активного преодоления (мне сейчас плохо, но я с этим справлюсь) [8]. Такое понимание социальной ситуации развития позволяет понять процесс образования ценностей не как окончательное «раз и навсегда» оформление ценностных структур, а как их появление и проявление в различных ситуациях. Другим важным педагогическим выводом является и то, что чем дальше

ценностная структура от состояния равновесия, тем меньшие флуктуации требуются для того, чтобы вызвать в ней значительные изменения.

Эти положения синергетики позволяют по-новому взглянуть на сущность педагогической поддержки как резонансного внешнего воздействия на социальную ситуацию развития. И здесь очень велика роль как самого этого воздействия, так и человека, который это воздействие осуществляет. При этом слабое, но резонансное воздействие эффективно, тогда как сильное, но не резонансное не только неэффективно, но может даже нанести вред. Иными словами, воздействие будет действенным в том случае, если оно конфигурационно сопряжено с ценностной структурой, резонирует с имеющимся опытом и развертывает скрытые в ней новые ценности. Таким образом, с позиций постнеклассической педагогики ценностные структуры имеют определенное «время жизни» и существуют в состояниях равновесия, когда в жизни человека нет радикальных изменений (флуктуаций). Сильные флуктуации выводят ситуацию из равновесия, ценностная структура распадается, и на ее «обломках» возникает новая, что образно можно описать пословицей – один со страху помер, а другой ожил. Резюмируя рассмотрение ценностного самоопределения с позиций постнеклассического типа рациональности, отметим, что 1) ценностная структура личности не является единственной и тем более «жесткой», 2) связь между причинами «распада» и характером «сборки» ценностных структур имеет нелинейный характер, а ценностное самоопределение можно описывать как вероятностное превращение возможного в действительное; 3) педагогическое воздействие зависит от способа взаимодействия между педагогом и ребенком.

Заключение

Проведенное исследование показало, что ценностное самоопределение с позиций научной рациональности классической педагогики понимается как «передача» ценностей существующей государственной идеологии подрастающему поколению. Научная рациональность классической педагогики оперирует методами исследования внешних по отношению к ребенку способов педагогического воздействия и не рассматривает внутренние механизмы процесса перехода общественных ценностей во внутренний план личности. С позиций научной рациональности неклассической педагогики ценностное самоопределение рассматривается не как «передача», а как «восхождение»

личности к ценностям. В поле рассмотрения включается социальная ситуация, ее ценностно-смысловое восприятие, переживание ситуации личностью, внутренние механизмы процесса усвоения (интериоризации) и образования («кристаллизации») ценностей. Осознается важность рефлексии, объектами которой выступают осмысление эффективности способов своей деятельности, анализ ее результатов, успеваемости, поиск взаимосвязей между успешностью и способами ее достижения. Однако как классическая, так и неклассическая педагогика не объясняют вариативность ценностей, формирующихся у разных людей в сходных ситуациях, их динамичность в течение жизни и нелинейную зависимость от условий жизни и воспитания. В поисках ответов на эти вопросы постнеклассическая педагогика обращается к инструментарию теории саморазвивающихся систем. С позиций научной рациональности постнеклассической педагогики ценностное самоопределение рассматривается как нелинейный процесс «сборки» ценностных структур под влиянием неожиданных изменений (флуктуаций). Флуктуации выводят социальную ситуацию из состояния равновесия и погружают ее в ценностно-смысловой хаос, содержащий множество возможных ценностных структур (аттракторов). Аттракторами могут быть со-

стояния безразличия к своей судьбе, агрессивного протеста, активного преодоления и др. Поэтому ценностная структура личности не является единственно возможной, и тем более неизменной, а ценностное самоопределение можно описывать как вероятностное превращение возможной ценностной структуры в действительную.

Список литературы

1. Фокина З.Т. Научная рациональность: сущность, виды, тенденция к интеграции, практическое значение // Вестник МГСУ. 2012. № 6. С. 142-149.
2. Степин В.С. Философия и методология науки. М.: Академический проект, 2020. 716 с.
3. Кант И. Основоположение метафизики нравов. М.: Родина, 2022. 325 с.
4. Риккерт Г. Ценности жизни и культурные ценности // ЭОН. Альманах старой и новой культуры. Вып. 1. М., 1994. 290 с.
5. Гинзбург М.Р. Психология личностного самоопределения: автореферат дис. ... докт. психолог. наук. Москва, 1996. 56 с.
6. Выготский Л.С. Педология школьного возраста: лекции по психологии развития. М.: Канон, 2022. 320 с.
7. Князева Е.Н., Курдюмова С.П. Основания синергетики. Синергетическое мировидение. М.: Либроком, 2014. 256 с.
8. Яковлева Н.Ф. Социальная ситуация развития ребенка с позиций синергетического подхода // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31945> (дата обращения: 14.02.2023). DOI 10.17513/spno.31945.