

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

Журнал издается с 2003 г.
12 выпусков в год

Электронная версия журнала top-technologies.ru/ru
Правила для авторов: top-technologies.ru/ru/rules/index
Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Журнал «Современные наукоемкие технологии» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий, и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 63399.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,969.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,407.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Подписано в печать – 06.02.2019
Дата выхода номера – 06.03.2019

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

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

Способ печати – оперативный
Распространение по свободной цене
Усл. печ. л. 24,38
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2019/2
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

| | |
|---|----|
| ОПЕРАТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЛУЧЕВЫХ ПОЛЕЙ В СТОХАСТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ <i>Агеева Е.Т., Афанасьев Н.Т., Ким Д.Б., Чудаев С.О.</i> | 9 |
| ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПЕНОПЛАСТА <i>Аксенов Б.Г., Стефурак Л.А., Стефурак П.Б.</i> | 15 |
| КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ <i>Бабкина А.С., Потапова С.В., Авадэни Ю.И., Куликова О.М.</i> | 20 |
| РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНОВ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ <i>Бийбосунов Б.И., Юсупов К.М., Курманбек Уулу Т.К.</i> | 26 |
| РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ СТАЛЬНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТОВ ВНАХЛЕСТ <i>Гоц А.Н., Гусев Д.С., Гуськов В.Ф., Люхтер А.Б.</i> | 32 |
| ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ <i>Гузеева С.А., Митриковский А.Я.</i> | 38 |
| МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННО-ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ <i>Гурский С.М.</i> | 43 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ СОБЛЮДЕНИЯ УРОВНЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ <i>Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю., Калугин Д.А.</i> | 47 |
| НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ <i>Жигалов К.Ю., Подлевских А.П., Аветисян К.Р.</i> | 52 |
| ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛО-ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ СКОРОСТЯХ УДАРА ДО 5000 М/С <i>Зелегун С.А., Попов А.А.</i> | 57 |
| РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТОЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СИГНАЛОВ В ПОЛИНОМИАЛЬНОМ МОДУЛЯРНОМ КОДЕ <i>Калмыков М.И., Топоркова Е.В., Степанова Е.П., Волошин Е.А., Проворнов И.А., Тынчеров К.Т.</i> | 63 |
| УПРОЩЕНИЕ И ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ И В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ <i>Карпунин А.А., Титков И.П.</i> | 69 |
| НЕЙРОСЕТЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ <i>Килин Г.А., Кавалеров Б.В.</i> | 78 |

| | |
|--|-----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ РАЗБИЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ УМНОЖЕНИЯ МАТРИЦ НА ТРЕХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССОРАХ С ПОЛНОСВЯЗНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ И РАЗЛИЧНЫМИ ПРОПУСКНЫМИ СПОСОБНОСТЯМИ | |
| <i>Клюева Е.Г., Адамов А.А., Оспанова А.Е., Сницарь Л.Р., Кулбаева Л.Н.</i> | 83 |
| ТВОРЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ ИМИДЖА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СРЕДСТВАМИ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА | |
| <i>Краснова Т.В., Пермьяков М.Б.</i> | 89 |
| ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СНИЖЕНИЯ СОЛЕЙ И ВОДЫ В ТОВАРНОЙ НЕФТИ ОРЕНБУРГСКОГО И КОПАНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ | |
| <i>Курякова Т.А., Межуева Л.В., Быков А.В.</i> | 94 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННИХ СТРУКТУР БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА) | |
| <i>Кучер А.И., Алексанян Г.К., Щербаков И.Д.</i> | 100 |
| ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДРЕССОРОВАНИЯ КАБИН ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ САМОХОДНЫХ МАШИН | |
| <i>Лебединский И.Ю., Сиротин П.В., Черненко А.Б., Сысоев М.И.</i> | 105 |
| О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОГО УСТРОЙСТВА | |
| <i>Монахов Ю.М., Кузнецова А.П., Леткова Н.С., Шобин С.В.</i> | 110 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА МЕТОДАМИ АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНЫХ ГРАФОВ | |
| <i>Наумов В.Н., Кучеренко Д.В.</i> | 114 |
| АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ УГЛЕПЛАСТИКОВ | |
| <i>Нелюб В.А., Городецкий М.А.</i> | 123 |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВОЗДУШНОМ СЕПАРИРОВАНИИ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ | |
| <i>Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.</i> | 128 |
| СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА | |
| <i>Пыхтин А.И., Овчинкин О.В., Широкова Л.В., Запольский А.Д.</i> | 133 |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ПОДГОТОВКИ СКВАЖИННОЙ ПРОДУКЦИИ | |
| <i>Савельева Н.Н.</i> | 138 |
| ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА | |
| <i>Тимкин И.А., Малышкин А.В., Шелковников А.А., Соломачев М.А., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Васильева М.Н.</i> | 143 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛИ ПРИ УСТАЛОСТНОМ РАЗРУШЕНИИ | |
| <i>Шиховцов А.А., Михеев Г.В., Владимиренко А.С., Вербицкий Д.О.</i> | 148 |

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВУЗОВСКОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Штырова И.А., Виштак Н.М., Ремаренко С.А. 153

ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН СО СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ
ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ

Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Кудряков А.И. 158

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

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ НАСТАВНИКОВ ДЛЯ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ КОЛЛЕДЖА

Головнев А.В. 163

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ МОТОРНОЙ СИММЕТРИИ-АСИММЕТРИИ ПАРНЫХ
КОНЕЧНОСТЕЙ ОТ ДВИГАТЕЛЬНО-КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ
ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПРИКЛАДНЫМИ ВИДАМИ ЕДИНОБОРСТВ

Еганов А.В., Мартемьянов Ю.Г., Янчик В.В., Халабов А.О. 168

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМАТИЗАЦИИ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ
В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ НА РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЙ

Сапарбаева У.Ч. 174

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ЯРАНСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТЕХНИКУМА:
СОВЕТСКИЙ ПЕРИОД

Чибаков А.С., Кравченко Т.А. 179

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИИ ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Шевченко И.А., Соткина С.А., Ниязбаева Е.А., Зимовец Е.Г., Бикмаева А.В. 190

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

| | |
|--|----|
| FAST ALGORITHMS FOR COMPUTING RAY TRAJECTORY CHARACTERISTICS IN STOCHASTIC MEDIA <i>Ageeva E.T., Afanasev N.T., Kim D.B., Chudaev S.O.</i> | 9 |
| HEAT-SHIELDING PROPERTIES OF DOUBLE-LAYER FENCING STRUCTURES BASED ON COMPOSITE FOAM PLASTIC <i>Aksenov B.G., Stefurak L.A., Stefurak P.B.</i> | 15 |
| COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE OPERATION OF MOTOR VEHICLES ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF SEMI-STRUCTURED DATA <i>Babkina A.S., Potapova S.V., Avadeni Yu.I., Kulikova O.M.</i> | 20 |
| DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR LOCAL GOVERNMENT BODIES OF THE KYRGYZ REPUBLIC <i>Biybosunov B.I., Yusupov K.M., Kurmanbek Uulu T.K.</i> | 26 |
| CALCULATION OF TEMPERATURE FIELDS IN THE PROCESS OF OVERLAP LASER WELDING OF STEEL TO ALUMINIUM SHEETS <i>Gots A.N., Gusev D.S., Guskov V.F., Lyukhter A.B.</i> | 32 |
| PARTICULAR FEATURES OF RADON ACCUMULATION IN THE AIR OF RESIDENTIAL PREMISES <i>Guzeeva S.A., Mitrikovsky A.Ya.</i> | 38 |
| MATHEMATICAL MODELS OF ELEMENTS OF THE ANTENNA / WAVEGUIDE PATHS OF RADAR SYSTEMS WITH DAMAGE <i>Gurskiy S.M.</i> | 43 |
| OPTIMIZATION OF TECHNICAL SYSTEMS UNDER SPECIFIED CONDITIONS OF COMPLIANCE WITH THE STRUCTURAL RELIABILITY LEVEL <i>Dulesov A.S., Karandeev D.Yu., Kalugin D.A.</i> | 47 |
| MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SECURITY ELECTRONIC DOCUMENT FLOW SYSTEMS IN THE MODERN TIMES <i>Zhigalov K.Yu., Podlevskikh A.P., Avetisyan K.R.</i> | 52 |
| NUMERICAL SIMULATION OF THE FRACTURE OF MULTILAYER METAL-INTERMETALLIC COMPOSITES AT IMPACT VELOCITIES UP TO 5000 M/S <i>Zelepugin S.A., Popov A.A.</i> | 57 |
| DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE MULTICHANNEL SYSTOLIC MATRIX TO PERFORM THE NUMBER-THEORETIC TRANSFORMATIONS OF SIGNALS IN POLYNOMIAL MODULAR CODE <i>Kalmykov M.I., Toporkova E.V., Stepanova E.P., Voloshin E.A., Provornov I.A., Tyncherov K.T.</i> | 63 |
| SIMPLIFICATION AND LINEARIZATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE MOTION OF THE UNLIMITED AIRCRAFT IN SPACE AND IN THE VERTICAL PLANE <i>Karpunin A.A., Titkov I.P.</i> | 69 |
| NEURAL NETWORK MATHEMATICAL MODEL FOR AUTOMATION TESTS OF ACS GTU ELECTRIC POWER PLANTS OF SMALL AND MEDIUM POWER <i>Kilin G.A., Kavalero B.V.</i> | 78 |

| | |
|--|-----|
| STUDYING THE OPTIMAL FORM OF PARTITIONING THE DATA FOR THE MATRIX MULTIPLICATION ON THREE FULLY CONNECTED HETEROGENEOUS PROCESSORS WITH DIFFERENT BANDWIDTHS | |
| <i>Klyueva E.G., Adamov A.A., Ospanova A.E., Snitsar L.R., Kulbaeva L.N.</i> | 83 |
| CREATIVE APPROACHES IN THE FORMATION OF THE IMAGE OF THE URBAN ENVIRONMENT BY MEANS OF ARCHITECTURE AND DESIGN | |
| <i>Krasnova T.V., Permyakov M.B.</i> | 89 |
| SELECTION OF TECHNOLOGICAL MODES TO REDUCE SALTS AND WATER IN THE PRODUCT OIL OF ORENBURG AND KOPANSK OIL-GAS CONDENSATE FIELDS BASED ON THE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME | |
| <i>Kuryakova T.A., Mezhueva L.V., Bykov A.V.</i> | 94 |
| STUDY OF THE NOISE STABILITY OF THE METHODS FOR ESTIMATING THE INTERNAL STRUCTURES FUNCTIONAL STATE OF BIOLOGICAL OBJECTS AT ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY (ON THE EXAMPLE OF HUMAN LUNGS) | |
| <i>Kucher A.I., Aleksanyan G.K., Shcherbakov I.D.</i> | 100 |
| PRINCIPLES OF CREATING OF SUSPENSION SYSTEMS FOR TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SELF-PROPELLED MACHINES CABIN | |
| <i>Lebedinskiy I.Yu., Sirotin P.V., Chernenko A.B., Sysoev M.I.</i> | 105 |
| ABOUT THE POSSIBILITY OF USING THE IMPULSE TRANSFER FUNCTION FOR MODELING THE NETWORK DEVICE BEHAVIOR | |
| <i>Monakhov Yu.M., Kuznetsova A.P., Letkova N.S., Shobin S.V.</i> | 110 |
| ANALYSIS OF THE STRUCTURAL COMPLEXITY OF THE STATE INFORMATION SYSTEMS OF ST. PETERSBURG USING METHODS OF ANALYSIS OF SOCIAL GRAPHS | |
| <i>Naumov V.N., Kucherenko D.V.</i> | 114 |
| ALGORITHM FOR THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL THICKNESS OF THE METAL COATING IN THE MANUFACTURE OF CARBON PLASTICS | |
| <i>Nelyub V.A., Gorodetskiy M.A.</i> | 123 |
| MATHEMATICAL MODELING OF THE TRAJECTORIES OF COMPONENTS FOR AIR SEPARATION OF LOOSE MIXTURES | |
| <i>Piven V.V., Umanskaya O.L., Krivchun N.A.</i> | 128 |
| THE SYSTEM OF MONITORING OF GRADUATES EMPLOYMENT AS A FACTOR OF INCREASE OF EFFICIENCY OF THE UNIVERSITY EDUCATIONAL ACTIVITY | |
| <i>Pykhtin A.I., Ovchinkin O.V., Shirokova L.V., Zapolskiy A.D.</i> | 133 |
| IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE SYSTEM OF GATHERING AND WELDING PREPARATION | |
| <i>Saveleva N.N.</i> | 138 |
| PERSPECTIVE DIRECTIONS OF WASTE UTILIZATION OF ALUMINUM PRODUCTION | |
| <i>Timkin I.A., Malyshkin A.V., Shelkovnikov A.A., Solomachev M.A., Nikiforova E.M., Eromasov R.G., Vasileva M.N.</i> | 143 |
| DETERMINATION OF STRESS-STRAIN STATE OF STEEL AT THE TOP OF FATIGUE CRACK BY FINITE ELEMENT METHOD | |
| <i>Shikhovtsov A.A., Mikheev G.V., Vladimirenko A.S., Verbitsky D.O.</i> | 148 |
| USE OF THE MOBILE APPLICATION FOR THE ESTABLISHMENT OF A HIGHER EDUCATION UNIT OF ADDITIONAL EDUCATION | |
| <i>Shtyrova I.A., Vishtak N.M., Remarenko S.A.</i> | 153 |

STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE WITH STABILIZING
CELLULAR CONTAINING ADDITIVE

Yastremskiy D.A., Abaydullina T.N., Kudyakov A.I. 158

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

PROBLEMS OF TRAINING THE TRAINERS FOR PRACTICAL TRAINING
OF STUDENTS OF THE COLLEGE

Golovnev A.V. 163

DEPENDENCE OF PAIRED LIMBS MOTOR SYMMETRY-ASYMMETRY
SIGNS ON MOTOR-COORDINATING ABILITIES OF SPORTSMEN,
DOING PRACTICAL COMBAT SPORTS

Eganov A.V., Martemyanov Yu.G., Yanchik V.V., Khalabov A.O. 168

THE RATIONALE FOR THE SYSTEMATIZATION MEANS OF TRAINING
IN BIOLOGICAL EDUCATION ON THE DEVELOPMENT OF CONCEPTS

Saparbaeva U.Ch. 174

PAGE HISTORY OF YARANSK TECHNOLOGICAL COLLEGE:
THE SOVIET PERIOD

Chibakov A.S., Kravchenko T.A. 179

THE STUDY OF THE ECOLOGY OF THE URBAN LANDSCAPE
IN THE ADDITIONAL ECOLOGICAL EDUCATION

Shevchenko I.A., Sotkina S.A., Niazbaeva E.A., Zimovets E.G., Bikmaeva A.V. 190

УДК 519.6

ОПЕРАТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЛУЧЕВЫХ ПОЛЕЙ В СТОХАСТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ¹Агеева Е.Т., ²Афанасьев Н.Т., ¹Ким Д.Б., ²Чудаев С.О.¹ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск;²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, e-mail: spacemaklay@gmail.com

Для оптимизации расчетов траекторных характеристик электромагнитного поля в средах с флуктуирующими параметрами предложена схема алгоритмизации с использованием численных и аналитических методов. В качестве примера рассмотрена возможная алгоритмизация численно-аналитических расчетов флуктуаций фазы и направления распространения лучей в стохастической неоднородной среде. В основу оперативных алгоритмов положены приближенные аналитические решения, полученные для флуктуаций траекторных характеристик поля в краевой задаче для отдельной реализации случайной функции диэлектрической проницаемости среды. Это позволяет решить проблему пристрелки случайных лучевых траекторий в пункт наблюдения. Использование корреляционной функции неоднородностей стохастической среды дает возможность отказаться от метода статистических испытаний. Сделан вывод приближенных соотношений между статистическими траекторными характеристиками поля и параметрами корреляционной функции диэлектрической проницаемости среды. Полученные интегральные выражения для статистических моментов траекторных характеристик поля преобразованы в системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с начальными условиями. Получена замкнутая система дифференциальных уравнений для расчета траекторных моментов при заданной модели пространственной корреляционной функции неоднородностей среды. Замкнутая система уравнений с заданными начальными условиями позволяет одновременно рассчитать средние и флуктуационные траекторные характеристики поля. Решение системы можно найти путем ее численного интегрирования каким-либо из хорошо апробированных численных методов. Предложенная схема численно-аналитической алгоритмизации краевой стохастической задачи электродинамики позволяет значительно снизить затраты времени компьютера и допускает в совокупности получить оперативные данные о ряде характеристик лучевого поля в стохастической среде.

Ключевые слова: алгоритмы, стохастические дифференциальные уравнения, аналитические и численные методы, краевые задачи, системы

FAST ALGORITHMS FOR COMPUTING RAY TRAJECTORY CHARACTERISTICS IN STOCHASTIC MEDIA¹Ageeva E.T., ²Afanasev N.T., ¹Kim D.B., ²Chudaev S.O.¹Bratsk State University, Bratsk;²Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: spacemaklay@gmail.com

A computational scheme that uses numerical and analytical methods is suggested to speed up computations of trajectory characteristics of electromagnetic field in media with fluctuating parameters. Specifically, fluctuations in the phase and in the ray direction in a stochastically irregular medium are addressed. The developed algorithms are based on approximate analytical solutions obtained for fluctuations of trajectory characteristics in a boundary-value problem formulated for a single realization of a random dielectric permeability function of the medium. The scheme allows us to solve the problem of random ray-tracing to the observation point. The usage of the correlation function of stochastic irregularities of the medium provides an opportunity to omit applying the method of statistical trials. Approximate relations between the statistical trajectory characteristics of the field and the parameters of the correlation function of dielectric permittivity of the medium are derived. Integral expressions for the moments of trajectory characteristics are then transformed to sets of first-order ordinary differential equations with initial conditions. A closed set of differential equations is obtained to calculate the trajectory moments for a given model of the spatial correlation function of irregularities in the medium. The obtained set of equations appended with a set of initial conditions allows us to calculate simultaneously the mean and fluctuation trajectory characteristics of the field. The equations can be integrated numerically by means of one of the well-known methods. The suggested scheme allows us to reduce substantially the computational time as well as to obtain run-time information on some characteristics of the ray field in a stochastic medium.

Keywords: algorithms, stochastic differential equations, analytical and numerical methods, boundary-value problems, systems

Анализ характеристик электромагнитных полей, распространяющихся в стохастических неоднородных средах, можно проводить на основе прямого компьютерного моделирования с использованием методов классической теории вероятностей, имеющей дело с последовательностями независимых случайных величин. Наиболее распространены в вероятностных расчетах являются числительные алгоритмы, осно-

ванные на методе Монте-Карло [1]. Значительные результаты в вероятностных исследованиях полей были получены благодаря использованию лучевых представлений [2]. Это стало возможным благодаря относительно простой математической конструкции и наглядности лучевого приближения. В основе геометрооптического решения волнового уравнения для поля лежит предположение о медленности изменения параметров среды

и характеристик поля в масштабе длины волны в среде. В схеме Монте-Карло для каждой реализации пространственного распределения неоднородностей стохастической среды рассчитываются траекторные характеристики поля. Набирая ансамбль реализаций траекторных характеристик и проводя усреднение по всем реализациям среды, можно получить статистические моменты траекторных характеристик. Однако при таком подходе имеется большая проблема, связанная с тем, что при решении краевой задачи для каждой реализации среды необходимо проводить пристрелку случайных траекторий в пункт наблюдений. Этот способ требует значительных затрат времени компьютера и для высокой точности пристрелки трудно реализуем. Если необходимо определить зависимости статистических траекторных характеристик поля от дистанции, то задача существенно усложняется и указанную процедуру необходимо выполнить для набора координат приемного пункта. Кроме того, метод статистических испытаний не позволяет установить функциональные связи между флуктуирующими характеристиками электромагнитного поля и параметрами среды.

Кроме метода Монте-Карло для решения траекторной задачи в стохастических неоднородных средах успешно используют асимптотические разложения [3]. Использование корреляционной функции неоднородностей среды, в целом описывающей случайное поле неоднородностей, позволяет отказаться от метода статистических испытаний и непосредственно рассчитать статистические характеристики электромагнитного поля. Наряду с известными достоинствами асимптотических методов, такими как относительная простота при получении решения стохастических задач, а также отсутствие трудностей численных методов, связанных с большим количеством вычислений и плохой предсказуемостью результатов, они обладают и недостатками. Прежде всего, это медленная сходимости решений в отдельных

случаях и ограниченная область применимости. Кроме того, результатом использования асимптотических методов, как правило, являются сложные интегральные выражения, которые удается привести к аналитическому виду только в некоторых частных случаях.

Цель работы заключается в создании оперативной схемы численно-аналитической алгоритмизации лучевого приближения для электромагнитного поля в стохастических неоднородных средах с использованием численного интегрирования и асимптотических разложений.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим одну из возможных схем оперативной алгоритмизации расчетов характеристик лучевого поля с использованием численных и аналитических методов на примере вычислений флуктуаций фазы и направления распространения лучей в стохастической неоднородной среде.

Согласно лучевому приближению для фазы поля, распространяющегося в стохастической среде, имеем [3]:

$$\varphi = \frac{2\pi f}{c} \int_s^{x_k} \sqrt{\varepsilon(z, x)} dS = \frac{2\pi f}{c} \int_0^{x_k} \frac{\sqrt{\varepsilon(z, x)}}{\sin \beta} dx, \quad (1)$$

где ε – случайная функция диэлектрической проницаемости среды, c – скорость света в вакууме, f – рабочая частота, β – угол рефракции луча, dS – элемент дуги, x_k – дистанция.

Определим флуктуацию фазы поля в первом приближении метода возмущений. Полагая

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1, \quad (2)$$

$$z = z_0 + z_1, \quad (3)$$

$$\beta = \beta_0 + \beta_1 \quad (4)$$

и считая $\varepsilon_1 \ll \varepsilon_0$, решение (1) будем искать в виде: $\varphi = \varphi_0 + \varphi_1$. Подставляя разложения (2)–(4) в формулу (1), в первом приближении для флуктуаций фазы получаем

$$\varphi_1 = \frac{2\pi f}{c} \int_0^{x_k} \left(-\frac{\sqrt{\varepsilon_0}}{\sin \beta_0} \beta_1 \frac{\cos \beta_0}{\sin \beta_0} + \frac{\sqrt{\varepsilon_0}}{\sin \beta_0} \frac{z_1}{2\varepsilon_0} \frac{\partial \varepsilon_0}{\partial z_0} + \frac{\sqrt{\varepsilon_0}}{\sin \beta_0} \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon_0} \right) dx. \quad (5)$$

В подынтегральную функцию формулы (5) входят флуктуации траекторных характеристик β_1, z_1 которые можно определить, решая методом возмущений систему лучевых уравнений. Запишем лучевые уравнения в виде [2]:

$$\frac{dz}{dx} = \text{ctg} \beta, \quad (6)$$

$$\frac{d\beta}{dx} = \frac{1}{2} \left(\text{ctg} \beta \cdot \frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial x} - \frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial z} \right). \quad (7)$$

Подставляя (2)–(4) в уравнения (6), (7) и проводя линеаризацию, получаем систему уравнений для флуктуаций траектории:

$$\frac{dz_1}{dx} = -\frac{\beta_1}{\sin^2 \beta_0}, \quad (8)$$

$$\frac{d\beta_1}{dx} = -\frac{z_1}{2} \frac{\partial^2 \ln \varepsilon_0}{\partial z_0^2} + \frac{1}{2} \left[\operatorname{ctg} \beta_0 \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} \right) - \frac{\partial}{\partial z_0} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} \right) \right]. \quad (9)$$

Выражая β_1 из уравнения (8) и подставляя его в (5), имеем

$$\varphi_1 = \frac{2\pi f}{c} \int_0^{x_k} \left[\sqrt{\varepsilon_0} \cdot \cos \beta_0 \cdot \frac{dz_1}{dx} - \frac{\sqrt{\varepsilon_0}}{\sin \beta_0} \cdot z_1 \frac{d\beta_0}{dx} + \frac{\sqrt{\varepsilon_0}}{\sin \beta_0} \cdot \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon_0} \right] \cdot dx. \quad (10)$$

Интегрируя (10) и учитывая граничные условия задачи, получаем

$$\varphi_1 = \frac{\pi f}{c} \int_0^{x_k} \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{\varepsilon_0} \sin \beta_0} \cdot dx, \quad (11)$$

где интегрирование проводится по невозмущенной траектории, а в подынтегральной функции отсутствуют флуктуации траекторных характеристик. Заметим, что для расчета флуктуаций фазы при малых углах падения волны на среду использование системы (6),(7) не корректно, поскольку в правых частях уравнений возникает особенность. В связи с этим в дальнейших аналитических преобразованиях целесообразно перейти к новой независимой переменной в виде элемента группового запаздывания волны $dt = \frac{dx}{c\sqrt{\varepsilon} \sin \beta}$. Переходя в (11) к переменной dt , получаем

$$\varphi_1 = \pi f \int_0^{t_k} \varepsilon_1 dt. \quad (12)$$

Для расчета флуктуаций направления распространения поля сделаем замену независимой переменной в системе (6), (7). В результате преобразований имеем

$$\frac{dx}{dt} = c\sqrt{\varepsilon} \cdot \sin \beta, \quad (13)$$

$$\frac{dz}{dt} = c\sqrt{\varepsilon} \cdot \cos \beta, \quad (14)$$

$$\frac{d\beta}{dt} = c \frac{\partial \sqrt{\varepsilon}}{\partial x} \cdot \cos \beta - c \frac{\partial \sqrt{\varepsilon}}{\partial z} \cdot \sin \beta. \quad (15)$$

Следует заметить, что все проводимые здесь аналитические преобразования относятся к электромагнитным полям. Вместе с тем эти преобразования применимы и к случаю распространения звуковых полей в стохастических диэлектрических средах, например, звукового поля в атмосфере и океане. В этом случае в системе уравнений (13)–(15) вместо функции $c\sqrt{\varepsilon}(x, z)$ следует рассматривать локальную скорость звука $V(x, z)$, а в качестве градиентов $c \frac{\partial \sqrt{\varepsilon}}{\partial x}$ и $c \frac{\partial \sqrt{\varepsilon}}{\partial z}$ использовать градиенты $\frac{\partial V(x, z)}{\partial x}$ и $\frac{\partial V(x, z)}{\partial z}$. Подставляя разложения (2)–(4) в систему (13)–(15) и проводя линеаризацию, для флуктуаций траекторных характеристик получаем

$$\frac{dx_1}{dt} = a_{31}z_1 + a_{32}\beta_1 + D_2, \quad (16)$$

$$\frac{dz_1}{dt} = a_{11}z_1 + a_{12}\beta_1 + D, \quad (17)$$

$$\frac{d\beta_1}{dt} = a_{21}z_1 + a_{22}\beta_1 + D_1, \quad (18)$$

$$\text{где } a_{11} = -a_{22} = c \cos \beta_0 \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0}, a_{12} = -c\sqrt{\epsilon_0} \sin \beta_0 = -c \sin \beta_n, a_{31} = c \sin \beta_0 \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0},$$

$$a_{32} = c\sqrt{\epsilon_0} \cos \beta_0, a_{21} = -c \sin \beta_0 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0} \right), D = c \cos \beta_0 \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}}, \quad (19)$$

$$D_1 = c \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}} \right) \cos \beta_0 - c \sin \beta_0 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}} \right), D_2 = c \sin \beta_0 \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}}$$

(здесь β_n начальный угол падения луча на среду и учтен закон преломления: $\sqrt{\epsilon_0} \sin \beta_0 = \sin \beta_n$ [2]). Нетрудно заметить, что уравнения (17), (18) образуют систему, которую можно решать независимо от уравнения (16). Используя теорему о существовании производных по свободным параметрам от решения порождающей системы дифференциальных уравнений (14), (15) (при $\epsilon_1 = 0$) [4], можно решить систему (17), (18). Как известно [4], такие производные в совокупности образуют фундаментальные решения линейной однородной системы уравнений для флуктуаций (17), (18).

Решая (17), (18), имеем

$$z_1(t) = R_1(t) \cdot \int_{t_k}^t \frac{R_2(t) \cdot B_1}{c \cdot \sin \beta_n \cdot R_1(t_k)} dt - R_2(t) \cdot \int_0^t \frac{R_1(t) \cdot B_1}{c \cdot \sin \beta_n \cdot R_1(t_k)} dt, \quad (20)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{R_1(t_k)} \left[\left(\frac{1}{a_{12}} \frac{dR_1}{dt} - \frac{a_{11}}{a_{12}} R_1 \right) \int_{t_k}^t \frac{B_1 R_2(t)}{c \cdot \sin \beta_n} dt - \left(\frac{1}{a_{12}} \frac{dR_2}{dt} - \frac{a_{11}}{a_{12}} R_2 \right) \int_0^t \frac{B_1 R_1(t)}{c \cdot \sin \beta_n} dt \right] - \frac{D}{a_{12}}, \quad (21)$$

где $B_1 = \frac{c^2}{2} \left(\frac{\partial \epsilon_1}{\partial z_0} - \sin \beta_0 \cos \beta_0 \frac{\partial \epsilon_1}{\partial x_0} \right)$, $R_1(t)$, $R_2(t)$ – фундаментальные решения.

Для решения краевой задачи в качестве фундаментальных решений возьмем

$$R_1(t) = \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t), R_2(t_k - t) = \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_k - t). \quad (22)$$

При этом $R_1(t=0) = 0$, $R_2(t=t_k) = 0$. Формула (21) позволяет рассчитать флуктуации направления распространения лучевого поля вдоль всей невозмущенной траектории. В частности, в пункте приема (когда $t = t_k$) имеем

$$\beta_t = \left[\frac{1}{a_{12}} \cdot \frac{dR_1}{dt} - \frac{a_{11}}{a_{12}} \cdot R_1(t_k) \right] \cdot \frac{1}{R_1(t_k)} \cdot \int_{t_k}^{t_k} \frac{B_1 \cdot R_2(t)}{c \cdot \sin \beta_n} dt - \frac{1}{R_1(t_k)} \cdot \left[\frac{1}{a_{12}} \cdot \frac{dR_2}{dt} - \frac{a_{11}}{a_{12}} \cdot 0 \right] \cdot \int_0^{t_k} \frac{B_1 R_1(t)}{c \cdot \sin \beta_n} dt - \frac{D}{a_{12}}.$$

Учитывая равенство нулю первого интеграла, получаем:

$$\beta_t = - \frac{c \cdot \sin \beta_n}{R_1(t_k) \cdot a_{12}} \cdot \int_0^{t_k} \frac{B_1 \cdot R_1(t)}{c \cdot \sin \beta_n} dt - \frac{D}{a_{12}}(t_k).$$

Подставляя значения коэффициентов (19) при $t = t_k$, окончательно имеем

$$\beta_t = \frac{1}{R_1(t_k)} \cdot \int_0^{t_k} \frac{B_1 \cdot R_1(t)}{c \cdot \sin \beta_n} dt. \quad (23)$$

В случае, когда $\sin \beta_0 \cos \beta_0 \frac{\partial \epsilon_1}{\partial x_0} \ll \frac{\partial \epsilon_1}{\partial z_0}$ (пологие наклонные траектории лучей или присутствие в среде слоистых неоднородностей, вытянутых вдоль оси x), для флуктуации направления распространения лучей получаем

$$\beta_t = \frac{c}{2 \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_k)} \cdot \int_0^{t_k} \frac{\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t)}{\sin \beta_n} \frac{\partial \epsilon_1}{\partial z_0} dt. \quad (24)$$

Используя формулы (12), (24) для флуктуаций фазы и направления прихода лучевого поля, составим выражения для дисперсий этих характеристик. В частности, для дисперсии фазы в пункте приема имеем

$$\begin{aligned} \sigma_\varphi^2 &= \langle \pi^2 f^2 \int_0^{t_k} \epsilon_1(z_1(t_1), x_1(t_1)) dt_1 \cdot \int_0^{t_k} \epsilon_1(z_2(t_2), x_2(t_2)) dt_2 \rangle = \\ &= \pi^2 f^2 \int_0^{t_k} \int_0^{t_k} \langle \epsilon_1(z_1(t_1), x_1(t_1)) \epsilon_1(z_2(t_2), x_2(t_2)) \rangle dt_1 dt_2 = \pi^2 f^2 \int_0^{t_k} \int_0^{t_k} N(t_1, t_2) dt_1 dt_2. \end{aligned} \quad (25)$$

Соответственно для дисперсии направления прихода поля:

$$\begin{aligned} \sigma_\beta^2 &= \langle \frac{c}{2R_1(t_k)} \int_0^{t_k} \frac{\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_1)}{\sin \beta_n} \frac{\partial \epsilon_1}{\partial z_1} dt_1 \cdot \frac{c}{2R_1(t_k)} \int_0^{t_k} \frac{\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_2)}{\sin \beta_n} \frac{\partial \epsilon_1}{\partial z_2} dt_2 \rangle = \\ &= \frac{c^2}{4R_1^2(t_k)} \int_0^{t_k} \int_0^{t_k} \frac{\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_1) \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_2)}{\sin^2 \beta} \langle \frac{\partial \epsilon_1(z_1)}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial \epsilon_1(z_2)}{\partial z_2} \rangle dt_1 dt_2 = \\ &= \frac{c^2}{4R_1^2(t_k)} \int_0^{t_k} \int_0^{t_k} \frac{\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_1) \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_2)}{\sin^2 \beta} \frac{\partial^2 N}{\partial z_1 \cdot \partial z_2} dt_1 dt_2, \end{aligned} \quad (26)$$

где знак $\langle \rangle$ – означает усреднение по ансамблю неоднородностей среды, $N(z_1, x_1, z_2, x_2) = N_1\left(\frac{z_1 + z_2}{2}, \frac{x_1 + x_2}{2}\right) N_0(z_1 - z_2, x_1 - x_2)$ –

функция корреляции неоднородностей диэлектрической проницаемости среды. Выражения (25), (26) представляют собой сложные интегралы, поскольку для их вычисления требуется априорная информация о невозмущенной траектории лучевого поля и знание фундаментального решения $\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t)$

в среде. Однако эти выражения можно эффективно алгоритмизировать. Используя в (25), (26) суммарно-разностное интегрирование [3] и полагая предел t переменной величиной, интегралы (25), (26) могут быть сведены к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Объединяя эту систему с системой невозмущенных лучевых уравнений (13)–(15) (при $\epsilon_1 = 0$), проинтегрировав по свободному параметру β_n , а также с самой системой (13)–(15) (при $\epsilon_1 = 0$), получаем полную

систему дифференциальных уравнений для одновременного расчета средних и среднеквадратичных характеристик фазы и направления прихода лучевого поля в пункте наблюдения:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_\varphi^2}{dt} &= \frac{\pi^2 \sqrt{\pi} f^2 a \cdot N_1}{c \sqrt{\epsilon_0}}, \\ \frac{dD_\beta}{dt} &= \frac{N_1}{a \cdot \sqrt{\epsilon_0^3}} \left(\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t) \right)^2, \quad \frac{d\varphi_0}{dt} = 2\pi f \epsilon_0, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n} \right) &= \frac{\partial}{\partial \beta_n} (c \sqrt{\epsilon_0} \cos \beta_0), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \beta_0}{\partial \beta_n} \right) &= \frac{\partial}{\partial \beta_n} \left(-\frac{c \cdot \sin \beta_0}{2 \sqrt{\epsilon_0(z_0)}} \frac{\partial \epsilon_0(z_0)}{\partial z_0} \right), \\ \frac{d\beta_0}{dt} &= -\frac{c \cdot \sin \beta_0}{2 \sqrt{\epsilon_0(z_0)}} \frac{\partial \epsilon_0(z_0)}{\partial z_0}, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\frac{dx_0}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \sin\beta_0, \quad \frac{dz_0}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \cos\beta_0,$$

где $D_\beta = \frac{2 \cdot \sigma_\beta^2}{\sqrt{\pi} \cdot c} \left(\frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_k) \right)^2$, a – характерный масштаб функции корреляции неоднородностей диэлектрической проницаемости среды.

Заключение

Предложена схема алгоритмизации решения краевой стохастической задачи электродинамики с использованием численных и аналитических методов. Основу схемы составляет аналитическое решение краевой траекторной задачи для отдельной реализации случайной функции диэлектрической проницаемости среды. Это позволяет исключить проблему пристрелки случайных лучевых траекторий в пункт наблюдения. Получены приближенные соотношения между статистическими траекторными характеристиками поля и параметрами корреляционной функции диэлектрической проницаемости среды. Интегральные выражения для статистических моментов траекторных характеристик преобразованы в системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с начальными условиями. Получена замкнутая система

дифференциальных уравнений для расчета траекторных моментов поля в случае квазиоднородного поля неоднородностей среды. Решение системы уравнений допускает численное интегрирование с помощью хорошо апробированных численных методов, таких как, например, Рунге – Кутты, Кутты – Мерсона и др. [1]. Предложенная схема численно-аналитической алгоритмизации решения краевой стохастической задачи позволяет значительно снизить затраты компьютерного времени и допускает включение дифференциальных уравнений для расчета статистических траекторных характеристик лучевых полей, распространяющихся в нестационарных средах, в том числе искусственно возмущенных [5].

Список литературы

1. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 632 с.
2. Kravtsov Yu.A., Orlov Yu.I. Geometrical Optics of Inhomogeneous Medium. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 312 p.
3. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения: теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике. М.: Физматлит, 2008. Т. 1. 317 с.
4. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения. М.: УРСС, 2008. 320 с.
5. Агеева Е.Т., Афанасьев Н.Т., Ким Д.Б., Михайлов Н.И. Математическое моделирование девиаций частоты декаметрового радиосигнала в искусственно-возмущенной ионосфере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8–9. С. 670–675.

УДК 699.86

**ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПЕНОПЛАСТА****¹Аксенов Б.Г., ¹Стефурак Л.А., ²Стефурак П.Б.**¹*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, e-mail: aksenovbg@tyuiu.ru, stefurak@yandex.ru;*²*ООО «Газпром геологоразведка», Тюмень, e-mail: stefurakPB@yandex.ru*

Композиционный пенопласт прокладочный имеет неоднородную структуру, его плотность нелинейно увеличивается от центра к поверхностям. Чистые пенопласты имеют открытые поры, что способствует прогрессированию процесса влагопереноса при эксплуатации. Увлажнение ведет к изменению структуры материала, существенной потере долговечности, ухудшению теплозащитных свойств панелей. Пенопласт прокладочный имеет закрытые поры, поэтому у него меньшая сорбционная влажность при тех же условиях. Исследования показали, что влагосодержание утеплителя стабильно в пределах 3–7%. Кроме того, пенопласт прокладочный обладает и значительной несущей способностью. Такие материалы можно применять в качестве утеплителей для многослойной конструкции без дополнительной защиты от влажности ее внутренней стороны. Композиционный пенопласт – материал трудносгораемый, поэтому стало возможным использовать его в качестве утеплителя в двухслойных кровельных панелях без дополнительного металлического слоя. В статье исследуются физико-механические свойства, теплозащитные характеристики нового строительного материала. На приборах для нахождения теплофизических характеристик получена зависимость коэффициента теплопроводности пенопласта от влагосодержания, плотности и температуры, которая была применена в скорректированной методике определения сопротивления теплопередаче двухслойной ребристой панели. Определение коэффициента теплопроводности в лабораторных условиях, близких к реальным, обуславливает улучшение качества расчета теплозащитных свойств двухслойных кровельных панелей утепленных пенопластом прокладочным.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, физико-механические свойства, сопротивление теплопередаче

**HEAT-SHIELDING PROPERTIES OF DOUBLE-LAYER FENCING STRUCTURES
BASED ON COMPOSITE FOAM PLASTIC****¹Aksenov B.G., ¹Stefurak L.A., ²Stefurak P.B.**¹*Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: aksenovbg@tyuiu.ru, stefurak@yandex.ru;*²*Gazprom Geologorazvedka LLC, Tyumen, e-mail: stefurakPB@yandex.ru*

Composite foam plastic has a heterogeneous structure – its density increases nonlinearly from the center to the surfaces. Clean foams plastic have open pores, which contributes to the progression of moisture transfer during operation. Humidification leads to a change in the structure of the material, a significant loss of durability, which worsens the thermal properties of the panels. Foam plastic has closed pores, so it has lower sorption humidity under the same conditions. Studies have shown that the moisture content of the insulation is stable within 3–7%. In addition, the foam plastic has a significant bearing capacity. Such materials can be used as insulation for multi-layer construction without additional protection from the humidity of its inner side. Composite foam plastic material is difficult to burn, so it became possible to use it as insulation in two-layer roofing panels without additional metal layer. The article examines the physical and mechanical properties, heat-shielding characteristics of the new building material. The dependence of the thermal conductivity of the foam plastic on the moisture content, density and temperature, which was used in the corrected method for determining the heat transfer resistance of a two-layer ribbed panel, was obtained on the devices for finding thermal characteristics. Determination of the coefficient of thermal conductivity in the laboratory conditions, close to the real, causes an improvement in the quality of calculation of heat-shielding properties of double-layer roofing panels insulated with foam cushioning.

Keywords: thermal insulation materials, physical and mechanical properties, heat transfer resistance

При обустройстве газоконденсатных месторождений в северных регионах, где преобладают вечномёрзлые грунты с включениями льда, защищают грунты от воздействия сооружений качественной тепловой изоляцией основания. Используемые для этого пенопласты имеют открытые поры, что способствует прогрессированию процесса влагопереноса в процессе эксплуатации. Увлажнение материала, если оно происходит в условиях фазового перехода пара в воду и воды в лед, ведет к изменению его структуры, существенной потере долговечности, что

ухудшает теплозащитные свойства панелей. Добавление в состав пенопласта наполнителей переводит его в композиты, позволяет целенаправленно изменять свойства. Новые композиционные материалы можно создавать с заданными качествами, близкими природным [1]. Так материал с неоднородной плотностью, имеющий закрытые поры, будет иметь меньшую сорбционную влажность при тех же условиях. Кроме того, он будет обладать и значительной несущей способностью. Такие материалы можно применять в качестве утеплителей для многослойной

конструкции без дополнительной защиты от влажности ее внутренней стороны.

Пенопласт прокладочный – новый тип композиционного пенопласта [2, 3], плотность материала увеличивается от центра к поверхности. Высокие физико-механические свойства композиционного пенопласта делают возможным применять его в качестве утеплителя в двуслойных кровельных панелях без дополнительного металлического слоя. Возникла необходимость в исследовании теплотехнических характеристик композиционного пенопласта, обусловленных его неоднородной плотностью. Данная статья посвящена технологии использования этого материала и его физико-механическим свойствам.

Материалы и методы исследования

Физико-математическая модель образования пенопласта прокладочного изложена в работе [3]. Основываясь на разработанной математической модели, рассчитано, что 82–88% наполнителя (вермикулита) будет находиться в области корки композита и только остальные 12–18% – в его средней части.

Композиционный пенопласт обладает высокой стойкостью к воздействию пламени благодаря тому, что его поверхностная корка состоит из слоя вермикулита.

Пенопласт имеет убедительно выраженное распределение плотности по толщине слоя. Так плотность верхней и нижней корки $230\text{--}250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, плотность его в средней части – $80 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Пенопласт прокладочный имеет повышенную прочность при продавливании и изгибе, благодаря своей структуре. Предел прочности пенопласта при изгибе 0,35 МПа, модуль упругости при сжатии 22 МПа.

Применение пенопласта в двуслойных конструкциях без одной металлической обшивки должно быть обосновано его прочностными показателями. Твердость материала определялась по методике нахождения прочности неметаллического поверхностного слоя на продавливание с помощью штампа круглого сечения. В зависимости от значения прочности материала на изгиб, выбирался диаметр штампа. Испытания проводились на разрывной машине. Штамп закрепляется в верхнем захвате прибора, приводится в соприкосновение с поверхностью образца размерами $0,1 \times 0,1 \times 0,05$ м и вдавливается в образец. Прочность на продавливание пенопласта – 2,5 МПа.

Физико-механические свойства композиционного пенопласта позволили применить его в качестве утеплителя кровельных двуслойных панелей.

Панели кровельные двуслойные с пенопластом прокладочным имеют размеры $9 \times 0,7 \times 0,12$ м. Пенопласт прокладочный – материал трудногораемый, поэтому стало возможным использовать его в качестве утеплителя в двуслойных кровельных панелях без дополнительного металлического слоя, так как панель укладывается профнастилом вверх. Температура наружной поверхности панелей может изменяться от -50 до $+70$ °С, а внутренней – не выше 60 °С; влажность воздуха в помещении – не выше 60%.

Это устройство кровли позволяет исключить стадию выполнения гидроизоляционных работ, значительно уменьшает стоимость установки кровли, уменьшает количество используемого металла. Кроме того, композиционный пенопласт может выполнять и функцию декоративного облицовочного материала (рис. 1).



Рис. 1. Панель кровельная двуслойная

Влагосодержание пенопласта двуслойной панели определяли в течение 60 суток по слоям. Первый слой (без металлической защиты) – глубина 0,01 м, второй слой – глубина 0,02 м, третий слой – глубина 0,03 м.

Расчет вели по формуле

$$u = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100,$$

где u – влагосодержание образца; m_1 – масса высушенного образца; m_2 – масса увлажненного образца.

Влагосодержание в образцах повышалось в течение 20 суток, после чего процесс стабилизировался, в последующий период наблюдалось небольшое повышение влажности (рис. 2).

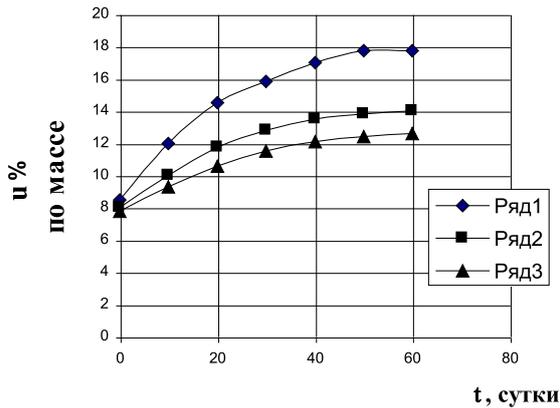


Рис. 2. Влажность пенопласта прокладочного: 1 – первый слой; 2 – второй слой; 3 – третий слой

Зависимость влажности от времени и толщины слоя утеплителя можно задать в виде

$$u = 11 \frac{\tau^\alpha}{h^\beta},$$

где τ – время; h – толщина пенопласта; $\alpha = 0,14$; $\beta = 0,12$.

Полевые испытания утеплителя на влагонасыщение проводили зимой на элементе панели кровельной двуслойной размерами $0,35 \times 0,5 \times 0,01$ м, который поместили в окне, профнастилом наружу. Температура наружного воздуха $t_{н.в.} = -25^\circ\text{C}$, температура внутреннего воздуха $t_{в.в.} = 20^\circ\text{C}$. Эксперимент длился 40 суток. За это время влажность утеплителя изменилось с 3 до 7%. При этом влажность внутренне-

го (незащищенного) слоя элемента панели было от 3 до 4% и от 6 до 7% – у поверхности защищенной металлом.

Потери тепла через площадь наружной поверхности панели определяются теплопроводностью пенопласта, величина которой существенно меняется при изменении значений влагосодержания материала и от температуры окружающей среды [3, 4].

Для исследования влияния влагосодержания и температуры на значения коэффициента теплопроводности пенопласта была использована установка нахождения теплофизических характеристик плоских образцов. Метод позволяет из одного эксперимента установить зависимости теплопроводности образца от температуры, использовать образцы произвольных размеров. Опыты ставили на образцах размерами $0,25 \times 0,2 \times 0,06$ м. Температура поддерживалась в диапазоне $-20, +20^\circ\text{C}$, плотность теплового потока на наружной поверхности – $20 \dots 40 \text{ Вт/м}^2$.

Исследования показали, что коэффициент теплопроводности пенопласта увеличивается с увеличением влагосодержания образца и возрастает с увеличением температуры (рис. 3). Повышение коэффициента теплопроводности при отрицательных температурах объясняется высвобождением связанной воды в порах, наличием в порах пенопласта льда – «мостиков холода».

Исследования показали, что пенопласт прокладочный как утеплитель в двуслойной кровельной панели обладает необходимыми защитными свойствами

Пенопласт прокладочный имеет неравномерно распределенную плотность (рис. 4), что во многом определяет его свойства.

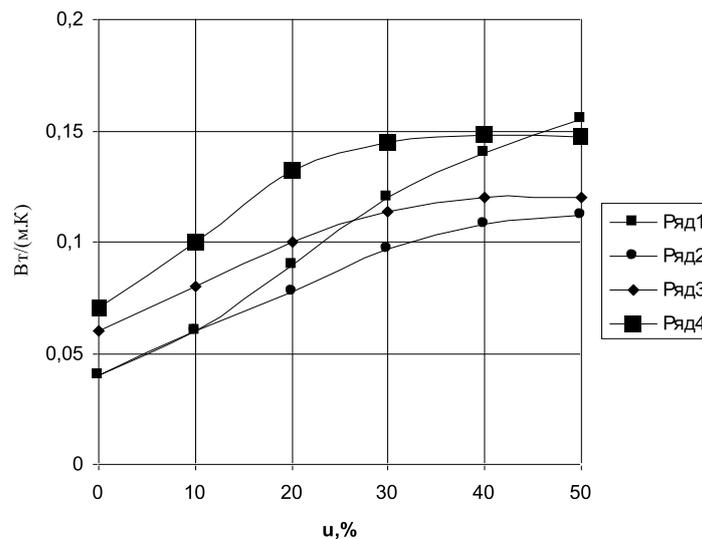


Рис. 3. Коэффициент теплопроводности пенопласта прокладочного: 1 – -15°C , 2 – 0°C , 3 – 25°C , 4 – 45°C

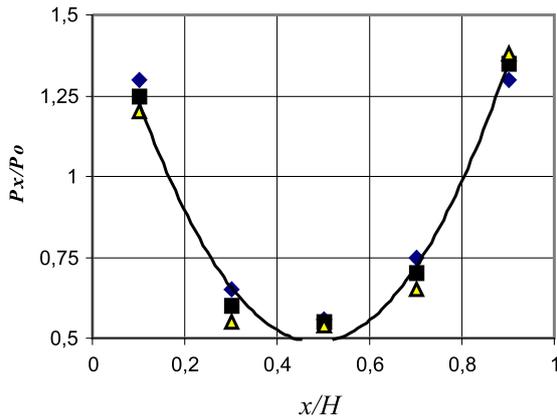


Рис. 4. Плотность пенопласта прокладочного

В теплотехнических расчетах ограждающих конструкций следует модифицировать методику так, чтобы значения теплофизических характеристик отражали их фактическую зависимость от значений влажности и температуры.

Формула расчета сопротивления теплопередаче двуслойной ребристой панели (рис. 5) по СНиП 23-02-2003, [5]:

$$R_0 = \left(\frac{1}{\alpha_{в.п.}} + R_K + \frac{1}{\alpha_{н.п.}} \frac{F_{в.п.}}{F_{н.п.}} \right) \frac{1}{\epsilon}$$

где $\alpha_{в.п.}$ – внутренний коэффициент теплообмена; R_K – термическое сопротивление панели; $\alpha_{н.п.}$ – наружный коэффициент теплообмена; $F_{в.п.}$, $F_{н.п.}$ – соответственно площади внутренней и наружной поверхностей панели; ϵ – коэффициент профиля ребра панели.

Корректировка методики расчета R_K состоит в использовании зависимости

$\lambda = f(t, u, \rho_0)$. Эта зависимость для пенопласта прокладочного получена на приборах для нахождения теплофизических характеристик:

$$\lambda = 0,03682 + 0,000343t + 0,0000257\rho_0 + (-0,00246 + 0,0000565t + 0,0000348\rho_0) \times \frac{u}{1 + 0,01 \cdot u}$$

Для расчета ограждающая конструкция (рис. 5) представляется состоящей из n элементарных слоев. Сопротивление

$R_K = \sum_{i=1}^n R_i$, где R_i – сопротивление теплопередаче элементарного слоя [6]. За толщину Δx элементарного слоя выбирают наименьшее из Δx_i , исходя из условия однородности в нем температурного поля, определяемое неравенствами

$$\left| \frac{2(\lambda_{x_{i+1}} - \lambda_{x_i})}{(\lambda_{x_{i+1}} + \lambda_{x_i})} \right|_{u, \rho_0 = const} \leq 0,05;$$

$$\left| \frac{2(\lambda_{x_{i+1}} - \lambda_{x_i})}{(\lambda_{x_{i+1}} + \lambda_{x_i})} \right|_{t, \rho_0 = const} \leq 0,05;$$

$$\left| \frac{2(\lambda_{x_{i+1}} - \lambda_{x_i})}{(\lambda_{x_{i+1}} + \lambda_{x_i})} \right|_{t, u = const} \leq 0,05.$$

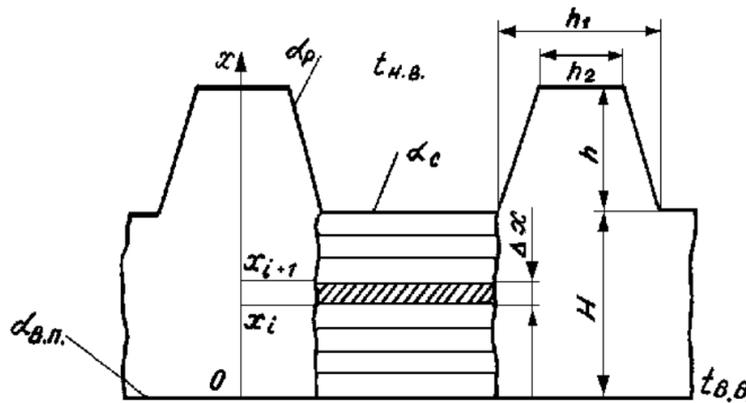


Рис. 5. Схема двуслойной панели

Результаты исследования и их обсуждение

Расчет панели кровельной двуслойной с пенопластом прокладочным выполнили по откорректированной методике, учитывающей влияние влагосодержания, пористости материала и температуры на коэффициент теплопроводности. Габаритные размеры панели: $h_2 = 0,05$ м, $h_1 = 0,08$ м, $h = 0,08$ м, $H = 0,08$ м, при $t_{в.п.} = 20^\circ\text{C}$, $t_{н.п.} = -25^\circ\text{C}$, $\Delta t^m = 8\text{K}$, $\alpha_{в.п.} = 8,7 \text{ м}^2\text{K/Вт}$ и $\alpha_{н.п.} = 23,2 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$ значение $R_0 = 2,16 \text{ м}^2\text{K/Вт}$.

По нормативной методике при $t_{в.п.} = 20^\circ\text{C}$ и $t_{н.п.} = -25^\circ\text{C}$ для условий А сопротивление теплопередаче панели – $1,78 \text{ м}^2\text{K/Вт}$.

Были проведены фактические испытания сорока восьми утепленных двуслойных кровельных панелей [7], сопротивление теплопередаче панели – $2,18 \text{ м}^2\text{K/Вт}$.

Наиболее близкими к фактическим оказались расчетные значения сопротивления теплопередаче по скорректированной методике.

С понижением значений минусовых наружных температур данный метод расчета сопротивления теплопередаче двуслойных кровельных панелей еще более эффективен.

Выводы

Методика определения коэффициента теплопроводности в лабораторных усло-

виях, близких к реальным, обуславливает улучшение качества расчета теплозащитных свойств двуслойных кровельных панелей, утепленных пенопластом прокладочным.

Благодаря выполненным исследованиям стало возможным пенопласт прокладочный использовать в нефтегазопромысловом строительстве. Панели применены при обустройстве Ямбургского газоконденсатного месторождения.

Список литературы

1. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Труды ВИАМ. 2013. № 8. С. 31–38.
2. Макридин Н.И. Структурообразование и конструкционная прочность цементных композитов. М.: МГСУ, 2013. 152 с.
3. Аксенов Б.Г., Кутушев А.Г., Стефурак Л.А. Теплоизоляционный материал интегральной структуры // Доклады СО АН ВШ. 2003. № 2 (8). С. 65–72.
4. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–3. С. 459–465.
5. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Thermal performance of the buildings. СПб.: ДЕАН, 2004. 64 с.
6. Лисянский В.П., Блинов С.А. Применение новых материалов в фортификационном строительстве. СПб.: СПбГПУ, 2015. 78 с.
7. ГОСТ 25380-2014 Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. М.: Стандартинформ, 2015. 11 с.

УДК 004.6:629.331

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Бабкина А.С., Потапова С.В., Авадэни Ю.И., Куликова О.М.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», Омск,
e-mail: alina_babkina_s@mail.ru*

Статья посвящена исследованию влияния конструктивных особенностей и технического состояния подвижного состава на качество эксплуатации автотранспортных средств на основании анализа слабоструктурированных и текстовых данных. На основании анализа отзывов водителей и пассажиров, размещаемых в интернете, разработан интегральный показатель качества эксплуатации автотранспортных средств и методика его расчета с применением теории систем, методов распознавания образов, экспертного, лингвистического и когнитивного анализа данных. Структура данного показателя включает два уровня: первый уровень задают показатели, определяющие эксплуатационные характеристики оцениваемого автотранспортного средства, второй уровень – декомпозируемые показатели, формирующие показатели первого уровня. Расчет интегрального показателя качества эксплуатации автотранспортных средств производится путем свертки показателей от второго уровня к первому на основании разработанных правил. Предложенный интегральный показатель качества эксплуатации автотранспортных средств прост для применения и позволяет с достаточной точностью оценить уровень качества эксплуатации любого автотранспортного средства. Применение разработанного интегрального показателя качества эксплуатации автотранспортных средств при решении прикладных задач проектирования и производства позволит повысить эффективность управления в сфере автомобилестроения в рамках импортозамещения и развития отечественной экономики.

Ключевые слова: качество эксплуатации автотранспортных средств, эксплуатационные характеристики, автотранспортные средства, интегральный показатель

COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE OPERATION OF MOTOR VEHICLES ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF SEMI-STRUCTURED DATA

Babkina A.S., Potapova S.V., Avadeni Yu.I., Kulikova O.M.

Siberian State Automobile and Road University, Omsk, e-mail: alina_babkina_s@mail.ru

The article is devoted to the study of the influence of design features and technical condition of the rolling stock on the quality of vehicle operation based on the analysis of weakly structured and text data. Based on the analysis of feedback from drivers and passengers placed in the Internet environment, an integral indicator of the quality of vehicle operation and a methodology for calculating it using the theory of systems, methods of pattern recognition, expert, linguistic and cognitive data analysis have been developed. The structure of this indicator includes two levels: the first level specifies the indicators that determine the performance characteristics of the estimated vehicle, the second level – decomposable indicators that form the first level indicators. Calculation of the integral indicator of the quality of operation of vehicles is made by converting indicators from the second level to the first based on the developed rules. The proposed integral indicator of the quality of operation of vehicles is simple to use and allows to estimate with a high degree of accuracy the level of operation quality of any motor vehicle. Application of the developed integral indicator of the quality of operation of vehicles in solving applied design and production problems will improve the management efficiency in the automotive industry within the framework of import substitution and development of the domestic economy.

Keywords: quality of operation of vehicles, performance characteristics, vehicles, integrated indicator

Актуальность исследования вопросов управления качеством эксплуатации автотранспортных средств (АТС) обусловлена тем, что повышение количества эксплуатируемых автомобилей и внедрение инновационных подходов к проектированию и производству автомобилей способствует увеличению числа подрывных инноваций в области автомобилестроения и переходу автомобилей на новые виды топлива. В связи с этим возрастает роль управления качеством в области создания и эксплуатации АТС, представляющего собой сложный многоаспектный процесс, требующий оценки множества параметров и разработки комплекса оперативных и стратегических

решений, направленных на соответствие требованиям, предъявляемым к данному классу систем [1–3].

В современной науке разработано множество различных подходов к оценке качества АТС [4–6], однако существующие методики и алгоритмы не позволяют проводить комплексную оценку качества их эксплуатации с достаточной точностью. Это обусловлено такими объективными причинами, как рост количества эксплуатируемых АТС и увеличение периода их эксплуатации и, как следствие, увеличение объема информации об их эксплуатации. Значительная часть такой информации представлена в слабоструктурированной форме, в том

числе в виде отзывов водителей на различных интернет-порталах (Drom.ru (<https://www.drom.ru>), AUTO.RIA (<https://auto.ria.com>) и др.).

Цель исследования: разработать алгоритм комплексной оценки качества эксплуатации АТС на основании анализа слабоструктурированных данных.

Материалы и методы исследования

Для разработки алгоритма управления качеством эксплуатации АТС использованы методы оценки качества в данных системах, теория систем, методы анализа слабоструктурированных данных.

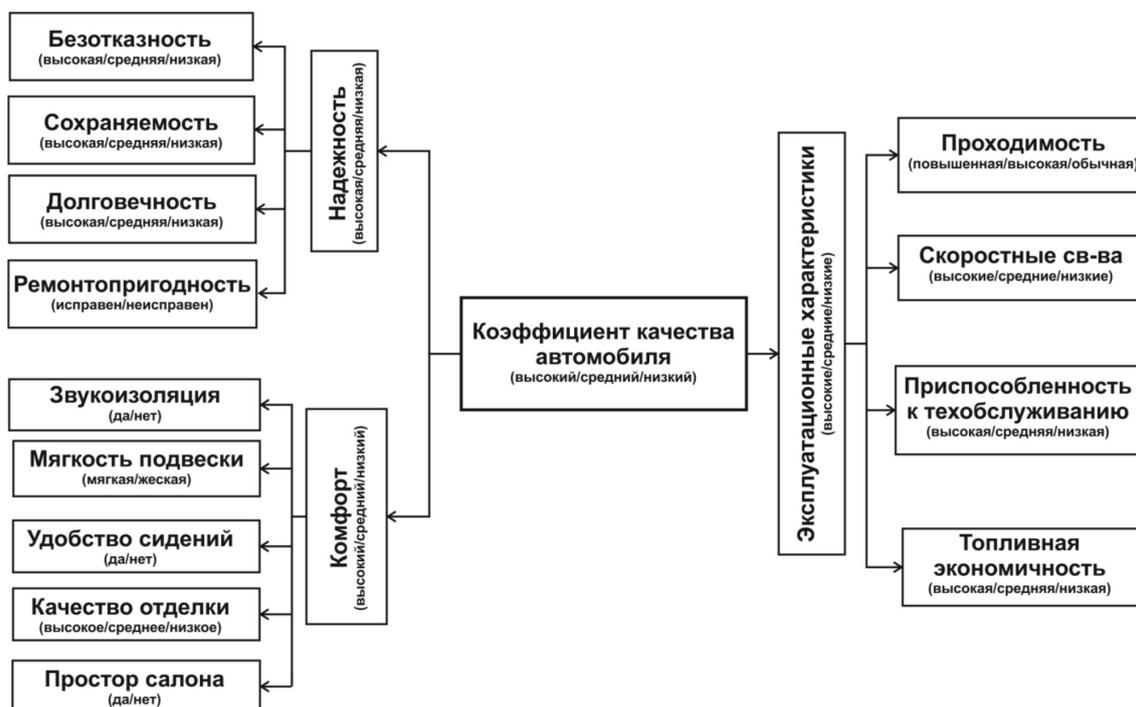
В качестве основных источников информации, необходимых для оценки качества эксплуатации АТС, были использованы: нормативные документы на бумажных носителях [7–9]; данные сайта Drom.ru; отзывы водителей об эксплуатации отечественных и зарубежных АТС за период 2014–2017 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании результатов анализа опубликованных трудов отечественных и зарубежных ученых [10, 11] разработан интегральный показатель качества эксплуатации АТС и алгоритм его расчета. На рисунке приведена структура интегрального пока-

зателя качества эксплуатации АТС, включающая два уровня. Первый уровень задают показатели, характеризующие, надежность, комфорт и эксплуатационные характеристики оцениваемого АТС. Каждый из данных показателей декомпозируется на дополнительные показатели, характеризующие показатели первого уровня и формирующие второй уровень структуры интегрального показателя. Опишем каждый показатель, входящий в структуру интегрального показателя качества эксплуатации АТС и приведем правила расчета данного показателя – свертки показателей от второго уровня к первому.

Надежность определяется как свойство АТС сохранять свои показатели в установленных пределах, характеризующих его способность выполнять свои функции в заданных условиях (может быть высокой, средней, низкой). В группу показателей, задающих надежность АТС, входят: безотказность (работоспособность в течение установленного периода); сохраняемость (безотказность и ремонтпригодность после длительного простоя); долговечность (работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе техобслуживания АТС); ремонтпригодность (поддержание работоспособного состояния путем проведения техобслуживания и ремонтов).



Структура интегрального показателя качества эксплуатации АТС

Длительность временных периодов для указанных показателей определяется эксплуатационными характеристиками оцениваемых АТС. Данные показатели измеряются в порядковой шкале с присвоением значения «Низкий», «Средний», «Высокий». Для оценки показателей на начальном этапе создается либо банк ключевых слов и словосочетаний, либо совокупность ассоциативных правил, позволяющих решать задачи распознавания образов на основании анализа слабоструктурированных и текстовых данных [12]. Значения данных показателей определяются на основе методов экспертного анализа или нейронных сетей распознавания образов с применением данного банка или ассоциативных правил. В табл. 1 приведены правила свертки вышеуказанных показателей для оценки надежности АТС.

Комфорт – ключевая характеристика АТС, от которой зависят психофизиологические показатели водителя, определяющие безаварийность и длительность вождения данного АТС. В группу показателей, характеризующих комфорт АТС, входят: звукоизоляция салона (способность снижать уровень внешнего шума в салоне АТС); мягкая подвеска (способность амортизировать внешние неровности дороги); удобство сидения (определяется на основании опроса водителей и пассажиров); качество отделки салона; просторность салона. Каждому из показателей, характеризующих комфорт АТС, по мнению водителя и пассажиров, присваивается либо значение «Да», либо «Нет». Расчет показателя комфорта АТС определяется аналогично показателю надежности АТС. Правила свертки показателей для оценки комфорта АТС приведены в табл. 2.

Таблица 1

Правила свертки показателей для оценки надежности АТС

| Безотказность | Сохраняемость | Долговечность | Ремонтопригодность | Надежность |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая | Низкая | Низкая | Низкая |
| Низкая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая | Низкая | Низкая |
| Низкая | Низкая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая | Низкая |
| Низкая | Низкая | Низкая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая |
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя | Средняя | Средняя | Средняя |
| Средняя | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя | Средняя | Средняя |
| Средняя | Средняя | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя | Средняя |
| Средняя | Средняя | Средняя | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя |
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая | Высокая | Высокая | Высокая |
| Высокая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая | Высокая | Высокая |
| Высокая | Высокая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая | Высокая |
| Высокая | Высокая | Высокая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая |

Эксплуатационные качества АТС, связанные с его движением, определяют эффективность и качество его использования в заданных условиях и включают: проходимость (способность двигаться по плохим дорогам и в условиях бездорожья); скоростные свойства (определяют производительность АТС и характеризуют его способность перевозить грузы (пассажиры) с наименьшей затратой времени); приспособленность к техническому обслуживанию (определяет простоту, легкость и удобство выполнения работ по техобслу-

живанию АТС с наименьшей затратой времени и средств); топливная экономичность (определяет расход топлива в процессе езды при различных дорожно-эксплуатационных условиях) [13, 14].

Присвоение значений «Высокая», «Средняя», «Низкая» вышеуказанным показателям зависит от характеристик оцениваемых АТС. Правила свертки показателя для оценки эксплуатационных качеств АТС приведены в табл. 3. Данный показатель может принимать значения высокие, средние, низкие.

Таблица 2

Правила свертки показателей для оценки комфорта АТС

| Эффективность звукоизоляции | Мягкие подвески | Удобные сидения | Качество отделки салона | Просторный салон | Комфорт |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|------------------|---------|
| Да/Нет | Нет | Нет | Низкое | Нет | Низкий |
| Нет | Да/Нет | Нет | Низкое | Нет | Низкий |
| Нет | Нет | Да/Нет | Низкое | Нет | Низкий |
| Нет | Нет | Нет | Низкое/ Среднее/ Высокое | Нет | Низкий |
| Нет | Нет | Нет | Низкое | Да/Нет | Низкий |
| Нет | Нет | Да | Высокое/ Среднее | Да | Средний |
| Да | Да | Нет | Среднее | Нет | Средний |
| Нет | Да | Нет | Высокое/ Среднее | Да | Средний |
| Да | Да | Да | Низкое | Нет | Средний |
| Да/Нет | Да | Да | Высокое | Да | Высокий |
| Да | Да/Нет | Да | Высокое | Да | Высокий |
| Да | Да | Да/Нет | Высокое | Да | Высокий |
| Да | Да | Да | Низкое/ Среднее/ Высокое | Да | Высокий |
| Да | Да | Да | Высокое | Да/Нет | Высокий |

Таблица 3

Правила свертки показателя для оценки эксплуатационных качеств АТС

| Проходимость | Скоростные свойства | Приспособленность к техническому обслуживанию | Топливная экономичность | Эксплуатационные качества |
|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкие | Низкая | Низкая | Низкие |
| Низкая | Низкие/ Средние/ Высокие | Низкая | Низкая | Низкие |
| Низкая | Низкие | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая | Низкие |
| Низкая | Низкие | Низкая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкие |

Окончание табл. 3

| Проходимость | Скоростные свойства | Приспособленность к техническому обслуживанию | Топливная экономичность | Эксплуатационные качества |
|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Средние | Средняя | Средняя | Средние |
| Средняя | Низкие/ Средние/ Высокие | Средняя | Средняя | Средние |
| Средняя | Средние | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя | Средние |
| Средняя | Средние | Средняя | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средние |
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокие | Высокая | Высокая | Высокие |
| Высокая | Низкие/ Средние/ Высокие | Высокая | Высокая | Высокие |
| Высокая | Высокие | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая | Высокие |
| Высокая | Высокие | Высокая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокие |

Таблица 4

Правила свертки показателей для оценки качества эксплуатации АТС

| Надежность | Комфорт | Эксплуатационные свойства | Качество эксплуатации |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая | Низкая | Низкая |
| Низкая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая | Низкая |
| Низкая | Низкая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Низкая |
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя | Средняя | Средняя |
| Средняя | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя | Средняя |
| Средняя | Средняя | Низкая/ Средняя/ Высокая | Средняя |
| Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая | Высокая | Высокая |
| Высокая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая | Высокая |
| Высокая | Высокая | Низкая/ Средняя/ Высокая | Высокая |

В табл. 4 приведены правила свертки показателей для оценки качества эксплуатации АТС. Данному интегральному показателю может быть присвоено одно из значений: высокое, среднее, низкое в зависимости от значений вышеуказанных показателей.

Выводы

Качество эксплуатации АТС является одним из ключевых факторов как при их создании, так и при их выборе и приобретении. В настоящее время существующие методы и алгоритмы не способны с достаточной точностью решать задачи оценки качества эксплуатации современных АТС на основании анализа слабо структурированных и текстовых данных. Это требует разработки нового подхода к оценке данного показателя с применением методов лингвистического и экспертного анализа, методов и алгоритмов распознавания образов. С применением указанных методов и алгоритмов разработан интегральный показатель оценки качества эксплуатационных качеств АТС, его структура и правила расчета данного показателя. В его структуру входят показатели, определяющие надежность, комфорт и эксплуатационные свойства оцениваемого АТС, которые декомпозируются на дополнительные показатели. Значения всех данных показателей задаются в номинальной шкале. Расчет показателей каждого уровня выполняется на основании правил свертки показателей нижнего уровня. Применение разработанного интегрального показателя качества эксплуатации АТС позволит с достаточной точностью решать задачи проектирования новых АТС и оценки их эксплуатации в различных условиях.

Список литературы

1. Вахромеев А.М. Обеспечение надежности и качества колес автотранспортных средств // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2015. № 3 (5). С. 1.
2. Макенов А.А., Мустафин Ж.К. Комплексная оценка качества эксплуатации автотранспортных средств // Вестник КГУСТА. 2016. № 4 (54). С. 22–28.
3. Ременцов А.Н., Зенченко В.А. Теоретическое и методическое обеспечение оценки качества и конкурентоспособности большегрузных автомобилей // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2006. № 6. С. 41–48.
4. Кузнецов Д.О. Методы оценки качества автомобилей с точки зрения потребителей // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2009. № 6 (74). С. 67–70.
5. Мамин Л.Р. Сравнительный анализ эксплуатационной эффективности автотранспортных средств // Евразийский союз ученых. 2014. № 8–8. С. 75–77.
6. Ременцов А.Н., Зенченко В.А., Чернышов А.Е. Теоретическое и методическое обеспечение оценки качества и конкурентоспособности большегрузных автомобилей // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2006. № 6. С. 41–48.
7. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-002-89> (дата обращения: 21.12.2018).
8. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию и методы проверки [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-002-89> (дата обращения: 21.12.2018).
9. ГОСТ Р 53827-2010. Автомобильные транспортные средства. Пружины цилиндрические винтовые, торсионы, стабилизаторы подвески. Технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53827-2010> (дата обращения: 21.12.2018).
10. Сидельникова Е.Г. Методика определения комплексной оценки качества сложных технических систем автомобилей и подъемно-транспортного оборудования // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 25. № 2 (25) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1688> (дата обращения: 21.12.2018).
11. РД 37.009.026-92 «Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитрактора)» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034663> (дата обращения: 21.12.2018).
12. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. СПб.: Питер, 2012. 706 с.
13. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В. Методика оценки качества автомобилей // Экономическое возрождение России. 2006. № 2. С. 57–62.
14. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта (утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901788952> (дата обращения: 21.12.2018).

УДК 681.5(575.2)

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНОВ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Бийбосунов Б.И., Юсупов К.М., Курманбек Уулу Т.К.

Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек, e-mail: bbolotbek@mail.ru

Проектируется и создается автоматизированная информационная система (АИС) для органов местного самоуправления – айыл окмоту (сельские управы), как низшего звена административно-территориальных органов государственного управления Кыргызской Республики. На основе проведенного анализа бизнес-процессов органов местного самоуправления (МСУ), а также связей и взаимодействия органов МСУ с вышестоящими органами управления и другими внешними организациями создана АИС, которая позволяет перейти от бумажных технологий к электронным технологиям. В предлагаемой АИС учтены основные функции органов МСУ Кыргызстана и формируются базы данных для домашних хозяйств, учета населения, по земельным ресурсам и налогам. Разработанная АИС направлена на повышение эффективности работы органов местного самоуправления в Кыргызской Республике. В системе реализованы, во-первых, функции по генерации всех основных документов органов МСУ Кыргызстана. Во-вторых, автоматизированный учет населения и домашних хозяйств позволяет учитывать и анализировать процессы миграции населения. В-третьих, АИС позволяет автоматизировать важнейшие функции по сбору налогов с физических лиц и домашних хозяйств, зарегистрированных на территории органа местного самоуправления. Внедрение автоматизированной системы позволяет расширить возможности для участия сельского населения в государственном управлении и местном самоуправлении. Кроме того, данная разработка способствует совершенствованию системы государственного управления и МСУ на базе современных информационно-телекоммуникационных технологий.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, база данных, органы местного самоуправления, домашние хозяйства, учет населения

DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR LOCAL GOVERNMENT BODIES OF THE KYRGYZ REPUBLIC

Biybosunov B.I., Yusupov K.M., Kurmanbek Uulu T.K.

Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Bishkek, e-mail: bbolbek@mail.ru

An automated information system (AIS) is being designed and created for local governments – ayil okmotu (village governments), as the lowest level of administrative and territorial bodies of state administration of the Kyrgyz Republic. Based on the analysis of business processes of local governments (LSG), as well as the links and interaction of LSG bodies with higher-level management bodies and other external organizations, the AIS was created, which allows to move from paper technologies to electronic technologies. The proposed AIS takes into account the main functions of local government bodies in Kyrgyzstan and forms databases for households, population accounting, land resources and taxes. The developed AIS is aimed at improving the efficiency of local government in the Kyrgyz Republic. The systems implemented, firstly, the functions of generating all the main documents of local self-government bodies of Kyrgyzstan. Secondly, automated accounting of the population and households allows you to take into account and analyze the processes of population migration. Thirdly, the AIS allows you to automate the most important functions of collecting taxes from individuals and households registered in the territory of the local government. The introduction of an automated system allows you to expand the opportunities for the participation of the rural population in government and local government. In addition, this development contributes to the improvement of the public administration system and local government based on modern information and telecommunication technologies.

Keywords: automated information system, database, local governments, households, population accounting

Поскольку информационные системы способствовали более разнообразной человеческой деятельности, они оказали глубокое влияние на общество. Эти системы ускорили темпы повседневной деятельности, позволили людям развивать и поддерживать новые и зачастую более выгодные отношения, влияли на структуру и состав организаций и влияли на характер работы. Информация и знания стали жизненно важными экономическими ресурсами. В технологической среде, которая является быстроразвивающейся, предлагаются стратегические принципы, которым должны следовать страны с трансформирующейся

экономикой для успешного развития и внедрения информационных систем.

В современных условиях процесса информатизации общества в Кыргызской Республике актуальной проблемой является применение информационных технологий в органах местного самоуправления, которые наиболее приближены к населению и обязаны решать наиболее жизненно важные вопросы и предоставлять необходимые государственные услуги на своей административной территории в сельской местности. Следует отметить, что экономика Кыргызстана относится к аграрно-промышленному типу и сельское хозяйство является

основной отраслью экономики. Кроме того, сельское население составляет более 65% и в последние 20 лет подвержено сильным миграционным процессам, как внутренней, так и внешней миграции. Поэтому всемерное развитие и внедрение информационных технологий и систем в сельской местности и для сельского населения является приоритетной задачей и приоритетным направлением развития страны. Приведем некоторые официальные данные Национального статистического комитета КР. Доля хозяйствующих субъектов, использующих информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), в городах республики составила 67,5%, в то время как в сельской местности этот показатель составляет 32,5%. Доля хозяйствующих субъектов с государственной формой собственности, использующих ИКТ, в 2017 г. составила 45,4%, с частной формой собственности – 54,6% [1]. Следует добавить, что есть проблемы, которые тормозят развитие информационных технологий как в сельской местности в целом, так и в органах МСУ. В частности, это ограниченные финансовые ресурсы, низкий уровень компьютерных знаний, как среди сельского населения, так и среди служащих органов МСУ.

Производственные показатели играют ключевую роль в рамках эффективного ИТ управления. В данной ситуации недостаток эффективных мер управления ограничивает понимание того, насколько эффективно процесс удовлетворяет потребностям организации в принятии решений. Успешные мероприятия по управлению отслеживают и сообщают о мерах, которые показывают, насколько хорошо программа управления способствует достижению поставленных целей. Примером показателей эффективности управления ИТ, направленных на улучшение процесса, является повышение прозрачности управленческих решений в области ИТ. Автоматизированная информационная система (АИС) не только показывает ценность, но и помогает поддерживать направленность программы управления по мере ее выполнения [2].

Разработанная АИС нацелена на решение таких задач, как организация делопроизводства и документооборота в электронном виде, автоматизация учета населения (формирование базы данных проживающего на территории сельской управы населения по составу, по занятости, социальному положению и т.д.), автоматизация учета земельных ресурсов на территории МСУ и т.д. Таким образом, внедрение информационных технологий и систем в органах МСУ Кыргызстана позволит повысить качество предоставляемых государственных

услуг, сокращает время принятия управляющих решений, повышает оперативность и гибкость работы органов МСУ и эффективность работы местной власти с населением в целом.

Итак, приведем основные цели созданной АИС:

- повышение эффективности работы органов МСУ;

- расширение возможностей участия сельского населения в государственном управлении и местном самоуправлении;

- совершенствование государственного управления и МСУ на базе ИКТ.

В рамках поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи:

- автоматизация процессов сбора, обработки, передачи и предоставления информации в органы МСУ;

- формирование базы данных по земельным ресурсам и налогам, по населению и по домохозяйствам;

- внедрение электронного информационного обмена между МСУ и органами государственного управления;

- удобный доступ к информации и услугам государственных органов и МСУ.

В результате предлагается интуитивно понятный и относительно простой интерфейс программы. На рис. 1 приведена форма главного меню программы. Форма достаточно крупная, почти во весь экран, при этом форма не дает возможности ошибиться даже неопытному пользователю. Для входа в любой из режимов достаточно щелкнуть мышью по соответствующему рисунку.

Материалы и методы исследования

Учитывая особенности сельских органов МСУ, уровень информационных и компьютерных знаний служащих и пользователей, реализация АИС проведена достаточно простыми программными средствами. В качестве основного программного инструментария применяется интегрированная среда разработки программного обеспечения Visual Basic [3, 4]. Для проектирования, разработки и создания базы данных для АИС применяется система управления базами данных My SQL [5, 6].

Системные требования минимальны: процессор Intel Pentium IV и выше; оперативная память 1 Гб и выше; материнская плата, видеокарта (на 128 МБ) и сетевая карта; жесткий диск (винчестер) не менее 80 Гб; операционная система Microsoft Windows версии XP, 7, 8 и 10.

Разработанная АИС содержит следующие основные компоненты:

- общественный информационный центр при МСУ;

– доступ к официальной информации и услугам госорганов и МСУ;
 – электронное обучение;
 – специализированный сайт с информацией о деятельности органов МСУ;

– автоматизация бизнес-процессов в органах МСУ;
 – система обмена данными;
 – информационный обмен с органами государственного управления.



Рис. 1. Главное меню АИС (режим администратора)

Рис. 2. Форма главы домашнего хозяйства

Рис. 3. Регистрация домохозяйства (главы домохозяйства)

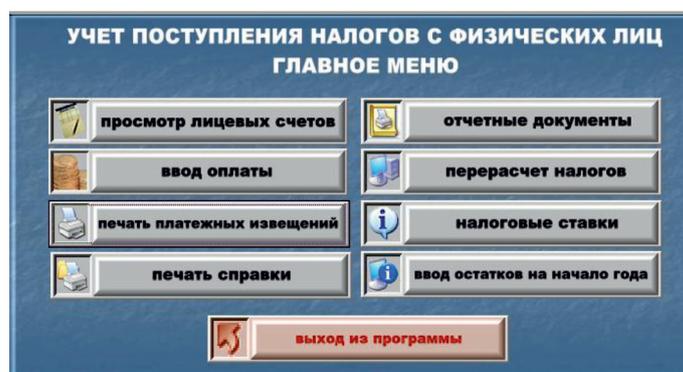


Рис. 4. Окно программы учета налогов для физических лиц

Следует отметить, что предусмотрена возможность максимально полного ввода информации в систему. Все показатели вводятся в формах формирования специализированной базы данных (БД). Например, для главы домохозяйства, который считается собственником имущества, предусмотрено 6 категорий с 294 показателями. Это форма ввода общих данных, которая приведена на рис. 2.

На следующем рис. 3 приведена входная форма регистрации домашнего хозяйства (главы домохозяйства).

Следующей важной функцией АИС, наряду с регистрацией и учетом населения, является автоматизация расчета местных налогов и осуществление контроля за их поступлением в местный бюджет. В целях автоматизации расчета и учета местных налогов используются показатели хозяйственной книги каждого домашнего хозяйства.

На рис. 4 приведена основная форма подпрограммы для автоматизации сбора и учета налогов.

Данная подпрограмма выполняет следующие основные функции:

- организация просмотра и редактирования лицевых счетов физических лиц;
- организация приема и оплаты налогов для физических лиц;
- генерирование необходимой отчетной документации;
- организация перерасчета налогов и налоговых ставок, а также налоговых остатков;
- вывод на печать и получение твердой копии платежных извещений и справок.

На следующем рис. 5 показано окно встроенной подпрограммы для организации перерасчета всех основных налогов, налоговых ставок, а также налоговых льгот и остатков на начало отчетного периода.

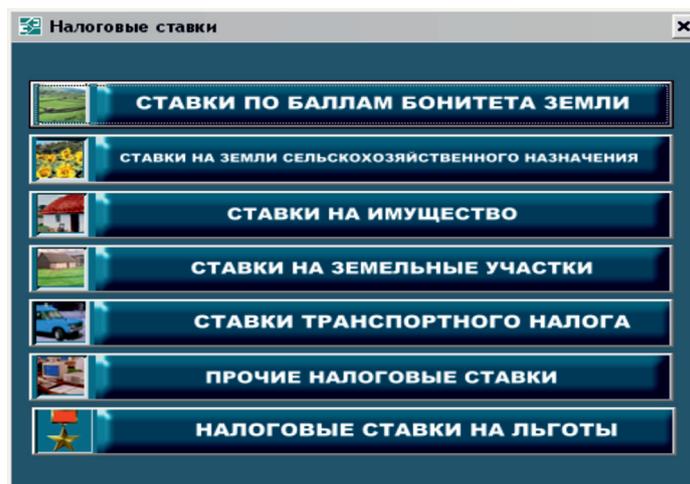


Рис. 5. Окно подпрограммы «Налоговые ставки»

При введении в информационную систему этого дополнительного программного модуля изменяемых ставок налогов, расчет имущественного, земельного и транспортного налога и выдача всех необходимых документов, таких как платежное извещение, справка об уплате налогов, расчет пени за несвоевременную уплату налогов и т.д., может производиться непосредственно при обращении к конкретному лицезовому счету. Информация о налогах формируется в специальных налоговых лицезовых счетах.

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, АИС позволяет автоматизировать учет населения на территории данного органа МСУ, создает социальный портрет домохозяйства, а также автоматизирует начисление налогов с учетом изменяемых ставок налогов, проводится расчет имущественного, земельного и транспортного налога. На этой основе АИС организует и автоматизирует выдачу всех необходимых документов и справок установленного образца для населения, а также всех документов и справок, связанных с налогами, таких как платежное извещение, справка об уплате налогов, расчет пени за несвоевременную уплату налогов и т.д.

Отметим, что разработанная автоматизированная информационная система для органов местного самоуправления реализована в двух вариантах:

– одиночный вариант АИС (один компьютер), когда серверная и клиентская части системы устанавливаются на один компьютер и реализован последовательный доступ во времени с паролем доступа к разрешенным областям базы данных;

– сетевая АИС при наличии локальной сети. В данном варианте серверная часть системы устанавливается на сервере сети, а клиентская часть – на рабочих местах специалистов МСУ и реализован параллельный доступ к разрешенным областям базы данных.

Заключение

Важно, чтобы органы МСУ располагали конкретной, необходимой и оперативной информацией, которая собирает данные из нескольких основных приложений, что позволяет принимать стратегические решения. Данная разработанная АИС является единым ресурсным источником путем формирования и развития необходимых данных на местном территориальном уровне. При сборе, обработке информации также вполне возможно улучшение качества управления данными, что позволит заинтересованным органам местного самоуправления оптимизировать использование их данных, а также предоставлять необходимую информацию. Цель набора инструментов управления и руководства информационными системами заключается в обеспечении помощи управленцам в государственных учреждениях обеспечить соответствие реализации задач в ИТ со стратегией развития данного административно-территориального органа.

Отметим, что разработанная АИС была апробирована в пилотных органах МСУ на примере двух органов айыл окмоту (сельских управ). Предлагаемая разработка позволила автоматизировать основные функции МСУ, сократить временные издержки для организации делопроизводства в системе МСУ, обеспечить

выдачу населению необходимых справок, автоматизировать подворный учет в сельской местности и т.д.

Необходимо внедрять методологии разработки информационных систем для организаций, принимающих решения на местном уровне. Также важно стандартизировать государственные информационные системы и информационные ресурсы, а также развивать нормативно-правовую базу, которая позволит создать условия для бесперебойного развития государственных информационных систем.

Список литературы

1. Информационно-коммуникационные технологии (2013–2017 гг.). Национальный статистический комитет КР. Годовая публикация. Бишкек, 2018. 60 с.
2. Бийбосунов Б.И., Джусупова Г.Г. Краткий обзор современных ИКТ для информационной системы вуза // Интернет-журнал ВАК КР. Бишкек, 2012. № 2.
3. Эйткен П. Программирование на VISUAL BASIC 6. Пер. с англ. К.: ДиаСофт, 1999. 480 с.
4. Зибиров В.В. Visual Basic 2010 на примерах. БХВ-Петербург. 2010. 338 с.
5. Крейн Д., Паскарелло Э., Джеймс Д. MySQL. Справочник по языку. MySQL Press. 2010. 432 с.
6. Кузнецов М., Симдянов И. MySQL 5. БХВ-Петербург. 2010. 1007 с.

УДК 621.79

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ СТАЛЬНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТОВ ВНАХЛЕСТ**¹Гоц А.Н., ²Гусев Д.С., ¹Гуськов В.Ф., ¹Люхтер А.Б.**¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: hotz@mail.ru;²ООО «ИЦ при ВлГУ», Владимир, e-mail: gusev@laser33.ru

В работе предложена методика выбора источника теплоты и уточнены начальные и граничные условия теплообмена в процессе лазерной сварки стального и алюминиевого листов внахлест. Для моделирования температурных полей в процессе лазерной сварки размеры и форму сварочной ванны выбирают по микрошлифу поперечного сечения сварного шва. Расчет температурных полей свариваемых деталей основывается на решении уравнения нестационарной теплопроводности. Введенная формализация источника теплоты в процессе лазерной сварки стальных и алюминиевых листов внахлест позволила обеспечить корректное задание начальных и граничных условий теплообмена при численном решении методом конечных элементов уравнения нестационарной теплопроводности. Теплосодержание сварочной ванны определяется удельным теплосодержанием металлов свариваемых деталей, температурой плавления наиболее тугоплавкого металла и геометрическими размерами сварочной ванны. Выявлены условия теплообмена, оказывающие преобладающее влияние на отдельные стадии процесса теплопроводности при лазерной сварке листов, что позволяет осуществить целенаправленный выбор начальных и граничных условий теплообмена при нагреве и охлаждении деталей. При экспериментальных исследованиях изменение теплового состояния образца при лазерной сварке регистрировалось хромель-алюмелевыми термопарами. Получена удовлетворительная сходимость результатов расчетных и экспериментальных исследований. Результаты исследований теплового состояния свидетельствуют о значительной температурной неравномерности, возникающей в образце в процессе лазерной сварки, что приведет к появлению в нем остаточных напряжений.

Ключевые слова: источник теплоты, сварочный шов, температурное поле, сварочная ванна, теплосодержание, граничные условия

CALCULATION OF TEMPERATURE FIELDS IN THE PROCESS OF OVERLAP LASER WELDING OF STEEL TO ALUMINIUM SHEETS**¹Gots A.N., ²Gusev D.S., ¹Guskov V.F., ³Lyukhter A.B.**¹Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: hotz@mail.ru;²EC at VSU LLC, Vladimir, e-mail: gusev@laser33.ru

The paper proposes a method of choosing a heat source and specifies the initial and boundary conditions of heat transfer in the process of laser welding of steel and aluminum sheets overlap. To simulate the temperature fields in the laser welding process, the size and shape of the weld pool is selected by the cross-sectional micro-section of the weld. The calculation of the temperature fields of welded parts is based on the solution of the equation of unsteady thermal conductivity. The introduced formalization of the heat source in the process of laser welding of steel and aluminum sheets overlap, allowed to ensure the correct setting of the initial and boundary conditions of heat transfer in the numerical solution of the finite element equation of unsteady thermal conductivity. The heat content of the weld pool is determined by the specific heat content of the metals of the welded parts, the melting point of the most refractory metal and the geometric dimensions of the weld pool. The conditions of heat exchange, which have a predominant effect on the individual stages of the thermal conductivity process in laser welding of sheets, which allows for a targeted selection of the initial and boundary conditions of heat transfer during heating and cooling of parts. In experimental studies, the change in the thermal state of the sample during laser welding was recorded by chromel-aluminum thermocouples. The satisfactory convergence of the results of computational and experimental studies is obtained. The results of studies of the thermal state indicate a significant temperature unevenness that occurs in the sample during laser welding, which will lead to the appearance of residual stresses in it.

Keywords: heat source, welding seam, temperature field, welding bath, heat content, boundary conditions

В процессе лазерной сварки происходит неравномерный нагрев свариваемых деталей, что после охлаждения приводит к появлению остаточных напряжений. При их расчете необходимо знать распределение температурных полей для свариваемых деталей, так как от этого зависит и величина остаточных напряжений. В некоторых работах [1, 2] для моделирования температурных полей вводят понятие «источника теплоты при сварке», который представляется в виде изотермической поверхности, соот-

ветствующей форме сварочной ванны [1] или системы фиктивных источников теплоты, позволяющих получить требуемую форму и размеры сварочной ванны [3, 4]. Ранее выполненные исследования [5] показывают, что модель источника теплоты в виде полуэллипсоида с геометрическими размерами сварного шва способствует воспроизведению термического цикла дуговой сварки заготовок с погрешностью не более 15%.

Цель исследования: уточнение выбора источника теплоты и начальных и граничных

ных условий теплообмена в процессе лазерной сварки стального и алюминиевого листов внахлест путем сравнения расчетных и экспериментальных температурных полей при расчете температурных полей методом конечных элементов (МКЭ).

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования принята лазерная сварка опытного образца (рис. 1), осуществляемая непрерывным излучением без сквозного проплавления нижней алюминиевой заготовки и использования присадочного материала [6].

Микрошлиф поперечного сечения сварного шва и модель сварочной ванны, соответствующая поперечному сечению шва, показаны на рис. 2.

Расчет температурных полей свариваемых образцов (рис. 1) основывается на решении уравнения нестационарной теплопроводности методом конечных элементов:

$$\nabla^2 T + \frac{Q}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа; T – температура детали; $a = \lambda / (\rho c)$ – температуропроводность соответствующего материала; ρ , c , λ – соответственно

плотность, теплоемкость, теплопроводность свариваемых образцов; τ – текущее время; Q – производительность внутренних источников теплоты (в расчетах $Q = 0$), для заданных условий однозначности, наибольшая сложность определения которых заключается в формировании начальных и граничных условий теплообмена.

При их назначении в целях упрощения целесообразно исходить из следующих допущений:

1. Нагревание свариваемых деталей образца осуществляется за счет теплосодержания расплава металлов в объеме сварочной ванны.

2. Охлаждение свариваемых деталей и расплава металлов происходит в результате теплопроводности и свободной конвекции в окружающую среду.

3. Теплосодержание сварочной ванны определяется удельным теплосодержанием металлов свариваемых деталей, температурой плавления наиболее тугоплавкого металла и геометрическими размерами сварочной ванны.

4. Скорость движения лазерного луча (сварочной ванны) v_{sv} , диаметр пятна луча лазера d_p и продолжительность нагрева от излучения τ_{sv} связаны соотношением

$$\tau_{sv} = d_p / v_{sv}. \quad (2)$$

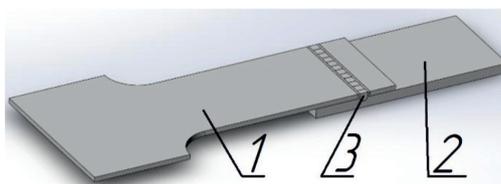


Рис. 1. Сварной образец: 1 – сталь 20, толщина 1,5 мм; 2 – алюминиевый сплав АМг2М, толщина 3,0 мм; 3 – сварной шов

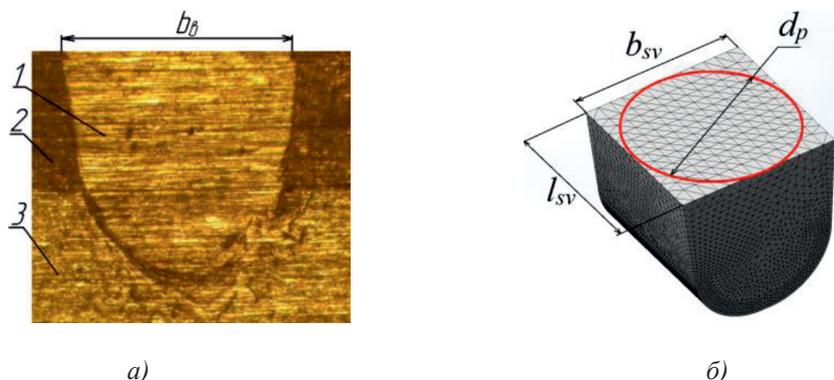


Рис. 2. Модель сварочной ванны: а – микрошлиф поперечного сечения сварного шва: 1 – сталь 20; 2 – алюминиевый сплав АМг2М; 3 – сварной шов; б – модель сварочной ванны: b_{sv} – ширина сварочной ванны, d_p – диаметр пятна лазерного излучения

5. Термическое сопротивление контакта между соединяемыми деталями образца отсутствует.

6. Расплав металла в объеме сварочной ванны имеет теплофизические свойства наиболее тугоплавкого металла.

Первое допущение позволяет определить теплосодержание единицы длины сварного шва по формуле

$$Q_{sv} = \frac{c_s m_s (t_s - t_0) + c_a m_a (t_s - t_0) + r_s m_s + r_a m_a}{l}, \quad (3)$$

где c_s , c_a – удельное теплосодержание при температуре плавления стали соответственно для стали и алюминия; m_s , m_a – массы стали и алюминия в сварной ванне; $t_0 = 293 \text{ K}$ – начальная температура; r_s , r_a – удельная теплота плавления стали и алюминия; l – длина сварочного шва.

Для определения масс m_s и m_a расплавленных металлов поверхность сварного шва представляется в виде квадратов со стороной b_{sv} , описывающих пятно лазерного луча, а глубина сварочной ванны определяется с использованием микрошлифа поперечного сечения сварного шва для используемого технологического режима сварки (рис. 2).

В объеме сварочной ванны из-за воздействия лазерного луча продолжительностью τ_{sv} происходит перемешивание металлов, что позволяет принять температуру расплава равной температуре плавления стали. Такая формализация источника теплоты упрощает задание начальных и граничных условий теплообмена в процессе сварки.

На рис. 3 схематично представлено перемещение объема сварочной ванны и из-

менение температуры расплава металла в ней по направлению сварки.

В момент времени τ_i температура в объеме ванны 1 мгновенно повышается до температуры плавления стали. В течение времени τ_{sv} осуществляется перенос теплоты от сварочной ванны 1 через ее граничные поверхности А, И, Ж в металл заготовки. По завершению времени $\tau_i + \tau_{sv}$ в качестве источника теплоты выступает последовательно следующий 2 и другие объемы сварочной ванны по направлению сварки с аналогичным интервалом времени τ_{sv} и граничными поверхностями. Охлаждение сварного шва и образца при перемещении источника теплоты и окончании сварки осуществляется путем теплопроводности в металл образца и свободной конвекции в окружающую среду.

В соответствии с описанной моделью нагрева и охлаждения образца при сварке начальные условия теплообмена $\tau = 0$: $T = f(x, y, z)$, где T – температура плавления стали; x, y, z – координаты изотермической поверхности (поверхности сварочной ванны); $T = T_0$, где $T_0 = 293 \text{ K}$ – начальная температура образца.

Граничные условия теплообмена на наружных поверхностях образца, кроме поверхности сварочной ванны, задаются граничными условиями теплообмена третьего рода. Условия теплообмена на поверхности соприкосновения стальной и алюминиевой заготовок в предположении идеального контакта между ними описываются граничными условиями четвертого рода, устанавливаемыми равенство тепловых потоков, проходящих через рассматриваемую поверхность.

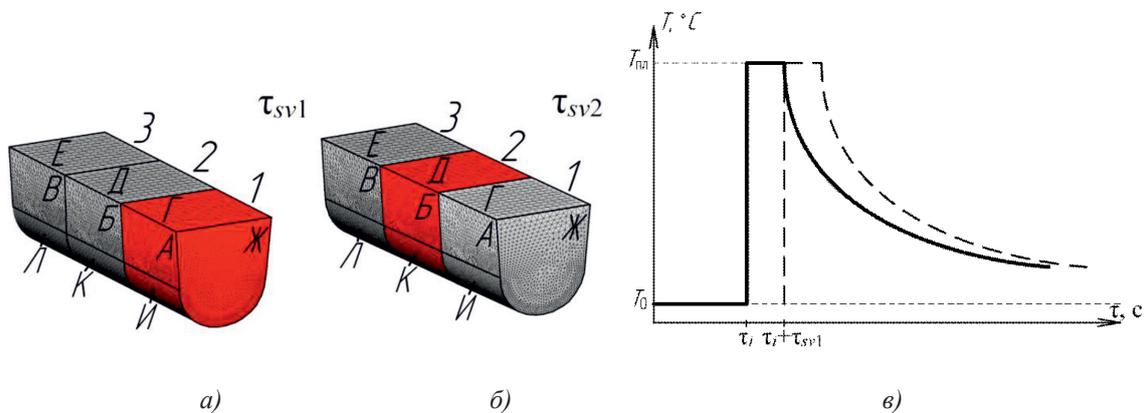


Рис. 3. Схема задания начальных и граничных условий теплообмена в сварном шве: а – схема для шага расчета τ_{sv1} ; б – схема для шага расчета τ_{sv2} ; буквами обозначены поверхности, контактирующие со стальным (А, Б, В) и алюминиевым (И, К, Л) листами, окружающей средой (Г, Д, Е) и соседней сварочной ванной (Ж); в – расчетный термический цикл для сварочных ванн в момент времени τ_i и $\tau_i + \tau_{sv}$

Теплофизические характеристики стали 20 и АМг2М в зависимости от температуры

| Характеристики | Материал | Температура, °С | | | | | |
|---|----------|-----------------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 100 | 300 | 600 | 1000 | 1530 |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) | Сталь 20 | 55 | 52 | 48 | 34 | 28 | 25 |
| | АМг2М | 155 | 159 | 168 | 173 | 174 | 175 |
| Коэффициент теплового расширения $\times 10^{-6}$, 1/К | Сталь 20 | 11,1 | 12,3 | 13,8 | 15,1 | 13,3 | 13,3 |
| | АМг2М | 23 | 24,9 | 28,8 | 30 | 30,5 | 31 |
| Плотность, кг/м ³ | Сталь 20 | 7859 | 7834 | 7770 | 7659 | 7600 | 7600 |
| | АМг2М | 2680 | | | | | |
| Удельное теплосодержание, Дж/(кг·К) | Сталь 20 | 325 | 358 | 446 | 579 | 628 | 760 |
| | АМг2М | 904 | 963 | 1037 | 1228 | 1177 | 1177 |
| Удельная теплота плавления, кДж/кг | Сталь 20 | 271 | | | | | |
| | АМг2М | 390 | | | | | |

Кроме начальных и граничных условий теплообмена условия однозначности формируются заданием теплофизических параметров формой и геометрическими размерами образца в виде конечно-элементной модели.

Теплофизические параметры материалов сварных образцов задаются в зависимости от температуры (таблица) по справочным данным [7].

Подтверждением корректности выбора источника теплоты и начальных и граничных условий теплообмена является удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных температур образца в процессе лазерной сварки.

Изменение теплового состояния образца при сварке целесообразно регистрировать хромель-алюмелевыми термопарами. Схема установки термопар в образце и функциональная схема измерения температуры приведены на рис. 4.

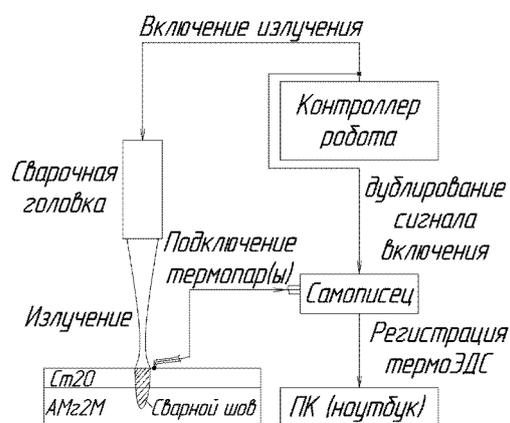


Рис. 4. Функциональная схема измерения температуры

Термопары устанавливались в срединной плоскости стального листа, расположенной перпендикулярно к сварному шву, в пяти сверлениях диаметром 1 мм и глубиной 0,3 мм на расстоянии 0,3; 1,0; 1,7; 3,5; 6,0 мм от кромки сварного шва. Контакт термопары с образцом обеспечивался их приваркой к металлу с помощью разряда конденсатора. Экспериментальное измерение температур проводилось при сварке пяти образцов.

Сварка осуществлялась на лазерном роботизированном комплексе ЛРК-С с максимальной выходной мощностью лазера 3 кВт в лаборатории лазерной сварки научно-образовательного центра ВлГУ.

Непрерывная регистрация сигналов от термопар осуществлялась с помощью самописца цифрового многоканального S-Recorder L. Началом регистрации являлся сигнал включения лазерного источника, который поступал с контроллера робота и дублировался на вольтметр. Последующий переход от величины сигнала термопары к значениям температур осуществлялся через номинальные статические характеристики преобразования термопар по ГОСТ Р 8.585-2001.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчетного и экспериментальных исследований теплового состояния образца (рис. 5) при сварке приведены на рис. 6. Разработанная для моделирования теплового состояния трехмерная конечно-элементная модель образца со средними размерами конечного элемента в зоне термического влияния 0,05–0,2 мм, а в сварочном шве и околошовной области – 0,5 мм состояла из около 670 тыс. элементов и 3,88 млн узлов. Расчетные величины теплосодержания единицы длины сварного

шва Q_{sv} с принятой формой поперечного сечения (рис. 2) и времени нагрева τ_{sv} составляют для образца (рис. 1) и режима лазерной сварки со скоростью движения пятна излучения лазера диаметром $d_p = 2,56$ мм, равной $v_{sv} = 18$ мм/с соответственно $Q_{sv} = 535$ Дж/см и $\tau_{sv} = 0,142$ с.

Анализ результатов показывает, что относительная погрешность между значениями температур образца, полученных в расчете и эксперименте, при нагреве и охлаждении в процессе сварки не превышает соответственно 10% и 7%.

Согласно экспериментальным данным воздействие лазерного луча приводит

к быстрому нагреву за 0,2 с околошовной зоны образца до максимальной температуры, затем в течение короткого промежутка времени $\tau_{exp} = 0,15$ с температура практически не изменяется и при дальнейшем перемещении лазерного луча температура уменьшается с 1109 °С до 442 °С за 1 с. Следует отметить, что временной интервал неизменной максимальной температуры в непосредственной близости (0,3 мм) от сварного шва, полученный в эксперименте $\tau_{exp} = 0,15$ с, практически не отличается от расчетного $\tau_{sv} = 0,142$ с. После завершения сварки через 2 с наступал регулярный тепловой режим.

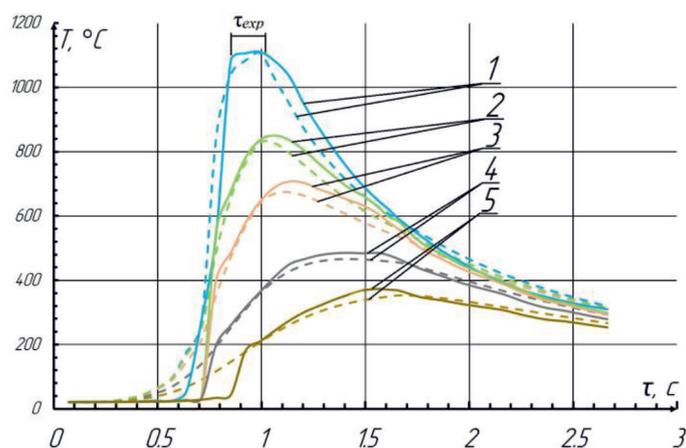


Рис. 5. Зависимость температуры стальной заготовки в виде функции времени при лазерной сварке образца: непрерывная линия – данные эксперимента, пунктирная – данные компьютерного моделирования при $Q_{sv} = 535$ Дж/см: 1 – 0,3 мм от шва, 2 – 1,0 мм от шва, 3 – 1,7 мм от шва, 4 – 3,5 мм от шва, 5 – 6,0 мм от шва

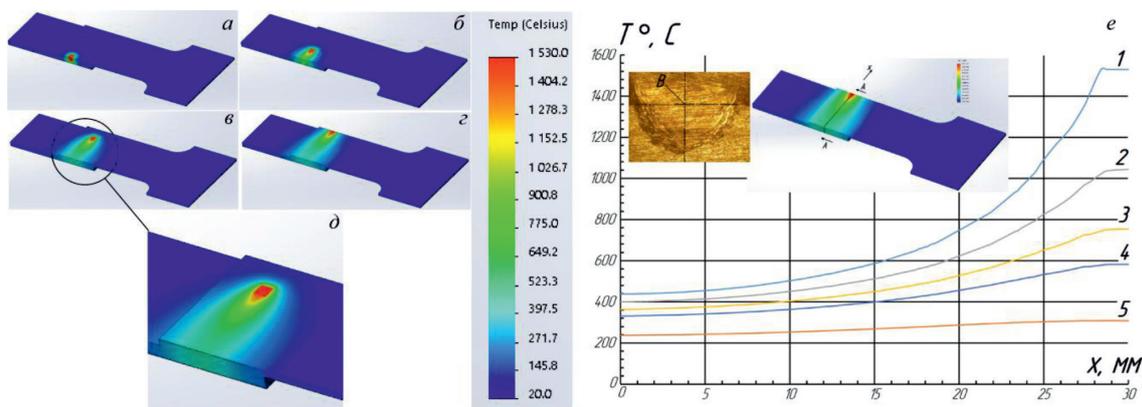


Рис. 6. Распределение температур в сварном образце в ходе и после сварки: а-г – через 0,142; 0,426; 1,278 и 1,664 с после начала сварки соответственно; д – тепловой след хвостовой части сварочной ванны; е – по длине сварного шва (точка В) в плоскости соприкосновения стального и алюминиевого листов при $Q_{sv} = 535$ Дж/см по завершению сварки через: 1 – 0 с; 2 – 0,2 с; 3 – 0,4 с; 4 – 0,6 с; 5 – 1,4 с

Отмеченное позволяет разделить процесс теплопроводности на несколько стадий с целью уточнения условий теплообмена при расчетных исследованиях теплового состояния деталей в условиях лазерной сварки. Первая стадия определяется значительной зависимостью температурного поля от начальных условий. Вторая стадия, характеризующая постоянством максимальной температуры, зависит от граничных условий первого рода и третьего рода. Третья стадия, включающая регулярный режим, характеризуемый монотонной зависимостью изменения температуры во времени, определяется граничными условиями третьего рода.

На рис. 6 представлены результаты расчетов теплового состояния образца в процессе лазерной сварки и на стадии охлаждения.

Распределение температур в сварном образце в процессе сварки подтверждает принятое допущение о форме сварочной ванны как источника теплоты (рис. 6, д).

Распределение температур по длине сварного шва в плоскости соприкосновения стального и алюминиевого листов (точка В поперечного сечения шва, рис. 6, е) позволяет оценить неравномерность температур, возникающую в процессе сварки. В частности, температура в точке В на участке сварки длиной 30 мм уменьшается с температуры плавления стали 1530 °С до температуры 440 °С, а через 1,4 с после завершения сварки температура выравнивается до уровня 280–300 °С.

Заключение

В работе выполнена формализация источника теплоты в процессе лазерной сварки стальных и алюминиевых листов внахлест, обеспечивающая корректное задание начальных и граничных условий теплообмена при численном решении МКЭ уравнения нестационарной теплопроводности. Выявлены условия теплообмена, оказывающие преобладающее влияние на отдельные стадии процесса теплопроводности при ла-

зерной сварке листов, что позволяет осуществить целенаправленный выбор начальных и граничных условий теплообмена при нагреве и охлаждении деталей, обеспечивающий удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных результатов. Результаты исследований теплового состояния свидетельствуют о значительной температурной неравномерности, возникающей в образце в процессе лазерной сварки, что приведет к появлению в нем остаточных напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0158 от 28 ноября 2014 г. Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEF157714X0158.

Список литературы

1. Sudnik W., Radaj D., Erofeev W. Computerised simulation of laser beam welding, modelling and verification. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1996. vol. 29. no. 11. P. 2811–2817. DOI: 10.1088/0022-3727/29/11/013.
2. Schwenk C. Modeling of thermomechanical phenomena in fusion welding. *Welding Fundamentals and Processes*. 2011. vol. 6. P. 830–841. DOI: 10.13140/2.1.2440.9602.
3. Кархин В.А., Хомич П.Н., Иванов С.Ю. Модели источников теплоты для прогнозирования тепловых полей при сварке плавлением // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2010. № 4–1. С. 241–254.
4. Слезкин Д.В., Цвелев Р.В., Ерофеев В.А., Масленников А.В., Судник В.А. Методика расчетно-экспериментального определения эффективных мощности и радиуса теплового потока дуги при сварке стали плавящимся электродом в смеси защитных газов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2012. № 9. С. 172–181.
5. Судник В.А., Ерофеев В.А., Масленников А.В. Методика определения характеристик эквивалентного источника теплоты для выполнения расчетов деформаций при сварке // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2015. № 6–2. С. 32–43.
6. Люхтер А.Б., Шлегель А.Н., Гусев Д.С., Самарин С.С. Исследование процесса формирования сварного соединения, полученного лазерной сваркой внахлест алюминия АМг2М и стали Ст3 // *Материаловедение*. 2018. № 1. С. 26–30.
7. Колесников К.С., Румянцев В.В., Леонтьев А.И., Полежаев Ю.В. и др.; под общ. ред. Колесникова К.С., Леонтьева А.И. *Машиностроение. Энциклопедия. Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен*. М.: Машиностроение, 1999. Т. 1–2. 600 с.

УДК 628.8.02:546.296

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Гузеева С.А., Митриковский А.Я.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: nesterka07@mail.ru

В результате тектонических процессов в земной коре образуются так называемые геопатогенные зоны. На поверхность Земли из разломов, почвы, скоплений подземных вод в низинах и на месте бывших болот активно выделяется инертный тяжелый газ радон, который способен по трещинам перемещаться в окружающей среде, попадать в жилые дома через фундамент, подвальные помещения и накапливаться там при отсутствии достаточной вентиляции. Целью работы является исследование особенностей накопления радона в жилых помещениях малоэтажного и многоэтажного строительства жилого комплекса Комарово г. Тюмени. Для выполнения поставленной цели были выполнены измерения содержания радона в атмосферном воздухе жилых помещений как в районе малоэтажной застройки, так и в районе многоэтажной застройки ЖК «Комарово». Измерения содержания радона в жилых помещениях домов малоэтажного строительства (подвальное помещение, первый и второй этажи) проводились в 2015 г., многоэтажного строительства (с 1 по 7 этаж) – в 2018 г. Замеры содержания радона в домах малоэтажной постройки показали, что практически на всех улицах в подвальных помещениях большинства коттеджных домов наблюдается превышение содержания радона в 2–8 раз, а в большинстве домов на 1 этаже превышение составило 2–3 раза. Результаты измерений содержания радона в атмосферном воздухе жилых помещений многоэтажной застройки показали, что начиная с подвальных помещений и заканчивая седьмым этажом – превышения ПДК не обнаружено. Замеры варьировали в пределах 15–35 Бк/м³ радона. Причинами превышения содержания радона в коттеджных домах является не обустроенность подвальных помещений (плохая вентиляция, некачественно забетонированные полы, наличие щелей, неуплотненных швов, стыков и технологических проемов). Также вполне возможно повышенное содержание радона в воде, подаваемой в здания непосредственно из скважин глубокого заложения, а скважины находятся почти у каждого дома. Жителям коттеджных домов необходимо принимать срочные меры для предотвращения попадания радона в воздух жилых помещений.

Ключевые слова: г. Тюмень, геопатогенные зоны, радон, накопление, распределение, малоэтажная застройка, многоэтажная застройка

PARTICULAR FEATURES OF RADON ACCUMULATION IN THE AIR OF RESIDENTIAL PREMISES

Guzeeva S.A., Mitrikovsky A.Ya.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: nesterka07@mail.ru

As a result of tectonic processes in the earth's crust, so-called geopathic zones are formed. On the surface of the Earth, from faults, soil, accumulations of groundwater in lowlands and on the site of former wetlands, the inert heavy gas Radon is actively released. It can move through cracks in the environment, enter residential buildings through the foundation, basements and accumulate there without sufficient ventilation. The aim of the work is to study the features of the accumulation of radon in the residential premises of low-rise and high-rise construction of the residential complex of Komarovo, Tyumen. To accomplish this goal, we measured the radon content in the ambient air of residential premises both in the low-rise area and in the multi-floor area of the residential complex «Komarovo». Radon content in the residential premises of low-rise construction (basement, first and second floor) was measured in 2015, high-rise construction (from 1st to 7th floor) in 2018. Measurements of radon content in houses of low-rise buildings showed that in the basements of most cottage houses on almost all of the streets, there is an excess of radon content by 2-8 times, and in most houses on the 1st floor the excess was 2-3 times. The results of measurements of radon content in the atmospheric air of residential multi-storey buildings showed that, starting from the basements and ending with the seventh floor, they were found to not be exceeding the maximum permissible concentrations. Measurements ranged from 15-35 Bq / m³ of radon. The reasons for the excess of radon content in cottage houses is the lack of integrity in the basements features (poor ventilation, poorly concreted floors, the presence of cracks, incomplete seams, joints and technological openings). It is also quite possible the increased content of radon comes from the water supplied to the buildings directly from the deep wells as they are located in almost every home. Residents of cottage houses need to take urgent measures to prevent radon from entering the air in their homes.

Keywords: Tyumen, geopathic zones, radon, accumulation, distribution, low-rise buildings, high-rise buildings

Вопросам поступления, накопления и распределения радона в атмосферном воздухе селитебной зоны городов посвящены работы А.В. Липихиной [1], И.А. Лозгачева [2], М.Б. Новожиловой [3], А.А. Ондар [4], М.Н. Тихонова [5], В.И. Уткина [6].

В настоящее время большинство городов активно расстраиваются, занимая площади, используемые ранее под сенокосы и пашню. Как правило, при строительстве

домов не учитываются геологические разломы, на которых стоит город. Геологические исследования показали, что в период с VIII по XII вв. в районе современной Тюмени произошло землетрясение, в результате чего на поверхности образовались геологические разломы, а р. Тура изменила свое русло. В результате тектонических процессов земная кора раскололась в нескольких местах, образовались так называемые гео-

патогенные зоны [7]. На поверхность Земли из разломов, почвы, скоплений подземных вод в низинах и на месте бывших болот активно выделяется инертный тяжелый газ радон, который способен по трещинам перемещаться в окружающей среде, попадать в жилые дома через фундамент, подвальные помещения и накапливаться там при отсутствии достаточной вентиляции.

Радон является газом, продукты его распада излучают опасные альфа-частицы, которые разрушают живые клетки. Прилипая к микроскопическим пылинкам, альфа-частицы создают радиоактивный аэрозоль, который попадает в организм человека во время дыхания. Концентрации и потоки радона крайне неравномерны – они изменяются в очень широких пределах для различных регионов и видов зданий. В связи с чем выбранная тема исследования весьма актуальна.

Цель исследования: выявление и изучение особенностей накопления радона в жилых помещениях малоэтажного и многоэтажного строительства жилого комплекса Комарово (ЖК «Комарово») г. Тюмени.

Материалы и методы исследования

Необходимо отметить, что еще в 1996 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) предлагала установить максимальную активность радона в домах на уровне 1000 Бк/м^3 . Однако уже в 2009 г. новое значение предельно допустимой концентрации радона (ПДК), на котором настаивает ВОЗ, понижено до 100 Бк/м^3 . В тех случаях, если выдержать новые пределы не представляется возможным, ВОЗ советует ограничиваться 300 Бк/м^3 , однако предупреждает, что каждые 100 Бк/м^3 радона приводят к росту вероятности лёгочных онкологических заболеваний до 16 %.

Анализ на содержание радона в жилых помещениях домов малоэтажного коттеджного строительства проводился в 2015 г. Замеры проводились прибором альфа-радиометр РАА-20П2 в подвальном помещении, первом и втором этажах. В 2018 г. в данном районе началось многоэтажное строительство шестнадцатиэтажных домов. В связи с чем нами также были проведены замеры прибором альфа-радиометр РАА-20П2 на содержание радона в жилых помещениях домов многоэтажного строительства в подвальном помещении и на каждом этаже, с первого по седьмой.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения измерений в двухэтажных жилых домах коттеджного типа нами были выбраны шесть улиц: Губерн-

ская, Слободская, Посадская, Престольная, Спасская, Уездная, которые охватывают и покрывают всю площадь малоэтажной застройки. Большинство домов построены строительной компанией из газозлобетонных блоков и отделаны декоративно-защитной штукатуркой или облицовочным кирпичом. Встречаются дома индивидуального строительства в кирпичном исполнении с облицовкой силикатным кирпичом и дома в деревянном исполнении с облицовкой сайдингом или металлосайдингом. Окна, как правило, стеклопластиковые (встречаются и металлопластиковые), входные двери металлические.

В качестве объекта исследования многоэтажной застройки нами были выбраны помещения нескольких вновь построенных многоэтажных домов ЖК «Комарово» по улице Созидателей [3]. Данные дома находятся на противоположной стороне от коттеджной застройки. Они построены домостроительной компанией в панельном исполнении модернизированной серии 121-14Т с использованием теплоизолирующих материалов. Окна домов деревянные с двойным стеклопакетом. Лоджии застеклены. Двери в подъезд и квартиры – металлические.

Замеры содержания радона в домах малоэтажной постройки показали, что практически на всех улицах в подвальных помещениях большинства коттеджных домов наблюдается превышение содержания радона в 2–8 раз, а в большинстве домов на 1 этаже превышение составило 2–3 раза (рис. 1, 2). В отдельных домах даже на втором этаже наблюдается превышение содержания радона в 1–1,5 раза.

Это свидетельствует о неблагоприятной экологической обстановке и несоблюдении строительных норм и вентиляционного режима данных зданий. Необходимо отметить, что в домах, построенных собственниками, превышение содержания радона либо не наблюдалось, либо было незначительным. В домах, построенных фирмой-застройщиком, содержание радона превысило все нормы. По-видимому, это связано с качеством производимой застройки и используемых строительных материалов.

По результатам измерений нами была составлена схема превышения радона в подвальных помещениях малоэтажной застройки (рис. 3).

Результаты измерений содержания радона в атмосферном воздухе жилых помещений многоэтажной застройки показали, что начиная с подвальных помещений и заканчивая седьмым этажом – превышения ПДК не обнаружено (рис. 4). Замеры варьировали в пределах $15\text{--}35 \text{ Бк/м}^3$ радона [8].

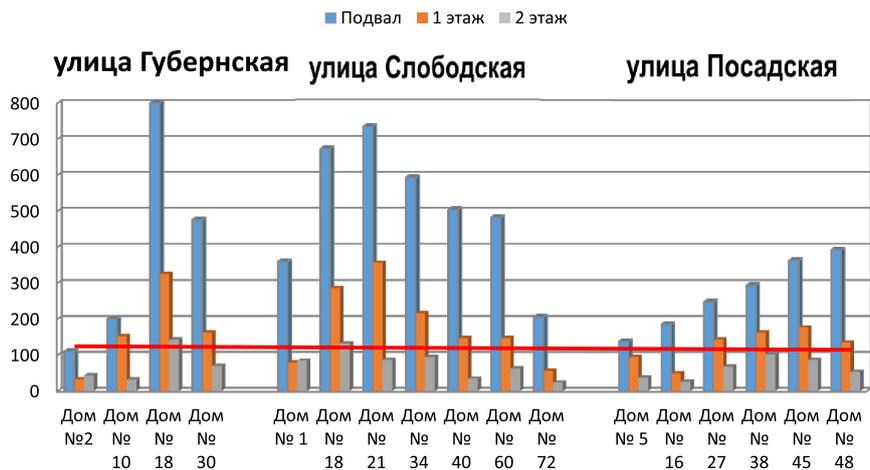


Рис. 1. Содержание радона в домах коттеджной застройки ЖК «Комарово» по улицам Губернская, Слободская, Посадская

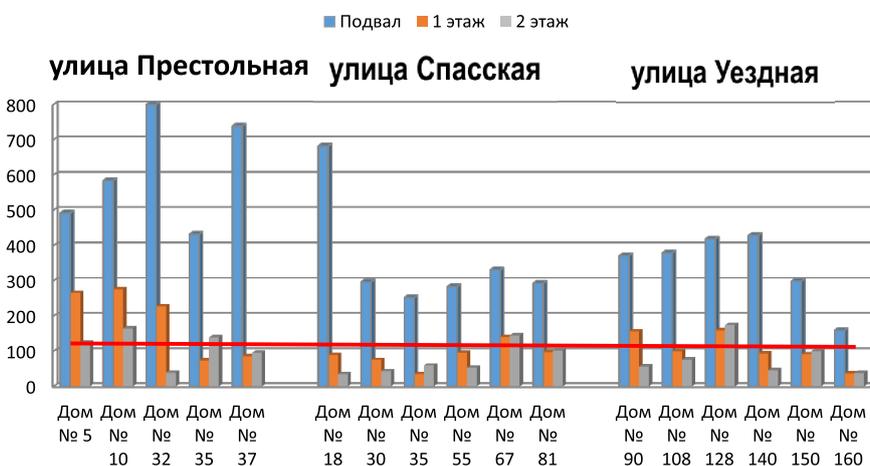


Рис. 2. Содержание радона в домах коттеджной застройки ЖК «Комарово» по улицам Престольная, Спасская, Уездная

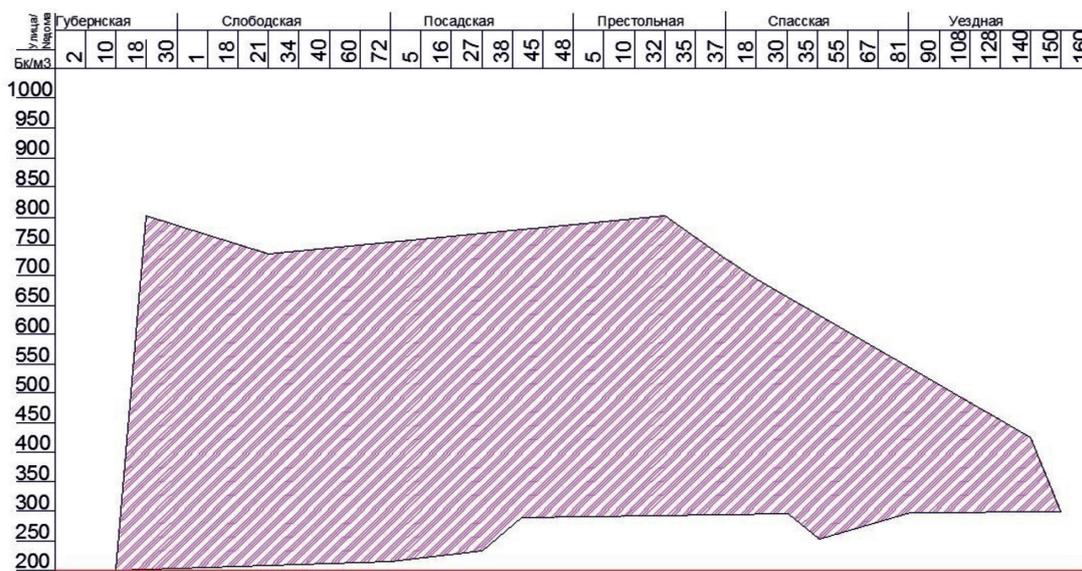


Рис. 3. Схема превышения радона в подвальных помещениях коттеджных домов ЖК «Комарово»

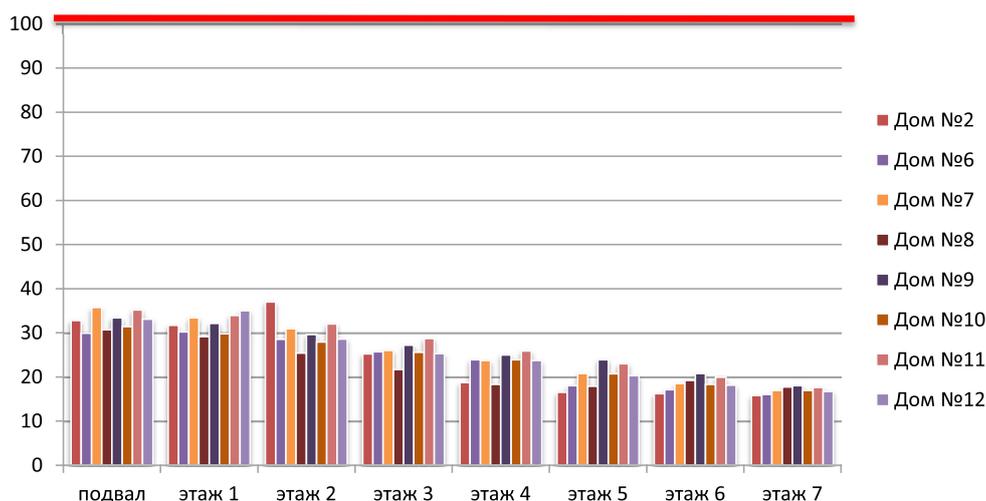


Рис. 4. Содержание радона в домах многоэтажной застройки ЖК «Комарово»

Зависимость концентрации радона от высоты этажа

| Этаж | Высота этажа Н, м | Концентрация радона C_{Ra} , Бк/м ³ | Скорость воздухообмена v , м/с | Кратность воздухообмена Q , м ³ /ч |
|--------|-------------------|--|----------------------------------|---|
| Подвал | 0,8 | 35,2 | 0,24 | 65,52 |
| 1 | 3,3 | 33,9 | 0,25 | 68,25 |
| 3 | 8,3 | 28,7 | 0,31 | 84,63 |
| 5 | 13,3 | 23 | 0,39 | 106,47 |
| 7 | 18,3 | 17,6 | 0,5 | 136,5 |

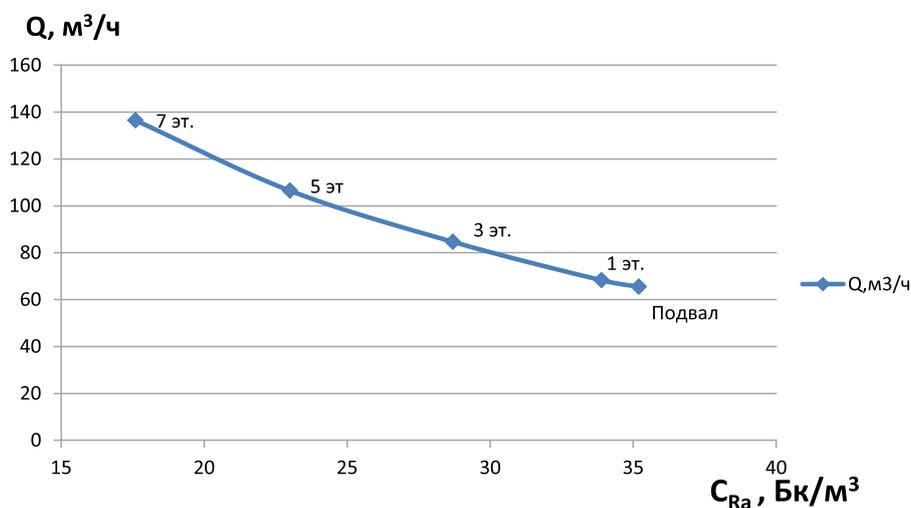


Рис. 5. Зависимость концентрации радона от кратности воздухообмена

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что дома многоэтажной застройки ЖК «Комарово» построены качественно, с проведением грамотной вентиляции. Для подтверждения этого, были рассчитаны зависимости концентрации радона от высоты этажа и кратности воздухо-

обмена и построен график (рис. 5). Исходные данные приведены в таблице.

Необходимо отметить, что чем выше кратность воздухообмена, тем ниже концентрация радона. Таким образом, можно сделать вывод, что при проектировании и строительстве вентиляции домов жило-

го комплекса были соблюдены скорость и кратность воздухообмена. Вследствие чего концентрация радона в помещениях жилого комплекса «Комарово» не превышает ПДК, а воздух в квартирах данных домов абсолютно безопасен для проживания.

Выводы

Причины превышения радона в коттеджных домах малоэтажной застройки ЖК «Комарово», на наш взгляд, следующие: в большинстве домов подвальные помещения не обустроены. В них плохая вентиляция, некачественно забетонированные полы, наличие щелей, неуплотненных швов, стыков и технологических проемов. Также вполне возможно повышенное содержание радона в воде, подаваемой в здания непосредственно из скважин глубокого заложения, а скважины находятся почти у каждого дома.

Основные меры по исключению попадания радон в жилые помещения могут быть следующими:

В случае земляных или деревянных полов подвальных помещений – замена их на бетонную плиту по щебеночному основанию с обязательным усиленным проветриванием.

При использовании пластиковых окон необходимо обязательно предусмотреть режимы правильного проветривания, в том числе зимнего. По возможности не менее 4 часов в сутки.

Обязательное установление вытяжки на кухне, т.к. источником радона может быть вода из крана, особенно в том случае, когда используется вода из собственной скважины. Практически всегда эта вода содержит достаточно большое количество радона.

Рассредоточенность и большое число инженерных проёмов в бетонной плите пола повышает вероятность проникновения через них радона в здание. Поэтому необходимо обеспечить надежную герметизацию ввода-вывода всех систем коммуникаций (водопровода, канализации, силовых кабелей и т.д.), а также рационально уменьшить количество отдельных вводов.

Все водостоки в доме должны быть оборудованы водяными затворами: сифонами, трапами. Все люки в подвал или двери цокольный этаж должны быть уплотнены с использованием современных уплотнителей.

В заключение необходимо подчеркнуть, что проверить помещение жилого дома на содержание радона относительно недорого и быстро. В то же время риск для здоровья, если этого не сделать, очень большой. На сегодняшний день в мире накоплен достаточно большой опыт ремонтно-строительных и вентиляционных мероприятий, позволяющих снизить концентрацию радона в воздухе жилых помещений.

Список литературы

1. Липихина А.В., Колбин В.В., Жакупова Ш.Б. Радон – радиационный фактор жилых помещений // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития: материалы Второй Всероссийской научно-практической онлайн-конференции с международным участием и элементами научной школы для молодежи. Томский государственный архитектурно-строительный университет; Байкальский государственный университет экономики и права; Братский государственный университет. 2015. С. 164–172.
2. Лозгачев И.А., Корепанов М.Ю. Газ радон. Современные методы и способы радонозащиты // Уральская горная школа регионам: сборник докладов международной научно-практической конференции. 2016. С. 489–490.
3. Новожилова М.Б., Андреев А.И. Радон почвенного воздуха // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2013. Т. 1. С. 268–272.
4. Ондар А.А. Радон в жилых помещениях Бай-Тайгинского района // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7–2. С. 78.
5. Тихонов М.Н. Радон: источники, дозы и нерешенные вопросы // Санитарный врач. 2009. № 12. С. 34–42.
6. Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии: общие сведения о радоне. Екатеринбург: Уральский государственный профессионально-педагогический университет, 2015. 232 с.
7. Бембель Е.И. Излучения планеты и тайны здоровья. Тюмень: Агат, 2008. 224 с.
8. Матшина В.А., Гузеева С.А. Оценка накопления радона в атмосферном воздухе жилых помещений многоэтажных домов ЖК «Комарово» г. Тюмени // Новые технологии нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. С. 103–105.

УДК 621.396:621.6

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННО-ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ**Гурский С.М.***Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург,
e-mail: sergeygurskiy2018@yandex.ru*

Повышение объема и уровня требований к радиолокационным системам (РЛС), особенно в части обеспечения защищенности от влияния поражающих факторов оружия, ставит перед разработчиками ряд принципиально новых научно-технических задач. К их числу относятся задачи количественной оценки на этапе проектирования стойкости к внешним воздействиям функциональных элементов, устройств и РЛС в целом. Анализ известных работ свидетельствует о том, что для данных условий построение математических моделей антенно-волноводных трактов РЛС не проводилось. Цель статьи состоит в разработке математических моделей и алгоритмов количественного оценивания изменений радиотехнических параметров антенно-волноводных трактов при повреждении равномерно изогнутых волноводов поражающими факторами оружия. В статье исследуются два основных типа повреждений – пробойны и вмятины. Моделирование повреждений антенно-волноводных трактов проводилось в рамках экспериментально-теоретического метода на имитационной модели. Суть данного метода заключается в определении следующих величин: математического ожидания числа повреждений, их вида, места появления, размеров; радиотехнических параметров антенно-волноводных трактов с повреждениями; степени ухудшения тактико-технических характеристик РЛС за счет полученных элементами антенно-волноводных трактов повреждений. Разработанные математические модели волноводов отличаются от известных дополнительным учетом потерь на излучение из возникающих пробойн и потерь на отражение от пробойн и вмятин. Указанные математические модели являются достаточно эффективными и точными, а их применение целесообразно на этапе проектирования антенно-волноводных трактов перспективных РЛС. Предложенные автором технические решения адаптивных антенно-волноводных трактов РЛС могут позволить повысить отношение сигнал/шум по сравнению с известными в условиях осколочно-пулевого воздействия.

Ключевые слова: радиолокационная система, антенно-волноводный тракт, отношение сигнал / шум, математическая модель

MATHEMATICAL MODELS OF ELEMENTS OF THE ANTENNA / WAVEGUIDE PATHS OF RADAR SYSTEMS WITH DAMAGE**Gurskiy S.M.***Military Space academy named after A.F. Mozhaisky, St. Petersburg, e-mail: sergeygurskiy2018@yandex.ru*

Increasing the volume and level of requirements for radar systems, especially in terms of ensuring protection from the influence of damaging factors of weapons, puts before the developers a number of fundamentally new scientific and technical tasks. Among them are the tasks of quantitative assessment at the design stage of resistance to external influences of functional elements, devices and radar as a whole. The analysis of the known works shows that for these conditions the construction of mathematical models of antenna-waveguide paths of the radar was not carried out. The purpose of the article is to develop mathematical models and algorithms for quantitative evaluation of measurements of radio-technical parameters of antenna-waveguide paths in case of damage of uniformly curved waveguides by striking factors of weapons. The article examines two main types of damage-holes and dents. The simulation of antenna-waveguide path damage was carried out in the framework of the experimental-theoretical method on the simulation model. The essence of this method is to determine the following values: – mathematical expectation of the number of damages, their type, place of appearance, size; radio technical parameters of antenna-waveguide paths with damages; the degree of deterioration of the tactical and technical characteristics of the radar due to the elements of antenna-waveguide damage paths. The developed mathematical models of waveguides differ from the known additional accounting for radiation losses from the resulting holes and reflection losses from holes and dents. These mathematical models are quite effective and accurate, and their application is advisable at the design stage of antenna-waveguide paths of advanced radar. The technical solutions of adaptive antenna-waveguide paths of radar proposed by the author can allow to increase the SNR in comparison with the known ones in the conditions of fragmentation-bullet impact.

Keywords: radar system, antenna-waveguide path, signal-to-noise ratio, mathematical model

Повышение объема и уровня требований к радиолокационным системам (РЛС), особенно в части обеспечения защищенности от влияния поражающих факторов оружия, ставит перед разработчиками ряд принципиально новых научно-технических задач. К их числу относятся задачи количественной оценки на этапе проектирования стойкости к внешним воздействиям функциональных элементов, устройств и РЛС в целом. Анализ известных работ свидетельствует о том, что для данных условий

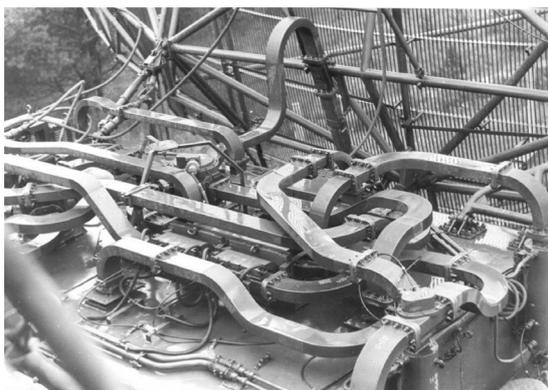
построение математических моделей антенно-волноводных трактов (АВТ) РЛС не проводилось [1–3].

Практическая необходимость разработки указанных моделей определяется тем, что АВТ ряда РЛС содержат большое число равномерно изогнутых волноводов в E - и H -плоскостях (рисунок, таблица). В частности, в типовых РЛС отношение $\frac{S_{\text{РИВ}}}{S_{\text{АВТ}}}$ уязвимой площади равномерно изогнутых волноводов $S_{\text{РИВ}}$ к уязвимой площади АВТ

в целом $S_{\text{АВТ}}$ составляет 11–40%. В силу этого вероятность осколочного поражения равномерно изогнутых волноводов становится сравнимой с вероятностью поражения регулярных элементов и всего АВТ в целом.

Цель статьи состоит в разработке математических моделей и алгоритмов количественного оценивания изменений радиотехнических параметров АВТ при повреждении равномерно изогнутых волноводов поражающими факторами оружия. В статье исследуются два основных типа повреждений – пробоины и вмятины. Моделирование повреждений АВТ проводилось в рамках экспериментально-теоретического метода на имитационной модели. Суть данного метода заключается в определении следующих величин:

- математического ожидания числа повреждений, их вида, места появления, размеров;
- радиотехнических параметров антенно-волноводных трактов с повреждениями;
- степени ухудшения тактико-технических характеристик РЛС за счет полученных элементами АВТ повреждений.



Внешний вид антенно-волноводного тракта РЛС 5Н87

Данные по равномерно изогнутым волноводам в типовых РЛС

| Типы РЛС | Количество равномерно изогнутых волноводов | $\frac{S_{\text{РЛС}}}{S_{\text{АВТ}}}, \%$ |
|----------|--|---|
| 5Н87 | 134 | 40 |
| 5Н69 | 134 | 30 |
| П-37 | 45 | 25 |
| П-40 | 27 | 25 |
| ПРВ-16 | 21 | 20 |
| ПРВ-17 | 12 | 20 |
| ПРВ-9 | 11 | 15 |
| ПРВ-13 | 6 | 11 |

Материалы и методы исследования

Для оценивания изменений тактико-технических характеристик РЛС за счет повреждений АВТ принят обобщенный показатель эффективности, в качестве которого было выбрано отношение сигнал/шум (ОСШ) на выходе согласованного фильтра. Для количественной оценки влияния повреждений элементов АВТ на его радиотехнические параметры получен частный показатель эффективности, в качестве которого был выбран коэффициент полезного действия (КПД) АВТ $K_{\text{АВТ}}$, который отличается от известных дополнительных учетом потерь на излучение из возникающих пробоин:

$$K_{\text{АВТ}} = \tilde{P}_{\text{изл}} \left(1 - |\Gamma_{\text{повр}}|^2\right) \times \left[1 - \left(P_{\text{изл}} \times |\Gamma_{\text{повр}}|^2\right)\right]^{-1}, \quad (1)$$

где $\tilde{P}_{\text{изл}} = \exp(-2 \times \alpha_{\text{повр}} \times l_{\text{повр}}) - P_{\text{изл}}$;

$P_{\text{изл}}$ – мощность излучения из пробоин;

$|\Gamma_{\text{повр}}|$ – модуль комплексного коэффициента отражения в АВТ с повреждениями;

$\alpha_{\text{повр}}$ – численное значение коэффициента затухания, обусловленного конечной проводимостью стенок АВТ с повреждениями;

$l_{\text{повр}}$ – длина частично поврежденных АВТ.

Для оценивания влияния повреждений разработаны соответствующие математические модели. При этом построение моделей проведено при следующих допущениях:

- рассмотрены только такие электромагнитные поля, для которых уравнения Максвелла могут быть сведены к волновому уравнению Гельмгольца;

- заполняющая волновод среда однородна, изотропна и без потерь, а стенки волновода обладают идеальной проводимостью;

- размеры широкой и узкой стенок поперечного сечения волновода выбраны такими, что распространяющейся является лишь одна основная волна [4, 5].

Указанные допущения позволили представить АВТ с повреждениями каскадным соединением четырехполюсников, каждый из которых описывает соответствующий регулярный и нерегулярный элементы АВТ с повреждениями. При этом показано, что разработка математических моделей нерегулярных элементов с повреждениями сводится к определению элементов соответствующей волновой матрицы передачи:

$$[T] = \prod_{k=1}^N [T_k] \times [T_{\text{поврк}}] \times [T_k], \quad (2)$$

где $[T_k]$ и $[T_{\text{поврк}}]$ – матрицы передачи соответственно k -го неповрежденного и поврежденного участков элемента АВТ; N – число повреждений.

В основу построения математических моделей равномерно изогнутых волноводов с вмятинами и пробоинами положено совместное применение метода эквивалентных схем сверхвысоких частот (СВЧ) и вариационных методов в электродинамике. При построении моделей обоснована возможность принятия допущения о том, что максимальные размеры вмятин $R_{\text{вм}}$ и пробоин $R_{\text{проб}}$ много меньше рабочей длины волны $\lambda_{\text{проб}}$ современных РЛС ($R_{\text{вм}}, R_{\text{проб}} \ll \lambda$). Обоснование данного допущения позволило использовать для построения искомых электродинамических моделей методы теории дифракции электромагнитных волн на малых телах и апертурах. Определение параметров математических моделей нерегулярных элементов с повреждениями проведено на основе решения соответствующих граничных задач для уравнений Максвелла в квазистатическом приближении.

Математическая модель равномерно изогнутого волновода с пробоиной

Равномерно изогнутый волновод с пробоиной был представлен каскадным соеди-

нением двух четырехполюсников с эквивалентной схемой в виде шунта из активного сопротивления и одним реактивным четырехполюсником с T-образной эквивалентной схемой. Причем реактивный четырехполюсник учитывает потери на отражение электромагнитной энергии, а остальные два – потери на излучение электромагнитной энергии через пробоину в пространство. Параметры эквивалентных схем этих четырехполюсников определены при решении вариационными методами интегральных уравнений с учетом граничных условий непрерывности на апертуре пробоины нормальной составляющей электрического поля и скалярного магнитостатического потенциала. Задача определения $[T_{\text{поврк}}]$ для модели (2) в случае пробоины на широкой стенке равномерно изогнутого волновода сведена к определению коэффициента отражения от пробоины $\Gamma_{\text{проб}}$ и отношения $N_{\text{проб}} = \frac{P_{\text{изл}}}{P_{\text{пад}}}$, где $P_{\text{пад}}$ и $P_{\text{изл}}$ – уровни мощности, распространяющейся в волноводе, и мощности, излученной через пробоину:

$$\Gamma_{\text{проб}} = -j \times \frac{2 \times \pi \times \sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda \times a \times b} \times \left[\frac{\tilde{\lambda}^2 \times M_{zz}}{1-\tilde{\lambda}^2} \times \cos^2 \tilde{x}_0 - M_{xx} \times \sin^2 \tilde{x}_0 + \frac{P_{yy}}{1-\tilde{\lambda}^2} \times \sin^2 \tilde{x}_0 \right], \quad (3)$$

$$N_{\text{проб}} = \frac{32 \times \pi^3 \times \sin^2 \tilde{x}_0}{3 \times a \times b \times \lambda^4 \times \sqrt{1-\lambda^2}} \times \left[M_{xx} \times (1-\lambda^2) + \frac{M_{zz} \times \tilde{\lambda}^4}{1-\tilde{\lambda}^2} \times \text{ctg}^2 \tilde{x}_0 + P_{yy}^2 \right], \quad (4)$$

где $\tilde{x}_0 = \frac{\pi \times x_0}{a}$; $j = \sqrt{-1}$;

$\tilde{\lambda}$ – нормированная длина волны, $\tilde{\lambda} = \frac{\lambda}{2 \times a}$;

x_0 – координата центра повреждения на широкой стенке равномерно изогнутого волновода; P_{yy} – коэффициент электрической поляризуемости пробоины;

M_{xx}, M_{zz} – компоненты тензора магнитной поляризуемости пробоины;

a, b – размер соответственно широкой и узкой стенки равномерно изогнутого волновода.

Математическая модель равномерно изогнутого волновода с вмятиной

Равномерно изогнутый волновод с вмятиной представлен реактивным четырехполюсником с эквивалентной схемой в виде шунта. Методом теории эквивалентных схем СВЧ получено соотношение для искомой модели $[T_{\text{поврк}}]$ через коэффициент отражения $\Gamma_{\text{вм}}$, который определяется путем решения вариационными методами интегрального уравнения для касательной компоненты полного магнитного поля с учетом

граничного условия исчезновения на поверхности вмятины касательной компоненты полного электрического поля:

$$\Gamma_{\text{вм}} = \frac{|\Gamma'_{\text{вм}}|}{1-|\Gamma'_{\text{вм}}|} \quad (5)$$

где

$$\Gamma'_{\text{вм}} = j \times \beta^2 \times \frac{2 \times R_{\text{вм}} \times a}{\pi \times \beta_b \times b} \times \sin^2 \tilde{x}_0 \times \sin^2 \left(\frac{\pi \times R}{a} \right).$$

Здесь $j = \sqrt{-1}$;

β – волновое число в неограниченной среде – $\beta = \frac{\pi}{\tilde{\lambda} \times a}$;

$\beta_b = \beta \times \sqrt{1-\tilde{\lambda}^2}$;

$R_{\text{вм}}$ – глубина вмятины.

Результаты исследования и их обсуждение

Средний уровень отражений и рабочего затухания в равномерно изогнутых волноводах с повреждениями на 25–30% выше, чем в регулярных волноводах с такими же повреждениями. Проведено оценивание

ожидаемых повреждений при применении противником по РЛС типовых боеприпасов. В результате разрыва боевой части противорадиолокационного снаряда типа «Шрайк» на расстоянии 5 м от РЛС 5Н87 следует ожидать около 90 повреждений АВТ (в том числе около 40 повреждений равномерно изогнутых волноводов). Указанные повреждения приведут к снижению ОСШ и уменьшению дальности обнаружения около 50% (при том гипотетическом условии, что остальные системы РЛС повреждены не будут). Данные результаты моделирования получены в предположении исправной работы всех функциональных устройств и систем РЛС, за исключением АВТ.

Предложены технические решения [6, 7] адаптивных АВТ РЛС, которые могут позволить повысить ОСШ по сравнению с известными в условиях осколочно-пулевого воздействия: покрытие волноводного тракта снаружи токопроводящей эластичной оболочкой, обладающей способностью затягивать образующиеся в результате осколочно-пулевого воздействия механические пробоины и тем самым восстанавливать в местах повреждений электродинамические свойства волноводного тракта [6]; построение АВТ на основе автоматических корректоров амплитудно-частотных характеристик, позволяющих частично или полностью устранить рассогласование входа и выхода АВТ в достаточно широком диапазоне частот, вызванное механическими пробоинами и/или вмятинами [7].

Заключение

Разработанные математические модели волноводов отличаются от известных дополнительным учетом потерь на излучение из возникающих пробоин и потерь на отражение от пробоин и вмятин. Указанные математические модели являются достаточно эффективными и точными, а их применение целесообразно на этапе проектирования АВТ перспективных РЛС. Предложенные технические решения [6, 7] адаптивных АВТ РЛС могут позволить повысить ОСШ по сравнению с известными в условиях осколочно-пулевого воздействия, улучшая тем самым приём полезного сигнала.

Список литературы

1. Ахияров В.В., Нефедов С.И., Николаев А.И., Служкин Г.П., Федоров И.Б., Шустиков В.Ю. Радиолокационные системы: учеб. пособие / Под ред. А.И. Николаева. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 349 с.
2. Пономарев Л.И., Вечтомов В.А., Милосердов А.С. Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи: монография / Под ред. Л.И. Пономарева. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 197 с.
3. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общ. ред. В.С. Вербы: в 2 кн. М.: Техносфера, 2014. Кн. 1. 672 с.; кн. 2. 680 с.
4. Фальковский О.И. Техническая электродинамика: учебник. СПб.: Издательство «Лань», 2009. 432 с.
5. История отечественной радиолокации. 2-е изд. испр., доп. / Под ред. С.В. Хохлова. М.: ООО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2015. 736 с.
6. Гурский С.М., Тимофеев Г.С., Гелесев А.И., Гущин А.И., Никишин В.Н., Филиппов О.Г. Гибкий волновод // Патент РФ № 2121735. Патентообладатель Московское высшее училище радиозлектроники ПВО. 1998. Бюл. № 31 (II часть).
7. Гурский С.М. Автоматический корректор амплитудно-частотной характеристики // Патент РФ 2248650. Патентообладатель Гурский Сергей Михайлович. 2005. Бюл. № 8.

УДК 665.765:621.771.014.2

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ЗАДАНЫХ УСЛОВИЯХ СОБЛЮДЕНИЯ УРОВНЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю., Калугин Д.А.

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан,
e-mail: den_dr_house_1991@mail.ru

В работе рассматривается задача сетевой оптимизации. Для её решения предложена математическая модель построения оптимальной структуры технической системы сетевого типа (трубопроводы, каналы связи, электрические и тепловые сети). В качестве критериев поиска решения приняты: экономичность и надежность структуры сети. Особое внимание уделено критерию надежности, учет которого предложено вы-полнить посредством применения меры неопределенности информации (информационной энтропии). Дано краткое обоснование роли неопределенности информации в задаче построения структуры системы. В основу построения математической модели положена модель Шеннона определения количества информации/энтропии. Задача оптимизации включает в себя целевую функцию в упрощенной математической постановке и ограничения нелинейного вида, которые обладают важной ролью в поиске решения. Ограничения предложено строить по принципу полного перебора состояний элементов структуры. При построении ограничений при полном переборе состояний, энтропия, подлежащая расчету, может быть определена для двух противоположных состояний: энтропия работоспособного и неработоспособного состояний сети. Такое разделение энтропии на две составляющие является полезным для построения уравнений ограничения задачи по каждому из состояний. Решение задачи оптимизации, с наличием ограничений в виде алгебраических неравенств определения энтропии, позволяет строить сетевые структуры замкнутого и разомкнутого вида.

Ключевые слова: структурная оптимизация, структура технической системы, структурная надежность, мера неопределенности информации

OPTIMIZATION OF TECHNICAL SYSTEMS UNDER SPECIFIED CONDITIONS OF COMPLIANCE WITH THE STRUCTURAL RELIABILITY LEVEL

Dulesov A.S., Karandeev D.Yu., Kalugin D.A.

Katanov Khakass State University, Abakan, e-mail: den_dr_house_1991@mail.ru

The paper deals with the problem of network optimization. To solve this problem, a mathematical model for constructing an optimal structure of a technical system of network type (pipelines, communication channels, electrical and thermal networks) is offered. The following criteria were adopted as the search criteria: cost-effectiveness and reliability of the network structure. Special attention is paid to the reliability criterion, which is proposed to be taken into account through the use of the measure of information uncertainty (information entropy). A brief justification of the role of information uncertainty in the problem of building the system structure is given. The construction of a mathematical model is based on the Shannon's model for determining the amount of information / entropy. The optimization problem includes a objective function in a simplified mathematical formulation and constraints of a nonlinear form, which have an important role in finding a solution. Constraints are proposed to build on the principle of «brute force» of the states of the structure elements. When constructing constraints for «brute force» of the states, the entropy to be calculated can be determined for two opposite states: the entropy of operable and non-operable states of the network. This division of entropy into two components is useful for constructing the equations of constraints of the problem for each of the states. The solution of the optimization problem, with the presence of restrictions in the form of algebraic inequalities of entropy definition, allows to build closed and open type network structures.

Keywords: structural optimization, structure of a technical system, structural reliability, measure of information uncertainty

Решая задачу проектирования технических систем сетевого типа (электрические и транспортные сети, системы городского тепло- и водоснабжения и аналогичные им), необходимо применение подходящей математической модели, которая удовлетворяла бы требованиям соблюдения критериев экономичности и надежности. Если вести речь о начальном этапе проектирования сети, то структура будет иметь обобщенный вид без существенной детализации. В этом отношении критерии, нашедшие свое отражение в модели, будут учтены в обобщенном виде. Тем не менее такая модель послужит отправной точкой в построении оптимальной

структуры системы, то есть основой для последующего детального проектирования.

Рассматривая задачу построения оптимальной структуры на ранних этапах проектирования, сделаем акцент не на минимизации затрат, а на соблюдении граничных условий структурной надежности. В основе построения условий лежит теория надежности, которая для решения данной задачи предлагает искать решение с использованием теории вероятностей и статистических данных, подчиняющихся известным законам случайного распределения. Предварительная проработанность вопросов выбора оптимальной структуры по критерию надежно-

сти рассматривалась в работах [1, 2], а в [3] анализировались возможные методы оценки показателей надежности. Фактически в данных работах рассматривались возможности построения оптимальной структуры с помощью математических моделей, реализация которых позволяла бы выразить критерий надежности не в качественной, а в количественной форме. Поскольку структурная надежность системы тесно связана с вероятностной природой появления нежелательных событий, то процесс формализации задачи оптимизации более сложных структур становится затруднительным. В подтверждение сказанного, в работе [4] показана сложность процедуры определения вероятности связи «источник – потребитель» в структуре. Следовательно, при построении математической модели, в которой величины вероятностей были бы преобразованы в формат меры неопределенности информации, это облегчило бы поиск оптимального решения.

Далее предложим экономико-математическую модель описания задачи поиска оптимальной структуры исходя из поиска минимума затрат при соблюдении граничных условий структурной надежности, характеризующихся применением меры неопределенности информации.

Роль неопределенности информации в задаче построения структуры системы

Любая система подвержена разнообразным воздействиям случайного характера, поэтому трудно предположить, в каком она состоянии будет находиться в тот или иной момент времени, что свидетельствует о наличии неопределенности. Под воздействием нежелательных факторов меняются структура и состояние системы, что и отражается на уровне её надежности. Накопление, обработка и систематизация информации о состоянии системы пополняет знания и позволяет вырабатывать более эффективные решения при её проектировании и эксплуатации.

Из теории информации [5, 6] известно, что неопределенность характеризуется количеством информационной энтропии, применимость которой, в частности, представлена в работах [7, 8]. Она также может быть выражена в количественной и качественной форме. Качественная составляющая энтропии отражает работоспособное и неработоспособное состояния системы, а количественную составляющую можно определить опираясь на классическую модель К. Шеннона об информации и энтропии [9]: $p \log_2 p$ где p – вероятность проявления события или вероятность нахождения объекта в том или ином состоянии. Ключевую роль данная формула играет

в задачах выбора из множества альтернатив. В работах [10, 11] предложены методы определения количества информации в сложных инженерных системах и в условиях эпистемической неопределенности, а в [4, 12–14] отражены возможности её применения в задачах оценки состояния структуры системы. В данных работах не исключается важность и возможности применения модели Клода Шеннона, которая необходима для построения оптимальной структуры сети. Модель не исключает возможностей построения математической модели и расчета количества информационной энтропии, присущей связи «источник – потребитель» рассматриваемой структуры. Тем самым, мера неопределенности информации играет существенную роль в измерении уровня структурной надежности через количество информационной энтропии.

Экономико-математическая модель построения структуры

Предварительным этапом решения задачи является подготовка исходных данных: определение совокупности показателей, характеризующих состояния элементов системы. Структуру можно представить в виде графа, в котором: $u_l \in U_l$ ($l = 1, 2, \dots, m$) – множество вершин (вершины имитируют наличие единственного источника u_0 и множество потребителей в количестве m); $x_i \in X$ – множество дуг (имитирующие связанные между собой элементы структуры). Каждой дуге i (элемент сети) приписаны: c_i – стоимость i -го элемента; p_i – вероятность появления события (меняющего состояние элемента). Структура системы рассматривается в виде направленного графа, отображающего связи источника энергии со многими потребителями. Поскольку оптимальная структура на предварительном этапе обработки исходных данных не может быть построена, то речь будет идти о рассмотрении избыточной структуры, изображаемой графом, близким по свойствам с полностью связанным графом.

В обобщенном виде экономико-математическая модель имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1} c_i x_i \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\begin{cases} H(P_{01}) \geq H^0(P_{01}); \\ H(P_{02}) \geq H^0(P_{02}); \\ \dots \\ H(P_{0l}) \geq H^0(P_{0l}); \end{cases} \quad (2)$$

$$x_i = [0; 1], \quad (3)$$

где c_i – стоимость элемента i , выраженная в валюте; l – номер потребителя энергии;

0 – номер источника питания; $H(P_{0l})$ – энтропия работоспособного состояния связи 0- l , по которой протекает энергия от источника к потребителю; $H^0(P_{0l})$ – заданная граничная величина энтропии как меры обеспечения бесперебойного снабжения энергией по связи 0- l потребителя l ; P_{0l} – вероятность работоспособного состояния связи 0- l .

Для построения левых частей системы (2) воспользуемся моделью Шеннона и методами построения путей, представленными в работах [4, 13]. В качестве примера возьмем «мостиковую схему». В этой схеме, имеющей вид неориентированного графа, имеется один источник и три потребителя (на рис. 1 – вершины 1, 2 и 3), которые снабжаются энергией от единственного источника (вершина 0).

Каждой ветви графа приписываются вероятности работоспособного состояния

элементов (p) и прогнозируемые затраты на строительство каждого элемента (c).

Для определения энтропии работоспособного состояния $H(P_{0l})$ связей «источник – потребитель» предложим способ, включающий в себя учет всех совместных состояний элементов, присущих каждому из путей в структуре от источника к рассматриваемому потребителю.

Определение энтропии на основе теорем сложения и умножения вероятностей

Воспользуемся теоремами сложения и умножения вероятностей пересекающихся событий A для определения полной вероятности работоспособного состояния связи 0- l (при известной вероятности минимального пути, $\sum_i P(A_i)$):

$$P_{0l} = \sum_i P(A_i) - \sum_{i < j} P(A_i \cap A_j) + \sum_{i < j < h} P(A_i \cap A_j \cap A_h) - \dots + (-1)^{w-1} P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_w). \tag{4}$$

Используя (4), выражения для расчета вероятности связей (с учетом перебора всех возможных состояний элементов) будут иметь вид

$$P_{01} = p_1 + p_2 p_3 + p_2 p_4 p_5 - p_1 p_2 p_3 - p_1 p_2 p_4 p_5 - p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5;$$

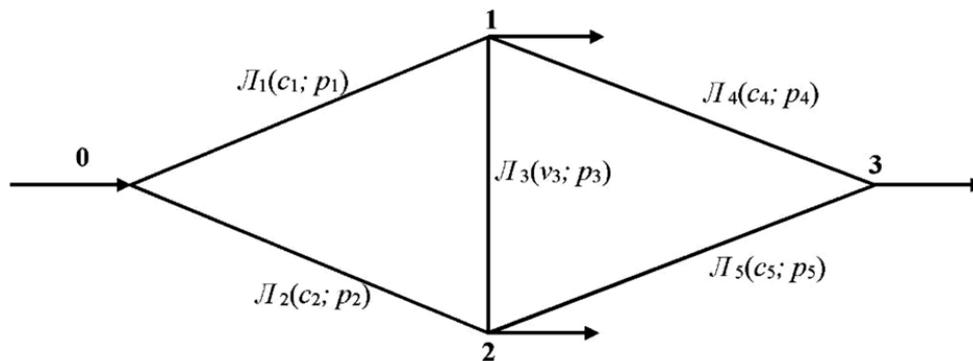
$$P_{02} = p_2 + p_1 p_3 + p_1 p_4 p_5 - p_1 p_2 p_3 - p_1 p_2 p_4 p_5 - p_1 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5;$$

$$P_{03} = p_1 p_4 + p_2 p_5 + p_1 p_3 p_5 + p_2 p_3 p_4 - p_1 p_2 p_4 p_5 - p_1 p_3 p_4 p_5 - p_1 p_2 p_3 p_4 - p_1 p_2 p_3 p_5 - p_2 p_3 p_4 p_5 - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5.$$

Если в качестве примера рассмотреть порядок пересечения и сложения событий для определения P_{03} , то он будет иметь вид

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 - A_1 \cap A_2 - A_1 \cap A_3 - A_1 \cap A_4 - A_2 \cap A_3 - A_2 \cap A_4 - A_3 \cap A_4 + A_1 \cap A_2 \cap A_3 + A_1 \cap A_2 \cap A_4 + A_1 \cap A_3 \cap A_4 + A_2 \cap A_3 \cap A_4 - A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4,$$

где $A_1 = p_1 p_4$, $A_2 = p_2 p_5$, $A_3 = p_1 p_3 p_5$, $A_4 = p_2 p_3 p_4$.



Мостиковая схема

Первые слагаемые в данных выражениях позволяют рассчитывать вероятности минимальных путей на графе.

Полученные выражения расчета P_{0l} применимы для определения энтропии H_{0l} работоспособного состояния связи 0- l . Воспользуемся формулой Шеннона, согласно которой величина энтропии работоспособного состояния элемента i структуры определяется по выражению

$$H(p_i) = -p_i \log_2 p_i. \quad (5)$$

Тогда по аналогии с (4) и на основе (5), энтропия работоспособного состояния связей в структуре (рисунок) определится по выражениям

$$H_{01} = -p_1 \log_2 p_1 - p_2 p_3 \log_2 (p_2 p_3) - p_2 p_4 p_5 \log_2 (p_2 p_4 p_5) + \\ + p_1 p_2 p_3 \log_2 (p_1 p_2 p_3) + p_1 p_2 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_4 p_5) + p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_2 p_3 p_4 p_5) - \\ - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5);$$

$$H_{02} = -p_2 \log_2 p_2 - p_1 p_3 \log_2 (p_1 p_3) - p_1 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_4 p_5) + \\ + p_1 p_2 p_3 \log_2 (p_1 p_2 p_3) + p_1 p_2 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_4 p_5) + p_1 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_3 p_4 p_5) - \\ - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5);$$

$$H_{03} = -p_1 p_4 \log_2 (p_1 p_4) - p_2 p_5 \log_2 (p_2 p_5) - p_1 p_3 p_5 \log_2 (p_1 p_3 p_5) - \\ - p_2 p_3 p_4 \log_2 (p_2 p_3 p_4) + p_1 p_2 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_4 p_5) + p_1 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_3 p_4 p_5) + \\ + p_1 p_2 p_3 p_4 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4) + p_1 p_2 p_3 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_5) + \\ + p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_2 p_3 p_4 p_5) + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5) - \\ - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5) - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5) - \\ - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5) - p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5) + \\ + p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 \log_2 (p_1 p_2 p_3 p_4 p_5).$$

Эти математические выражения формируют левые части ограничений в задаче (1)–(3). При определении величин H_{0l} не исключен учет отдельных свойств, присущих энтропии Шеннона: 1) при $p = 1$, $p \log_2 p = 0$; 2) при $p = 0$, $p \log_2 p = 0$.

С точки зрения необходимости соблюдения уровня структурной надежности сети, граничные величины $H^0(P_{0l})$ определяются из условия о допущении проектировщиком или эксплуатационником возможного перерыва в энергообеспечении группы или отдельных потребителей по выражению (учитывая обоснования в [14]):

$$H^0(P_{0l}) = -p_l^0 \log_2 p_l^0, \quad (6)$$

где $p_l^0 = 1 - q_l^0$ – вероятность допустимого бесперебойного энергоснабжения потребителя l по связи 0- l ; $q_l^0 = M_{ql} / T$ – вероятность допустимого перерыва в энергоснабжении потребителя l ; M_{ql} – среднее время (в часах), в течение которого допускается перерыв в энергоснабжении потребителя; T – число часов в году.

Представим пример решения (6). Пусть в узле l сети требуется обеспечить надежность при соблюдении условия: среднее

время, в течение которого допустимый перерыв в энергоснабжении потребителя, не должен быть более $M_{ql} = 80$ часов в год. Число часов в году – $T = 8760$. Вероятность допустимого перерыва в энергоснабжении потребителя l – $q_l^0 = 0,009$. Тогда по (6), $H^0(P_{0l}) = -0,009 \log_2 0,009 = 0,06$ бит.

Решение задачи оптимизации (1)–(3) возможно, например, методом ветвей и границ, представленным в [15]. Однако отметим следующее: большинство ограничений в (2), их левые части, имеют большое количество слагаемых, являясь громоздкими, так как учитывают все варианты состояний элементов связи. Тем самым (особенно для сложных структур) затягивается по времени поиск решения.

Система ограничений (2) в задаче оптимизации может быть представлена в виде неравенства:

$$H(Q_{0l}) \leq H^0(Q_{0l}), \quad (7)$$

где $H(Q_{0l})$ – энтропия неработоспособного состояния связи 0- l , $H^0(Q_{0l}) = -q_l^0 \log_2 q_l^0$ – граничная величина энтропии как меры перерыва в снабжении энергией потребителя l по связи 0- l , Q_{0l} – вероятность неработо-

способного состояния связи $0-l$, q_l^0 – вероятность допустимого перерыва энергоснабжения потребителя l .

Неравенства строятся аналогично способу учета всех возможных состояний, представленному выше.

Заключение

Рассматриваемая задача касается вопросов построения оптимальной сетевой структуры технической системы в общем виде, то есть без учета факторов, детализирующих её функциональные возможности. Построение структуры связано с соблюдением критериев экономичности и надежности. Отличительной особенностью предлагаемой математической модели построения оптимальной структуры является учет критерия надежности через применение меры неопределенности информации. В качестве неё взята информационная энтропия. Для её определения используются математические выражения, а в качестве исходных данных взяты показатели структурной надежности сети. Каждое из неравенств системы нелинейных ограничений задачи отражает сопоставление расчетной величины энтропии связи «источник – потребитель» с граничной величиной энтропии, определяемой на основе требования к соблюдению необходимого уровня надежности данной связи. Сопоставление в ходе вычислений расчетной и граничной величин энтропии позволяет сделать вывод о возможности сети обеспечить заданный уровень надежности в обеспечении энергией потребителей. Предлагаемая математическая модель является нелинейной, направлена на поиск целочисленного решения и тем самым позволяет строить структуры как разомкнутого, так и замкнутого типа.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» в рамках договора № 13138ГУ/2018 от 23.05.2018.

Список литературы

1. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (дата обращения: 18.11.2018).
2. Reda Farag, Haldar Achintya. A novel reliability evaluation method for large engineering systems. Ain Shams Engineering Journal. 2016. P. 1–13. DOI: 10.1109/ICRESH.2010.5779619.
3. Sankaraiah G., Raghunatha R.Y. Design and optimization of an Integrated Reliability redundancy system with multiple constraints. 2nd International Conference on Reliability, Safety and Hazard (ICRESH). Mumbai. 2010. P. 118–122. DOI: 10.1109/ICRESH.2010.5779527.
4. Дулесов А.С., Дулесова Н.В., Карандеев Д.Ю. Показатель разграничения уровня надежности технической системы по качественному признаку: энтропийный подход // Фундаментальные исследования. 2016. № 2–3. С. 477–481.
5. Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия «количество информации» // Проблемы передачи информации. 1965. Т. 1. № 1 С. 3–11.
6. Урсул А.Д. Природа информации: философский очерк. Челябин. гос. акад. культуры и искусств; Науч.-образоват. центр «Информационное общество»; Рос. гос. торгово-эконом. ун-т; Центр исслед. глоб. процессов и устойчивого развития. 2-е изд. Челябинск, 2010. 231 с.
7. Melia U., Claria F., Vallverdu M., Caminal P. Measuring Instantaneous and Spectral Information Entropies by Shannon Entropy of Choi-Williams Distribution in the Context of Electroencephalography. Entropy. 2014. № 16. P. 2530–2548.
8. Baez J.C., Fritz T., Leinster T. A Characterization of Entropy in Terms of Information Loss. Entropy. 2011. № 13. P. 1945–1957.
9. Shannon C.E. Mathematical Theory of Communication. Bell System Tech. J. 1948. vol. 27. P. 379–423.
10. Вильчинская О.О., Гагауллин И.Н., Головинов С.О. и др. Определение количества информации в структуре технической системы // Информационные технологии: приоритетные направления развития: монография. Новосибирск: ЦРНС Изд-во «Сибпринт», 2010. 261 с.
11. Mi Jinhua, Yan-Feng Li, Yuan-Jian Yang, Weiwen Peng, Hong-Zhong Huang. Reliability assessment of complex electromechanical systems under epistemic uncertainty. Reliability Engineering & System Safety. August 2016. Vol. 152. P. 1–15.
12. Dulesov A.S., Karandeev D.J., Dulesova N.V. «Determination of the amount of entropy of non-recoverable elements of the technical system» IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 450 (2018), MISTAerospace. P. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/450/7/072004.
13. Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю., Кондрат Н.Н. Определение количества информационной энтропии в структуре технической системы методом минимальных путей // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 2–3. С. 425–429.
14. Dulesov A.S., Karandeev D.Y., Dulesova N.V. Reliability analysis of distribution network of mining enterprises electrical power supply based on measure of information uncertainty. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). 2017. vol. 87. P. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/87/3/032008.
15. Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю. Построение оптимальной структуры технической системы методом «ветвей и границ» с учетом критериев экономичности и надежности // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 2 (33). С. 56–59.

УДК 004.02:004.056

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

^{1,2}Жигалов К.Ю., ²Подлевских А.П., ³Аветисян К.Р.

¹Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, e-mail: kshakalov@mail.ru;

²НОУ ВО «Московский технологический институт», Москва, e-mail: kshakalov@mail.ru;

³ФГКОУ ВО «Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя», Москва,
e-mail: Karen-Avetisyan-1989@bk.ru

В настоящее время электронный документооборот набирает свою популярность, его можно встретить не только в отдельно взятых организациях, но и на различного рода взаимодействиях между структурами и организациями (электронное правительство). Последний аспект позволяет с уверенностью говорить о необходимости развития систем обеспечения безопасности электронного документооборота в современных условиях. Основное внимание в статье уделяется рассмотрению основ и принципов построения систем документооборота для небольших и средних организаций. Перечислены задачи защиты системы электронного документооборота и требования к системе, выдвигаемые для обеспечения ее безопасности. На основе комплексного анализа существующих систем и методов защиты выработаны основные направления развития данного рода систем. Предложенные направления развития систем обеспечения безопасности электронного документооборота, при их одновременной реализации, позволят повысить эффективность защиты как самих систем документооборота, так и отдельных хранящихся в них данных. Не останется в стороне и технология блокчейн, в рамках которой может быть реализована всесторонняя защита документов и документооборота, тем самым повышая эффективность работы организации. Интеграция научно-технического прогресса в конечном счёте одной из основных и наиболее приоритетных задач определяет в данной области полную стандартизацию СЭД, определяя позитивную динамику на рынке услуг в целом.

Ключевые слова: электронный документооборот, защита систем электронного документооборота, защита электронных документов, защита данных

MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SECURITY ELECTRONIC DOCUMENT FLOW SYSTEMS IN THE MODERN TIMES

^{1,2}Zhigalov K.Yu., ²Podlevskikh A.P., ³Avetisyan K.R.

¹V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: kshakalov@mail.ru;

²Moscow Technological Institute, Moscow, e-mail: kshakalov@mail.ru;

³Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation of V.Ya. Kikotya,
Moscow, e-mail: Karen-Avetisyan-1989@bk.ru

For the time being, electronic document management is gaining popularity, it can be found not only in individual organizations, but also on various kinds of interactions between structures and organizations (e-government). The last aspect allows us to speak with confidence about the need to develop electronic document management security systems in modern conditions. The article focuses on the basics and principles of document management systems for small and medium-sized organizations. The tasks of protection of the electronic document management system and the requirements to the system put forward to ensure its security are listed. On the basis of a comprehensive analysis of existing systems and methods of protection developed the main directions of development of this kind of systems. The proposed directions of development of electronic document management security systems, with their simultaneous implementation, will improve the protection of both the document management systems and individual data stored in them. The blockchain technology will not stand aside, within the framework of which comprehensive protection of documents and document flow can be implemented, thereby increasing the efficiency of the organization. Integration of scientific and technological progress in the final analysis is one of the main and highest priorities in this area determines the full standardization of EDS, determining the positive dynamics in the service market as a whole.

Keywords: electronic document flow, electronic document flow systems protection, electronic documents protection, data security

В современных условиях резко возрастает количество контрагентов, как внутри, так и вне организации, в связи с чем увеличивается и документооборот между ними. Основные тенденции, связанные с оптимизацией делопроизводства, ориентированы на максимальную автоматизацию всех связанных с ними процессов и исключение

бумажных носителей. Увеличение количества электронного документооборота, необходимого для принятия тех или иных автоматизированных управленческих решений или контрольных мероприятий, приводит к тому, что традиционные методы работы с документами становятся все более нерентабельными [1]. Кроме того,

автоматизированные системы не способны принимать какие-либо решения, базируясь на обработке документов на бумажных носителях. К тому же на перемещение документов на бумажных носителях, даже внутри компании, может тратиться до нескольких дней [2].

Учитывая, что перемещение и применение электронных документов связано с новыми для документооборота рисками киберпреступности, необходимо также принимать и факт ее наличия во внимание при разработке и внедрении автоматизированных СЭД.

Разновидность систем электронного документооборота

Потребность в эффективном управлении документами и привела к созданию автоматизированных систем электронного документооборота (СЭД) [2, 3]. Данные системы подразумевают создание электронных документов, их обработку, передачу, хранение и предоставление по запросу пользователю. В связи с хранением документов на электронных носителях особенно важным становится необходимость обеспечения сохранности данных [4, 5].

Считается, что каждая существующая система документооборота конкретно ориентирована в какой-либо области. Основными направлениями систем электронного документооборота являются [6, 7]:

- системы с ориентацией на хранение и поиск информации;
- системы со средствами «workflow». Они ориентированы на контроль маршрутизации документов;
- системы, ориентированные на оказание поддержки в принятии управленческих решений в организации, а также на накопление знаний. Эти системы являются «гибридными» и, как правило, объединяют в себе характеристики систем workflow и хранение информации;
- системы, ориентирующиеся на совместную работу или collaboration системы. Данные системы, в отличие от предыдущих, включают понятие «иерархия организации»;
- системы с развитыми дополнительными сервисами. Например, это может быть сервис по управлению поставками, сервис по управлению колл-центра и т.д.
- комплексная система электронных документов (документационная система).

Такого рода система будет содержать в себе определенное количество программных подсистем и отвечать определенным требованиям.

Одними из важнейших задач, стоящими перед системами электронного документо-

оборота, являются вопросы обеспечения целостности, доступности, резервирования и конфиденциальности информации [8]. Тем не менее в связи с относительно недавним получением такого рода системами широкого применения, вопросы защищенности данных, обрабатываемых в них, остаются открытыми.

На сегодняшний день в СЭД принято защищать не документы, а системы передачи, обработки и хранения электронных документов. В крупных компаниях такой подход реализован в виде доменных контроллеров, систем Firewall, систем шифрования данных и прочих традиционных для систем защиты данных решений.

При пересылке документов между организациями в настоящее время принято защищать документы электронными подписями с помощью криптографических систем. Электронные подписи, в настоящем их виде, несовершенны и вынуждают пользователей разбираться в особенностях их эксплуатации, что достаточно сложно даже для опытных пользователей. Дело в том, что каждая организация использует свои системы криптографических электронных подписей, что еще больше затрудняет вопрос ее применения. Кроме того, электронная подпись слабо защищает данные от изменений и не ведет их (изменений) какое-либо логирование.

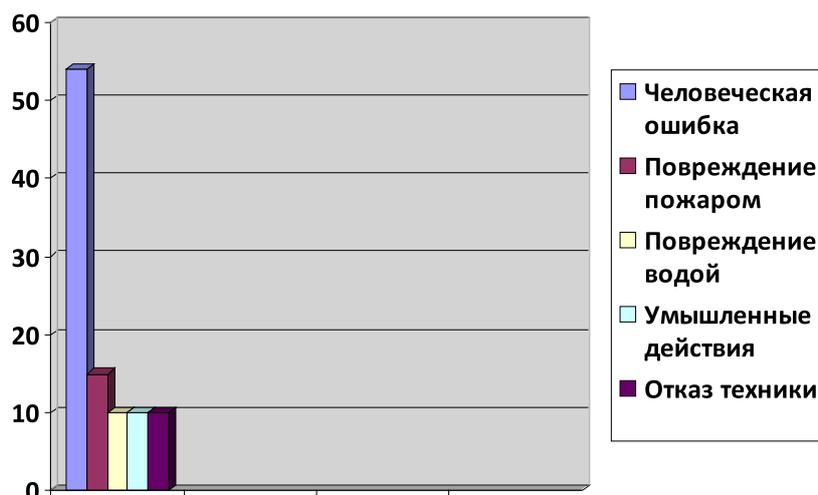
Основные опасности для информационных систем

Научно-исследовательским центром DataPro Research, Computer Security Institute, ФБР и компании Ernst&Young были проведены исследования (рисунок), согласно которым были выявлены основные причины повреждения и уничтожения информации.

Эти причины могут быть отнесены и к системам электронного документооборота: человеческая ошибка – 54%; повреждение пожаром – 15%; повреждение водой – 10%; умышленные действия – 10%; отказ техники – 10%.

К основным исполнителям действий отнести следующие категории: сотрудники компании – 81%; бывшие работники компании – 6%; посторонние люди – 13%.

Из статистики видно, что существующие подходы к обеспечению безопасности не оправданы и в реальности практически не защищают систему, хотя их стоимость достаточно высока, а сама система в результате достаточно громоздка, и связано это, в основном с необходимостью осуществления защиты в первую очередь от самих сотрудников этих компаний.



Причины повреждения у уничтожения документов

В связи с чем программные средства защиты информации целесообразно наиболее эффективно реализовать в виде дополнительных модулей системы документооборота в зависимости от условий их дальнейшего применения.

Это таит в себе определенные сложности для пользователя при налаживании электронного документооборота между организациями, так как каждая отдельно взятая компания использует надстройки своего производителя СЭД, при этом между собой они редко коррелируют [9].

Основные пути совершенствования уровня защищенности СЭД

Все означенные выше системы электронного документооборота имеют те или иные встроенные функции безопасности, которые в целом основаны на разграничении прав доступа в зависимости от роли, которую играет пользователь системы. Но это не сможет предотвратить угрозу несанкционированного использования конфиденциальной информации авторизованным пользователем. Поэтому большинство экспертов считают СЭД одним из элементов корпоративной информационной структуры, которая должна защищаться не отдельно, а в рамках единой политики обеспечения информационной безопасности организации, таким образом, защищенность электронного документооборота, прежде всего, определяется защищенностью инфраструктуры.

На сегодняшний день основная идея защищенного электронного документооборота состоит в том, что к задаче защиты системы электронного документооборота надо подходить с точки зрения классической за-

щиты информационной системы. Следующим шагом все производители и разработчики СЭД будут использовать механизмы, обеспечивающие следующие функции [10]:

1) контроль целостности используемого программного обеспечения (в основном легко организуется за счет применения средств антивирусной защиты);

2) регистрацию событий в информационных системах (проведенные нами исследования показывают, что данную функцию возможно использовать с помощью механизма внедрения матрицы доступа с фиксацией не только факта доступа, но и характера изменений или же за счет технологий Blockchain);

3) криптографическую защиту (может быть организована различными методами от шифрования базы данных до шифрования физических носителей информации);

4) межсетевое экранирование (организуется за счет стандартных на сегодняшний день средств системного и сетевого администрирования);

5) виртуальные частные сети (организуется за счет стандартных на сегодняшний день средств системного и сетевого администрирования);

6) аудит информационной безопасности.

Как говорилось ранее, большую часть перечисленных выше механизмов возможно достаточно легко реализовать в любой существующей системе документооборота в виде модулей либо отдельных программных продуктов (решений). Такого рода предложения не повлекут за собой существенных финансовых и трудовых затрат, в то время как результат для безопасности организации в целом будет достаточно ощутим. При написании статьи авторами было

опробовано тестовое внедрение дополнительных модулей в следующие системы электронного документооборота: 1С: Документооборот; DocsVision; IT-Inco; Optima-WorkFlow; RBC Docs; VisualDoc; Дело.

Что подчеркивает возможность применения модульности системы обеспечения безопасности электронного документооборота в практическом выражении.

Тем не менее, если обратить пристальное внимание на современные тенденции в информационных системах в целом, для электронного документооборота возможно использовать технологии из мира криптовалюты.

Проведенный анализ показывает, что обмен между контрагентами различного вида документами возможно осуществлять с помощью технологии Блокчейн (Blockchain). Данная технология представляет собой выстроенную по определенным правилам непрерывную последовательность цепочки блоков, содержащих информацию. Чаще всего данная цепь децентрализована, а информация в ней подтверждается следующими блоками. Особенность данной технологии в том, что цепь может содержать и распространять любую информацию во взаимосвязанных блоках.

Хотя в настоящее время данные технологии применяются в основном для криптовалют, уже существуют и разрабатываются другие проекты. Так, в 2014 г. была создана компания Vitnation которая начала предоставлять услуги по удостоверению личности, нотариату и т.д. А в 2016 г. Шведский земельный комитет начал тестирование данной технологии для переноса на ее основу базы данных земельных участков в Швеции. В 2018 г. Сбербанк РФ начал использование платформ на основе Блокчейн для анализа денежных потоков.

Исходя из проведенных авторами исследований применение системы Блокчейн для СЭД позволит максимально эффективно реализовать функции регистрации событий, проверки целостности, криптографической защите, подтверждению личности отправителя или подписанта и хранению документов. Что, в свою очередь, позволит практически полностью реализовать функции безопасного и достоверного документооборота как внутри организаций, так и между контрагентами.

В проведенном авторами исследовании возможности использования данной технологии в системе электронного документооборота было сделано следующее:

1. Перевод на платформу внутри корпоративного документооборота нескольких тестовых организаций. Единственная

проблема, с технической точки зрения – это необходимость постоянного подключения к сети Интернет и некоторое время на проведение транзакций и подтверждений по сети.

2. В качестве тестовой платформы была использована сеть Spread – она отвечала параметрам скорости транзакций, достаточной дешевизны ее обслуживания в виде размещения собственных вычислительных мощностей на ее базе.

Описанное выше решение позволило отказаться от СУБД в привычном нам виде при использовании электронного документооборота внутри компании. На данный момент движение всех документов можно легко отследить по цепочке.

Возможно, что повсеместное применение систем на основе технологии Блокчейн столкнется с вопросами юридического характера, так как на сегодняшний момент нет ни одного правоустанавливающего акта на данную тему, но это лишь вопрос времени, так как на данные технологии уже обратили на себя внимание банковские структуры, для проводки финансовых транзакций, в рамках информационных систем которых вируруется в том числе информация, относящаяся к категории персональных данных, что побудит их (банки) всерьез заняться вопросами юридической подоплеки. Тем не менее этот факт не должен мешать развитию технологии на этапах внедрения документооборота внутри компаний [11].

С точки зрения безопасности технологии Блокчейн, существует вероятность подмены целой цепочки со стороны киберпреступников, но для этого необходимо очень большое количество вычислительных мощностей. Следует отметить, что с начала использования технологий Блокчейн и Биткоин официально не зафиксировано ни одного взлома цепи.

Выводы

Документооборот материализует процессы сбора, преобразования, хранения информации, а также процессы управления: подготовку и принятие решений, контроль за их выполнением. Защита информации в системах документооборота – насущная необходимость современного функционирования любого предприятия. Построение оптимальных систем с точки зрения их защищенности предполагает учет большого числа параметров, которые необходимо оценить. Учитывая сложность формализации параметров информационных объектов, влияние на процесс множества факторов, изменяющихся, а также сложность определения их количественных показателей, ре-

шение поставленных задач требует применения аппарата теории нечетких множеств и сложной системы экспертных оценок.

Хотя выбор конкретных средств защиты зависит от ценности информации, типа СЭД и конкретной организации, в настоящее время имеет смысл обратиться к статистике и строить систему, ориентированную именно на нее. Тем не менее в любом случае, опираясь на статистику исследований DataPro Research, Computer Security Institute, ФБР и компании Ernst&Young описанную выше, должны быть внедрены элементарные, самые дешевые и от этого не менее эффективные средства – вход в систему документооборота должен осуществляться по системе паролей с разграниченным уровнем доступа. Физический доступ в помещение, где установлена система управления документооборотом, должен осуществляться по правилам внутреннего распорядка и быть ограниченным для посторонних лиц [12].

Основная проблема развития систем защиты электронного документооборота в их разрозненности, большой номенклатуре систем криптографической защиты, что существенно затрудняет работу конечного пользователя на всех этапах работы с документами.

В среднесрочной перспективе наиболее эффективно применение технологий Блокчейн для осуществления всесторонней защиты документов. Технология позволит осуществлять эффективную защиту предприятиям любого размера без особых трудозатрат, а значит, повысит эффективность их работы. Кроме того, повсеместное применение технологии позволит наконец полностью стандартизовать СЭД и протоколы, что положительно скажется на рынке в целом.

Список литературы

1. Досмухамедов Б.Р. Анализ угроз информации систем электронного документооборота // Компьютерное обеспечение и вычислительная техника. 2009. № 6. С. 140–143.
2. Загальне Діловодство // studbooks.net [Электронный ресурс]. URL: http://studbooks.net/60524/dokumentovedenie/obschee_deloproizvodstvo_ (дата обращения: 10.11.2018).
3. Жигалов К.Ю. Использование современных методов получения и обработки информации для целей создания геоподоснов ГИС-систем // Естественные и технические науки. 2012. № 4 (60). С. 209–212.
4. Маркова С.В. Безопасность электронного документооборота // Прикладные исследования и технологии ART2015 Сборник трудов международной конференции. 2015. С. 185–189.
5. Маркова С.В. Особенности обеспечения безопасности данных в современных СУБД // Технологии информационной безопасности в деятельности органов внутренних дел. 2016. С. 135–142.
6. Петухов С.Г., Жигалов К.Ю. Современные тенденции обеспечения защиты информации в малом и среднем бизнесе России // Прикладные исследования и технологии ART2016. Сборник трудов международной конференции. 2016. С. 251–256.
7. Построения и функционирования систем управления документами (СУД) // Market Journal [Электронный ресурс]. URL: <http://www.market-journal.com/itvupravlenii/19.html> (дата обращения: 18.11.2018).
8. Путькина Л.В. Роль информационных систем и технологий в управлении предприятиями сферы услуг // Nauka-rastudent.ru. 2016. № 05 (029) [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka-rastudent.ru/29/3463/> (дата обращения: 01.11.2018).
9. Путькина Л.В. Особенности использования электронного документооборота для эффективной работы современного предприятия // Nauka-rastudent.ru. 2016. № 01 (25) [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka-rastudent.ru/25/3173/> (дата обращения: 01.11.2018).
10. Сабанов А.А. Некоторые аспекты защиты электронного документооборота // Connect! Мир связи. 2010. № 7. С. 62–64.
11. Маркова С.В. Актуальные проблемы по защите персональных данных и методы их решения // Прикладные исследования и технологии ART2016. Сборник трудов международной конференции. 2016. С. 183–186.
12. Подлевских А.П., Норец В.А. Обеспечение информационной безопасности от несанкционированного проникновения в сетях // Образовательная среда сегодня и завтра: материалы VIII Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. Г.Г. Бубнова, Е.В. Плужника, В.И. Солдаткина. 2014. С. 325–328.

УДК 519.63

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛО-ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ СКОРОСТЯХ УДАРА ДО 5000 М/С

^{1,2}Зелепугин С.А., ^{1,2}Попов А.А.¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, e-mail: popov.alexey1997@gmail.com;*²*Томский научный центр СО РАН, Томск, e-mail: szel@yandex.ru*

Численно моделируется взаимодействие ударника из высокопрочной стали с многослойной металло-интерметаллидной преградой, состоящей из шести композиционных слоев, каждый из которых состоит из слоя интерметаллида (Al_3Ti) и слоя титанового сплава (ВТ6). При моделировании процесса взаимодействия применена модель повреждаемой среды. Для описания процесса разрушения слоев из титанового сплава использовалась кинетическая модель разрушения активного типа. Разрушение интерметаллида описывается моделью хрупкого разрушения. Общая система уравнений представляет собой систему дифференциальных уравнений с частными производными гиперболического типа, для решения которой требуется привлечение численных методов. В качестве численного метода использован модифицированный метод конечных элементов без построения глобальной матрицы жесткости, используемый для решения динамических задач. Численные расчеты проводились при различных начальных скоростях удара в диапазоне 2000–5000 м/с с целью выявить влияние начальной скорости ударника на характер разрушения многослойного композита. Полученные результаты показывают, что с ростом начальной скорости удара возрастает роль ударно-волновых процессов в характере разрушения преграды. В интерметаллидных слоях металло-интерметаллидной композиционной преграды наблюдается расслоение вдоль границ со слоями из титана, причем степень расслоения возрастает с ростом скорости удара.

Ключевые слова: металло-интерметаллидный слоистый композит, высокоскоростной удар, деформация, разрушение, численное моделирование

NUMERICAL SIMULATION OF THE FRACTURE OF MULTILAYER METAL-INTERMETALLIC COMPOSITES AT IMPACT VELOCITIES UP TO 5000 M/S

^{1,2}Zelepugin S.A., ^{1,2}Popov A.A.¹*National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: popov.alexey1997@gmail.com;*²*Tomsk Scientific Center SB RAS, Tomsk, e-mail: szel@yandex.ru*

The interaction of a high-strength steel impactor with a multilayer metal-intermetallic target consisting of six composite layers, each of which contains an intermetallic layer (Al_3Ti) and a layer of titanium alloy (Ti-6-4) has been numerically simulated. A damaged medium model is used to simulate the interaction process. To describe the fracture of titanium alloy layers, a kinetic fracture model is applied. A brittle fracture model is used to describe the fracture of intermetallic. The system of equations comprises hyperbolic partial differential equations, the solution of which requires the use of numerical methods. A modified finite element method (without a global stiffness matrix) is used to solve dynamic problems. Numerical computations are carried out at different initial impact velocities in the range of 2000–5000 m/s in order to find the effect of the initial velocity of the impactor on the fracture of the multilayer composite. The obtained results have shown that the role of shock-wave processes in the fracture of a target increases with an increase in the initial impact velocity. The composite target demonstrates the separation of layers along the boundaries, and the degree of separation increases with increasing the impact velocity.

Keywords: metal-intermetallic laminate composite, high-velocity impact, deformation, fracture, numerical simulation

В настоящее время вопросам получения материалов с улучшенными свойствами [1–3], исследованиям процессов их деформирования и разрушения при различных видах нагружения [2–4] уделяется повышенное внимание. Одним из видов перспективных конструкционных материалов считаются металло-интерметаллидные слоистые композиционные материалы (МИСКМ) [5]. Из-за особенностей своей структуры МИСКМ обладают высокими удельными прочностными характеристиками и являются баллистически стойкими. МИСКМ представляют собой пример так называемых биоподобных материалов и имеют многослойную компо-

зицию из взаимно чередующихся слоев интерметаллида и слоев металла или сплава. На создание таких материалов ученых натолкнуло исследование структур природных биологических систем, например структуры раковины морского моллюска *Haliotis rufescens* (abalone, морское ушко) представляет собой твердые хрупкие слои $CaCO_3$, склеенные пластичной граничной органической фазой. В случае композитов $Ti-Al_3Ti$, триалюминид титана (Al_3Ti), который обладает высокой твердостью и прочностью на сжатие при относительно низкой плотности, имитирует роль плиток $CaCO_3$, а пластичные и трещиностойкие слои из титанового сплава (ВТ6),

необходимые для остановки магистральных трещин и рассеивания энергии удара за счет пластической деформации, выступают в роли граничной связующей фазы.

Процессы динамического нагружения МИСКМ до сих пор мало исследованы. Им посвящено незначительное число как экспериментальных, так и теоретических работ. В экспериментальных исследованиях достаточно трудно регистрировать динамику высокоскоростного процесса. Анализ сохраненных после нагружения образцов не дает достоверной оценки механизмов разрушения. Численное моделирование, в рамках используемых математических моделей, позволяет исследовать динамику деформирования и разрушения нагружаемых тел [6].

В настоящее время численным методам исследования механического поведения сложных технических систем уделяется повышенное внимание. Очень часто для анализа используются коммерческие программные продукты, такие как MatLab [7, 8], ALGOR, САПР Solid Works (Cosmos Works), ANSYS [9]. Наиболее популярным численным методом, используемым для решения задач деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций, является метод конечных элементов (МКЭ), который лежит в основе упомянутых выше программных пакетов. Вместе с тем актуальной остается разработка исследовательских программных комплексов на основе МКЭ [6, 10].

В данной работе методом численного моделирования исследуется процесс нагружения многослойной преграды Ti-Al₂O₃ при начальных скоростях удара 2000, 3000 и 5000 м/с. Такие скорости в экспериментах могут обеспечиваться с использованием легкогазовой установки. Цель работы – оценить влияние начальной скорости ударника на характер разрушения преграды, на ее прочностные характеристики и степень поврежденности после взаимодействия. Для численного моделирования динамических процессов используется исследовательский программный комплекс на основе МКЭ.

Материалы и методы исследования

В работе используется модель повреждаемой среды, характеризующаяся наличием в материале микроповреждений. В качестве параметра поврежденности материала применяется удельный объем микроповреждений V_f :

$$V_f = \frac{W_f}{\rho_c W_c}, \quad (1)$$

где W_f – объем, занимаемый микроповреждениями, ρ_c – плотность неповрежденной

части, W_c – объем, занимаемый неповрежденной частью среды.

Система основных уравнений состоит из уравнений неразрывности, движения и энергии, являющихся следствиями законов сохранения массы, импульса и энергии [11]. Уравнение состояния (УРС) строится по типу уравнения Ми-Грюнаизена, в котором предполагается наличие «холодной» и «тепловой» частей. УРС определяет давление в неповрежденном веществе во всем диапазоне условий нагружения как функцию удельного объема и удельной внутренней энергии. Коэффициенты УРС определяются через константы ударной адиабаты Гюгонио. Для связывания компонент девиатора напряжений и компонент тензора скоростей деформаций используются определяющие соотношения, содержащие производную по Яуманну. Для описания пластичности течения используется условие текучести Мизеса. В процессе вычислений рассматривается влияние температуры и поврежденности материала на модуль сдвига и динамический предел текучести [11].

Для слоев из титанового сплава применяется кинетическая модель разрушения активного типа [11], которая позволяет моделировать разрушение в металлах при растяжении. Для слоев из интерметаллида применяется модель разрушения хрупкого типа. В отличие от кинетической модели активного типа, в которой разрушение элементов происходит под действием только растягивающих напряжений, в модели хрупкого разрушения учитываются как растягивающие, так и сжимающие компоненты напряжений. Следовательно, динамический предел текучести σ в модели хрупкого разрушения зависит как от сжимающих компонент напряжений (2), так и от растягивающих (3):

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_0, & \text{если } \sigma_z \geq P_f \\ K_f \sigma_0, & \text{если } \sigma_z < P_f \end{cases}, \quad (2)$$

где σ_z – компонента напряжения в ударной волне ($\sigma_z < 0$ при сжатии), P_f – константа материала ($P_f < 0$), а коэффициент K_f может быть изменён от 0 до 1.

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_0 \left(1 - \frac{V_f}{V_4} \right), & \text{если } V_f < V_f^k \\ \sigma_f, & \text{если } V_f^k \leq V_f < V_4 \\ 0, & \text{если } V_f \geq V_4 \end{cases}, \quad (3)$$

где V_4 , V_f^k , σ_f – константы [12].

Модели разрушения активного и хрупкого разрушения работоспособны в период распространения ударных волн (области

сжатия) и волн разгрузки (области растяжения). При интенсивном взаимодействии и деформировании контактирующих тел применяется модель разрушения эрозионного типа. В ней критерием разрушения служит критическое значение удельной энергии сдвиговых деформаций E_{sh}^c . Текущее значение этой энергии определяется формулой

$$\rho \frac{dE_{sh}}{dt} = S_{ij} \epsilon_{ij}, \quad (4)$$

где S_{ij} – компоненты девиатора тензора напряжений, ϵ_{ij} – компоненты тензора скоростей деформаций.

Критическая величина удельной энергии сдвиговых деформаций выбирается зависящей от условий взаимодействия:

$$E_{sh}^c = a_{sh} + b_{sh} v_0, \quad (5)$$

где v_0 – начальная скорость удара, a_{sh} и b_{sh} – константы.

Когда в расчетной ячейке выполняется условие $E_{sh} > E_{sh}^c$, эта ячейка считается разрушенной согласно модели разрушения эрозионного типа и удаляется из дальнейшего расчета, а параметры соседних ячеек корректируются с учетом законов сохранения, то есть масса расчетных узлов также должна быть уменьшена на величину массы разрушенного материала.

Рассматривается осесимметричная задача высокоскоростного взаимодействия ударника из высокопрочной стали, имеющего оживальную форму головной части, с многослойной композиционной преградой. Для решения задачи используется метод конечных элементов.

Результаты исследования и их обсуждение

Численно моделировалось взаимодействие многослойной преграды Ti – Al₃Ti, состоящей из шести композитных слоев, общей толщиной ≈ 7 мм, с осредненной плотностью 3513,32 кг/м³ с ударником из высокопрочной стали. Соотношение толщин слоев интерметаллида к титановому сплаву в композитном слое составляет ≈ 4/1. Диаметр ударника 4,2 мм, длина 14,5 мм. На-

чальная скорость ударника варьировалась. Расчеты проводились при скоростях 2000, 3000 и 5000 м/с. В преграде реализовано неравномерное разбиение и, так как задача решалась в осесимметричной постановке, оно реализовано вдоль радиуса преграды, при этом размер элементов увеличивается по мере удаления от области взаимодействия. Константы моделей можно найти в [11].

Критическая величина удельной энергии сдвиговых деформаций (5) зависит от условий взаимодействия и задается функцией начальной скорости удара, следовательно, её значение для каждого материала варьировалось при различных начальных скоростях ударника. Значения критической величины энергии сдвиговых деформаций для трех материалов, используемых в расчете, представлены в таблице.

При начальной скорости ударника, равной 2000 м/с, к моменту времени 5,5 мкс (рис. 1, а) во втором композитном слое внутри интерметаллида зарождается макротрещина. Макротрещина начинает расти и к моменту откола части тыльной поверхности преграды, соответствующему 10,5 мкс (рис. 1, б), в данном слое образуется магистральная макротрещина.

На рис. 2 показана степень поврежденности преграды и отчетливо видна тенденция роста макротрещин в слоях интерметаллида. Более интенсивному росту трещин препятствуют слои из титанового сплава. К моменту времени окончания взаимодействия преграды и ударника происходит расслоение преграды. При 2000 м/с повреждения в сечении преграды будут иметь конусообразный вид, что характерно для хрупкого разрушения.

С ростом начальной скорости ударника возрастает роль ударно-волновых процессов, распространяющихся в преграде, и под действием волн разгрузки происходит ее расслоение (рис. 3). Стоит отметить, что при увеличении начальной скорости удара степень расслоения преграды увеличивается. При этом расслоение многослойного металло-интерметаллидного композита происходит за счет формирования макротрещин в интерметаллидных слоях.

Значения критической величины энергии сдвиговых деформаций E_{sh}^c

| v_0 , м/с | E_{sh}^c , Дж/кг | | |
|-------------|---|---|--|
| | Высокопрочная сталь ($a_{sh} = 3330$ Дж/кг; $b_{sh} = 0,33$) | Al ₃ Ti ($a_{sh} = 1000$ Дж/кг; $b_{sh} = 0,5$) | BT6 ($a_{sh} = 3170$ Дж/кг; $b_{sh} = 0,167$) |
| 2000 | 3960 | 2000 | 3500 |
| 3000 | 4290 | 2500 | 3670 |
| 5000 | 4950 | 3500 | 4000 |

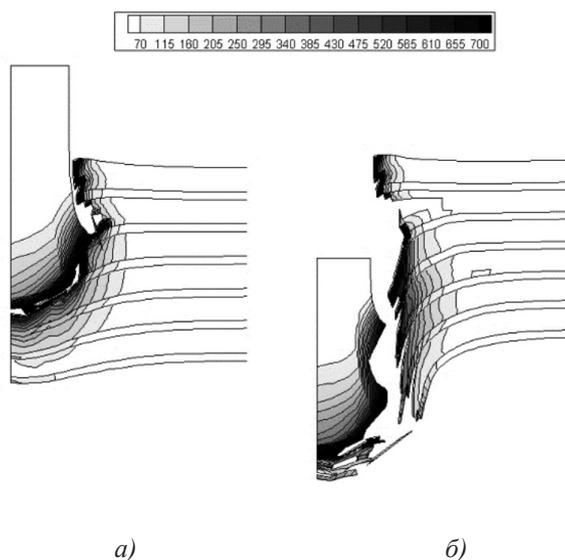


Рис. 1. Поля удельной энергии сдвиговых деформаций (кДж/кг) при начальной скорости удара 2000 м/с: а) в момент времени 5,5 мкс; б) в момент времени 10,5 мкс

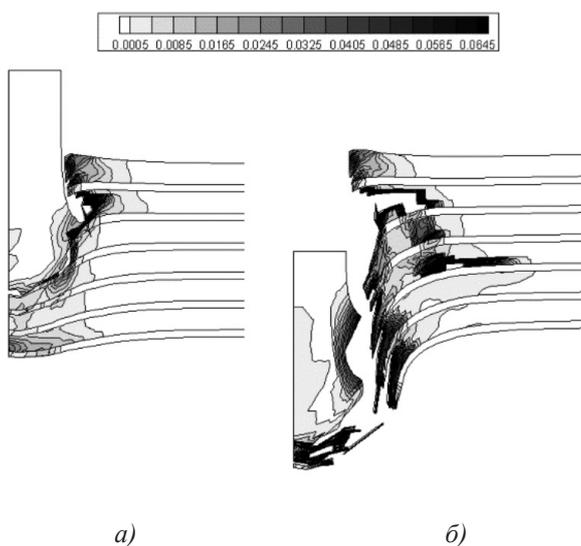


Рис. 2. Поля удельного объема микрповреждений ($\text{см}^3/\text{г}$) при начальной скорости удара 2000 м/с: а) в момент времени 5,5 мкс; б) в момент времени 10,5 мкс

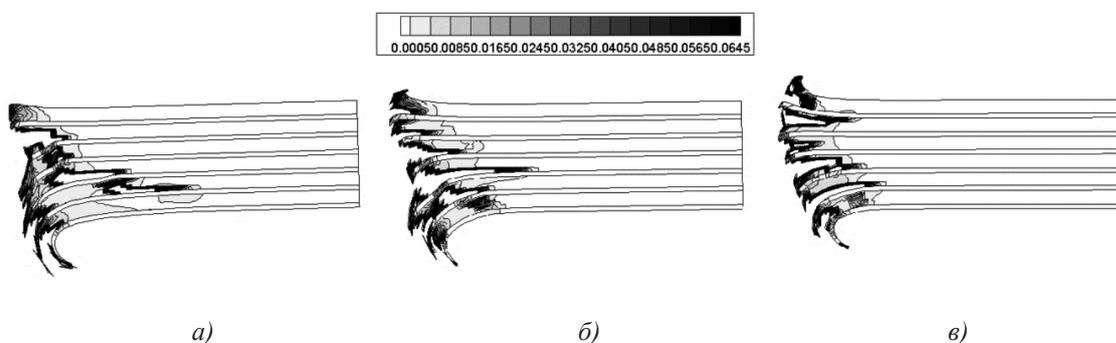


Рис. 3. Поля удельного объема микрповреждений ($\text{см}^3/\text{г}$) в преградах, взаимодействующих с ударниками с различными начальными скоростями: а) 2000 м/с; б) 3000 м/с; в) 5000 м/с

При относительно низких скоростях удара (700–1100 м/с [6, 11]) роль ударно-волновых процессов значительно ниже, и поэтому больший вклад в разрушение преграды вносят деформационные растягивающие нагрузки, действующие при внедрении ударника, а не волны разгрузки. Но при этом области с большими значениями удельного объема микроповреждений проявляются в слоях интерметаллида, а титановые слои, как и в случае более высоких скоростей удара, препятствуют распространению магистральных трещин [13].

Уменьшение скорости движения ударника после взаимодействия с преградой (запреградная скорость) зависит от начальной скорости его движения (рис. 4). При начальной скорости удара, равной 2000 м/с, запре-

градная скорость ударника уменьшается на 35%, при 3000 м/с уменьшается примерно на 17,5%, а при начальной скорости движения ударника, равной 5000 м/с, его запреградная скорость уменьшается на 6,3%.

В процессе взаимодействия с преградой ударник разрушается (срабатывается), что приводит к уменьшению его длины. На рис. 5 видно, что скорости изменения длины ударника для различных начальных скоростей удара разные, но после взаимодействия с преградой длина ударника $L_{уд}$, во всех трех случаях изменяется примерно на одну величину, разность длин к 10 мкс составляет 0,69–3,44%. Длина ударника после взаимодействия с преградой в рассматриваемом диапазоне скоростей удара уменьшается примерно в 2 раза.

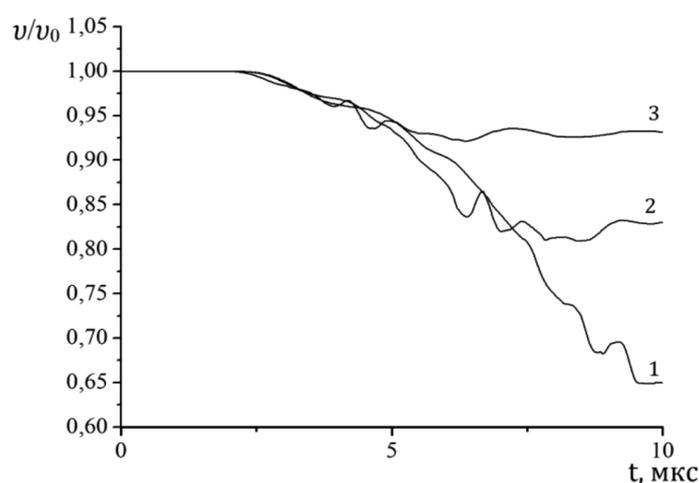


Рис. 4. Зависимость безразмерной величины v/v_0 , выражающей отношение скорости тыльной части ударника к его начальной скорости, от времени процесса взаимодействия, при различных начальных скоростях удара: 1 – 2000 м/с, 2 – 3000 м/с, 3 – 5000 м/с

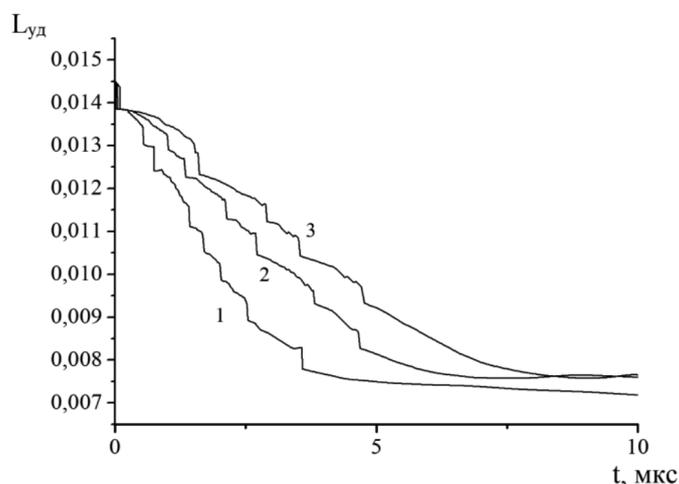


Рис. 5. Зависимость длины ударника от времени для различных начальных скоростей удара: 1 – 2000 м/с, 2 – 3000 м/с, 3 – 5000 м/с

Заключение

Результаты численного моделирования деформирования и разрушения МИСКМ Ti-Al₃Ti показывают, что с ростом начальной скорости удара в исследуемом диапазоне скоростей 2000–5000 м/с возрастает роль ударно-волновых процессов в характере разрушения преграды. В отличие от более низких скоростей удара, при которых больший вклад в характер разрушения многослойной преграды вносит деформационный фактор, действующий в области внедрения ударника, при более высоких скоростях происходит расслоение преграды, вызванное действием волн разгрузки. В интерметаллидных слоях металло-интерметаллидной композиционной преграды наблюдается расслоение вдоль границ со слоями из титана, причем степень расслоения возрастает с ростом скорости удара.

Список литературы

1. Щербаков А.В., Баринов В.Ю., Щукин А.С., Ковалев И.Д., Щербаков В.А., Маликина Т.Д., Альхименок А.И. Синтез композита TiB₂-30CrB методом электротеплового взрыва под давлением // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 4. С. 344–349.
2. Машеков С.А., Нугман Е.З., Тусупкалиева Э.А., Машекова А.С., Мауленова М.Р. Ударное разрушение наноструктурированного алюминиевого сплава АД31 после различных видов термической обработки и прокатки в винтообразных валках // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 4. С. 97–102.
3. Столбовский А.В., Попов В.В., Попова Е.Н., Фалахутдинов Р.М., Шорохов Е.В. Особенности деформационного поведения бронз при динамическом канально-угловом прессовании // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 11–5. С. 858–863.
4. Чикишев Е.В., Гаспарян Г.Д. Математическая модель процесса резания с применением ультразвуковых колебаний и анализ устойчивости процесса // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 7. С. 142–149.
5. Vecchio K.S. Synthetic multifunctional metallic intermetallic laminate composites. *JOM*. 2005. Vol. 57. no. 3. P. 25–31. DOI: 10.1007/s11837-005-0229-4.
6. Зелепугин А.С., Зелепугин С.А. Численное моделирование разрушения многослойных композитов титан триалюминид титана при высокоскоростном ударе // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 11–2. С. 194–198.
7. Семёнов А.С., Якушев И.А., Егоров А.Н. Математическое моделирование технических систем в среде MatLab // *Современные наукоемкие технологии*. 2017. № 8. С. 56–64.
8. Остапчук А.К., Кузнецова Е.М., Дмитриева О.В. Экспериментальные исследования и моделирование устойчивости процесса резания при обработке стальных деталей // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 1. С. 43–47.
9. Шеромова И.А., Завзятый В.И., Железняков А.С. Использование компьютерных технологий для моделирования деформационных свойств легкодеформируемых материалов // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 11–2. С. 326–331.
10. Курепин М.П., Сербиновский М.Ю. Эффективные методики конечно-элементного моделирования сложных конструкций энергетического машиностроения // *Современные наукоемкие технологии*. 2017. № 10. С. 19–25.
11. Зелепугин С.А., Шпаков С.С. Разрушение металлоинтерметаллидного многослойного композита при высокоскоростном ударе // *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2009. Т. 15. № 3. С. 369–382.
12. Zelepugin S.A., Zelepugin A.S., Khristenko Yu.F. Computational modelling of brittle fracture under dynamic loading // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11. no. 24. P. 14560–14565.
13. Zelepugin S.A., Zelepugin A.S., Popov A.A., Yanov D.V. Numerical simulation of metal-intermetallic laminate composites failure under dynamic loading // *Proceedings at the 9th ICCM2018, 6th-10th August 2018, Rome, Italy* / Eds: G.R. Liu, Patrizia Trovalusci. USA: Sciencetech Publisher LLC, 2018. Vol. 5. P. 467–471.

УДК 004.052.2

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТОЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СИГНАЛОВ В ПОЛИНОМИАЛЬНОМ МОДУЛЯРНОМ КОДЕ

¹Калмыков М.И., ¹Топоркова Е.В., ¹Степанова Е.П.,
¹Волошин Е.А., ¹Проворнов И.А., ²Тынчеров К.Т.

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

²ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Октябрьский

Методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС) постоянно расширяют сферу своего применения. Особенно наглядно это проявляется в стандартах IEEE 802.11, на основе которых построено большинство беспроводных систем передачи информации. В основе технологии OFDM лежит ортогональное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и также его быстрые алгоритмы вычисления. Однако ДПФ имеет ряд недостатков, которые снижают эффективность технологии OFDM. К ним можно отнести использование комплексных чисел в качестве поворачивающих коэффициентов ДПФ. Во-первых, это приводит к увеличению схемных затрат на реализацию ортогональных преобразований сигналов. Во-вторых, использование синусов и косинусов для выполнения ДПФ приводит к аддитивным и мультипликативным погрешностям. Для устранения отмеченных недостатков в статье предлагается использовать теоретико-числовые преобразования (ТЧП), которые реализуются в полиномиальном модулярном коде (ПМК). Повысить скорость выполнения ТЧП в ПМК возможно за счет применения систолических принципов вычислений. Поэтому разработка математической модели многоканальной систолической матрицы для выполнения теоретико-числовых преобразований сигналов в полиномиальном модулярном коде является актуальной задачей. Целью статьи является повышение скорости вычисления ТЧП за счет разработки математической модели многоканальной систолической матрицы, функционирующей в полиномиальном модулярном коде.

Ключевые слова: ортогональные преобразования сигналов, дискретное преобразование Фурье, систолические алгоритмы, теоретико-числовое преобразование, полиномиальный модулярный код

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE MULTICHANNEL SYSTOLIC MATRIX TO PERFORM THE NUMBER-THEORETIC TRANSFORMATIONS OF SIGNALS IN POLYNOMIAL MODULAR CODE

¹Kalmykov M.I., ¹Toporkova E.V., ¹Stepanova E.P.,
¹Voloshin E.A., ¹Provornov I.A., ²Tyncherov K.T.

¹Federal State Autonomous Educational Institution Higher Professional Education
«North-Caucasian Federal University», Stavropol, e-mail: kia762@yandex.ru;

²Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky

Methods and algorithms of digital signal processing (DSP) are constantly expanding their scope. This is especially evident in the standards of IEEE 802.11, on the basis of which the majority of wireless information transmission systems are built. The OFDM technology is based on the orthogonal discrete Fourier transform (DFT) and its fast calculation algorithms. However, DFT has a number of drawbacks that reduce the efficiency of the OFDM technology. These include the use of complex numbers as the turning coefficients of DFT. First, this leads to an increase in circuit costs for the implementation of orthogonal signal transformations. Second, the use of sine and cosines to perform DFT results in additive and multiplicative errors. To eliminate these shortcomings, the article proposes to use the theoretical – numerical transformations (TNT), which are implemented in the polynomial modular code (PMC). It is possible to increase the speed of TNT in PMC due to the application of systolic calculation principles. Therefore, the development of a mathematical model of a multichannel systolic matrix to perform the theoretical and numerical transformations of signals in the polynomial modular code is an urgent task. The aim of the article is to increase the speed of TNT calculation by developing a mathematical model of a multichannel systolic matrix functioning in a polynomial modular code.

Keywords: orthogonal signal transformations, discrete Fourier transform, systolic algorithms, number-theoretic transformation, polynomial modular code

Характерной чертой современных достижений в сфере инфотелекоммуникаций является широкое применение алгоритмов и методов цифровой обработки сигналов (ЦОС). Так, в работах [1, 2] показана реализация методов ЦОС в системах космической связи. Применение данных методов позволяет повысить помехоустойчивость в условиях мелких неоднородностей. В ра-

ботах [3, 4] рассматривается использование методов ЦОС при выполнении цифровой фильтрации. В работах [5, 6] показана перспективность использования ортогональных преобразований сигналов в системах OFDM. Применение дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и его быстрых алгоритмов в системах передачи информации, использующих стандарты IEEE 802.11, по-

зволяет повысить скорость передачи данных при наиболее эффективном использовании радиочастотного ресурса. Однако быстрое преобразование Фурье (БПФ) характеризуется рядом недостатков, которые приводят к повышению схемных затрат и снижению точности выполнения ортогональных преобразований сигналов. Устранить такие недостатки возможно за счет использования теоретико-числовых преобразований (ТЧП), которые реализуются в полиномиальном модулярном коде (ПМК). Использование целочисленных вычислений в ПМК позволяет устранить ошибки округления и обеспечить преобразование сигнала при меньших схемных затратах. Повысить скорость выполнения ТЧП в ПМК возможно за счет применения систолических принципов вычислений. Поэтому разработка математической модели многоканальной систолической матрицы для выполнения теоретико-числовых преобразований сигналов в полиномиальном модулярном коде является актуальной задачей.

Известно, что использование целочисленных ортогональных преобразований

сигналов, в частности теоретико-числовых преобразований, позволяет устранить ошибки округления, которые вызваны тригонометрическими поворачивающими коэффициентами ДПФ и БПФ. Кроме того, использование полиномиального модулярного кода приводит к повышению скорости выполнения ТЧП за счет распараллеливания вычислений на уровне арифметических модульных операций и использования табличной реализации [7]. Дальнейшее повышение скорости выполнения ТЧП возможно за счет применения параллельно-конвейерных вычислений, использующих систолические принципы построения. Поэтому целью статьи является повышение скорости вычисления ТЧП за счет разработки математической модели многоканальной систолической матрицы, функционирующей в ПМК.

Материалы и методы исследования

В настоящее время при выполнении ортогональных преобразований сигналов широко используются быстрые преобразования Фурье, которые задаются выражением

$$X(s) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x_{v-1,0}(n)W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x_{v-1,1}(n)W_N^{2(n+1)k}, \quad (1)$$

где $x_{v-1,0}(n) = x(2nT)$ и $x_{v-1,1}(n) = x((2n+1)T)$ – отсчеты входного вектора, имеющие четные и нечетные номера соответственно; $W_N^2 = e^{-\frac{2\pi}{N/2}}$ – поворачивающие коэффициенты БПФ.

Анализ выражения (1) показывает, что использование косинусов и синусов в качестве поворачивающих коэффициентов W_N приводит к значительным погрешностям округления. Устранить данный недостаток позволяет целочисленное ортогональное преобразование ТЧП. В этом случае снимаемый на выходе АЦП входной вектор $x(n)$ представляет собой множество элементов поля $GF(M)$. Тогда спектральные коэффициенты ТЧП определяются как

$$X(s) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\beta^{sn} \bmod M, \quad (2)$$

где $s = 0, 1, 2, \dots, N-1$; $\beta = \sqrt[N]{1}$ – порождающий элемент поля Галуа с характеристикой M . Ортогональные преобразования сигналов также можно выполнить в полях $GF(p^v)$

$$X^s(z) = \sum_{n=0}^{d-1} x^n(z)\beta^{ns}(z) \bmod p(z), \quad (3)$$

где $X^s(z)$ – s -я спектральная составляющая сигнала; $x^n(z)$ – n -й входной отсчет; $d = 2^v - 1$. $s = 0, \dots, d-1$.

Повысить скорость выполнения ТЧП возможно за счет применения ПМК. В данном коде в качестве оснований используются неприводимые полиномы $p_i(z)$, где $i = 1, \dots, k$. В коде ПМК число X сначала представляется в полиномиальной форме $\hat{X}(z)$, а затем в виде остатков $X(z) = (x_1(z), x_2(z), \dots, x_k(z))$, где $x_i(z) \equiv \hat{X}(z) \bmod p_i(z)$ [7]. Тогда справедливо выражение

$$X(z) * Y(z) = ((x_1(z) * y_1(z)) \bmod p_1(z), \dots, (x_k(z) * y_k(z)) \bmod p_k(z)), \quad (4)$$

где $Y(z) \equiv y_i(z) \bmod p_i(z)$; * – операция сложения, вычисления и умножения по модулю $p_i(z)$.

Применяя полиномиальный модулярный код, получаем следующее ТЧП сигнала

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1^j(z) = \sum_{s=0}^{d-1} x_1^j(z) \beta_1^{js} \text{ mod } p_1(z) \\ \vdots \\ X_k^j(z) = \sum_{s=0}^{d-1} x_k^j(z) \beta_k^{js} \text{ mod } p_k(z) \end{array} \right. , \quad (5)$$

где $X_i^s(z) \equiv X^s(z) \text{ mod } p_i(z)$; $x_i^j(z) \equiv x^j(z) \text{ mod } p_i(z)$; $i = 1, \dots, k$; $j = 0, \dots, d-1$.

Однако выполнение ТЧП сигнала в ПМК требует временных затрат, соизмеримых с $O(d^2)$ операций модульных умножений. Дальнейшее снижение временных затрат на выполнение ТЧП возможно за счет применения систолических принципов вычислений [8]. При использовании систолических матриц преобразования (4) можно выполнить на основе рекуррентной схемы Горнера

$$X_i^j(z) = ((x_i^{d-1}(z)\beta^j + x_i^{d-2}(z))\beta^j + \dots + x_i^1(z))\beta^j + x_i^0(z) \text{ mod } p_i(z), \quad (6)$$

где $x_i^j(z) \equiv x^j(z) \text{ mod } p_i(z)$; $j = 0, 1, \dots, d-1$; $i = 1, \dots, k$.

Тогда математическая модель систолического массива ТЧП в модулярном коде имеет вид

$$\begin{array}{l} X_1^j(z) = (((x_1^{d-1}(z)\beta^j + x_1^{d-2}(z))\beta^j + \dots + x_1^1(z))\beta^j + x_1^0(z)) \text{ mod } p_1(z) \\ X_2^j(z) = (((x_2^{d-1}(z)\beta^j + x_2^{d-2}(z))\beta^j + \dots + x_2^1(z))\beta^j + x_2^0(z)) \text{ mod } p_2(z) \\ \vdots \\ X_k^j(z) = (((x_k^{d-1}(z)\beta^j + x_k^{d-2}(z))\beta^j + \dots + x_k^1(z))\beta^j + x_k^0(z)) \text{ mod } p_k(z). \end{array} \quad (7)$$

Проведя обобщение равенства (7), получаем математическую модель ТЧП сигналов в модулярном коде с использованием многоканальной систолической матрицы (МСМ)

$$\begin{aligned} X_i^j(z) &= x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^j + x_i^2(z)(\beta^2)^j + \dots + x_i^{d-2}(z)(\beta^{d-2})^j + \\ &+ x_i^{d-1}(z)(\beta^{d-1})^j \text{ mod } p_i(z) = \sum_{s=0}^{d-1} x_i^s(z)(\beta^s)^j \text{ mod } p_i(z). \end{aligned} \quad (8)$$

Так как МСМ состоит из однотипных процессорных элементов (ПЭ), то каждый из ПЭ ($s = 1, 2, \dots, d$), выполняет следующую базовую операцию

$$X_i^{(L,j)}(z) = X_i^{(L,(j-1))}(z) + x_i^{(L,(j-1))}(z)\beta^{(L-j)(j-1)} \text{ mod } p_i(z), \quad (9)$$

где $j = 0, \dots, d-1$; L – текущий такт вычислений в j -й ячейке; $j < L < d + j - 1$, $X^{(L,j)}(z)$ – записанное в регистр $\text{Pr}\Sigma$ на L -м такте значение суммы; $X_i^{(L,j)}(z) \equiv X^{(L,j)}(z) \text{ mod } p_i(z)$; $X^{(L,(j-1))}(z)$ – записанное в регистр $\text{Pr}\Sigma$ на $(L-1)$ -м такте вычисленное значение суммы; $X_i^{(L,(j-1))}(z) \equiv X^{(L,(j-1))}(z) \text{ mod } p_i(z)$; $\beta^{(L-j)(j-1)}$ – поворачивающий коэффициент на входе j -й ячейки МСМ в L -й такт работы.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть задан ПМК, имеющий основания $p_1(z) = z^3 + z + 1$ и $p_2(z) = z^3 + z^2 + 1$. Данные полиномы имеют мультипликативные группы порядка $d = 7$. Значит, такой ПМК способен выполнить 7-точечную реализацию ТЧП сигнала. Тогда получаем

$$\begin{aligned}
X_i^0(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z) + x_i^2(z) + x_i^3(z) + x_i^4(z) + x_i^5(z) + x_i^6(z)) \bmod p_i(z), \\
X_i^1(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z)\beta^1 + x_i^2(z)\beta^2 + x_i^3(z)\beta^3 + x_i^4(z)\beta^4 + x_i^5(z)\beta^5 + x_i^6(z)\beta^6) \bmod p_i(z), \\
X_i^2(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z)\beta^2 + x_i^2(z)\beta^4 + x_i^3(z)\beta^6 + x_i^4(z)\beta^1 + x_i^5(z)\beta^3 + x_i^6(z)\beta^5) \bmod p_i(z), \\
X_i^3(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z)\beta^3 + x_i^2(z)\beta^6 + x_i^3(z)\beta^2 + x_i^4(z)\beta^5 + x_i^5(z)\beta^1 + x_i^6(z)\beta^4) \bmod p_i(z), \\
X_i^4(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z)\beta^4 + x_i^2(z)\beta^1 + x_i^3(z)\beta^5 + x_i^4(z)\beta^2 + x_i^5(z)\beta^6 + x_i^6(z)\beta^3) \bmod p_i(z), \\
X_i^5(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z)\beta^5 + x_i^2(z)\beta^3 + x_i^3(z)\beta^1 + x_i^4(z)\beta^6 + x_i^5(z)\beta^4 + x_i^6(z)\beta^2) \bmod p_i(z), \\
X_i^6(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z)\beta^6 + x_i^2(z)\beta^5 + x_i^3(z)\beta^4 + x_i^4(z)\beta^3 + x_i^5(z)\beta^2 + x_i^6(z)\beta^1) \bmod p_i(z).
\end{aligned}$$

Для разработки структуры МСМ, реализующей ТЧП в ПМК, составим таблицу, в которой показан процесс получения спектральных отсчетов для $x^{(1)}(z)$ и $x^{(2)}(z)$.

Получение спектральных составляющих ТЧП в МПК

| Спектр $X(j)$ | Входной отсчет $x^{(1)}(z)$ | | Входной отсчет $x^{(2)}(z)$ | |
|---------------|-----------------------------|---|-----------------------------|---|
| | $X^{(1)}(z)$ | $\beta(z)$ | $\beta(z)$ | $\beta^2(z)$ |
| $X^{(2)}(z)$ | $\beta^2(z)$ | $\beta\beta \bmod p_i(z)$ | $\beta^4(z)$ | $\beta^2\beta^2 \bmod p_i(z)$ |
| $X^{(3)}(z)$ | $\beta^3(z)$ | $\beta\beta\beta \bmod p_i(z)$ | $\beta^6(z)$ | $\beta^2\beta^2\beta^2 \bmod p_i(z)$ |
| $X^{(4)}(z)$ | $\beta^4(z)$ | $\beta\beta\beta\beta \bmod p_i(z)$ | $\beta^1(z)$ | $\beta^2\beta^2\beta^2\beta^2 \bmod p_i(z)$ |
| $X^{(5)}(z)$ | $\beta^5(z)$ | $\beta\beta\beta\beta\beta \bmod p_i(z)$ | $\beta^3(z)$ | $\beta^2\beta^2\beta^2\beta^2\beta^2 \bmod p_i(z)$ |
| $X^{(6)}(z)$ | $\beta^6(z)$ | $\beta\beta\beta\beta\beta\beta \bmod p_i(z)$ | $\beta^5(z)$ | $\beta^2\beta^2\beta^2\beta^2\beta^2\beta^2 \bmod p_i(z)$ |

Обобщая результаты, представленные в таблице, получаем следующее выражение

$$\begin{aligned}
X_i^0(z) &= (x_i^0(z) + x_i^1(z) + x_i^2(z) + x_i^3(z) + x_i^4(z) + x_i^5(z) + x_i^6(z)) \bmod p_i(z), \\
X_i^1(z) &= \left| x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^1 + x_i^2(z)(\beta^2)^1 + x_i^3(z)(\beta^3)^1 + x_i^4(z)(\beta^4)^1 + x_i^5(z)(\beta^5)^1 + x_i^6(z)(\beta^6)^1 \right|_{p_i(z)}, \\
X_i^2(z) &= \left| x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^2 + x_i^2(z)(\beta^2)^2 + x_i^3(z)(\beta^3)^2 + x_i^4(z)(\beta^4)^2 + x_i^5(z)(\beta^5)^2 + x_i^6(z)(\beta^6)^2 \right|_{p_i(z)}, \\
X_i^3(z) &= \left| x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^3 + x_i^2(z)(\beta^2)^3 + x_i^3(z)(\beta^3)^3 + x_i^4(z)(\beta^4)^3 + x_i^5(z)(\beta^5)^3 + x_i^6(z)(\beta^6)^3 \right|_{p_i(z)}, \\
X_i^4(z) &= \left| x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^4 + x_i^2(z)(\beta^2)^4 + x_i^3(z)(\beta^3)^4 + x_i^4(z)(\beta^4)^4 + x_i^5(z)(\beta^5)^4 + x_i^6(z)(\beta^6)^4 \right|_{p_i(z)}, \\
X_i^5(z) &= \left| x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^5 + x_i^2(z)(\beta^2)^5 + x_i^3(z)(\beta^3)^5 + x_i^4(z)(\beta^4)^5 + x_i^5(z)(\beta^5)^5 + x_i^6(z)(\beta^6)^5 \right|_{p_i(z)}, \\
X_i^6(z) &= \left| x_i^0(z) + x_i^1(z)(\beta^1)^6 + x_i^2(z)(\beta^2)^6 + x_i^3(z)(\beta^3)^6 + x_i^4(z)(\beta^4)^6 + x_i^5(z)(\beta^5)^6 + x_i^6(z)(\beta^6)^6 \right|_{p_i(z)}.
\end{aligned}$$

Схемная реализация разработанной математической модели МСМ, реализующей ТЧП сигналов в ПМК с основаниями $p_1(z) = z^3 + z + 1$ и $p_2(z) = z^3 + z^2 + 1$, показана на рис. 1. Каждый из ПЭ состоит из двух регистров (Рг), которые предназначены для записи отсчетов входного вектора $x_i^j(z) \bmod p_i(z)$ и поворачивающего вектора $\beta^{js}(z) \bmod p_i(z)$. Для реализации выражения (7) используются умножитель (Ум) по модулю $p_i(z)$, где $i = 1, 2$, и сумматор (Сум) по модулю два. Для хранения промежуточного результата используется регистр (РгΣ). На рис. 2 приведена временная диаграмма вычисления ТЧП сигнала в МСМ.

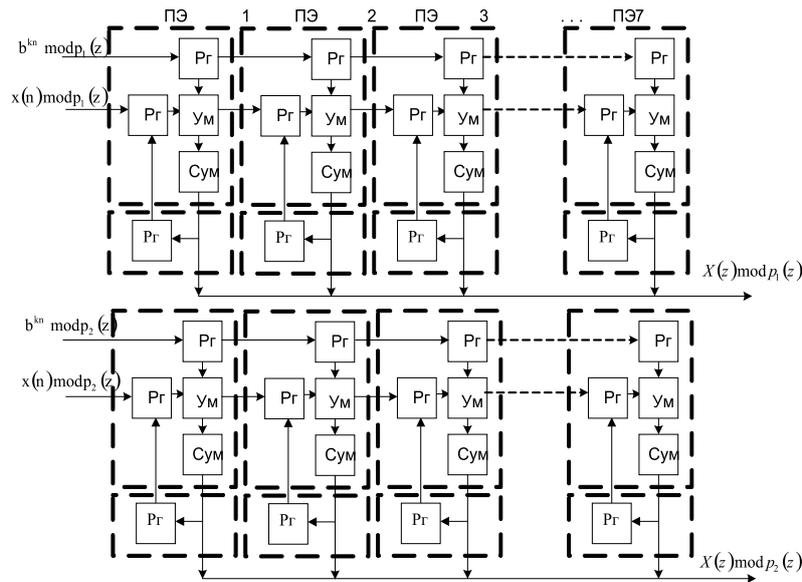


Рис. 1. Схемная реализация математической модели МСМ ТЧП, функционирующей в ПМК

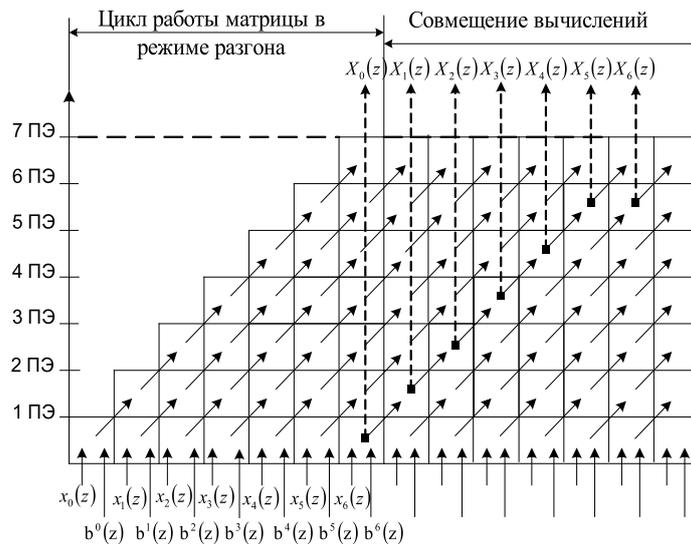


Рис. 2. Временная диаграмма вычисления ТЧП в МСМ

Анализ разработанной математической модели ТЧП сигнала в МСМ показал, что начальная загрузка матрицы составляет $d = 7$ тактов. При этом количество тактов, составляющих один цикл вычислений, равно $2d - 1 = 15$. Из рис. 2 наглядно видно, что коэффициент эффективности применения оборудования в разработанной математической модели МСМ вычислений ТЧП составляет $Q = 1$. Очевидно, что время реализации базовой операции ПЭ определяется

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4, \quad (10)$$

где τ_1 – время реализации процедуры приема-передачи данных в ПЭ; τ_2 – время модульного

умножения; τ_3 – время выполнения операции суммирования по модулю два; τ_4 – время необходимое на выполнение процедуры записи и считывания результата вычислений.

Время реализации ТЧП сигнала в ПМК на основе разработанной модели МСМ составит

$$T_{МСМ} = 2(d - 1) \tau. \quad (11)$$

Рассмотрим работу разработанной МСМ по основанию $p_1(z)$. Перед началом работы регистры $Pr\Sigma$ МСМ обнуляются. На первом такте работы значения $|x_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$, $|\beta_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ поступают в ПЭ₁. Спустя время $\tau_1 + \tau_2$ выполняется суммирование по

модулю два $|x_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ с содержимым $\text{Pг}\Sigma$. Промежуточный результат суммирования на микротакте τ_4 заносится в регистр $\text{Pг}\Sigma$. Во время второго такта работы значения $|x_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ с выхода ПЭ₁ подаются в ПЭ₂. Одновременно в ПЭ₁ поступают $|x_1^1(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^1(z)|_{p_1(z)}^+$. На микротакте τ_2 второго такта $|x_1^1(z)|_{p_1(z)}^+$ задерживается в элементе задержки и одновременно в ПЭ₂ вычисляется $|x_1^0(z)\beta_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$. Затем в ПЭ₁ и ПЭ₂ на микротакте τ_3 происходит суммирование по модулю два, а на микротакте τ_4 полученные суммы записываются в регистры $\text{Pг}\Sigma_1$ и $\text{Pг}\Sigma_2$. В дальнейшем все ПЭ работают синхронно. На третьем такте выполняются переводы: $|x_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ – в ПЭ₃; $|x_1^1(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^1(z)|_{p_1(z)}^+$ – в ПЭ₂; $|x_1^2(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^2(z)|_{p_1(z)}^+$ – в ПЭ₁. Теперь три ПЭ ($L = 1, 2, 3$) работают синхронно. На четвертом такте работу начинает ПЭ₄, куда поступают $|x_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$. На пятом такте в работу включается ПЭ₅, на шестом такте – ПЭ₆, на седьмом такте – ПЭ₇. При этом все ПЭ работают синхронно.

Как видно из рис. 2, на $d = 7$ такте МСМ закончила процедуру загрузки и разгонки. В конце данного такта результат $|X_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$, полученный в ПЭ₁, поступает на выход МСМ. На следующем такте спектральной составляющей $|X_1^1(z)|_{p_1(z)}^+$ будет получено в ПЭ₂. На $(d + 2) = 9$ такте результат $|X_1^2(z)|_{p_1(z)}^+$ будет получен в ПЭ₃ и т.д. Значит, время выдачи результатов будет составлять период равный $T_{\text{рез}} = d\tau = 7\tau$. Чтобы не тормозить работу конвейера на $(d + 1) = 8$ такте, на вход ПЭ₁ МСМ поступают данные $|x_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$ и $|\beta_1^0(z)|_{p_1(z)}^+$.

Переход к МПК позволяет повысить скорость базовой операции ТЧП (9). В этом случае $T_{\text{ПЭ}}^{\text{ПСС}} = T_{\text{умн}}^{\text{ПСС}} + T_{\text{сум}}^{\text{ПСС}}$, где $T_{\text{умн}}^{\text{ПСС}}$ и $T_{\text{сум}}^{\text{ПСС}}$ – временные затраты на реализацию операции умножения и сложения. Пусть разрядность модуля $d = \deg P(z) = 30$. Если в МСМ использовать множитель матричного типа, то $T_{\text{умн}}^{\text{ПСС}} = (d - 1)T_{\Sigma}$, где T_{Σ} – время суммирования в одноразрядном сумматоре. Пусть значение $T_{\Sigma} = 15$ нс. При обработке 30-разрядных данных на базовую операцию ТЧП потребуется $T_{\text{ПЭ}}^{\text{ПСС}} = T_{\text{умн}}^{\text{ПСС}} + T_{\text{сум}}^{\text{ПСС}} = (30 - 1) \cdot 15 + 6 \cdot 10 = 495$ нс.

Вычислим временные затраты на базовую операцию ТЧП в МПК. Для $d = \deg P(z) = 30$ возможно использовать шесть модулей разрядности $d_i = \deg p_i(z) = 5$, где $i = 1, 2, \dots, 6$. Для выполнения операций сложения и умножения по модулю $p_i(z)$ можно использовать LUT-таблицы (ПЗУ 1636PP1У), время выборки которых составляет $T_{\text{выб}} = 65$ нс. Тогда время выполнения базовой операции ТЧП равно $T_{\text{ПЭ}}^{\text{ПМК}} = T_{\text{умн}}^{\text{ПМК}} + T_{\text{сум}}^{\text{ПМК}} = 2T_{\text{выб}} = 130$ нс. Значит, применение ПМК повышает скорость выполнения базовой операции ТЧП в 3,8 раза. Кроме того, использование разработанной математической модели МСМ позволило повысить скорость выполнения ТЧП на 10% по сравнению с чисто-систолической моделью вычислений ТЧП и 14,9 раза по сравнению с классическим выполнением ТЧП в $GF(2^5)$.

Заключение

Применение ТЧП в задачах ЦОС минимизирует ошибки округления, которые получаются при использовании БПФ. Использование разработанной математической модели МСМ, функционирующей в ПМК позволяет повысить скорость вычисления базовой операции ТЧП в 3,8 раза при обработке 30-разрядных данных. А применение алгоритма МСМ позволило повысить скорость выполнения ТЧП на 10% по сравнению с чисто-систолической моделью вычислений ТЧП и 14,9 раза по сравнению с классическим выполнением ТЧП в $GF(2^5)$.

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

Список литературы

1. Катков К.А., Пашинцев В.П., Катков Е.К. Влияние параметров возмущенной ионосферы на ошибку слежения за фазой навигационного радиосигнала // Современная наука и инновации. 2016. № 2 (14). С. 52–64.
2. Катков К.А., Пашинцев В.П., Катков Е.К. Информационная система мониторинга ионосферы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2–3. С. 907–912.
3. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. 528 с.
4. Meyer-Baese U.H., Meyer-Baese A., Gonzalez D., Botella G. Code obfuscation using very long identifiers for FFT motion estimation models in embedded processors. Journal of Real-Time Image Processing. 2016. P. 817–827.
5. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Федотов Р.А. Беспроводные сети Wi-Fi (2-е изд.). М.: НОУ «ИНТУИТ», 2016. 284 с.
6. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шлюма А.М., Шумов А.П. Технология OFDM: учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2017. 352 с.
7. Калмыков И.А., Емарлукова Я.В., Гиш Т.А., Дунин А.В., Макарова А.В. Математические модели и схемные решения отказоустойчивых позиционных вычислительных систем: коллективная монография. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2016. 216 с.
8. Юрданов Д.В., Калмыков М.И., Журавлев К.М., Калмыков И.А. Использование теоретико-числовых преобразований для систем связи с OFDM // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 3–2. С. 178–182.

УДК 623.746.-519:517.935.4

УПРОЩЕНИЕ И ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ И В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

^{1,2}Карпунин А.А., ¹Титков И.П.

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва,
e-mail: ksans@yandex.ru, titkov.ivan.bmstu@gmail.com;

²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва

В современной теории управления при описании движения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) увеличивается потребность в получении и использовании универсальных математических моделей, с различной степенью полноты этих описаний. Целью работы является получение модели, учитывающей влияние перекрестных связей, и оценка этого влияния на точность модели. Рассматривается математическая модель пространственного движения БПЛА типа квадрокоптер с учетом возмущений и перекрестных связей из-за наличия гироскопических моментов при вращении аппарата, двигателей и пропеллеров. Выводится система дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши, описывающая движение БПЛА в трехмерном пространстве. Производится получение ее частного случая без учета возмущений и перекрестных связей. Осуществляется линеаризация упрощенной модели. Осуществляется формирование линеаризованной системы дифференциальных уравнений, описывающей движение в вертикальной плоскости. Исследуются результаты моделирования движения БПЛА варианта с учетом возмущений и перекрестных связей, а также варианта без их учета. Осуществляется оценка влияния перекрестных связей на движение БПЛА. По результатам моделирования можно дать рекомендации по использованию полученной системы с учетом перекрестных связей, поскольку данная система повышает точность описания движения квадрокоптера.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, математическая модель, линеаризация, пространственное движение, перекрестная связь

SIMPLIFICATION AND LINEARIZATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE MOTION OF THE UNLIMITED AIRCRAFT IN SPACE AND IN THE VERTICAL PLANE

^{1,2}Karpunin A.A., ¹Titkov I.P.

¹Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», Moscow, e-mail: ksans@yandex.ru, titkov.ivan.bmstu@gmail.com;

²Peoples Friendship University of Russia, Moscow

In modern control theory, when describing the movement of an unmanned aerial vehicle (UAV), there is an increasing need for obtaining and using universal mathematical models, with varying degrees of completeness of these descriptions. The aim of the work is to obtain a model that takes into account the effect of cross-links, and to estimate this influence on the accuracy of the model. A mathematical model of the spatial motion of an unmanned aerial vehicle (UAV) of the quadrotor type is considered, taking into account disturbances and cross-connections due to the presence of gyroscopic moments during the rotation of the vehicle, engines and propellers. A system of differential equations in the normal form of Cauchy describing the motion of the UAV in three-dimensional space is derived. Its special case without taking into account disturbances and cross-connections is obtained. The simplified model is linearized. The formation of a linearized system of differential equations describing the motion in the vertical plane is carried out. The results of the simulation of the UAV motion of the variant taking into account disturbances and cross-links, as well as the variant without them are investigated. The evaluation of the influence of cross-connections on the movement of the UAV is occurred. According to the simulation results, recommendations can be made on the use of the resulting system with regard to cross-links, since this system improves the accuracy of the description of the quadcopter motion.

Keywords: drone, quadrotor, mathematical model, linearization, spatial motion, cross-connection

В связи с ростом научно-прикладного интереса к тематике применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультироторного типа увеличивается потребность в получении и использовании универсальных математических моделей, описывающих движение БПЛА с различной степенью полноты этих описаний [1]. Большинство авторов предпринимает попытки описания движения БПЛА с помощью систем линеа-

ризованных уравнений, поскольку для нелинейных уравнений затруднен аналитический синтез системы управления [2, 3]. Описание математической модели движения БПЛА с помощью уравнений Ньютона – Эйлера с учетом перекрестных связей представлено в [4–6]. С помощью обобщенных координат и метода Лагранжа формируется математическая модель движения БПЛА в работе [7]. Линеаризованные и упрощенные модели

движения БПЛА лежат в основе синтеза регуляторов и фильтров: LQR-регуляторов [8], LQG-регуляторов [9], фильтра Калмана [10], L_1 -оптимизации [11]; управление со скользящим режимом [12, 13]. В работе [14] рассматривается синтез регуляторов с помощью линеаризации обратной связи.

В большинстве работ после получения систем управления, синтезированных с использованием упрощенных моделей, не выполняется оценка влияния исключенных из рассмотрения факторов. При синтезе систем автоматического управления движением БПЛА с использованием упрощенных моделей необходимо учитывать их адекватность.

Цель работы – получение модели, учитывающей влияние перекрестных связей, и оценка этого влияния на точность модели.

Математическая модель движения БПЛА

На рис. 1 показаны взаимные расположения нормальной земной и связанной систем координат, положительные направления отсчета углов рыскания, тангажа и крена, сила тяги и моменты, создаваемые винтами, направления вращения винтов.

Переход из связанной системы координат (с.к.) в нормальную земную с.к. возможно выполнить с использованием матрицы перехода [15]:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cos \psi & -\cos \gamma \cos \psi \sin \vartheta + \sin \gamma \sin \psi & \sin \gamma \cos \psi \sin \vartheta + \cos \gamma \sin \psi \\ \sin \vartheta & \cos \gamma \cos \vartheta & -\sin \gamma \cos \vartheta \\ -\cos \vartheta \sin \psi & \cos \gamma \sin \psi \sin \vartheta + \sin \gamma \cos \psi & -\sin \gamma \sin \psi \sin \vartheta + \cos \gamma \cos \psi \end{bmatrix},$$

где ϑ – угол тангажа, γ – угол крена, ψ – угол рыскания.

При моделировании БПЛА приняты следующие допущения: БПЛА симметричен; центр масс расположен в начале координат связанной системы; коэффициенты силы тяги винтов равны; коэффициенты моментов, создаваемых винтами, равны. Перекрестные связи представлены гироскопическими моментами, возникающими при вращении БПЛА.

В силу симметрии тензор инерции БПЛА имеет вид

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix},$$

где I_x, I_y, I_z – осевые моменты инерции БПЛА.

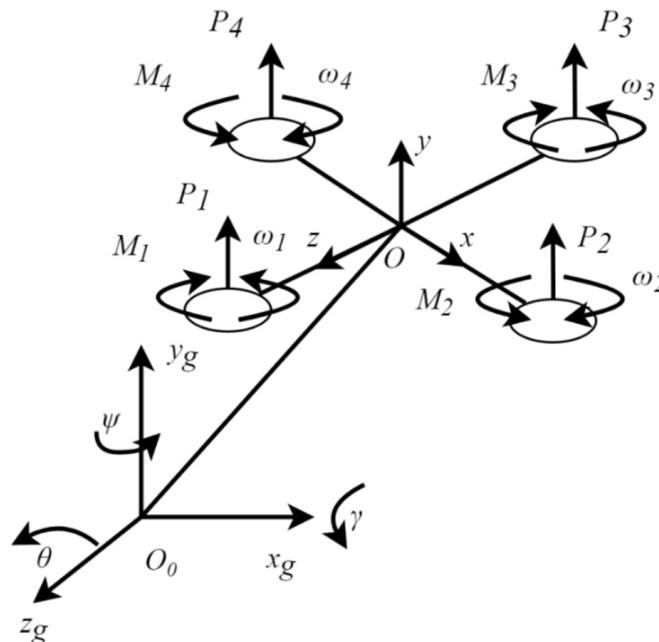


Рис. 1. Системы координат

Сила тяжести в земной с.к.: $\mathbf{G}_g = [0, -mg, 0]^T$, где m – масса БПЛА, g – ускорение силы тяжести. Сила сопротивления воздуха в земной с.к.: $\mathbf{f}_g = [-f_x, -f_y, -f_z]^T$, где f_x, f_y, f_z – проекции силы сопротивления воздуха в земной с.к. Сила тяги в связанной с.к.:

$$\mathbf{P}_b = [P_x, P_y, P_z]^T = [0, P, 0]^T,$$

$$P = \sum_{i=1}^4 P_i = \sum_{i=1}^4 c_{P_i} \omega_i^2,$$

$$c_{P_i} = \frac{1}{2} \rho c_a S_i r_i^2,$$
(1)

где P – суммарная тяга, P_i – сила тяги i -го винта, c_{P_i} или k_i – коэффициент силы тяги i -го винта, r_i – радиус i -го винта, S_i – площадь ометаемой лопастями i -го винта поверхности, ρ – плотность воздуха, c_a – коэффициент подъемной силы винта.

Сила тяги в нормальной земной с.к.: $\mathbf{P}_g = [P_{x_g}, P_{y_g}, P_{z_g}] = \mathbf{R}\mathbf{P}_b$.

Уравнение динамики движения центра масс БПЛА в нормальной земной с.к.:

$$\ddot{\mathbf{X}}_{цм_g} = \frac{\mathbf{G}_g + \mathbf{P}_g + \mathbf{f}_g}{m}.$$

Уравнение динамики движения ц.м. БПЛА в нормальной земной с.к. в проекциях на оси этой с.к.:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{P(-\cos \gamma \cos \psi \sin \vartheta + \sin \gamma \sin \psi) - f_x}{m}, \\ \ddot{y} = \frac{P(\cos \gamma \cos \vartheta) - f_y - mg}{m}, \\ \ddot{z} = \frac{P(\cos \gamma \sin \psi \sin \vartheta + \sin \gamma \cos \psi) - f_z}{m}. \end{cases}$$
(2)

Угловая скорость вращения БПЛА в связанной с.к.: $\mathbf{w}_b = [w_x, w_y, w_z]$, где w_x, w_y, w_z – проекции вектора угловой скорости аппарата в связанной с.к. Производная угловой скорости вращения БПЛА в связанной с.к.: $\boldsymbol{\varepsilon}_b = [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z]$, где $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – проекции производной вектора угловой скорости аппарата в связанной с.к.

Вектор кинетического момента: $\mathbf{K}_b = \mathbf{I}\mathbf{w}_b$. Производная кинетического момента: $\dot{\mathbf{K}}_b = \mathbf{I}\boldsymbol{\varepsilon}_b$. Изменение кинетического момента: $\dot{\mathbf{K}}_b + \mathbf{w}_b \times \mathbf{K}_b = \mathbf{M}_{R_b}$, где \mathbf{M}_{R_b} – результирующий момент в связанной с.к.

Уравнения динамики углового движения в связанной с.к. можно записать в виде

$$\begin{cases} \dot{w}_x = \frac{I_y - I_z}{I_x} w_y w_z + \frac{M_{R_x}}{I_x}, \\ \dot{w}_y = \frac{I_z - I_x}{I_y} w_x w_z + \frac{M_{R_y}}{I_y}, \\ \dot{w}_z = \frac{I_x - I_y}{I_z} w_x w_y + \frac{M_{R_z}}{I_z}, \end{cases}$$
(3)

где $M_{R_x}, M_{R_y}, M_{R_z}$ – проекции результирующего момента.

Результирующий момент состоит из момента, создаваемого винтами, и гироскопических моментов двигателей и винтов. В этой работе инерционность винтов не учитывается.

Проекция результирующего момента с учетом моментов, создаваемых винтами, гироскопических моментов двигателей и винтов и возмущающих моментов определяются как сумма соответствующих проекций:

$$\begin{aligned} M_{R_x} &= M_{q_x} + M_{p_x} + M_{m_x} + M_{f_x}, \\ M_{R_y} &= M_{q_y} + M_{p_y} + M_{m_y} + M_{f_y}, \\ M_{R_z} &= M_{q_z} + M_{p_z} + M_{m_z} + M_{f_z}. \end{aligned}$$
(4)

Используя кинематические уравнения Эйлера, изменения углов Эйлера определяются через проекции угловой скорости следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{\gamma} = w_x \cos \vartheta - w_y \sin \vartheta, \\ \dot{\psi} = (w_x \sin \vartheta + w_y \cos \vartheta) / \cos \gamma, \\ \dot{\vartheta} = w_z + \sin \vartheta \operatorname{tg} \gamma w_x + \cos \vartheta \operatorname{tg} \gamma w_y. \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, система нелинейных дифференциальных уравнений в форме Коши имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, & \dot{x}_2 = -\frac{f_x - (\sin x_{13} \sin x_{14} - \cos x_{13} \cos x_{14} \sin x_{15})P}{m}, \\ \dot{x}_3 = x_4, & \dot{x}_4 = -\frac{(f_y + gm - \cos x_{13} \cos x_{15})P}{m}, \\ \dot{x}_5 = x_6, & \dot{x}_6 = -\frac{f_z - (\cos x_{14} \sin x_{13} + \cos x_{13} \sin x_{14} \sin x_{15})P}{m}, \\ \dot{x}_7 = x_8, & \dot{x}_8 = \frac{M_{R_x}}{I_x} + \frac{I_y - I_z}{I_x} x_{10} x_{12}, \\ \dot{x}_9 = x_{10}, & \dot{x}_{10} = \frac{M_{R_y}}{I_y} + \frac{-I_x + I_z}{I_y} x_8 x_{12}, \\ \dot{x}_{11} = x_{12}, & \dot{x}_{12} = \frac{M_{R_z}}{I_z} + \frac{I_x - I_y}{I_z} x_8 x_{10}, \\ \dot{x}_{13} = x_8 \cos x_{15} - x_{10} \sin x_{15}, \\ \dot{x}_{14} = x_{10} \cos x_{15} + x_8 \frac{\sin x_{15}}{\cos x_{13}}, \\ \dot{x}_{15} = x_{12} + x_{10} \cos x_{15} \operatorname{tg} x_{13} + x_8 \sin x_{15} \operatorname{tg} x_{13}, \end{cases} \quad (6)$$

где $x_1 = x$, $x_2 = \dot{x}$, $x_3 = y$, $x_4 = \dot{y}$, $x_5 = z$, $x_6 = \dot{z}$, $x_7 = w_x$, $x_8 = \dot{w}_x$, $x_9 = w_y$, $x_{10} = \dot{w}_y$, $x_{11} = w_z$, $x_{12} = \dot{w}_z$, $x_{13} = \gamma$, $x_{14} = \psi$, $x_9 = w_y$, $x_{15} = \vartheta$.

Математическая модель БПЛА (6) без учета возмущений и перекрестных связей в связанной системе координат в форме Коши может быть записана следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, & \dot{x}_7 = x_8, \\ \dot{x}_2 = \frac{(\sin x_{13} \sin x_{14} - \cos x_{13} \cos x_{14} \sin x_{15})P}{m}, & \dot{x}_8 = \frac{M_{R_x}}{I_x}, \\ \dot{x}_3 = x_4, & \dot{x}_9 = x_{10}, \quad \dot{x}_{13} = x_8, \\ \dot{x}_4 = -\frac{(gm - \cos x_{13} \cos x_{15})P}{m}, & \dot{x}_{10} = \frac{M_{R_y}}{I_y}, \quad \dot{x}_{14} = x_{10}, \\ \dot{x}_5 = x_6, & \dot{x}_{11} = x_{12}, \quad \dot{x}_{15} = x_{12}, \\ \dot{x}_6 = \frac{(\cos x_{14} \sin x_{13} + \cos x_{13} \sin x_{14} \sin x_{15})P}{m}, & \dot{x}_{12} = \frac{M_{R_z}}{I_z}, \end{cases} \quad (7)$$

Упрощенная математическая модель (7) может быть записана следующим образом:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{(\sin \gamma \sin \psi - \cos \gamma \cos \psi \sin \vartheta)P}{m}, & \ddot{\gamma} = \frac{M_{qx}}{I_x}, \\ \ddot{y} = \frac{-gm + \cos \gamma \cos \vartheta P}{m}, & \ddot{\psi} = \frac{M_{qy}}{I_y}, \\ \ddot{z} = \frac{(\cos \psi \sin \gamma + \cos \gamma \sin \psi \sin \vartheta)P}{m}, & \ddot{\vartheta} = \frac{M_{qz}}{I_z}. \end{cases} \quad (8)$$

Сила тяги и управляющие моменты для системы уравнений (8):

$$\begin{cases} P = m \frac{\ddot{y} + g}{\cos \gamma \cos \vartheta} \\ M_{qx} = \ddot{\gamma} I_x \\ M_{qy} = \ddot{\psi} I_y \\ M_{qz} = \ddot{\vartheta} I_z. \end{cases} \quad (9)$$

Квадраты угловых скоростей вращения винтов, необходимые для создания управляющих моментов и силы тяги, могут быть выражены следующим образом:

$$\begin{cases} \omega_1^2 = \frac{P}{4k} - \frac{M_{qx}}{2kl} - \frac{M_{qy}}{4b}, \\ \omega_2^2 = \frac{P}{4k} + \frac{M_{qz}}{2kl} + \frac{M_{qy}}{4b}, \\ \omega_3^2 = \frac{P}{4k} + \frac{M_{qx}}{2kl} - \frac{M_{qy}}{4b}, \\ \omega_4^2 = \frac{P}{4k} - \frac{M_{qz}}{2kl} + \frac{M_{qy}}{4b}. \end{cases} \quad (10)$$

Таким образом, задача управления БПЛА может быть сведена к задаче определения потребных силы тяги и управляющих моментов.

Выполним линеаризацию математической модели движения БПЛА в пространстве без учета перекрестных связей и возмущений (7) в соответствии с [16]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \begin{pmatrix} \sin x_7 \sin x_9 + x_7 (\cos x_7 \sin x_9 + \cos x_9 \sin x_7 \sin x_{11}) + \\ + x_9 (\cos x_9 \sin x_7 + \cos x_7 \sin x_9 \sin x_{11}) - \\ - \cos x_7 \cos x_9 \sin x_{11} - x_{11} \cos x_7 \cos x_9 \cos x_{11} \end{pmatrix} u_1, \\ \dot{x}_3 = x_4, \\ \dot{x}_4 = (\cos x_7 \cos x_{11} - x_7 \cos x_{11} \sin x_7 - x_{11} \cos x_7 \sin x_{11}) u_1 - g, \\ \dot{x}_5 = x_6, \\ \dot{x}_6 = \begin{pmatrix} (\cos x_9 \sin x_7 + \cos x_7 \sin x_9 \sin x_{11}) + \\ + x_7 (\cos x_7 \cos x_9 - \sin x_7 \sin x_9 \sin x_{11}) - \\ - x_9 (\sin x_7 \sin x_9 - \cos x_7 \cos x_9 \sin x_{11}) \\ + x_{11} (\cos x_7 \cos x_{11} \sin x_9) \end{pmatrix} u_1, \\ \dot{x}_7 = x_8, \quad \dot{x}_9 = x_{10}, \quad \dot{x}_{11} = x_{12}, \\ \dot{x}_8 = \frac{u_2}{I_x}, \quad \dot{x}_{10} = \frac{u_3}{I_y}, \quad \dot{x}_{12} = \frac{u_4}{I_z}, \end{cases} \quad (11)$$

где $u_1 \equiv P$, $u_2 \equiv M_{qx}$, $u_3 \equiv M_{qy}$, $u_4 \equiv M_{qz}$; здесь аргументы тригонометрических функций имеют смысл выбранной рабочей точки.

Для нулевой рабочей точки (11) примет вид

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, & \dot{x}_3 = x_4, & \dot{x}_5 = x_6, \\ \dot{x}_2 = -u_1 x_{11}, & \dot{x}_4 = u_1 - g, & \dot{x}_6 = x_7 u_1, \\ \dot{x}_7 = x_8, & \dot{x}_9 = x_{10} & \dot{x}_{11} = x_{12}, \\ \dot{x}_8 = \frac{u_2}{I_x}, & \dot{x}_{10} = \frac{u_3}{I_y}, & \dot{x}_{12} = \frac{u_4}{I_z}. \end{cases} \quad (12)$$

Из анализа (12) следует, что для линеаризованной модели при нулевых начальных условиях возможно выполнить разделение на движение в двух ортогональных вертикальных плоскостях и независимое движение вокруг ц.м. по каналам тангажа, крена и рыскания. При этом для линеаризованной модели канал рыскания не оказывает влияния на движение в вертикальной плоскости и может рассматриваться отдельно.

Математическая модель движения БПЛА в вертикальной плоскости может быть получена из упрощенной математической модели движения БПЛА в пространстве (12).

В силу симметрии аппарата рассмотрим движение вдоль оси x :

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\frac{\sin \vartheta P}{m}, \\ \ddot{y} = \frac{-gm - \cos \vartheta P}{m}, \\ \ddot{\vartheta} = \frac{M_{qz}}{I_z}. \end{cases} \quad (13)$$

Выполним замену переменных и запишем систему уравнений (13) в форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, & \dot{x}_3 = x_4, & \dot{x}_5 = x_6, \\ \dot{x}_2 = -\frac{u_1 \sin x_5}{m}, & \dot{x}_4 = \frac{-gm - u_1 \cos x_5}{m}, & \dot{x}_6 = \frac{u_2}{I_z}, \end{cases} \quad (14)$$

где x_1 – боковое перемещение, x_2 – скорость бокового перемещения, x_3 – высота, x_4 – скорость изменения высоты, x_5 – угол тангажа, x_6 – скорость изменения угла тангажа, u_1 – управляющее ускорение (сила тяги), u_2 – управляющий момент.

Выполним линеаризацию математической модели движения БПЛА в вертикальной плоскости (14) в соответствии с [17]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\frac{u_1 \sin x_5}{m} - \frac{u_1 \cos x_5}{m}, \\ \dot{x}_3 = x_4, \\ \dot{x}_4 = \frac{u_1 \cos x_5}{m} - \frac{u_1 \sin x_5}{m} - g, \\ \dot{x}_5 = x_6, \\ \dot{x}_6 = \frac{u_2}{I_z}, \end{cases} \quad (15)$$

здесь аргументы тригонометрических функций имеют смысл выбранной рабочей точки.

Для нулевой рабочей точки (15) примет вид

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, & \dot{x}_3 = x_4, & \dot{x}_5 = x_6, \\ \dot{x}_2 = -\frac{u_1}{m}, & \dot{x}_4 = \frac{u_1}{m} - g, & \dot{x}_6 = \frac{u_2}{I_z}. \end{cases} \quad (16)$$

Исходные данные для моделирования

Моделирование выполняется для систем уравнений (6) и (7) для последующего анализа и сравнения движения БПЛА с учетом и без учета перекрестных связей.

При выполнении моделирования используются исходные данные, представленные в табл. 1. Эти данные аналогичны исходным данным в [18]. Аэродинамическое сопротивление при отсутствии возмущений носит диссипативный характер и при моделировании не учитывалось. На управляющие ускорения по каналам крена u_γ , рыскания u_ψ и тангажа u_ϑ наложены ограничения $|u_\gamma| \leq [a_\gamma]$, $|u_\psi| \leq [a_\psi]$, $|u_\vartheta| \leq [a_\vartheta]$ соответственно. На желаемое ускорение, создаваемой силой тяги наложено ограничение $|P_d| \leq [P_d]$.

Желаемые значения углов тангажа и крена изменялись во времени следующим образом:

$$\vartheta_d(t) = \begin{cases} \Delta\vartheta, t < 3 \\ 0, t \geq 3 \end{cases}, \quad \gamma_d(t) = \begin{cases} \Delta\vartheta, t < 3 \\ 0, t \geq 3 \end{cases}, \quad (17)$$

где $\Delta\vartheta$ – желаемое значение угла тангажа и крена.

Система управления ориентацией БПЛА построена с использованием двух ПИД-регуляторов для канала крена и тангажа. Для обоих каналов используются коэффициенты: $k_p = 4$, $k_D = 4$. Управление по каналу рыскания не производится.

Желаемые управляющие моменты по каналам крена и тангажа можно определить:

$$\begin{aligned} r_\gamma(t) &= k_p \varepsilon_\gamma(t) + k_D \dot{\varepsilon}_\gamma, & r_\vartheta(t) &= k_p \varepsilon_\vartheta(t) + k_D \dot{\varepsilon}_\vartheta, \\ \varepsilon_\gamma(t) &= \gamma_d(t) - \gamma(t), & \varepsilon_\vartheta(t) &= \vartheta_d(t) - \vartheta(t), \\ u_\gamma &= I_x r_\gamma(t), & u_\vartheta &= I_z r_\vartheta(t), \\ |u_\gamma| &\leq [a_\gamma], & |u_\vartheta| &\leq [a_\vartheta], \end{aligned}$$

при этом $M_{qx} = u_\vartheta$, $M_{qz} = u_\gamma$, $M_{qy} = u_\psi$.

Система управления движением ц.м. БПЛА построена с использованием ПД-регулятора для канала высоты: $k_p = 6$, $k_D = 4,5$. Отсюда желаемая сила тяги:

$$P_d = \frac{m(u_y + g)}{\cos \gamma \cos \vartheta}, \quad u_{pd} = k_p \varepsilon_y + k_D \dot{\varepsilon}_y, \quad \varepsilon_y = y_d - y, \quad |P_d| \leq [P_d].$$

По полученным желаемым управляющим ускорениям и силе тяги по (10) вычисляются необходимые угловые скорости вращения винтов.

Моделирование движения БПЛА выполнялось в программном пакете MATLAB. В качестве метода численного интегрирования использовался метод Эйлера с фиксированным шагом 0,001 с.

Таблица 1

| Параметр | Значение | Размерность |
|---|------------------------|--------------------|
| g | 9,81 | м/с ² |
| m | 0,468 | кг |
| l | 0,225 | м |
| k | 2,98·10 ⁻⁶ | рад |
| b | 1,140·10 ⁻⁷ | рад |
| I _M | 3,357·10 ⁻⁵ | кг×м ² |
| I _x | 4,856·10 ⁻³ | кг×м ² |
| I _y | 8,801·10 ⁻³ | кг×м ² |
| I _z | 4,856·10 ⁻³ | кг×м ² |
| ω _i | [300, 900] | рад/с |
| [a _γ], [a _ψ], [a _θ] | 1 | рад/с ² |
| [u _y] | 19,62 | м/с ² |

Результаты моделирования движения БПЛА

На рис. 2 представлены результаты моделирования движения БПЛА с учетом и без учета перекрестных связей.

Оценка влияния перекрестных связей на движения БПЛА производится по двум критериям: $\Delta\psi$ – значение угла рыскания в конце моделирования для модели, описываемой системой уравнений; $\Delta\varepsilon$ – «промах», расстояние между положением БПЛА в горизонтальной плоскости в конце моделирования для моделей, описываемых системами уравнений и соответственно.

Желаемое значение углов тангажа и крена $\Delta\vartheta$ изменяется от 0° до 25° с шагом 1°.

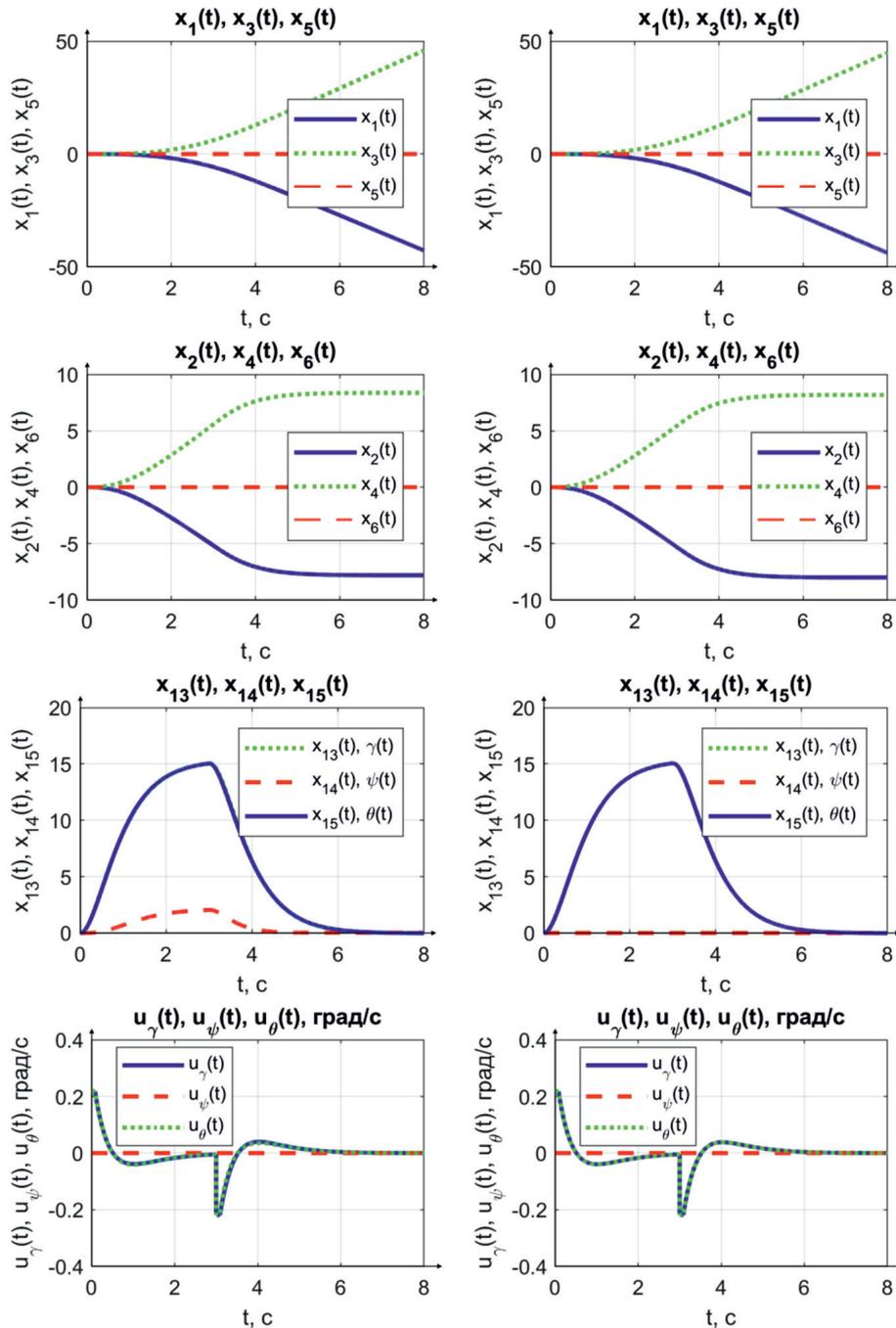


Рис. 2. Результаты моделирования движения БПЛА с учетом перекрестных связей (слева) и без учета перекрестных связей (справа)

На рис. 3 представлены: зависимость величины критерия $\Delta\psi$ от $\Delta\vartheta$, зависимость величины критерия $\Delta\epsilon$ от $\Delta\vartheta$ и зависимость величины критерия $\Delta\epsilon$ от дальности перелета ρ в конце моделирования. Зависимости были интерполированы на интервале между точками.

Из анализа рис. 3 следует, что с увеличением желаемого угла тангажа происходит нелинейный рост угла рыскания и нелинейный рост «промаха». При этом при значении желаемого угла тангажа более 10° «промах» превышает 1 м на расстоянии 102,1 м от точки (0;0) ($11^\circ - 1,257$ м).

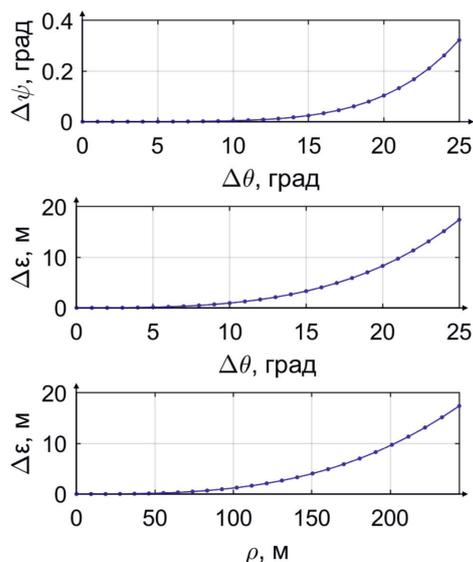


Рис. 3. Оценка влияния перекрестных связей на движение БПЛА

Заключение

Разработана математическая модель БПЛА как объекта управления с учетом и без учета возмущений и перекрестных связей в пространстве. Получена математическая модель движения БПЛА в вертикальной плоскости. Получены линеаризованные математические модели движения БПЛА в пространстве и в вертикальной плоскости. Выполнено моделирование движения БПЛА в пространстве с учетом и без учета перекрестных связей и проведена оценка влияния этих связей.

По результатам моделирования можно сделать рекомендацию по использованию полученной системы с учетом перекрестных связей, поскольку данная система повышает точность описания движения квадрокоптера.

Работа выполнена при поддержке гранта ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) (Договор № 12089ГУ2/2016).

Список литературы

1. Фам С.Ф., Цибизова Т.Ю. Системы управления летательными аппаратами // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: Труды международной научно-практической конференции (Московская область, г. Дедовск, 18–21 декабря 2014 г.). М.: ИИУ МГОУ, 2014. С. 194–196.
2. Карпунин А.А., Зазирный Е.А. Исследование задачи аппроксимации траектории плоского разворота летательного аппарата в заданном диапазоне высот и скоростей на основе

рассчитанных опорных траекторий // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 10 (22) [Электронный ресурс]. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/1090.html> (дата обращения: 31.01.19). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-10-1090.

3. Цибизова Т.Ю., Чан Нгок Хьонг, Нгуен Динь Тхай. Мониторинг ситуации с использованием беспилотных летательных аппаратов // Научное обозрение. 2015. № 9. С. 154–159.

4. Zulu A., John S. A Review of Control Algorithms for Autonomous Quadrotors. Open Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 4. P. 547–556. DOI: 10.4236/ojapps.2014.414053.

5. Necdet Sinan Özbek. Feedback control strategies for quadrotor-type aerial robots: a survey. Transactions of the Institute of Measurement and Control. Vol. 38. No. 5. 2015. P. 529–554. DOI: 10.1177/0142331215608427.

6. Гэн К., Чулин Н.А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 5. С. 218–235.

7. Belkheiri M. Different linearization control techniques for a quadrotor system. CCCA12, Marseilles. 2012. P. 1–6. DOI: 10.1109/CCCA.2012.6417914.

8. Föhn P., Scaramuzza D. Onboard State Dependent LQR for Agile Quadrotors. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2018. Brisbane, 21 May 2018 – 25 May 2018. P. 1–8.

9. Fessi R., Bouall'egue S. Modelling and Optimal LQG Controller Design for a Quadrotor UAV. Proceedings of the 3th International conference on automation, control engineering and computer science (ACECS 2016). Hammamet, Tunisia. P. 264–270.

10. Hodzic M., Kurak S. Control and Estimation of a Quadcopter Dynamical Model. Periodicals of Engineering and Natural Sciences. Vol. 6. No. 1. P. 63–75. DOI: 10.21533/pen.v6i1.164.g174.

11. Satıcı A.C., Poonawala H., Spong M.W. Robust Optimal Control of Quadrotor UAVs. IEEE Access. Vol. 1. 2013. P. 79–93. DOI: 10.1109/ACCESS.2013.2260794.

12. Gherouat O., Matouk D., Hassam A., Abdessemed F. Sliding Mode Control for a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle. J. Automation & Systems Engineering. Vol. 10. No. 3. 2017. P. 150–157.

13. Xu Rong, Umit Ozguner. Sliding Mode Control of a Quadrotor Helicopter. Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control. 2006. P. 4957–4962. DOI: 10.1109/CDC.2006.377588.

14. Lee D., Kim H.J., Sastry S. Feedback linearization vs. adaptive sliding mode control for a quadrotor helicopter. International Journal of Control, Automation and Systems. 2009. No. 73, P. 419–428. DOI: 10.1007/s12555-009-0311-8.

15. Ванин А.В., Воронов Е.М., Карпунин А.А. Оптимизация управления в двухуровневой иерархической системе стабилизации – наведения летательного аппарата // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 11 (11) [Электронный ресурс]. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/422.html> (дата обращения: 31.01.2019). DOI: 10.18698/2308-6033-2012-11-422.

16. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти томах; 2-е издание. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 656 с.

17. Канатников А.Н., Аюпян К.Р. Управление плоским движением квадрокоптера // Математика и математическое моделирование. 2015. № 2. С. 23–36. DOI: 10.7463/mathm.0215.0789477.

18. Luukkonen T. Modelling and control of quadcopter. Aalto University. Espoo. 2011. P. 2–26.

УДК 681.51:004.032.26

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Килин Г.А., Кавалеров Б.В.

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь,
e-mail: thisisforasm@rambler.ru, kbv@pstu.ru

В настоящее время интересы развития устойчивой электроэнергетики диктуют необходимость внедрения современных методов автоматического управления для генерирующих модулей, которые часто строятся на базе конвертированных авиационных двигателей. Узким местом здесь продолжает оставаться использование традиционных подходов и традиционных устройств системы управления, которые также, как правило, строятся на незначительной доработке, а точнее, перенастройке авиационных прототипов. В результате неэффективной работы газотурбинной установки (ГТУ) страдает качество вырабатываемой электроэнергии по частоте и напряжению. Для получения системы автоматического управления (САУ), удовлетворяющей условиям выработки электроэнергии, необходимо проводить большое количество испытаний объекта управления. При наличии математической модели газотурбинной электростанции (ГТЭС) процедура настройки параметров САУ ГТЭС значительно упрощается, так как исключается затратная по времени и ресурсам эксплуатация реального объекта. При этом не все существующие модели ГТЭС подходят для процедуры настройки параметров регулятора САУ. В статье описывается нейросетевая математическая модель ГТЭС, которая специально создавалась как объект управления для ее последующего использования при настройке САУ. Использование нейросетевой математической модели ГТЭС на этапе научно-исследовательских испытаний приводит к значительным сокращениям времени отладки САУ ГТЭС на всех последующих этапах испытаний.

Ключевые слова: автоматизация испытаний, газотурбинная установка, газотурбинная электростанция, математическая модель, искусственные нейронные сети, автоматическая настройка

NEURAL NETWORK MATHEMATICAL MODEL FOR AUTOMATION TESTS OF ACS GTU ELECTRIC POWER PLANTS OF SMALL AND MEDIUM POWER

Kilin G.A., Kavalеров B.V.

Federal State Educational Institution of Higher Education Perm National Research Polytechnic
University, Perm, e-mail: thisisforasm@rambler.ru, kbv@pstu.ru

In our days, the interests of developing sustainable electric power industry dictate the need to introduce automatic control modern methods for generating modules, which are often built on the basis of converted aircraft engines. The bottleneck here continues to be the use of traditional approaches and traditional control system devices, which also, as a rule, are based on minor revision, or rather retuning, of aircraft prototypes. As a result of the inefficient operation of the gas turbine unit (GTU), the generated electricity quality in frequency and voltage suffers terms. To obtain an automatic control system (ACS) that satisfies the conditions for generating electricity, it is necessary to conduct a large number of control object tests. In the presence of a gas-turbine power plant (GTPP) mathematical model, the procedure for setting the parameters of the GTPP ACS is greatly simplified, since the real object is excluded in time and resources terms. However, not all existing GTPP models are suitable for the procedure for setting parameters of the ACS controller. The article describes the GTPP neural network mathematical model, which was specially created as a control object for its subsequent use in setting up an ACS. The use of the GTPP neural network mathematical model at the stage of research trials leads to significant reductions in the debugging time of the ACG GTES at all subsequent testing stages.

Keywords: test automation, gas turbine unit, gas-turbine power plant, mathematical model, artificial neural networks, automatic tuning

Хорошо известно, что электроэнергетика играет определяющую роль в промышленном производстве и, как следствие, в обеспечении всей текущей жизни нашей страны. Опыт развития электроэнергетических систем (ЭЭС) в мире и в России показывает высокую востребованность применения в энергетике газотурбинных установок (ГТУ) малой и средней мощности [1–3]. В России большое число таких ГТУ создается на базе конвертированных авиационных двигателей отечественной

разработки [4], причиной является высокий уровень развития предприятий авиационного двигателестроения в нашей стране и очень большой опыт разработки ГТУ наземных версий применения, особенно активизировавшийся с начала 1990-х гг. Сегодня отечественные ГТУ малой и средней мощности широко используются для электроснабжения и теплоснабжения в городах и поселках, в отдаленных, труднодоступных районах, в воинских и пограничных частях.

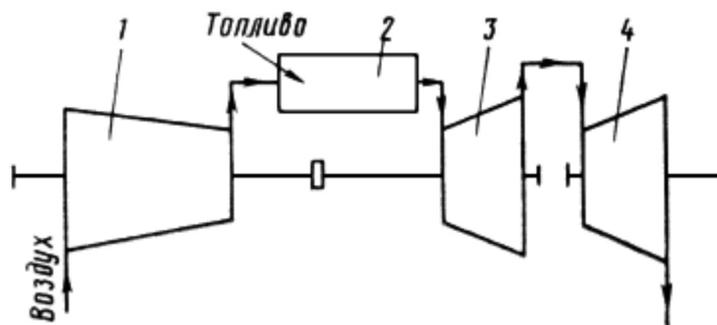


Рис. 1. Кинематическая схема двухвальной ГТУ (1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – компрессорная турбина; 4 – свободная турбина)

Для нормальной работы конвертированных авиационных ГТУ в составе газотурбинной электростанции (ГТЭС) необходима система автоматического управления (САУ) ГТУ. Одной из основных функций САУ ГТУ является обеспечение требуемых ГОСТами и отраслевыми стандартами показателей качества вырабатываемой электроэнергии. В настоящее время в отрасли существует практика использования для САУ энергетических ГТУ незначительно переработанных САУ для авиационных ГТУ. Такая ситуация вполне оправдана. Ведь при этом в полной мере используются богатые наработки отраслевых проектных организаций. Однако такие САУ ГТУ изначально проектировались для авиации. Это означает, что «привязка» САУ к новым условиям работы требует увеличения удельной доли испытаний таких САУ в условиях, максимально приближенных к эксплуатации САУ ГТУ в составе ГТЭС, при этом именно с учетом проводимых испытаний должна выполняться настройка и подстройка САУ ГТУ. При этом существенно увеличивается длительность и стоимость таких испытаний. Ситуацию усугубляет то, что в настоящее время при разработке, испытаниях и настройке САУ ГТУ влияние ЭЭС учитывается лишь в незначительной мере. Все это приводит к серьезным препятствиям в обеспечении необходимых показателей качества электроэнергии, вырабатываемой газотурбинными электростанциями (ГТЭС) [5].

Учет влияния ЭЭС при испытаниях ГТУ необходим еще и потому, что в силу своей конструкции ГТУ представляют собой довольно сложные для управления объекты (рис. 1). По этой причине для выработки эффективных алгоритмов управления, для настройки автоматических регуляторов САУ ГТУ должны проходить испытания во взаимодействии с другими подсистемами, прежде всего с электрогенератором и ЭЭС

в целом. Отсутствие таких испытаний не только затягивает процедуры настройки САУ в ходе испытаний, но и снижает качество вырабатываемой ГТЭС электроэнергии по частоте и напряжению, что особенно проявляется при автономной работе ГТЭС. В статье предлагается для испытаний и настройки САУ ГТУ использовать нейросетевую модель ЭЭС, позволяющую гибко и эффективно имитировать широкий класс возмущений электрической системы, действующих на САУ ГТУ.

Материалы и методы исследования

Испытания САУ ГТУ состоят из последовательности этапов. Каждый из этапов испытаний ГТУ в той или иной мере сопровождается настройкой регуляторов САУ ГТУ (рис. 2) [6, 7].



Рис. 2. Этапы испытаний САУ ГТУ

На этапах испытания САУ ГТУ выполняются следующие работы:

1) при научно-исследовательских испытаниях проводится разработка структуры САУ;

2) при опытно-конструкторских испытаниях проводится коррекция структуры САУ;

3) во время эксплуатационных испытаний проводятся работы по диагностике отказов и технического состояния САУ, а также модификация САУ.

Процедура настройки является очень затратной, как по времени, так и по человеческим и материальным ресурсам, особенно затратными являются операции ручной настройки САУ при доводочных и эксплуатационных испытаниях, так как в этом случае время настройки существенно возрастает при одновременном увеличении расходов на эксплуатацию ГТЭС.

Кроме того, на каждом из этапов испытаний в отдельности приходится организовывать циклические процедуры настройки и проверки настроенных параметров (рис. 3)

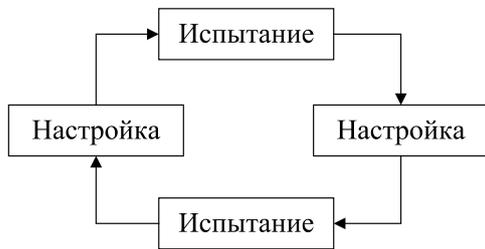


Рис. 3. Циклические процедуры настройки и проверки настроенных параметров в ходе испытаний

Приходится многократно подстраивать параметры регуляторов САУ и проверять их в ходе испытаний. Поэтому целесообразным является перенос основного массива процедур настройки на более ранние этапы испытаний, с натурных и полунатурных испытаний на компьютерные испытания. Но для этого нужна адекватная информация о поведении САУ в реальных условиях эксплуатации. На начальных этапах испытаний эту информацию можно получать от адекватной математической модели газотурбинной электростанции [8], работающей на выделенную электрическую нагрузку.

К сожалению, большинство известных математических моделей ГТУ и ЭЭС мало пригодны для автоматизации настройки параметров регуляторов САУ ГТУ, так как они либо разрабатываются с другой целью, либо их быстродействие недостаточное [4, 9, 10]. Именно поэтому предлагается разработать принципиально новую – нейросетевую модель, объединяющую в своем составе ГТУ и ЭЭС. Такая модель создается для автоматизации настройки параметров регуляторов САУ ГТУ, на ее основе

может быть предложена новая методика настройки САУ ГТУ на различных этапах испытаний. Разрабатываемая модель должна включать в себя не только ГТУ, но и ЭЭС, поскольку именно режимная ситуация в ЭЭС определяет текущие особенности функционирования САУ ГТУ. Кроме того, модель должна быть существенно упрощенной, это необходимо для достижения приемлемой скорости моделирования и многократной автоматической настройки (как это показано на рис. 2). Но в то же время такая модель должна обладать достаточной точностью для получения на ее основе адекватных параметров настройки регуляторов САУ.

Поэтому налицо определенная проблема. Процесс настройки САУ ГТУ является весьма трудной и затратной процедурой (по различным экспертным оценкам вплоть до 50% стоимости ГТУ). Существующие же модели мало пригодны для автоматической настройки параметров регуляторов САУ ГТУ. Чтобы преодолеть проблему, необходимо разработать объединенную нейросетевую модель ГТУ совместно с ЭЭС, разработать новые алгоритмы моделирования, идентификации и настройки САУ ГТУ. Результатом исследований должна стать новая методика автоматизированных испытаний и настройки САУ ГТУ на основе нейросетевой модели ГТУ и ЭЭС.

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, в результате анализа недостатков существующих моделей ГТУ и ЭЭС [11] предложен альтернативный вариант построения математической модели ГТЭС на основе нейронной сети (рис. 4).

Где n_{TK} – частота вращения турбокомпрессора ГТУ; n_{CT} – частота вращения свободной турбины ГТУ; U – напряжение синхронного генератора (СГ); I – ток СГ; N_G – мощность СГ; G_T – расход топлива; U_F^G – напряжение обмотки возбуждения; P – активная мощность нагрузки сети (также в модель может быть легко введена реактивная мощность); w_{bc}^a – весовой коэффициент связи (a – индекс таблицы весов, b – номер нейрона в слое, откуда идет связь, c – номер нейрона в слое, куда приходит связь). Количество нейронов в обоих скрытых слоях равно 30 ($n = m = 30$).

На основе нейронной сети (рис. 4) получена математическая модель ГТЭС. Данная модель показала требуемую адекватность, как в разомкнутом, так и в замкнутом контуре с работающим регулятором САУ ГТУ (рис. 5). В таблице показаны достигнутые меры адекватности модели.

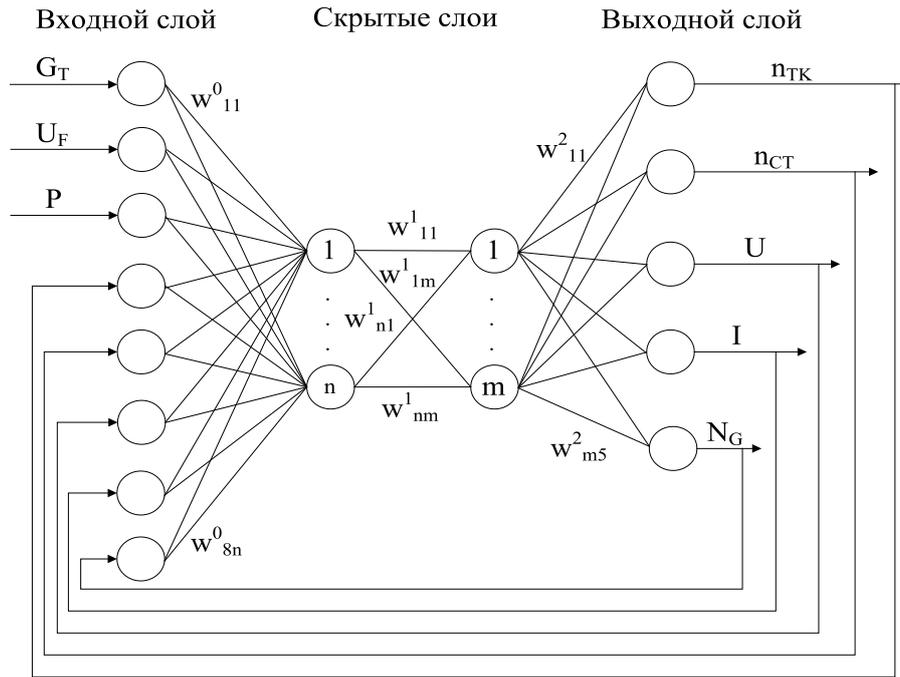


Рис. 4. Архитектура нейронной сети газотурбинной электростанции

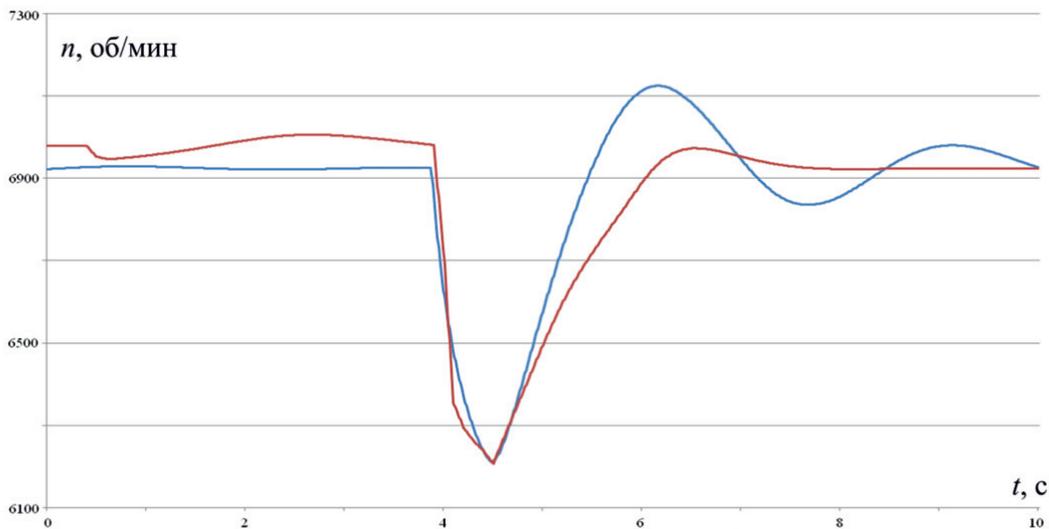


Рис. 5. Изменение частоты вращения свободной турбины n_{CT} (синяя – экспериментальная, красная – модельная) в замкнутом контуре

Меры адекватности

| Частота вращения свободной турбины | Мера адекватности модели |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| Критерий Тейла | 0,01302 |
| Критерий Пирсона (χ^2) | 18,388 ($\chi^2(0,05, 30) = 43,8$) |

Компьютерные эксперименты показали, что использование нейросетевой математи-

ческой модели газотурбинной электростанции для настройки параметров регулятора ГТУ позволяет сократить время испытаний не менее чем в 3 раза.

Заключение

Использование нейросетевой математической модели является перспективным при проведении испытаний САУ ГТУ. Во-

первых, такая модель позволяет настраивать в ходе испытаний параметры регуляторов САУ ГТУ в автоматическом режиме из-за высокого достигаемого быстродействия. Во-вторых, данная модель позволяет настраивать параметры регуляторов СГ с учетом динамики электрической части ГТЭС. Использование различных алгоритмов настройки позволит в значительной мере упростить, а также ускорить процесс настройки параметров регуляторов в ходе испытаний САУ ГТУ, что приводит к существенной экономии человеческих и материальных ресурсов при испытаниях САУ ГТУ.

Список литературы

1. Галашов Н.Н. Эффективность применения газовых турбин на ТЭС для привода собственных нужд // Известия Томского политехнического университета. 2008. № 4. С. 48–50.
2. Фахразиев И.З., Зацаринная Ю.Н. Экономические и технологические преимущества использования газотурбинных установок на ТЭС // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 291–292.
3. Фам Х.А., Рассохин В.А., Андреев К.Д. Состояние и перспективы развития энергетики Вьетнама // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2013. № 1 (166). С. 32–35.
4. Воскобойников Д.В. Имитационное моделирование физических процессов основных систем ГТУ с конвертированными авиационными ГТД // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–18. С. 3926–3930.
5. Полулях А.И., Лисовин И.Г., Кавалеров Б.В., Шигапов А.А. Исследование взаимовлияния систем управления газотурбинной установкой и электрогенератором при автоматизированной настройке регуляторов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 11. С. 129–132.
6. Зеленков Ю.А., Чувилин В.Ю., Журавлев В.Е. Комплексная автоматизация испытаний газотурбинных двигателей. Часть 2: Хранение и обработка данных // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2011. Т. 15. № 2 (42). С. 126–131.
7. Гольберг Ф.Д., Батенин А.В. Математические модели газотурбинных двигателей как объектов управления. М.: Изд-во МАИ, 1999. 82 с.
8. Килин Г.А., Один К.А., Кавалеров Б.В. Программный комплекс для получения математических моделей газотурбинных электростанций // Системы управления и информационные технологии: «Научная книга». 2015. Т. 59. № 1–1. С. 145–148.
9. Кишалов А.Е., Ахмедзянов Д.А. Повышение эффективности процесса отладки форсажных режимов при испытаниях ТРДДФ // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. Т. 16. № 2 (47). С. 87–97.
10. Кожин Д.Г., Кривошеев И.А., Горюнов И.М.. Имитационное моделирование авиационных двигателей // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/issue/view?id=106> (дата обращения: 24.11.2018).
11. Килин Г.А., Кавалеров Б.В., Один К.А. Построение быстрорешаемой модели ГТУ для автоматизированной настройки систем управления // Научные исследования и инновации. 2012. Т. 6. № 1. С. 157–164.

УДК 004.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ РАЗБИЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ УМНОЖЕНИЯ МАТРИЦ НА ТРЕХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССОРАХ С ПОЛНОСВЯЗНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ И РАЗЛИЧНЫМИ ПРОПУСКНЫМИ СПОСОБНОСТЯМИ

¹Клюева Е.Г., ²Адамов А.А., ¹Оспанова А.Е., ¹Сницарь Л.Р., ¹Кулбаева Л.Н.

¹Карагандинский государственный технический университет, Караганда,
e-mail: klyueva.e.g@gmail.com;

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Караганда

Данная статья посвящена исследованию оптимальной формы разбиения элементов матрицы между тремя абстрактными гетерогенными процессорами при выполнении операции умножения. Использование в исследовании абстрактной модели процессора позволяет применять результаты исследования для систем с различной архитектурой. Для определения оптимальной формы разбиения в работе используются непрямоугольные формы-кандидаты, выявленные в работе Эшли Дэ Флюмьер в результате применения техники перераспределения элементов матрицы между процессорами «Push»: Square Corner, Rectangle Corner, Square Rectangle, Block Rectangle, L-Rectangle, Traditional 1D Rectangular. Оптимальность форм определяется для двух классов алгоритмов матричного умножения: последовательной коммуникации с барьером и параллельной коммуникации с барьером. Для оценки коммуникационной трудоемкости алгоритмов используется модель Хокни. В статье построены математические модели времени выполнения алгоритма для каждой рассматриваемой формы-кандидата в обоих используемых алгоритмах. Сделаны выводы о том, что формы разбиения данных Rectangle Corner и Traditional 1D Rectangular не могут быть оптимальными ни при одном наборе параметров, формы Square Corner, Square Rectangle, Block Rectangle, L-Rectangle могут быть оптимальными при определенных наборах параметров.

Ключевые слова: параллельные вычисления, умножение матриц, разбиение данных, гетерогенные параллельные системы, модель Хокни, алгоритмы последовательной коммуникации с барьером, алгоритмы параллельной коммуникации с барьером

STUDYING THE OPTIMAL FORM OF PARTITIONING THE DATA FOR THE MATRIX MULTIPLICATION ON THREE FULLY CONNECTED HETEROGENEOUS PROCESSORS WITH DIFFERENT BANDWIDTHS

¹Klyueva E.G., ²Adamov A.A., ¹Ospanova A.E., ¹Snitsar L.R., ¹Kulbaeva L.N.

¹Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: klyueva.e.g@gmail.com;

²Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Karaganda

The paper presents the results of a study done to find the optimal forms of matrix element partitioning in three abstract heterogeneous processors when performing multiplication operations. An abstract processor model allows to applicate the research results in systems with different architectures. To determine the optimal partitioning form, in the work were used non-rectangular candidate forms identified by Ashley DeFlumere in her work as a result of applying the technology of redistribution of matrix elements between the processors «Push»: Square Corner, Rectangle Corner, Square Rectangle, Block Rectangle, L-Rectangle, Traditional 1D Rectangular. The optimality of forms is determined for two classes of matrix multiplication algorithms: Serial Communication with Barrier and Parallel Communication with Barrier. The Hockney model was used to evaluate the communication complexity of algorithms. Mathematical models of the algorithm execution time were introduced in the paper for each considered candidate form in both algorithms. The following conclusions were obtained: the Rectangle Corner and Traditional 1D Rectangular data partitioning forms cannot be optimal with any parameter set, the Square Corner, Square Rectangle, Block Rectangle, L-Rectangle forms can be optimal with certain parameter sets.

Keywords: parallel computing, matrix multiplication, data partitioning, heterogeneous parallel systems, Hockney model, serial communication with barrier, parallel communication with barrier

Высокопроизводительные вычисления в последние годы приобретают все большую популярность практически во всех сферах жизни, позволяя открывать новые горизонты в области применения информационных технологий в научной деятельности.

Общая тенденция в области параллельных вычислений состоит в адаптации существующих алгоритмов, разработанных для гомогенных параллельных систем, к ге-

терогенным системам. Однако допущения, принятые для однородных систем, не всегда применимы к неоднородным системам.

Параллельное умножение матриц является одной из самых распространенных задач в самых различных областях научных вычислений, таких как астрономия, метеорология, физика и химия. В то время как вопрос оптимального распределения матриц между гомогенными вычислительными

узлами достаточно широко изучен, оптимальные решения для гетерогенных систем, которые на данный момент получают все более широкое распространение, является до сих пор открытым.

Разбиение данных определяет способы распределения частей матриц среди доступных вычислительных элементов при выполнении операций линейной алгебры. Оно производится с целью сокращения времени выполнения вычислений.

Прямоугольные формы разбиения данных рассматривались в работах [1–3]. В работах [4, 5] было доказано, что при определенных соотношениях вычислительных мощностей процессоров оптимальными могут являться и непрямоугольные формы разбиения элементов матриц. Однако при этом не учитывалась разница пропускных способностей сетей передачи данных между вычислительными элементами.

Цель исследования: определить, являются ли справедливыми выводы об оптимальности форм разбиения данных, полученные в случае использования гетерогенных систем с равными пропускными способностями, для систем с различной пропускной способностью между процессорами.

Материалы и методы исследования

Для моделирования умножения матриц в данной работе используется абстрактная модель процессора, рассмотренная в работах [6, 7]. В работе [4] было доказано, что понятие абстрактного процессора, которое фокусируется главным образом на объеме коммуникаций и объеме вычислений, точно прогнозирует экспериментальную производительность множества процессоров и даже целых кластеров для матричных вычислений.

Для эффективного моделирования умножения матриц на трех абстрактных гетерогенных процессорах было сделано несколько допущений:

– в работе использованы квадратные исходные матрицы A , B и результирующая матрица C размером $N \times N$ элементов;

– элементы матрицы разделены между абстрактными процессорами P , R и S , пропорционально их вычислительным мощностям, которые определены отношением $P : R : S$, где P является самым мощным процессором и $S = 1$. $T = P + R + S$;

– процессоры объединены полносвязной топологией, с пропускными способностями сети передачи β_1 между процессорами P и S , β_2 между процессорами P и R , β_3 между процессорами S и R ;

– в качестве форм-кандидатов рассмотрены формы Square Corner (SC), Rectangle Corner (RC), Square Rectangle (SR), Block Rectangle (BR), L-Rectangle (LR), Traditional 1D Rectangular (TR), выявленные Эшли ДеФлумьер в работе [5, с. 77] в результате применения техники перераспределения элементов матрицы между процессорами «Push» (рис. 1):

– для оценки коммуникационной трудоемкости рассматриваемых алгоритмов использована модель Хокки.

Определение оптимальной формы разбиения данных для алгоритмов последовательной коммуникации с барьером

Алгоритм последовательной коммуникации с барьером (Serial Communication with Barrier, SCB) – простой алгоритм матричного умножения, в котором все данные пересылаются процессорами последовательно, вычисления начинаются только после того, как все процессоры завершили передачу данных и выполняются параллельно (рис. 2).

Время выполнения алгоритма включает в себя время коммуникации между процессорами и время, необходимое на выполнение вычислений:

$$T_{exe} = V\beta + \max(c_{P_1}, c_{P_2}, \dots, c_{P_p}), \quad (1)$$

где V – общее количество коммуникаций; c_{P_x} – время, необходимое процессору X для вычисления назначенной ему части матрицы C .

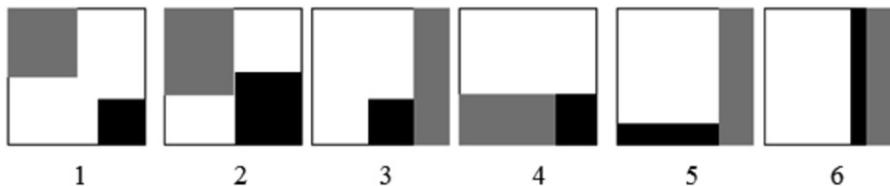


Рис. 1. Формы-кандидаты, определенные как потенциально оптимальные для трехпроцессорных систем: 1) Square Corner; 2) Rectangle Corner; 3) Square Rectangle; 4) Block Rectangle; 5) L-Rectangle; 6) Traditional 1D Rectangular

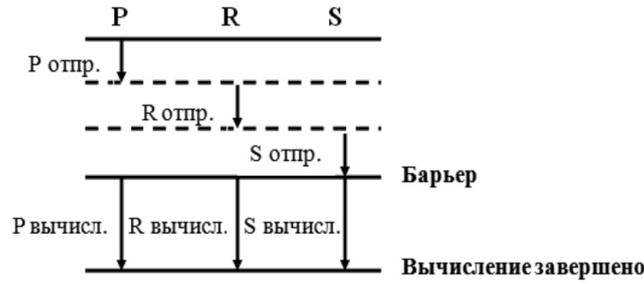


Рис. 2. Алгоритм последовательной коммуникации с барьером для процессоров P, R и S

Так как площадь матрицы и количество элементов, выделенных каждому процессору, пропорциональны его вычислительной мощности, параметр c_{P_x} будет одинаков для всех рассматриваемых форм кандидатов и, соответственно, может не учитываться при сравнении времени выполнения алгоритма.

Определим время коммуникации T_{comm} для каждой рассматриваемой формы согласно формуле (1).

$$\text{SC: } T_{comm} = 2sN\beta_1 + 2rN\beta_2,$$

$$\text{SR: } T_{comm} = (2N - r)s\beta_1 + (N^2 - s^2)\beta_2 + (r + s)s\beta_3,$$

$$\text{BR: } T_{comm} = \frac{\beta_1 N^2}{T} \left(P_r - \frac{P_r R_r}{T - P_r} + 1 \right) + \frac{\beta_2 N^2}{T} \left(P_r - \frac{P_r}{T - P_r} + R_r \right) + \frac{\beta_3 N^2}{T} (1 + R_r),$$

$$\text{LR: } T_{comm} = \frac{\beta_1 N^2}{T} (P_r + 1) + \frac{\beta_2 N^2}{T} \left(P_r + R_r \left(1 - \frac{1}{T - R_r} \right) \right) + \frac{\beta_3 N^2}{T} \left(1 + \frac{R_r}{T - R_r} \right),$$

$$\text{TR: } T_{comm} = \frac{\beta_1 N^2}{T} (P_r + 1) + \frac{\beta_2 N^2}{T} (P_r + R_r) + \frac{\beta_3 N^2}{T} (1 + R_r).$$

Для формы Rectangle Corner оптимальный размер R и S будет являться комбинированной шириной N, что не может быть истиной исходя из классификации форм-кандидатов [5, с. 78]. В качестве альтернативы установим, что $R_w + S_w = (N - 1)$. Тогда

$$\begin{aligned} \text{RC: } T_{comm} = & ((R_h + S_h)(S_w + 1) + N(N - R_h - 1))\beta_1 + \\ & + ((R_h + S_h)(R_w + 1) + N(N - S_h - 1))\beta_2 + ((R_w + S_w)(S_h + R_h - N))\beta_3. \end{aligned}$$

Для облегчения анализа полученной математической модели избавимся от коэффициента β_3 , получив отношения пропускных способностей между вычислительными элементами $\frac{\beta_1}{\beta_3}, \frac{\beta_2}{\beta_3}$. Таким образом, мы получаем четыре переменные.

Для выполнения теоретических расчетов было разработано программное обеспечение на языке программирования Java, позволяющее в текстовом виде или через web-интерфейс вводить исходные параметры $\left(P_r, R_r, \frac{\beta_1}{\beta_3}, \frac{\beta_2}{\beta_3} \right)$ и определять оптимальную форму разбиения данных (рис. 3).

Исходя из проведенного анализа полученных данных были сделаны следующие выводы. Для алгоритма SCB оптимальными могут являться формы разбиения элементов матрицы BR, LR, SC, SR. Форма LR оптимальна при значении коэффициента $\frac{\beta_1}{\beta_3} < 1$ и примерно равных мощностях процессоров P и R, значительно превышающих мощность процессора S. Форма SR может являться оптимальной в случаях малых значений коэффициентов $\frac{\beta_1}{\beta_3}, \frac{\beta_2}{\beta_3}$ и мощностях процессоров P и R, значительно превышающих мощность процессора S. Во всех

остальных случаях оптимальными являются формы BR и SC.

Определение оптимальной формы разбиения данных для алгоритмов параллельной коммуникации с барьером

Алгоритм параллельной коммуникации с барьером (PCB) предполагает, что пересылка данных между процессорами осуществляется параллельно и только после

того как коммуникация полностью завершена, процессоры приступают к параллельному выполнению вычислений (рис. 4).

Оценка времени выполнения алгоритма производится по формуле

$$T_{exe} = \max(V_{P_1}, V_{P_2}, \dots, V_{P_p})\beta + \max(c_{P_1}, c_{P_2}, \dots, c_{P_p}), \quad (2)$$

где V_{P_x} – объем данных, который должен быть передан процессором X .

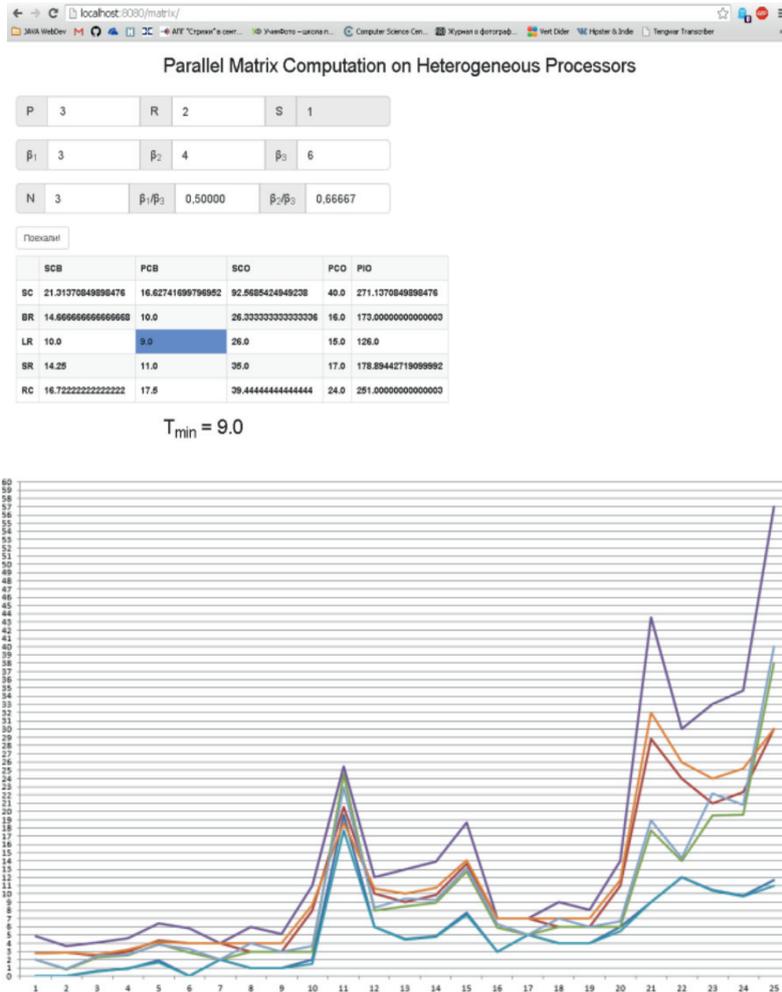


Рис. 3. Пример программных расчетов при значениях $P_r = 3, R_r = 2, \frac{\beta_1}{\beta_3} = 0,5, \frac{\beta_2}{\beta_3} = 0,67$

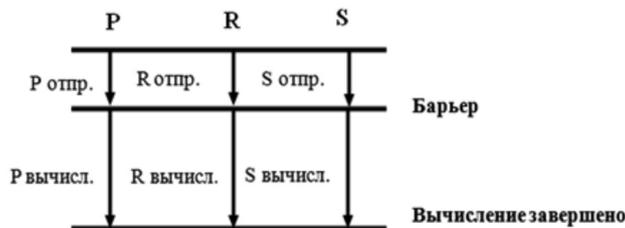


Рис. 4. Алгоритм параллельной коммуникации с барьером для процессоров P, R и S

Аналогично алгоритму SCB параметр c_{P_x} может не учитываться в формулах, определяющие оптимальности форм будет произведено исходя из времени коммуникации T_{comm} .

$$\mathbf{SC}: T_{comm} = \max(2s\beta_1(N-s) + 2r\beta_2(N-r), 2s^2\beta_1, 2r^2\beta_2),$$

$$\mathbf{SR}: T_{comm} = \max((2sN - 2s^2 - sr)\beta_1 + (N^2 - Nr - s^2)\beta_2, Nr\beta_2 + sr\beta_3, 2s^2\beta_1 + s^2\beta_3),$$

$$\mathbf{BR}: T_{comm} = \max\left(\frac{\beta_1 N^2 P_r}{T} \left(1 - \frac{R_r}{T - P_r}\right) + \frac{\beta_2 N^2 P_r}{T} \left(1 - \frac{1}{T - P_r}\right), \frac{N^2}{T} \beta_1 + \frac{N^2}{T} \beta_3, \frac{R_r N^2}{T} \beta_2 + \frac{R_r N^2}{T} \beta_3\right),$$

$$\mathbf{LR}: T_{comm} = \max\left(\frac{N^2 P_r}{T} \beta_1 + \frac{N^2 P_r}{T} \beta_2, \frac{N^2 R_r}{T} \beta_2 \left(1 - \frac{1}{T - R_r}\right) + \frac{N^2 R_r}{T(T - R_r)} \beta_3, \frac{N^2}{T} \beta_1 + \frac{N^2}{T} \beta_3\right),$$

$$\mathbf{TR}: T_{comm} = \max\left(\frac{N^2 P_r}{T} \beta_1 + \frac{N^2 P_r}{T} \beta_2, \frac{N^2 R_r}{T} \beta_2 + \frac{N^2 R_r}{T} \beta_3, \frac{N^2}{T} \beta_1 + \frac{N^2}{T} \beta_3\right),$$

$$\mathbf{RC}: T_{comm} = \max(2S_w S_h \beta_1 + S_w (S_h + R_h - N) \beta_3, 2R_w R_h \beta_2 + R_w (S_h + R_h - N) \beta_3,$$

$$(N(N - R_h - 1) - S_w S_h + S_w R_h + S_h + R_h) \beta_1 + (N(N - S_h - 1) - R_w R_h + R_w S_h + S_h + R_h) \beta_2).$$

По результатам, полученным с помощью разработанного программного обеспечения, были сделаны следующие выводы. Как и в случае использования алгоритма SCB, оптимальными могут являться только формы BR, LR, SC, SR. LR оптимальна только при значениях коэффициентов $\frac{\beta_1}{\beta_3} = 0,1$, $\frac{\beta_2}{\beta_3} < 1$ и примерно равных мощностях процессоров P и R гораздо больших S. SR может являться оптимальной при $\frac{\beta_1}{\beta_3} \leq 2$ и значениях мощностей процессоров P и R значительно превышающих мощность процессора S. В остальных случаях в зависимости от выбранных параметров оптимальными являются формы BR и SC.

Заключение

На основании полученных результатов можно сделать заключение, что, как и в случае трехпроцессорных систем с одинаковой пропускной способностью сетей, соединяющих вычислительные элементы, формы разбиения данных Rectangle Corner и Traditional 1D Rectangular не могут быть оптимальными ни при одном наборе параметров.

В отличие от результатов, полученных в работе [5, с. 85, 88], форма L-Rectangle может быть оптимальной при мощностях процессоров P и R, намного превышающих мощность процессора S и примерно равных

друг другу в случае $\frac{\beta_1}{\beta_3} < 1$ для алгоритма SCB и $\frac{\beta_1}{\beta_3} = 0,1$ для алгоритма PCB. Однако в данных случаях нет смысла в использовании маломощного процессора S, и задача может быть решена на двух процессорах.

Форма Square Rectangle является оптимальной при малых значениях коэффициентов $\frac{\beta_1}{\beta_3}, \frac{\beta_2}{\beta_3}$ и мощностях процессоров P и R, значительно превышающих мощность процессора S. При таких исходных данных задача также может быть решена с использованием двух мощных процессоров.

В остальных случаях оптимальными в случае использования обоих алгоритмов в зависимости от значений коэффициентов $P_r, R_r, \frac{\beta_1}{\beta_3}, \frac{\beta_2}{\beta_3}$ являются формы Square Corner и Block Rectangle.

Результаты исследования показывают, что данные приближенные прямоугольные решения являются субоптимальными для множества гетерогенных соотношений вычислительных мощностей процессоров при использовании рассмотренных алгоритмов умножения матриц.

Список литературы

1. Beaumont O., Boudet V., Legrand A., Rastello F., Robert Y. Heterogeneous matrix-matrix multiplication or partitioning a square into rectangles: Np-completeness and ap-

- proximation algorithms. *Parallel and Distributed Processing, 2001. Proceedings. Ninth Euromicro Workshop, IEEE.* 2001. P. 298–305.
2. Lastovetsky A.L. On grid-based matrix partitioning for heterogeneous processors. *ISPD.* 2007. P. 383–390.
 3. Clarke D., Lastovetsky A., Rychkov V. Column-based matrix partitioning for parallel matrix multiplication on heterogeneous processors based on functional performance models. *Euro-Par 2011: Parallel Processing Workshops, Springer.* 2012. P. 450–459.
 4. DeFlumere A., Lastovetsky A. Optimal data partitioning shape for matrix multiplication on three fully connected heterogeneous processors, *Euro-Par 2014WS, HeteroPar 2014 – Twelfth International Workshop on Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Platforms.* 2014. P. 201–214.
 5. DeFlumere A. Optimal Partitioning for Parallel Matrix Computation on a Small Number of Abstract Heterogeneous Processors. PhD thesis, University College Dublin. 2014. 161 p.
 6. Zhong Z., Rychkov V., Lastovetsky A. Data partitioning on heterogeneous multicore platforms. *Cluster Computing (CLUSTER), 2011 IEEE International Conference, IEEE.* 2011. P. 580–584.
 7. Zhong Z., Rychkov V., Lastovetsky, A. Data partitioning on heterogeneous multicore and multi-gpu systems using functional performance models of data-parallel applications. *Cluster Computing (CLUSTER), 2012 IEEE International Conference, IEEE.* 2012. P. 191–199.

УДК 72.01

**ТВОРЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ ИМИДЖА
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СРЕДСТВАМИ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА****Краснова Т.В., Пермяков М.Б.***ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: toma.krasnova.70@mail.ru, permyakov.1965@mail.ru*

Современный подход архитектурного брендинга предполагает трактовку городских пространств как территории для новых идей в формообразовании, технологиях, коммуникациях, преследуя цель создания комфортной, востребованной, конкурентоспособной, развивающейся среды. В статье авторами осуществлен обзор современных подходов в архитектуре и дизайне, рассматривается мировой опыт в формировании современной архитектурной среды. Приведены основные концептуальные подходы в понимании архитектурно-строительного объекта и среды. Рассмотрены условия современной комфортной городской среды, её функции и задачи. Уделено особое внимание понятию архитектурного брендинга и вопросам формирования имиджа архитектурного пространства. Так же в статье рассматриваются факторы и условия развития городской среды. Рассматриваются психологические аспекты, влияющие на восприятие комфорта в дизайне архитектурной среды, в том числе и влияние рекламного дизайна. Авторами сделан вывод о том, что современное понимание архитектуры и дизайна выходит за рамки строительных технологий, эргономики и экологичности. Выводы статьи кратко характеризуют современные представления и требования к комфортной городской среде. Статья наглядно проиллюстрирована примерами современных творческих подходов архитекторов и дизайнеров XX–XXI вв. в области градостроительства.

Ключевые слова: дизайн архитектурной среды, архитектурный брендинг, имидж, творческие подходы, концепция, проектирование, городская среда, комфорт

**CREATIVE APPROACHES IN THE FORMATION OF THE IMAGE OF THE URBAN
ENVIRONMENT BY MEANS OF ARCHITECTURE AND DESIGN****Krasnova T.V., Permyakov M.B.***Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk,
e-mail: toma.krasnova.70@mail.ru, permyakov.1965@mail.ru*

The modern approach of architectural branding involves the interpretation of urban spaces as a territory for new ideas in shaping, technology, communications, with the aim of creating a comfortable, popular, competitive, developing environment. The authors consider modern approaches in architecture and design, consider the world experience in the formation of modern architectural environment. The basic conceptual approaches in understanding the architectural and construction object and the environment are given. The conditions of modern comfortable urban environment, its functions and tasks are considered. Special attention is paid to the concept of architectural branding and the formation of the image of the architectural space. The article also considers the factors and conditions of urban environment development. The psychological aspects affecting the perception of comfort in the design of the architectural environment, including the impact of advertising design. The authors came to the conclusion that the modern understanding of architecture and design goes beyond construction technologies, ergonomics and environmental friendliness. The conclusions of the article briefly characterize the modern views and requirements for a comfortable urban environment. The article is clearly illustrated by examples of modern creative approaches of architects and designers of the 20th-21st centuries in the field of urban planning.

Keywords: architectural environment design, architectural branding, image, creative approaches, concept, design, urban environment, comfortable

Распространенное понимание архитектуры и архитектурного дизайна можно сформулировать как: здание или сооружение есть системный набор функциональных элементов, воплощенных в форму; либо: здание или сооружение – демонстрация композиционных решений из опыта личного восприятия. Оба понимания представляют здание как объект: в первом случае архитектуру трактуют как результат технической обусловленности, во втором – как реализацию эстетических ожиданий от итога строительства. Исследователь Леттербарроу предлагает изменить постановку вопроса «что есть архитектура?» (как эстетический и технологический объект) на

вопрос «как?». Приверженец теории перформативности говорил: «Главный вопрос может быть поставлен просто: каким способом здание действует? Что, другими словами, архитектурная работа действительно делает?» Леттербарроу в своих размышлениях определяет два вида архитектурного перформатива: «Первый вид – это технический и продуктивный, второй – контекстуальный и проективный» [1]. Творческая концепция есть синтезирующее ядро в междисциплинарном культурном и научном пространстве, а также в контексте среды города. Цельность архитектуры достигается «путем многомерного синтеза», объединяющего концепцию автора и социальные запро-

сы, функциональность и художественный аспект, конструктивную основу и технологические аспекты, «дух места и ощущение времени». Архитектурно-художественный синтез реализуется в городском пространстве в различных взаимосвязанных направлениях: средовом, функциональном и образно-символическом [2].

Поиском направлений развития пространства городов и их трансформации в историческом развитии занимались Аристотель, Ф. Рагцель, М. Вебер, К. Зитте, Ле Корбюзье, В.А. Глазычев, А.В. Иконников и др.

Цель исследования: определить современные подходы и требования к формированию имиджа комфортной городской среды.

Материалы и методы исследования

Основным методом исследования нами определен описательный метод, позволяющий продемонстрировать специфические особенности современных подходов к конструированию творческих концепций объектов городской среды, включающий наблюдение, интерпретации, сопоставления и обобщения. Так же нами осуществлен теоретический анализ научной литературы и применён метод классификации.

Результаты исследования и их обсуждение

Существуют разнообразные подходы и авторские концепции в современном архитектурном творчестве (рисунок). В пример можно привести:

- концепцию геометрической гармонии и порядка (Ричард Мейер);
- концепцию организации пространственной среды на основе идеи музыкальности архитектуры (Кристьян Портзампарк);
- подход на основе авторского метода «интеллектуальной дематериализации» (Жан Нувель);
- подход на основе семантической коммуникации и саморазвития архитектурной формы (Питер Эйзенман);
- концепцию интеллектуального синтеза и непрерывного сценария пространственной организации архитектурного объекта (Рэм Кулхас);
- концепцию интегрального синтеза и «театрализации» архитектурной среды (Ян Херцог и Пьер де Меррон) и др. [2].

Анализируя авторские концепции современного архитектурного творчества можно прийти к выводу, что функциональность архитектуры поддерживается не только технологическими возможностями современного строительства, эргономикой и экологической безопасностью. Приведенные примеры включают мощную об-

разно-идейную основу, раскрывающую индивидуализированную картину восприятия автором существующей действительности и его представления об «идеальном». Социальный дизайн становится неотъемлемой частью архитектурной среды, своего рода сценарием развития городской среды. Такого рода архитектурные подходы содержат огромный потенциал, позволяющий создавать не только эксклюзивные объекты, но и объекты – идейные доминанты городской среды, подчиняющие себе окружающее средовое и социальное пространство.

На сегодняшний день в области устройства и развития городов можно определить наиболее перспективные факторы:

- природные (взаимодействие с природными ресурсами города, защита экологии);
- трудовые (качество организации труда);
- научные (проведение научно-исследовательских работ) [3];
- образовательные (повышение квалификации специалистов);
- инвестиционные (развитие конкурентоспособности города и привлечение инвестиций);
- инновационные (поддержка современных технологий) [4].

Ч. Лэндри в книге «Креативный город» определяет концептуальный инструментарий как «набор концепций, идей и способов мышления, предназначенный для того, чтобы понимать, изучать и решать определенные проблемы» [5]. Перспективы концептуального проектирования будущего городов можно охарактеризовать несколькими аспектами: экологический, ресурсосберегающий, средовой, формообразующий, функциональный, производственный и технологический [6].

В начале XXI в. архитекторы сосредоточились на создании уникальных неповторимых объемов. Архитектурные формы отличаются плавностью и текучестью изгибов, фрактальностью, «живой» динамикой, отдавая предпочтение имитации природных форм и принципам биоморфизма. При проектировании концепций городов будущего внимание уделяется передовым инновационным технологиям, которые преследуют цель создать жизнестойкие проекты. Основные направления технологий XXI в.: биотехнологии, нанотехнологии, энергетика и топливо [6]. Именно эти направления дают новый толчок современному градостроительству. Применение аддитивных технологий в строительстве сопряжено с задачами обеспечения максимальной функциональности, комфорта, экономии ресурсов и времени, так же данный подход позволяет создавать наислож-

нейшие формы и конструкции [7]. При этом функциональность и комфорт также выходят на новый уровень. Иными словами, город будущего – это бионаправленный, ресурсосберегающий, экологически чи-

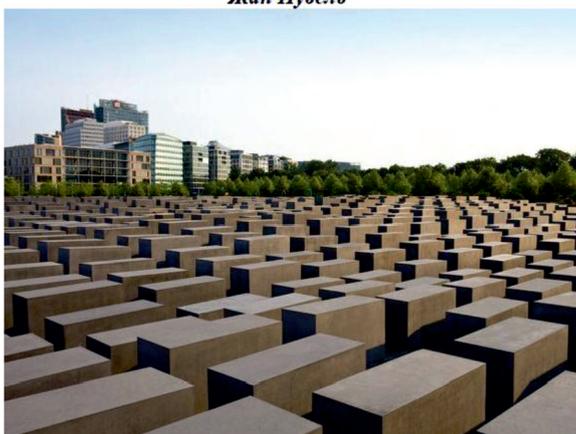
стый, лечебно-восстановительный, высокотехнологичный, информационно-коммуникационный, когнитивный, автономный, функциональный, легко адаптируемый, природоинтегрированный город [6].



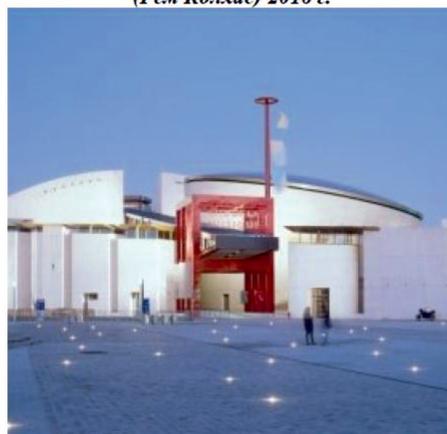
Фонд Картье – Париж, Франция (1994), архитектор Жан Нувель



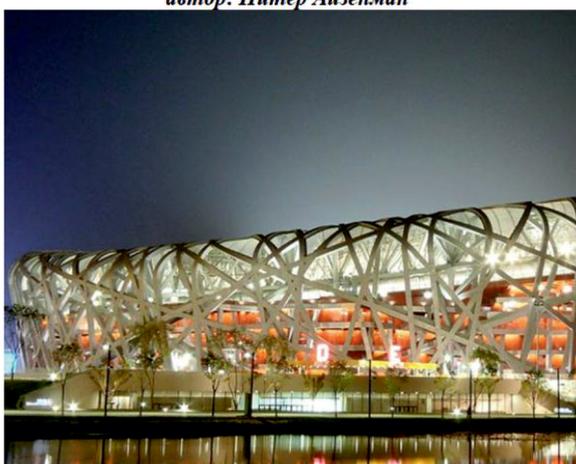
Небоскреб Маханахон. Бангкок, Таиланд (Рем Колхас) 2016 г.



Мемориал погибшим евреям Европы, Берлин (2005), автор: Питер Айзенман



Комплекс «Город музыки», Франция автор: Кристиан де Портзампарк 1995 г.



Стадион Птичье Гнездо, Пекин, 2008., архитекторы Жак Херцог и Пьер Де Мерон



Ричард Мейер. Небоскреб в стилистике Баухауза в Тель-Авиве

Визуальные примеры авторских концепций в современном архитектурном творчестве

Итальянский архитектор Альдо Росси (1931–1997 гг.) говорил, что функция здания часто меняется на протяжении времени и критерий функциональности, определяющий форму, крайне непостоянен. Форма, предназначенная для определенного рода активностей, сохраняется, но функция может уже в ней не осуществляться. Ле-тербарроу рассматривает архитектуру как декорацию или фон для развертывания разнообразия человеческой жизни. Архитектор Луис Кан (1901–1974 гг.), так же как и Лоос (1870–1933 гг.) трактовал архитектуру как концепт «обслуживающих» человека пространств, при этом самоустраиваясь. Все эти подходы объединены одной идеей – архитектурная форма должна иметь возможность видоизменяться. Принципы проектирования, основанные на свойстве перформативности архитектуры, подразумевают одновременность различных реальностей: пространственной, технической, социальной, эстетической и др. Таким образом, стираются границы между техникой и эстетикой, зданием и ландшафтом, функцией и формой, что является важнейшим сдвигом в понимании архитектуры современности [8]. Перформативность может являться возможностью создавать трансформируемую, развивающуюся архитектурную среду, направленную на перспективность развития территорий. Стремление к органичному включению в природный ландшафт побуждает авторов создавать объекты, пластичные во времени, то есть способные к перформативности в зависимости от обстоятельств и требований времени. Изменение функции возможно при сохранении творческой идеи, адаптации её под новые задачи. Стержнем в таком случае является творческая концепция автора и влияние природного ландшафта, в который вписан архитектурный (дизайнерский) объект.

Современный дизайн архитектурной среды города направлен на решение нескольких задач. Архитектурная среда в различных теориях имеет два основных смысла: «это совокупность облика зданий и сооружений и пространств, ими образуемых, а также благоустройством и системами оборудования» и «это взаимосвязь предметно-пространственного окружения с человеком» [9]. Архитектурная среда, с ее акцентными визуальными элементами, оказывает огромное воздействие на психическое состояние человека, «что непосредственно влияет на его психосоматическое здоровье, поведение, интеллектуальное и социальное развитие» [10].

Правильно спроектированная архитектурная среда способна преднамеренно влиять на эмоциональное восприятие человека

и тем самым влиять на его поведение и психологическое самочувствие [9]. Рекламная среда городского пространства тоже должна учитывать эти факторы. Современный рекламный дизайн должен не только выполнять свои непосредственные задачи привлечения внимания, но и быть более продуманным, решать задачи поддержания визуального, психологического и эстетического комфорта горожан. Формирование информационного комфорта (речь идет о вербальной и невербальной информации) позволит качественно улучшить психологический аспект восприятия городской среды.

Имидж городской среды складывается из множества компонентов, транслируемых через образ данной среды. Для архитекторов и дизайнеров образ трактуется как идеальное представление автора о существующей действительности [11].

«Города нацелены на эмоционально наполненные отношения с их жителями. И города могут и должны использовать потенциал дизайна для стимулирования чувств. Город как живое пространство состоит не только из архитектурной среды, но и из эмоций, наполняющих это пространство» [9]. Рекламный образ городской среды способен сформировать у воспринимающего человека представление об условно «идеальном». Реклама воздействует на изменение восприятия чего-либо через психологию людей, влияет на поведение потребителей. Поэтому важнейшим фактором эффективности рекламы становится творческий уровень того или иного рекламного посыла, творческой идеи (концепции) [12]. Экология рекламной информации, включенной в городскую среду, может способствовать организации её целостности. Ключевым фактором развития города может стать архитектурно-строительный брендинг территорий. Разработка стратегии архитектурно-градостроительного брендинга и планирование городского пространства в соответствии с принципами новой стратегии может популяризировать городские особенности и предоставит возможность конвертации их в доходы, а также будет способствовать повышению качества городской среды и развитию интеллектуальной системы города [4].

«Представление об архитектурном пространстве всегда связано со смысловым полем культуры, в котором и происходит создание и восприятие пространственных форм, объединенных социально значимой информацией в архитектурное пространство» [13]. Следовательно, архитектурная среда должна выступать в роли механизма, который сохраняет информационный баланс, «учитывает информационный фактор

с привязкой к картине мира, и человеческий фактор с привязкой к физиологии и восприятию» [13]. Такое многоплановое понимание архитектурной среды и городского пространства позволяет наиболее полно учитывать задачи, ставящиеся перед архитекторами и дизайнерами. Огромное значение в сфере развития городской среды будут иметь: организация проведения научно-исследовательских работ, повышение квалификации специалистов, качество организации труда и прочие факторы, влияющие на конечный результат.

Выводы

Подводя итоги, следует отметить, что творческие подходы в современной архитектуре и дизайне архитектурной среды многолики и многоплановы и предполагают системный подход. Ассоциативность восприятия картины мира, предлагаемой образной концепцией автора, для потребителя призвана формировать изначально сценарий ощущений и действий в архитектурно-строительном пространстве [14]. Социальный дизайн, реализованный в пространственной архитектурно-строительной среде, призван формировать ощущение комфорта и удовлетворять основные человеческие потребности. Современные концептуальные подходы в формировании городской среды средствами архитектуры и дизайна призваны создавать образные концепции, способные к перформативности, формирующие у потребителя имидж архитектурно-строительного пространства как части природно-географической территории, комфортной для проживания. Для современной городской среды уже недостаточно быть экологичной и эргономичной. Экология поддерживается семиотической, архитектурной и культурной средами [15].

Понятие комфорта для современного человека это:

- визуальный комфорт;
- информационный комфорт (в том числе речь идет и об экологии информации и медийно-техногенного пространства);
- коммуникационный комфорт;
- комфорт безопасности;
- комфорт устойчивого развития;
- комфорт бренда территории (её уникальности, эксклюзивности и значимости).

Следовательно, имидж городской среды необходимо проектировать с учетом этих позиций.

Список литературы

1. Leatherbarrow D. Architecture's unscripted performance. Performative architecture: Beyond instrumentality / Branko Kolarevic and Ali Malkawi. N.Y.: Spon Press, 2005. 576 с.
2. Дущев М.В. Современные авторские концепции архитектурно-художественного синтеза / Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия // Известия КГАСУ. 2012. № 1 (19). С. 7–16.
3. Воронин К.М., Гаркави М.С., Пермяков М.Б., Кришан А.Л., Матвеев В.Г., Федосихин В.С., Чикота С.И., Голяк С.А. Научные исследования, инновации в строительстве и инженерных коммуникациях в третьем тысячелетии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2. С. 49–50.
4. Аристова А.В., Краснобаев И.В. Архитектурно-градостроительный брендинг территорий как ключевой фактор развития города // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 7–15.
5. Лэндри Ч. Креативный город. М.: Издательский дом «Классика XXI», 2011. 399 с.
6. Сабирова Э.И., Денисенко Е.В. Аспекты формирования города будущего XXI века // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 56–64.
7. Пермяков М.Б., Краснова Т.В., Дорофеев А.В. Аддитивные технологии в строительстве и дизайне архитектурной среды: настоящее и будущее // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2018. Т. 9. № 2. С. 2–5.
8. Невлютов М.Р. Перформативность архитектуры в феноменологических концепциях Дэвида Леттербарроу // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 1(42). С. 178–186 [Электронный ресурс]. URL: http://maghi.ru/AMIT/2018/1kvart18/13_nevlyutov/index.php (дата обращения: 20.01.2019).
9. Рябов О.Р. Эмоциональное восприятие архитектурной среды // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 62–67.
10. Сибгатуллина И.Ф. Психологическая безопасность, культура и качество жизни в мегаполисе. 2-е изд. Казань: Новая школа, 2011. 160 с.
11. Краснова Т.В., Дворецкий В.А. Проектирование концепции в дизайне и архитектуре // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 4–10. С. 1453–1458.
12. Краснова Т.В., Пермяков М.Б. Технология разработки художественного образа в дизайне и архитектуре средствами графической дизайн-концепции // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=27367> (дата обращения: 24.11.2018).
13. Назарова М.П. Архитектурное пространство города: культурологический аспект // Известия ВГПУ. 2012. № 3. С. 73–77.
14. Краснова Т.В., Карпенко С.С. Проектирование в дизайне и архитектуре средствами ассоциаций // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 4–8. С. 1125–1130.
15. Воробьев В.П., Степанов В.А. Проблемное поле медиаэкологии: опыт демаркации научного направления // Вестник БГУ. Сер. 4. 2011. № 2. С. 86–90.

УДК 665.7.035.2

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СНИЖЕНИЯ СОЛЕЙ И ВОДЫ В ТОВАРНОЙ НЕФТИ ОРЕНБУРГСКОГО И КОПАНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

¹Курякова Т.А., ²Межуева Л.В., ²Быков А.В.

¹Филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», Оренбург, e-mail: tany_kur1975@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: larisam57@mail.ru, artem19782@yandex.ru

При движении по скважинам нефть весьма интенсивно перемешивается с пластовой водой. При работах скважин нефть тесно соприкасается с водой. В этих случаях часто и образуются стойкие нефтяные эмульсии. Для улучшения условий деэмульсации нефти необходим определенный подбор реагентов, их дозировка и оптимальный температурный режим. Установка подготовки и перекачки жидких углеводородов всей добываемой нефти обрабатывается на автоматизированных блочных термохимических установках. Основным элементом таких технологий является разрушение эмульсий воды в нефти при помощи химических реагентов – деэмульгаторов, нагревание, слияние капель диспергированной в нефти воды и осаждение укрупнившихся капель. Выбор деэмульгаторов в каждом конкретном случае производится на основе специальных лабораторных и промышленных исследований. Проведен анализ показателей работы 4-й технологической линии УКПГ-10, на которой осуществляется подготовка сырой нефти Ассельской залежи Оренбургского газоконденсатного месторождения и смеси нефтей Копанского НКМ. Также были проведены лабораторные отборочные испытания деэмульгаторов и промышленные испытания опытных партий деэмульгаторов «Геркулес 2134» и «Геркулес 2601». Испытания эффективности образцов деэмульгаторов проводились на свежих образцах нефтяных эмульсий Ассельской нефти, Копанского газоконденсата и смеси, отобранных с УКПГ-10 (С-203 и С-402Н). Испытания осуществляли в статических условиях при термохимическом разрушении водонефтяных эмульсий по известной методике «бутылочный тест».

Ключевые слова: товарная нефть, пластовая вода, деэмульгаторы, эмульсия, газоконденсат, бутылочный тест

SELECTION OF TECHNOLOGICAL MODES TO REDUCE SALTS AND WATER IN THE PRODUCT OIL OF ORENBURG AND KOPANSK OIL-GAS CONDENSATE FIELDS BASED ON THE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME

¹Kuryakova T.A., ²Mezhueva L.V., ²Bykov A.V.

¹Orenburg branch of the Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, Orenburg, e-mail: tany_kur1975@mail.ru;

²Orenburg State University, Orenburg, e-mail: larisam57@mail.ru, artem19782@yandex.ru

During transporting in wells, oil gets very intensively mixed with brine water. During well handling, oil closely contacts with the water. Persistent oil emulsions often form in these cases. To improve oil de-emulsification, one needs to choose particular reagents and their dosage, and optimal temperature regime. Installation of preparation and pumping of liquid hydrocarbons from production oil is processed in automated modular thermochemical devices. The main element of such technologies is breaking water-in-oil emulsions by using chemical reagents – demulsifiers, heating, coalescence of water drops dispersed in oil, and sedimentation of the coalesced drops. Selection of demulsifiers in each case is based on special laboratory and field studies. There was carried out the performance analysis of the 4-th technological line of Gas Processing Facility-10, which prepares crude oil from Assel deposits of the Orenburg gas condensate field and mix oils from Kopansk OGCF. There were also held laboratory qualifying tests of demulsifiers and industrial tests of experimental batches of demulsifiers «Hercules 2134» and «Hercules 2601». Testing the effectiveness of samples was carried out on fresh samples of oil emulsions of Assel oil, Kopansk gas condensate, and mix oils, produced from GPF-10 (C-203 and C-402H). Tests were carried out under static conditions with thermochemical water-oil emulsions breaking down by «the bottle roll test» technique.

Keywords: product oil, brine water, demulsifiers, emulsion, oil-gas condensate, bottle roll test

Присутствие воды в нефти приводит к значительному увеличению расхода тепла на нагрев нефти при ее переработке, появлению большого количества водяных паров в аппаратах, что приводит к резкому повышению давления в системе и нарушениям технологического режима, механическим повреждениям и разрывам.

Вместе с водой в нефть попадают растворенные в ней соли.

В задачу промысловой подготовки нефти входит отделение от нефти основной части этих примесей и доведение ее качества по содержанию примесей до требований ГОСТ на нефть, готовую к переработке.

Основным осложняющим фактором при подготовке нефти месторождений является повышенное содержание в пластовой и соответственно в подтоварной воде хлористых солей (до 300 г/л). Следовательно, процесс подготовки нефти до товарных кондиций должен предусматривать глубокое обезвоживание и глубокое обессоливание, что является актуальным.

Цель исследования: повышение качества подготовки сырой нефти на 4-й технологической линии на УКПГ-10 путем снижения содержания солей и воды.

Материалы и методы исследования

Вода в нефтях и нефтепродуктах может находиться в растворенном состоянии либо в виде эмульсии. Различают качественные и количественные методы определения содержания воды в нефтях и нефтепродуктах [1].

Качественными методами являются пробы на прозрачность, потрескивание, реактивную бумажку [2].

К количественным методам относятся химическое определение растворенной воды (гидрид-кальциевый метод), а также широко распространенный метод отгонки воды в присутствии растворителя [3].

Сущность последнего метода (ГОСТ 2477-2014) заключается в отгонке воды и растворителя от нефти с последующим их разделением в градуированном приемнике на два слоя. Растворитель, в качестве которого применяется бензин, вводится в испытуемый продукт для устранения толчков и вспенивания, сопровождающих кипение нефти, содержащей воду [4].

Анализируемую пробу испытуемого продукта перемешивают в течение 5 мин. В сухую и чистую колбу отвешивают с точностью до 0,1 г около 100 г испытуемого продукта, приливают 100 мл легкого бензина и перемешивают.

Собирают прибор, пускают воду в холодильник и начинают нагревание колбы горелкой снизу через асбестовую сетку. Нагрев регулируют таким образом, чтобы в приемник-ловушку из холодильника стекали 2–4 капли в секунду. Выделившиеся пары нефти и воды конденсируются в холодильнике и собираются в приемнике-ловушке, где за счет разности плотностей вода образует нижний слой [5–6].

Когда количество воды в ловушке перестанет увеличиваться и верхний слой растворителя станет прозрачным, перегонку прекращают. После этого замеряют объем нижнего водного слоя в ловушке. В качестве испытуемой нефти взяли Ассельскую

нефть Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения.

Содержание воды (в % мас.) вычисляют по формуле

$$X = [V \times \rho / G] \times 100,$$

где X – 2,2 % масс. содержание воды в нефти, % мас.;

V – 220 см³ объем воды в ловушке, см³;

ρ – 1000 г/см³ плотность воды при температуре определения, г/м³;

G – 100 г масса навески испытуемой нефти, г.

Время перегонки: 62 минуты.

При добавлении деэмульгатора «Геркулес 2134» выделилось большее количество воды (3,4 % мас.), время перегонки: 20 мин. Расход деэмульгатора: 0,03 г/кг нефти.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты испытаний образцов деэмульгаторов при разрушении модельных эмульсий смеси Ассельской и Копанской нефтей приведены в табл. 1. По результатам отборочных испытаний при низких температурах, моделирующих наиболее жесткие зимние условия подготовки нефтей на УКПГ-10, выбраны 2 лучших образца деэмульгаторов: ARF-6 («Геркулес 2134») и 98-005 («Геркулес 2601»), превосходящих по эффективности применявшийся в то время деэмульгатор дипроксамин 157-65М [7–8].

Эффективность рекомендованных образцов деэмульгаторов «Геркулес 2134» и «Геркулес-2601» была подтверждена опытно-промышленными пробегами на УКПГ-10. Результаты опытно-промышленных испытаний деэмульгаторов на УКПГ-10 приведены в табл. 2 и 3.

Таким образом, на основании анализа работ на 4-й технологической линии УКПГ-10 были выбраны оптимальные условия ведения процесса для подготовки Ассельской и Копанской нефтей и Копанского газоконденсата.

Сводные данные по результатам испытаний и выбранным условиям процесса приведены в табл. 4.

Результат испытуемых образцов деэмульгаторов, которые при применяющейся на установке подготовки нефти технологии обеспечивали бы лучшие результаты по разрушению водонефтяных эмульсий и были бы экономически эффективными.

Для сравнительных испытаний применялись следующие деэмульгаторы: Дипроксамин 157-65М, «Геркулес 2134», «Геркулес 2601».

Результаты лабораторных сравнительных испытаний деэмульгаторов приведены в табл. 5.

Таблица 1
Результаты лабораторных испытаний образцов деэмульгаторов при разрушении модельных эмульсий смеси Ассельской и Копанской нефтей

| № п/п | Образец деэмульгатора | Расход г/т | Термоотстой при 5(2)°С (1 этап) | | Термоотстой при 20°С (2 этап) | | | | | | | Центрифугирование декантиров. воды | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------|---------------------------------|--|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|------------------------------------|----------|------|-------|
| | | | Температура, °С | Объем выделившейся из эмульсии воды (% об), через: | | | | | | | Объем выделившейся из эмульсии воды (% об) через: | | Эмульсии | Вода | Всего |
| | | | | 10 мин | 20 мин | 30 мин | 45 мин | 60 мин | 10 мин | 20 мин | 30 мин | 10 мин | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| 1. Смесь нефтей + 20% пластовой воды | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Контрольный опыт (без деэмульг.) | 0 | 5 | 0 | 0 | сл. | сл. | – | – | сл. | – | – | 15 | 5 | 20 |
| 2 | Дипроксамин 157-65М | 20 | 5 | сл. | 1 | 3 | 5 | – | – | 8 | – | – | 4,5 | 5,5 | 10 |
| 3 | СВ 682 | 20 | 5 | 3 | 5 | 5 | 9 | – | – | 10 | – | – | 3,5 | 5,5 | 9 |
| 4 | СВ 682А | 20 | 5 | 2 | 3 | 5 | 7 | – | – | 9 | – | – | 2,8 | 2,2 | 5 |
| 5 | 45-39-2 | 20 | 5 | сл. | 2 | 4 | 5 | – | – | 9 | – | – | – | – | – |
| 6 | 45-39-3 | 20 | 5 | сл. | сл. | 2 | 4 | – | – | 8 | – | – | – | – | – |
| 7 | АРФ 8 | 20 | 5 | 5 | 7 | 9 | 10 | – | – | 13 | – | – | 3 | 2 | 5 |
| 8 | АРФ 9 | 20 | 5 | 4 | 8 | 10 | 10 | – | – | 14 | – | – | 1,8 | 1 | 2,8 |
| 9 | АРФ 11 | 20 | 5 | сл. | 2 | 5 | 8 | – | – | 10 | – | – | – | – | – |
| 10 | АРФ 4 | 20 | 5 | 1 | 3 | 6 | 9 | – | – | 10 | – | – | – | – | – |
| 11 | АР 3 | 20 | 5 | сл. | 5 | 9 | 9 | – | – | 12 | – | – | 0,5 | 5 | 5,5 |
| 12 | СР 2121 | 20 | 5 | сл. | сл. | 4 | 5 | – | – | 9 | – | – | – | – | – |
| 13 | СР 2140 | 20 | 5 | 1 | 3 | 3 | 5 | – | – | 8 | – | – | – | – | – |
| 14 | СР 2159 | 20 | 5 | сл. | сл. | 3 | 4 | – | – | 7 | – | – | – | – | – |
| 15 | СР 2127 | 20 | 5 | 2 | 4 | 6 | 8 | – | – | 10 | – | – | – | – | – |
| 16 | СР 2135 | 20 | 5 | сл. | 1 | 3 | 7 | – | – | 9 | – | – | – | – | – |
| 17 | 98-001 | 20 | 5 | сл. | 3 | 3 | 6 | – | – | 9 | – | – | – | – | – |
| 18 | АРФ 6 | 20 | 5 | 58 | 8 | 10 | 10 | – | – | 13 | – | – | 0,2 | 4,8 | 5 |

| | | Окончание табл. 1 | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------------------|--|---|-----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | |
| | | 2. Смесь нефтей + 25% пластовой воды | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | Контрольный опыт (без дезмульг.) | 0 | 5 | сл. | – | сл | – | 1 | – | 25 | – | 22 | 3 | 25 | | |
| 20 | Дипроксамин 157-65М | 20 | 5 | 5 | – | 6 | – | 8 | – | 25 | – | | | | | |
| 21 | AR | 20 | 5 | 0 | – | 0 | – | 0 | – | 25 | – | | | | | |
| 22 | AR | 20 | 5 | 2 | – | 4 | – | 5 | – | 25 | – | | | | | |
| 23 | AR | 20 | 5 | 6 | – | 10 | – | 15 | – | 25 | – | | | | | |
| 24 | AR | 20 | 5 | 8 | – | 10 | – | 16 | – | 25 | – | | | | | |
| 25 | 98-002 | 20 | 5 | 1 | – | 1 | – | 1 | – | 25 | – | | | | | |
| 26 | 98-003 | 20 | 5 | 1 | – | 1 | – | 1 | – | 25 | – | | | | | |
| 27 | 98-003 | 20 | 5 | 1 | – | 1 | – | 1 | – | 25 | – | | | | | |
| 28 | ARF | 20 | 5 | 8 | – | 13 | – | 18 | – | 25 | – | | | | | |
| | | 3. Смесь нефтей + 25% пластовой воды | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | Контрольный опыт (без дезмульгатора) | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | – | 0 | 3 | 17 | – | | | | | |
| 30 | Дипроксамин 157-65М | 20 | 2 | 3 | 5 | 7 | – | 10 | 22 | 25 | – | 0,6 | 0,3 | 0,9 | | |
| 31 | ARF 6 | 20 | 2 | 10 | 12 | 15 | – | 17 | 25 | 25 | – | 0,3 | 0,2 | 0,5 | | |
| 32 | AR 6 | 20 | 2 | 5 | 8 | 11 | – | 13 | 23 | 25 | – | 0,6 | 1 | 1,6 | | |
| 33 | AR 8 | 20 | 2 | 8 | 11 | 13 | – | 15 | 22 | 25 | – | 0,6 | 0,8 | 1,4 | | |
| 34 | AR 3 | 20 | 2 | 3 | 7 | 7 | – | 12 | 22 | 25 | – | 0,7 | 0,7 | 1,4 | | |
| 35 | ARF 9 | 20 | 2 | 1 | 2 | 3 | – | 8 | 20 | 25 | – | 0,8 | 0,8 | 1,6 | | |
| 36 | ARF 8 | 20 | 2 | сл | 3 | 7 | – | 10 | 22 | 25 | – | | | | | |
| 37 | CB 682 | 20 | 2 | 9 | 11 | 15 | – | 15 | 23 | 25 | – | 0,6 | 0,7 | 1,3 | | |
| 38 | 98-005 | 20 | 2 | 10 | 12 | 15 | – | 16 | 22 | 25 | – | 0,2 | 0,4 | 0,6 | | |
| | | 4. Смесь газоконденсатов и нефтей, поступающих ДКС-1 +25% пластовой воды | | | | | | | | | | | | | | |
| 39 | Контрольный опыт (без дезмульг.) | 0 | 2 | 2 | 2 | 4 | – | 6 | 20 | 25 | 25 | – | | | | |
| 40 | Дипроксамин 157-65М | 20 | 2 | 10 | 12 | 1 | – | 20 | 20 | 25 | 25 | – | | | | |
| 41 | ARF6 | 20 | 2 | 20 | 25 | 25 | – | 25 | 20 | 25 | 25 | – | | | | |

Таблица 2

Сравнительные усредненные результаты подготовки газоконденсата во время промышленных испытаний опытной партии деэмульгатора «Геркулес 2601» на УКПГ-10

| Тип деэмульгатора | Расход деэмульгатора | Содержание свободной воды в газоконденсате после 1-й ступени (С-203), % мас. | Содержание эмульгированной воды в газоконденсате после 1-й ступени (С-203), % мас. | Содержание хлоридов в газоконденсате после 1-й ступени (С-203), мг/л | Содержание свободной воды в газоконденсате после 2-й ступени (С-203), % мас. | Содержание эмульгированной воды в газоконденсате после 2-й ступени (С-203), % мас. | Содержание хлоридов в газоконденсате после 2-й ступени (С-203), мг/л |
|-------------------|----------------------|--|--|--|--|--|--|
| Без деэмульгатора | 0 | | | | 0,7 | 0,27 | 1263 |
| Геркулес 2601 | 50,5 | отс. | 0,21 | 628 | 0,09 | 0,07 | 378 |

Таблица 3

Сравнительные усредненные результаты промышленных испытаний опытной партий деэмульгатора «Геркулес 2601»

| Наименование деэмульгатора | Расход деэмульгатора, г/т | Содержание свободной воды в газоконденсате % мас. | Содержание эмульсионной воды в газоконденсате % мас. | Содержание хлоридов в газоконденсате мг/л |
|----------------------------|---------------------------|---|--|---|
| Без деэмульгатора | 0 | 0,74 | 0,36 | 1263 |
| Геркулес 2601 | 50,5 | 0,4 | 0,06 | 231,4 |

Таблица 4

Сводные данные по выбору условий подготовки нефти на УКПГ-10

| Показатели | Ед. измерения | I полулиния | II полулиния |
|----------------------|---------------------|------------------|---|
| Сырье: | | Ассельская нефть | Копанская нефть в смеси с Копанским газоконденсатом и нефтью «Корбон Ойл» |
| Производительность | м ³ /сут | 440 | 194 |
| Давление | МПа | 2,0 | 2,0 |
| Температура | °С | | |
| I ступень | | 10 (С-402Н) | 10 (С-403) |
| II ступень | | 30 (В-408В) | 55 (В-408А) |
| Время отстоя | мин | | |
| I ступень | | 7 | 112 |
| II ступень | | 18 | 107 |
| Тип деэмульгатора | | Геркулес 2134 | Геркулес 2134 |
| Расход деэмульгатора | мг/т нефти | 30–50 | 30–50 |

Таблица 5

Результаты лабораторных сравнительных испытаний деэмульгаторов

| Образец деэмульгатора | Объем выделившейся воды (% об) через (мин): | | | Остаточное содержание воды, % об. |
|-----------------------|---|-----|-----|-----------------------------------|
| | 10 | 30 | 45 | |
| Без деэмульгатора | 0 | Сл. | Сл. | 5 |
| Дипроксамин 157-65М | Сл. | 1 | 1,5 | 3,5 |
| «Геркулес 2601» | 1,5 | 3 | 4,2 | 0,8 |
| «Геркулес 2134» | 2 | 3,5 | 4,8 | 0,2 |

Таблица 6

Расход деэмульгатора и промывной воды на технологические нужды процессов подготовки нефти на УКПГ-10

| Реагент | Точка подачи | Расход | |
|--------------------------------|--|------------------|------------------|
| | | min | max |
| Деэмульгатор типа «Геркулес» | В сырье перед подачей промывной воды С-402 С-403 | 30 г/т 30 г/т | 50 г/т 50 г/т |
| Промывная вода, % об. на сырье | Перед смесительным комплексом СК-1, СК-2 | 3 | 6 |

По результатам сравнительных испытаний деэмульгаторов можно сделать выводы, что наиболее эффективным является «Геркулес 2134».

Проведенные на ДКС-1 и УКПГ-10 опытно-промышленные испытания показали, что применение новых высокоэффективных нефтерастворимых деэмульгаторов обеспечивает более глубокое обезвоживание и обессоливание газоконденсата и нефтей, чем без применения деэмульгатора. Рекомендуемый расход для деэмульгатора «Геркулес 2601» 30–50 г/т (табл. 5). Однако следует отметить, что данные обследований и анализа работы УКПГ-10 показали, что для обеспечения требуемой глубины обезвоживания и обессоливания газоконденсата и нефти недостаточно применения только деэмульгаторов, даже высокоэффективных, а необходимо совершенствование технологии подготовки (повышение температуры, увеличение времени отстоя, промывка пресной водой), особенно при подготовке смеси нефтей Копанской залежи, отличающейся высоким содержанием хлористых солей, эмульгированной воды, мех. примесей, асфальтосмолистых веществ, парафинов и высокой вязкостью.

Обезвоживание нефти и конденсата до остаточного содержания воды в среднем до 0,5% приводит к соответственному снижению уровня хлоридов до 700–800 мг/л в среднем (учитывая, что соленость пластовой воды составляет в среднем 150000 мг/л в пересчете на NaCl и отсутствуют кристаллические соли).

Как показывают исследования, без промывки сырья пресной водой можно было бы обойтись, но при условии, что соленость пластовой воды не должна превышать 75000–80000 мг/л.

Согласно результатам испытаний для обеспечения требуемого качества подготовки нефти (не выше 400 мг/л) на 4-й технологической линии УКПГ-10 необходимо 2-кратное (теоретически) разбавление пресной водой пластовой воды. Практически 3–4-кратное. Таким образом, требуется подача на промывку сырья 3–6% об. пресной воды (табл. 6).

На основании анализа реконструкции нефтяных технологических линий УКПГ-10 для раздельной подготовки нефтей Ассельской залежи ОГКМ и КоНГКМ для отмыва солей должна подаваться пресная вода в количестве 5,5% от объема поступающего сырья. Подача воды запроектирована самостоятельными потоками в технологическую линию Ассельской и Копанской нефти.

Расчетный расход воды в Ассельскую технологическую линию составляет 1,12 м³/час, рабочее давление в нагнетательной линии – 3,0 МПа.

Расчетный расход промывной воды для подачи в Копанскую нефть составляет 0,6 м³/час, давление на нагнетании – 2,5 МПа.

Заключение

Таким образом, при выбранном режиме раздельного обессоливания и обезвоживания Ассельской и Копанской нефтей с использованием деэмульгатора «Геркулес 2134» гарантированно обеспечивается качество товарной нефти в соответствии с техническими условиями.

Список литературы

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
2. Никитин В.И., Донсков К.В., Молчанова З.В. Подготовка конденсата на промысле и ЭЛОУ Оренбургского ГПЗ // Газовая промышленность. 2001. № 6. С. 41–42.
3. Рудненко С.В., Хуторянский Ф.М., Капустин В.М. Исследования на пилотной ЭЛОУ по глубокому обессоливанию газовых конденсатов и нефтей Оренбургских месторождений // Переработка нефти. 2010. № 11. С. 3–9.
4. Румянцев А.И., Иванов В.В. Экспериментальные микроволновые установки непрерывного действия // Нефтепереработка и нефтехимия. 2009. № 10. С. 42–44.
5. Кириллова Л.Б., Пивоварова Н.А., Власова Г.В. Исследование влияния параметров волновой обработки и активирующих добавок на размер частиц дисперсной фазы парафиновых нефтей // Переработка нефти. 2011. № 1. С. 13–16.
6. Малзрыкова Е.В., Хуторянский Ф.М., Капустин В.М., Антоненко Т.А. Разработка высокоэффективного деэмульгатора на основе оксигетилированных алкилфенолформальдегидных смол для подготовки нефти на ЭЛОУ НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. 2011. № 11. С. 3–11.
7. Хаджиев С.Н., Герзелиев И.М., Капустин В.М., Кадиев Х.М., Дементьев К.И., Пахманова О.А. Каталитический крекинг в составе современных комплексов глубокой переработки нефти // Нефтехимия. 2011. Т. 51. № 1. С. 33–39.
8. Маркова Н.А., Колесниченко Н.В., Ионин Д.А., Букина З.М., Кулумбеков Р.В., Хаджиев С.Н. Переработка попутных нефтяных газов в моторные топлива // Экологический вестник России. 2012. № 1. С. 28–30.

УДК 621.391.82:001.891.573:615.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННИХ СТРУКТУР БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕГКИХ ЧЕЛОВЕКА)

Кучер А.И., Алексанян Г.К., Щербаков И.Д.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: artiom.kucher@gmail.com

В настоящее время все более широкое распространение получает исследование вентиляции легких с помощью электроимпедансной томографии. Это вызвано тем, что с помощью электроимпедансной томографии можно проводить неинвазивный мониторинг поля изменения проводимости грудной полости. Данное изменение вызывается биологическими процессами в грудной полости. Наиболее существенный вклад в изменение проводимости грудной полости вносит вентиляция тканей легких. Таким образом, можно оценить интегральную вентиляцию левого и правого легкого на основании результатов мониторинга поля изменения проводимости грудной полости методом электроимпедансной томографии. Это возможно на основании результатов реконструкции путем интегрирования значений поля изменения проводимости в томографическом срезе. Также известен метод оценки интегральной вентиляции левого и правого легкого на реконструкции поля изменения проводимости грудной полости на основании измерительной информации для электроимпедансной томографии. В данной работе представлена математическая модель грудной полости человека для исследования влияния известной вентиляции легких на результат мониторинга поля изменения проводимости грудной полости. Исследование помехоустойчивости указанных подходов произведено на основании результатов моделирования путем добавления известного уровня шумов к измерительным данным.

Ключевые слова: электроимпедансная томография, помехоустойчивость, отношение сигнал – шум, изменение проводимости, грудная полость, легкие

STUDY OF THE NOISE STABILITY OF THE METHODS FOR ESTIMATING THE INTERNAL STRUCTURES FUNCTIONAL STATE OF BIOLOGICAL OBJECTS AT ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY (ON THE EXAMPLE OF HUMAN LUNGS)

Kucher A.I., Aleksanyan G.K., Shcherbakov I.D.

South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: artiom.kucher@gmail.com

The study of pulmonary ventilation using electrical impedance tomography is becoming increasingly widespread today. This is caused by fact that using electrical impedance tomography it is possible to conduct non-invasive monitoring of the field of changes in the conductivity of the chest cavity. The change is caused by biological processes in the chest cavity. The most significant contribution to the change in chest cavity conductivity is made by ventilation of the tissues of the lungs. Thus, it is possible to evaluate the integral ventilation of the left and right lung based on the results of monitoring the field of changes in the conductivity of the chest cavity by the method of electrical impedance tomography. This is possible based on the results of the reconstruction by integrating the values of the field of change in conductivity in a tomographic slice. Also known a method for evaluating the integral ventilation of the left and right lung before reconstructing the field of change in the conductivity of the chest cavity based on measurement information for electrical impedance tomography. This paper presents a mathematical model of the human thoracic cavity to study the effect of known ventilation on the result of monitoring the field of changes in the conductivity of the thoracic cavity. The study of the noise immunity of these approaches was made on the basis of the simulation results by adding a known level of noise to the measurement data.

Keywords: electrical impedance tomography, noise immunity, signal-to-noise ratio, change in conductivity, chest cavity, lungs

При мониторинге вентиляции лёгких человека методом электроимпедансной томографии (ЭИТ) [1] непрерывно формируются изображения поля изменения проводимости $\Delta\Omega$ грудной полости. Основным источником изменения является изменение проводимости тканей легкого при наполнении их воздухом во время дыхания. На основании обработки полученных изображений можно оценить как интегральную вентиляцию легких $\Delta V(t)$, так и вентиляцию отдельных его частей. Данный «функциональный портрет» органа может быть использован при его идентификации

на основании результатов реконструкции. Для определения интегрального изменения проводимости грудной полости достаточно проинтегрировать значения поля изменения проводимости грудной полости для каждого изображения. Полученный параметр – интегральное изменение проводимости грудной полости $\sum \Delta\Omega(t)$ – будет обладать высокой корреляцией с $\Delta V(t)$ [2]. Однако, реконструкция поля изменения проводимости грудной полости является некорректной задачей, что приводит к ошибкам и артефактам реконструкции [3]. Входные данные для реконструкции обладают малым

изменением и измеряются с погрешностью, что так же затрудняет процесс реконструкции и добавляет ошибок и артефактов [3]. Таким образом, интегрирование результатов реконструкции приведет к накоплению ошибок реконструкции. Однако информация об изменении проводимости грудной полости хранится в измерительной информации $\Delta\Phi(t)$ для ЭИТ. Следовательно, можно оценить $\Delta V(t)$ по $\Delta\Phi(t)$ до реконструкции $\Delta\Omega(t)$. Исследуем помехоустойчивость рассмотренных подходов.

Материалы и методы исследования

Для формирования измерительной информации для реконструкции поля изменения проводимости грудной полости $\Delta\Omega(t)$ использовано численное моделирование. Использована модернизированная модель грудной полости, разработанная на базе модели из работы [4]. Геометрия задачи представлена на рис. 1.

Для моделирования мониторинга изменения проводимости грудной полости при вентиляции легких проводимость σ и диэлектрическая проницаемость ϵ тканей легкого изменялась по закону вентиляции легких $\Delta V(t)$. Для формирования массивов $\sigma(t)$ и $\epsilon(t)$ на основании $\Delta V(t)$ используются значения σ и ϵ на вдохе и выдохе для заданной частоты инжектируемого тока f_I . Формирование производится по формуле

$$\Delta x(t_i, f_I) = (\Delta V(t_i) - \min(\Delta V(t))) \times \frac{x_{INS}(f_I) - x_{EXP}(f_I)}{\max(\Delta V(t)) - \min(\Delta V(t))} + x_{EXP}(f_I), \quad (1)$$

где x – искомый параметр (σ или ϵ), x_{INS} – значение искомого параметра на вдохе; x_{EXP} – значение искомого параметра на выдохе.

На рис. 2 представлены результаты формирования массива $\sigma(t)$ при $f_I = 20$ кГц для $\Delta V(t)$, полученной на основании результатов спирометрии.

Для моделирования неоднородности разделения $\Delta V(t)$ между правым и левым легким введен коэффициент $K_{LП}$, описывающий отношение изменения объема воздуха левого $\Delta V_{Л}(t)$ легкого к интегральному изменению объема лёгких $\Delta V_{ЛП}(t)$ и коэффициент $K_{ПП}$, описывающий отношение изменения объема воздуха правого $\Delta V_{П}(t)$ легкого к интегральному изменению объема лёгких $\Delta V(t)$. Так, при $K_{LП}/K_{ПП} = 0,5/0,5$ законы изменения $\Delta\sigma(t, f_I)$ и $\Delta\epsilon(t, f_I)$ для левого и правого легкого одинаковы. При $K_{LП}/K_{ПП} = 1/0$ проводимость и диэлектрическая проницаемость левого легкого не изменяются и соответствуют значению глубокой выдохе. При $K_{LП}/K_{ПП} = 0,67/0,33$ амплитуда закона изменения $\Delta\sigma(t, f_I)$ и $\Delta\epsilon(t, f_I)$ левого легкого в два раза больше, чем у правого.

Для каждой точки графика $\Delta\sigma(t, f_I)$ и $\Delta\epsilon(t, f_I)$ моделируется процесс получения измерительной информации $\Delta\Phi(t_i)$ для ЭИТ, формируя тем самым массив $\Delta\Phi(t)$:

$$\Delta\Phi(t) = \begin{pmatrix} \Delta\phi_1(t_1) & \dots & \Delta\phi_1(t_i) & \dots & \Delta\phi_1(T) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta\phi_L(t_1) & \dots & \Delta\phi_L(t_i) & \dots & \Delta\phi_L(T) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta\phi_L(t_1) & \dots & \Delta\phi_L(t_i) & \dots & \Delta\phi_L(T) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где L – число элементов вектора $\Delta\Phi(t_i)$. На основании массива $\Delta\Phi(t)$ производится реконструкция поля изменения проводимости грудной полости $\Delta\Omega(t)$. Для исследования влияния измерительных шумов к каждому значению $\Delta\phi$ добавлен шум с отношением сигнал/шум (SNR) равным [20; 30; 40; 50] дБ.

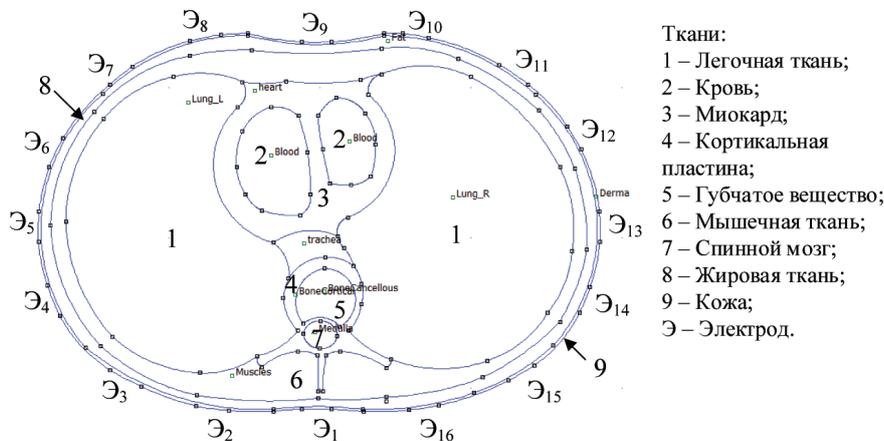
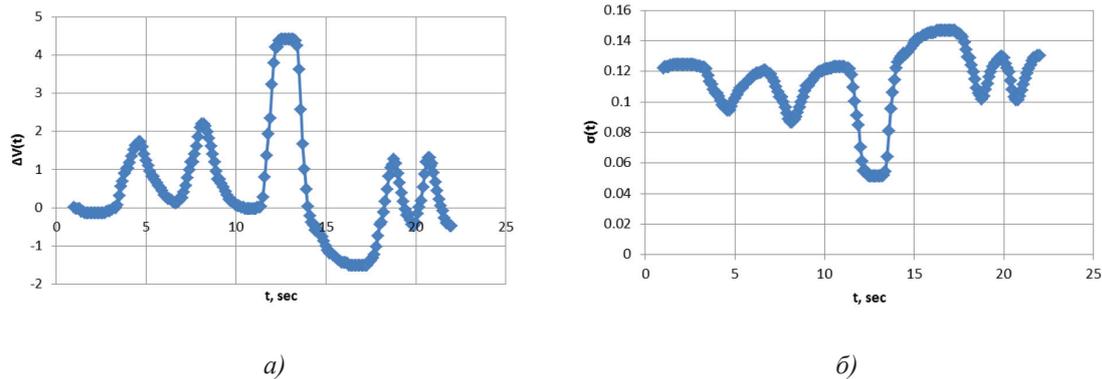


Рис. 1. Геометрия задачи для численного моделирования

Рис. 2. Графики зависимостей $\Delta V(t)$ (а) и $\sigma(t)$ (б)

Результаты исследования и их обсуждение

На основании полученного массива $\Delta\Phi(t)$ с различным SNR произведена оценка интегральной вентиляционной функции (ИВФ) легких до и после реконструкции $\Delta\Omega(t)$. Для оценки ИВФ до реконструкции применен интегральный параметр $\Psi(t)$ [2], определяемый по формуле

$$\Delta\Psi(t_i) = \frac{\sum_{l=1}^L \Delta\varphi_l(t_i)}{L}. \quad (3)$$

Для оценки ИВФ на основании $\Delta\Omega(t)$ использовано $\sum\Delta\Omega(t)$, которое определяется по формуле

$$\sum\Delta\Omega(t_i) = \sum_{e=1}^S \Delta\sigma_e(t_i), \quad (4)$$

где $\Delta\sigma_e(t_i)$ – изменение проводимости e -го конечного элемента модели грудной полости в момент времени t_i ; S – число конечных элементов.

На рис. 3 представлены полученные графики $\sum\Delta\Omega(t)$ и $\Psi(t)$ на основании результатов моделирования $\Delta\Phi(t)$ при $SNR = [20; 30; 40; 50]$ дБ и $K_{VЛ}/K_{VП} = [0,5/0,5; 1/0; 0,67/0,33]$.

Как видно из рис. 3, графики $\sum\Delta\Omega(t)$ и $\Psi(t)$ имеют такой же закон изменения, как и $\Delta V(t)$. Однако с ростом уровня шумов входных данных зашумленность $\sum\Delta\Omega(t)$ увеличивается значительно быстрее чем зашумленность $\Psi(t)$. Оценим уровень корреляции полученных графиков $\sum\Delta\Omega(t)$ и $\Psi(t)$ с $\Delta V(t)$. Для этого рассчитаем коэффициент линейной корреляции Пирсона [5] по формуле

$$r_{\Delta V\Psi} = \frac{\text{cov}_{\Delta V\Psi}}{\sigma_{\Delta V}\sigma_{\Psi}}, \quad (5)$$

$$r_{\Delta V\Sigma\Delta\Omega} = \frac{\text{cov}_{\Delta V\Sigma\Delta\Omega}}{\sigma_{\Delta V}\sigma_{\Sigma\Delta\Omega}}, \quad (6)$$

где $\sigma_{\Delta V}$ – среднее квадратическое отклонение $\Delta V(t)$; σ_{Ψ} – среднее квадратическое отклонение $\Psi(t)$; $\sigma_{\Sigma\Delta\Omega(t)}$ – среднее квадратическое отклонение $\sum\Delta\Omega(t)$; и интегрального параметра $\Psi(t)$; $\text{cov}_{\Delta V\Psi}$ – ковариация $\Delta V(t)$ и интегрального параметра $\Psi(t)$; $\text{cov}_{\Delta V\Sigma\Delta\Omega}$ – ковариация $\Delta V(t)$ и интегрального параметра $\sum\Delta\Omega(t)$. Линейный коэффициент корреляции r может принимать значения в диапазоне $[-1,1]$. Знак обозначает направление связи (прямая или обратная).

Результаты расчета коэффициентов $r_{\Delta V\Psi}$ и $r_{\Delta V\Sigma\Delta\Omega}$ при $SNR = [20; 30; 40; 50]$ дБ и $K_{VЛ}/K_{VП} = [0,5/0,5; 1/0; 0,67/0,33]$ представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, $\Psi(t)$ сохраняет крайне высокую ($r > 0,95$) корреляцию с $\Delta V(t)$ вне зависимости от SNR и $K_{VЛ}/K_{VП}$. При этом корреляция между $\sum\Delta\Omega(t)$ и $\Delta V(t)$ значительно падает с уменьшением SNR и зависит от $K_{VЛ}/K_{VП}$. Следовательно, метод оценки $\Delta V(t)$ до реконструкции $\Delta\Omega(t)$ на основании $\Delta\Phi(t)$ путем расчета $\Psi(t)$ позволяет оценить $\Delta V(t)$ с высокой помехоустойчивостью.

Заключение

Предложен метод моделирования для исследования влияния вентиляции легких на результат мониторинга поля изменения проводимости грудной полости методом электроимпедансной томографии. На основании разработанной ранее модели грудной полости человека и предложенного метода мониторинга сформированы массивы измерительной информации для реконструкции поля проводимости внутренних структур биологических объектов. К данным добавлен шум заданного уровня и произведена оценка интегральной вентиляционной

функции легких на основании результатов измерений и на основании результатов реконструкции. Исследование коэффициента корреляции между полученными значениями показало сохранение высокой степени корреляции с падением отношения сигнал/шум при различных соотношениях вентиляции левого и правого легкого. В то же время выявлено резкое падение корреляции между указанными величинами с падением отношения сигнал – шум, а также зависимость корреляции между соотношением изменения объема воздуха левого и правого легкого.

Таким образом, метод оценки вентиляции легких до реконструкции на основании расчета измерительных данных позволяет оценить вентиляцию легких с высокой помехоустойчивостью. Данный метод может быть использован при идентификации легких с помощью ЭИТ путем выделения областей, наполняемых воздухом [6–8]. Для этого может быть использовано сравнение закона изменения проводимости конечного элемента и закона изменения вентиляции легких, что позволит повысить помехоустойчивость метода оценки регионарной вентиляции.

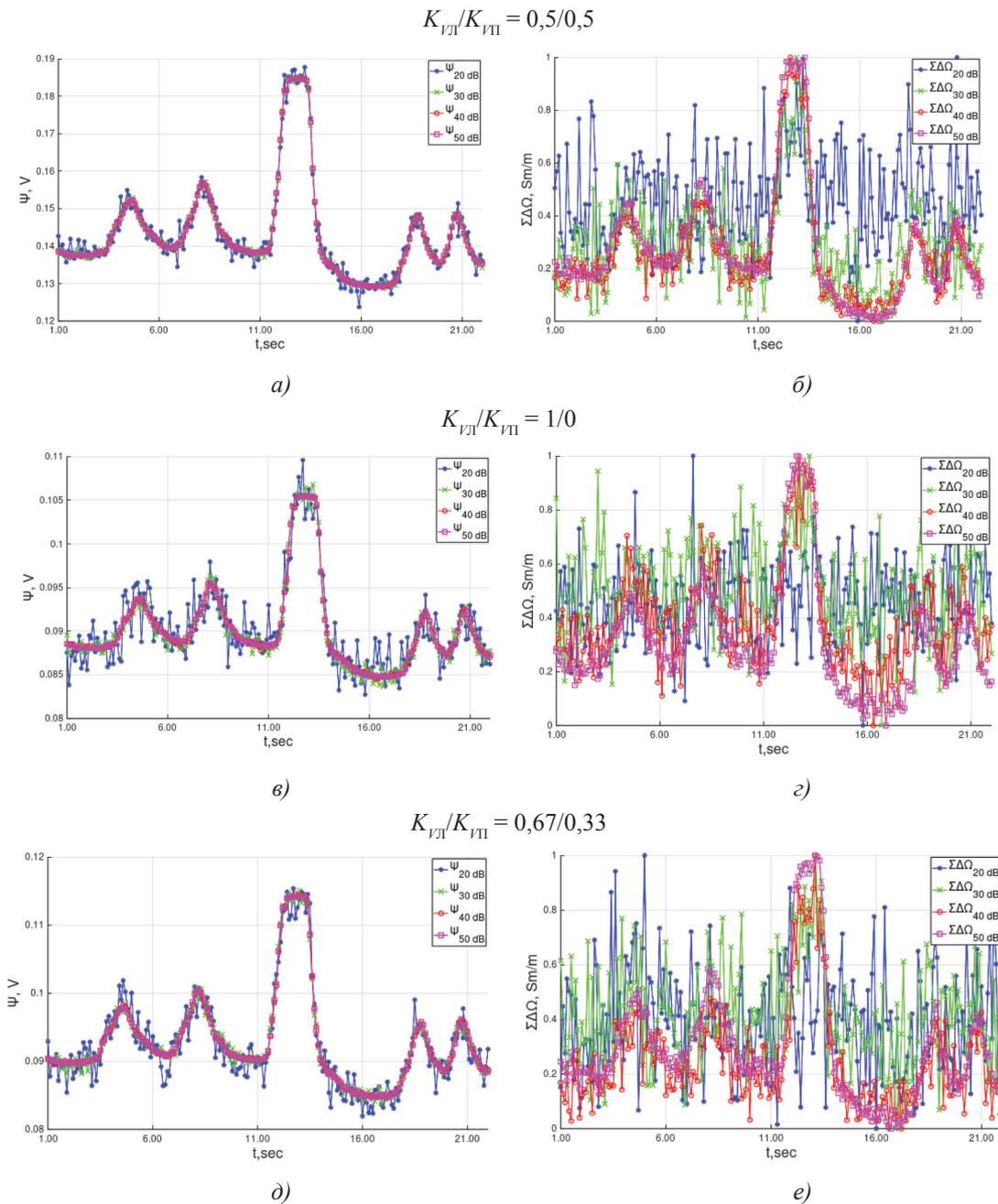


Рис. 3. Графики зависимостей $\Psi(t)$ (а, в, д) и $\Sigma\Delta\Omega(t)$ (б, г, е) при $SNR = [20; 30; 40; 50]$ дБ

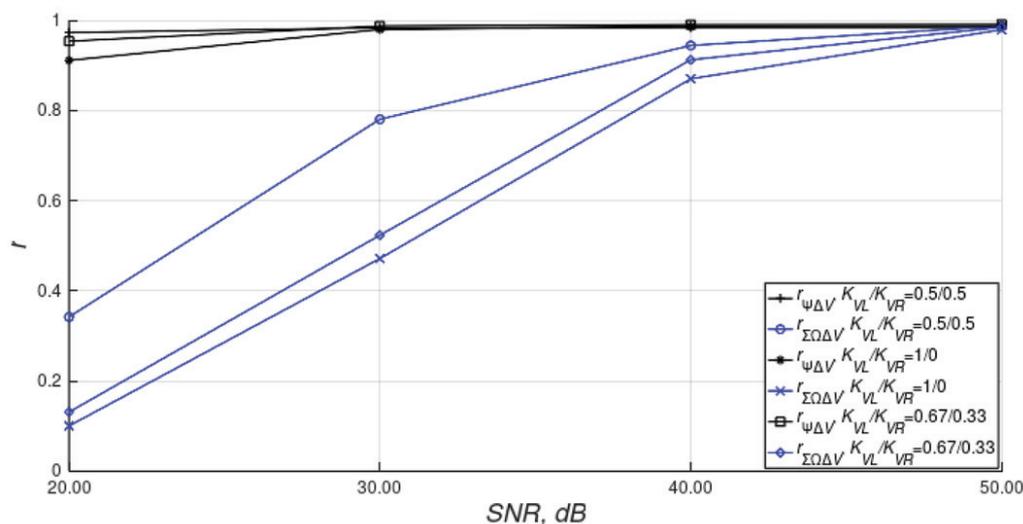


Рис. 4. Результаты расчетов $r_{\Delta V \Psi}$ и $r_{\Delta V \Sigma \Delta \Omega}$ при $SNR = [20; 30; 40; 50]$ дБ и $K_{VL}/K_{VR} = [0,5/0,5; 1/0; 0,67/0,33]$

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00786 «Разработка методологии и алгоритмических средств интеллектуальной идентификации внутренних структур биологических объектов в системах электроимпедансной томографии».

Список литературы

1. Frerichs I. и др. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. Thorax. 2017. Vol. 72. P. 83–93. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2016-208357.
2. Aleksanyan G.K., Shcherbakov I.D., Kucher A.I., Sulyz A.V. Development of the algorithm of measurement data and tomographic section reconstruction results processing for evaluating the respiratory activity of the lungs using the multi-angle electric impedance tomography. AIP Conference Proceedings. 2018. T. 1952. № 020102. 8 с. DOI: 10.1063/1.5032064.
3. Sbarbaro, Daniel & Vauhkonen, Marko & Johansen State estimation and inverse problems in electrical impedance tomog-

raphy: Observability, convergence and regularization. Inverse Problems. 2015. Vol. 31. № 4. № 045004.

4. Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Shcherbakov I.D. Research of the Multi-Frequency Electrical Impedance Tomography using Possibility for Specific Physiological Processes monitoring Tasks. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. T. 12. № 1. P. 4251–4258. DOI: 10.3923/jeasci.2017.4251.4258.

5. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 528 с.

6. Zhao Z., Yun P.J., Kuo Y.L., Fu F., Dai M., Frerichs I., Möller K. Comparison of different functional EIT approaches to quantify tidal ventilation distribution. Physiological Measurement. 2018. Vol. 39. № 1. 14 p.

7. Frerichs I., Hahn G., Schiffmann H., Berger C., Hellige G. Monitoring regional lung ventilation by functional electrical impedance tomography during assisted ventilation. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1999. Vol. 20. № 873. P. 493–505.

8. Hahn G., Sipinkova I., Baisch F., Hellige G. Changes in the thoracic impedance distribution under different ventilatory conditions. Physiological Measurement. 1995. Vol. 16. № 3A. P. 161–173.

УДК 621:631.354.2.076

**ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДРЕССОРИВАНИЯ КАБИН
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ САМОХОДНЫХ МАШИН****¹Лебединский И.Ю., ¹Сиротин П.В., ¹Черненко А.Б., ²Сысоев М.И.**¹*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail: ilialebedinski@gmail.com;*²*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, e-mail: sysoev.sysoevmaxim@yandex.ru*

В статье рассмотрены основные принципы создания систем вторичного подрессоривания кабин самоходных транспортно-технологических машин (ТТМ) для защиты от воздействия вибраций, с дисперсией в диапазоне от 1 до 20 Гц. Предложен метод, позволяющий комплексно учесть возмущения, идущие от дороги в транспортном режиме самоходной машины при движении по дорогам и различным агрофонам, а также учесть возмущения, идущие от силового агрегата, элементов трансмиссии и рабочих функциональных механизмов. Обоснованы основные положения и допущения, принимаемые при моделировании колебаний кабины. Представлены результаты комплексных экспериментальных исследований действующих динамических нагрузок самоходных ТТМ, которые являются основой для определения наиболее эффективных технических решений, позволяющих не только повысить эксплуатационные показатели и производительность, но и улучшить условия труда их операторов. Получены спектры ускорений элементов несущей системы зерноуборочного комбайна, многоосного автомобиля, а также самоходного скрепера в местах установки кабины по всем направлениям колебаний. Проведен анализ входных воздействий на кабину различных ТТМ. Использование разработанной математической модели позволило оценить эффективность различных, как существующих, так и вновь проектируемых систем вторичного подрессоривания во всех направлениях колебаний, путём сравнения расчётных показателей вибронегруженности подвесок кабины.

Ключевые слова: система вторичного подрессоривания, подвеска кабины, упругие элементы, случайное входное воздействие, спектральная плотность, виброускорения, дисперсия процесса

**PRINCIPLES OF CREATING OF SUSPENSION SYSTEMS
FOR TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SELF-PROPELLED MACHINES CABIN****¹Lebedinskiy I.Yu., ¹Sirotin P.V., ¹Chernenko A.B., ²Sysoev M.I.**¹*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: ilialebedinski@gmail.com;*²*Bauman Moscow State Technical University (MSTU), Moscow, e-mail: sysoev.sysoevmaxim@yandex.ru*

The article describes the basic principles of creating systems for the secondary suspension of the cabs of self-propelled transport-technological machines (TTM) to protect against the effects of vibrations, with a dispersion in the range from 1 to 20 Hz. A method is proposed that allows complex consideration of disturbances coming from the road in the transport mode of a self-propelled vehicle when driving on roads and various agricultural backgrounds, as well as taking into account disturbances coming from the power unit, transmission elements and operating functional mechanisms. The main provisions and assumptions taken in the simulation of cabin oscillations are substantiated. The results of comprehensive experimental studies of the dynamic loads of self-propelled TTM, which are the basis for determining the most effective technical solutions that allow not only to improve performance and productivity, but also to improve the working conditions of their operators are presented. The acceleration spectra of the elements of the carrier system of a combine harvester, a multi-axle vehicle, as well as a self-propelled scraper at cab installation sites in all directions of vibration have been obtained. The analysis of the input effects on the cockpit of various TTM. The use of the developed mathematical model made it possible to evaluate the effectiveness of various, both existing and newly designed secondary suspension systems in all directions of oscillation, by comparing the calculated indicators of the vibration load of the cab suspensions.

Keywords: secondary suspension system, cab suspension, elastic elements, random input, spectral density, vibration accelerations, process dispersion

В настоящее время и ближайшем будущем основным средством выполнения сложных и энергоёмких технологических операций в горном, строительно-дорожном и сельскохозяйственном комплексе являются самоходные транспортно-технологические машины (ТТМ), эффективность работы которых во многом определяет рентабельность многих секторов экономики. Для повышения производительности, ТТМ оснащают более эффективными рабочими и функциональными механизмами,

мощными силовыми установками, а также увеличивают их рабочие и транспортные скорости движения. Изменение указанных характеристик самоходных машин сопровождается, как правило, не только повышением действующих динамических нагрузок на них [1–3], ухудшением плавности хода, обитаемости кабины [4, 5], но и существенным увеличением конструкционной массы машины, что недопустимо с точки зрения специфики эксплуатации ТТМ, ограничением норм максимального давления на грунт,

а также агроэкологии и др. [6, 7]. Из-за особенностей компоновки, наличия большого числа неуравновешенных механизмов, присутствия детерминированных процессов при обработке технологической массы, а также особых условий эксплуатации, на рабочих местах операторов таких машин часто проявляются чрезмерные уровни действующих вибраций.

Результаты комплексных экспериментальных исследований действующих динамических нагрузок ТТМ станут основой для определения наиболее эффективных технических решений, позволяющих не только повысить эксплуатационные показатели и производительность, но и улучшить условия труда их операторов [2–4].

Таким образом, целью представленного исследования является обоснование использования экспериментально-расчётного метода, позволяющего получить оптимальные нелинейные характеристики систем вторичного поддресоривания самоходных ТТМ с различными компоновками, путём моделирования пространственных колебаний кабин с разными характеристиками упругих, демпфирующих и направляющих устройств.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются системы вторичного поддресоривания самоходных ТТМ с различными компоновками и с разными характеристиками упругих, демпфирующих и направляющих устройств подвесок кабин.

Определяющее влияние на вибронагруженность оператора рассматриваемого класса машин оказывают низкочастотные вибрации элементов остова или рамы в тех местах, где устанавливаются кабины ТТМ, которые состоят из возмущений идущих от опорной поверхности, двигателя, трансмиссии и других узлов и агрегатов выполняющих технологические операции [1, 4, 8]. Характерной для рассматриваемых спектров вертикальных, продольных и поперечных ускорений (рис. 1–3) является неравномерность распределения энергии вибрационных процессов по частотам.

Основная часть энергии вертикальных ускорений, замеренных в местах крепления кабины к элементам остова, сосредоточена в полосе частот от 1 Гц до 10 Гц и составляет 80–90% от всей энергии процесса. В интервале частот от 10 Гц до 20 Гц расположено всего 10–20%.

На спектрах вертикальных ускорений имеются ярко выраженные максимумы в низкочастотной и высокочастотной резонансных зонах колебаний остова ТТМ.

Низкочастотные максимумы соответствуют собственным частотам колебаний несущей системы как твердого тела (вертикальных, продольно-угловых, поперечно-угловых). Частоты, на которых образуются высокочастотные максимумы, являются собственными частотам вибраций изгибных и крутильных колебаний остова или рамы в местах установки кабины [2, 9, 10].

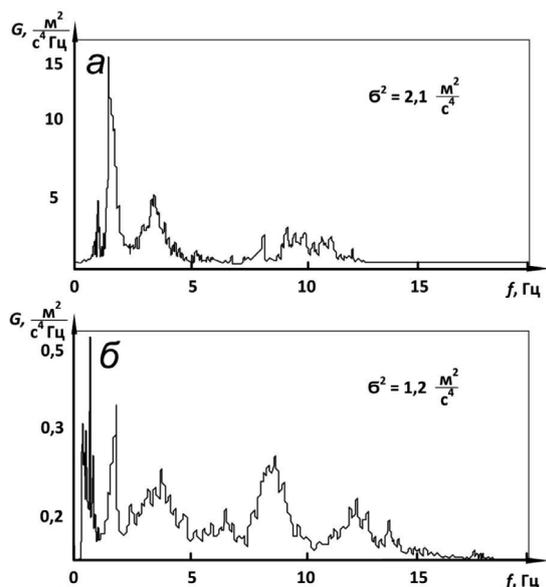


Рис. 1. Спектры ускорений элементов несущей системы зерноуборочного комбайна, полученные в местах установки кабины: а – вертикальных; б – продольных

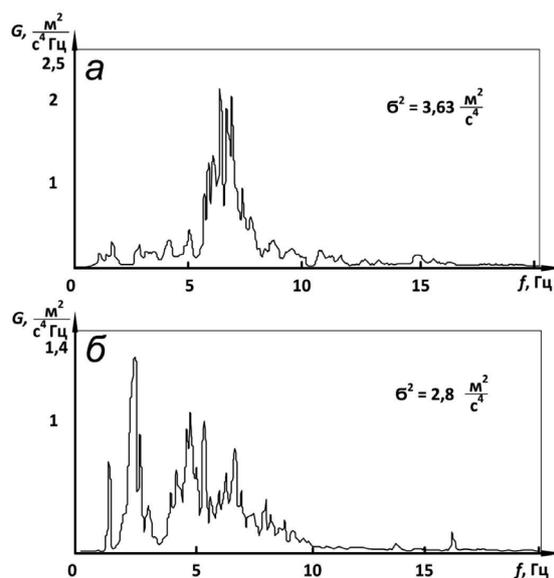


Рис. 2. Спектры ускорений элементов несущей системы многоосного автомобиля, полученные в местах установки кабины: а – вертикальных; б – поперечных

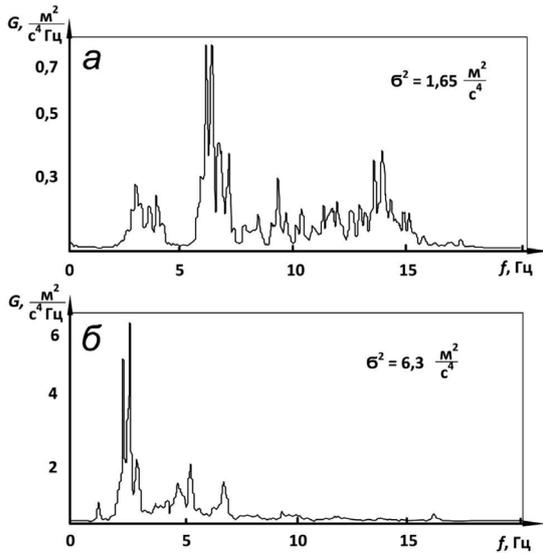


Рис. 3. Спектры ускорений элементов несущей системы самоходного скрепера, полученные в местах установки кабины: а – вертикальных; б – поперечных

При комбинированном методе возможен учёт влияния колебаний кабины на колебания элементов несущей системы ТТМ в местах её крепления при изменении параметров системы вторичного поддрессоривания. Это объясняется тем, что, во-первых, участки несущей системы, прилегающие к местам крепления кабин, могут иметь значительную податливость, а во-вторых, масса кабин современных машин относительно велика [7, 11].

Системы вторичного поддрессоривания ТТМ, как и все реальные физические объекты, имеют нелинейные упруго-диссипативные связи. Наличие нелинейностей не позволяет применять принцип суперпозиции колебаний, поэтому необходим учёт колебаний одновременно по нескольким координатам, а также учёт связей между отдельными колебаниями. В связи с этим возмущения, воздействующие на систему подвешивания кабины ТТМ, должны достаточно точно воспроизводить реально существующие во время эксплуатации процессы, как по частотному составу, так и по интенсивности [3, 7, 12].

Установлено, что горизонтальные воздействия от остова или рамы ТТМ в местах крепления кабины, вместе с вертикальными в основном влияют на вибронегруженность колёсных машин. Их уровни соизмеримы и составляют от 60 до 120%, что необходимо учитывать при исследовании динамической системы кабины [7, 5, 7].

Масса водителя автомобиля вместе с поддрессоренными частями сиденья соиз-

мерима с массой кабины ТТМ. Поэтому её влияние на колебания кабины необходимо учитывать для оценки выходных характеристик системы поддрессоривания.

Расчетная схема динамической системы кабины ТТМ, с учётом принятых допущений, представлена на рис. 4.

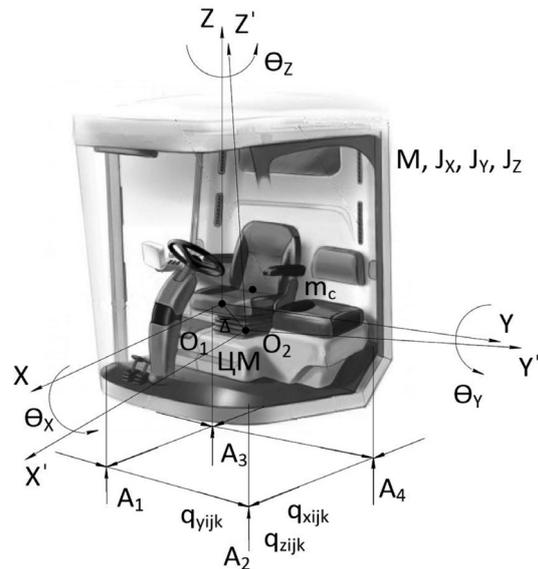


Рис. 4. Расчетная схема динамической системы кабины ТТМ

На схеме введены обозначения: O_1, O_2 – соответственно центры масс кабины массой M и сиденья массой m_c ; I_x, I_y, I_z – моменты инерции кабины относительно осей подвижной системы координат; A_1, A_2, A_3, A_4 – точки крепления подвески кабины к несущей системе автомобиля;

$q_{xijk}, q_{yijk}, q_{zijk}$ – кинематическое входное воздействие на i, j, k -й упругий и демпфирующий элемент, а также элемент «сухого» трения в неподвижных координатах;

O_1, X, Y, Z – неподвижная система координат, совпадающая с системой координат, связанной с кабиной, когда она находится в статическом равновесии;

O_2, X_c, Y_c, Z_c – координаты сиденья текущие совпадающие с координатами X_{co}, Y_{co}, Z_{co} в положении статического равновесия;

X_{co}, Y_{co}, Z_{co} – координаты сиденья относительно неподвижных координат X, Y, Z в статическом положении;

$\Theta_x, \Theta_y, \Theta_z$ – углы поворота твердого тела (кабины) в неподвижных координатах;

$\alpha_{ijk}, \beta_{ijk}, \gamma_{ijk}$ – углы между осями упругих или демпфирующих элементов или элементов «сухого» трения и осями координат;

Δ_{ijk} – прогиб упругого i -го элемента, демпфирующего j -го и k -го элемента «сухого» трения.

Динамическая система подвешивания кабины ТТМ представляет собой систему двух твердых тел, имеющих девять степеней свободы:

$$\left\{ \begin{array}{l} M\ddot{x}(t) = \sum_{i=1}^m \theta_{xi}(t) + \sum_{j=1}^{mn} R_{xi}(t) + \sum_{k=1}^i \theta_{xk}(t) - P_{xc}(t) - R_{xc}(t) - T_{xc}(t); \\ M\ddot{y}(t) = \sum_{i=1}^m \theta_{yi}(t) + \sum_{j=1}^{mn} R_{yi}(t) + \sum_{k=1}^i \theta_{yk}(t) - P_{yc}(t) - R_{yc}(t) - T_{yc}(t); \\ M\ddot{z}(t) = \sum_{i=1}^m \theta_{zi}(t) + \sum_{j=1}^{mn} R_{zi}(t) + \sum_{k=1}^i \theta_{zk}(t) - P_{zc}(t) - R_{zc}(t) - T_{zc}(t); \\ I_x \ddot{\theta}_x(t) + (I_x - I_y) \dot{\theta}_y(t) \dot{\theta}_z(t) = \sum_{i=1}^m (\theta_{zi}(t) y_i - \theta_{yi}(t) z_i) + \\ \sum_{j=1}^m (R_{zi}(t) y_i - R_{yi}(t) z_i) - (P_{zc}(t) - R_{zc}(t) - T_{zc}(t)) y_c + \\ + (P_{yc}(t) - R_{yc}(t) - T_{yc}(t)) z_c \sum_{k=1}^i (T_{zk}(t) y_k - T_{yk}(t) z_k); \\ I_y \ddot{\theta}_y(t) + (I_x - I_z) \dot{\theta}_x(t) \dot{\theta}_z(t) = \sum_{i=1}^m (\theta_{xi}(t) z_i - \theta_{zi}(t) x_i) + \\ \sum_{j=1}^m (R_{xi}(t) z_i - R_{zi}(t) x_i) - (P_{xc}(t) - R_{xc}(t)) z_c + \\ + (P_{zc}(t) - R_{zc}(t)) x_c \sum_{k=1}^i (T_{zk}(t) z_k - T_{zk}(t) x_k); \\ I_z \ddot{\theta}_z(t) + (I_y - I_x) \dot{\theta}_x(t) \dot{\theta}_y(t) = \sum_{i=1}^m (\theta_{yi}(t) x_i - \theta_{xi}(t) y_i) + \\ \sum_{j=1}^m (R_{yi}(t) x_i - R_{xi}(t) y_i) + \sum_{k=1}^i (T_{yk}(t) x_k - T_{xk}(t) y_k) - \\ - (P_{yc}(t) - R_{yc}(t) - T_{yc}(t)) x_c + (P_{xc}(t) - R_{xc}(t) - T_{xc}(t)) y_c; \\ m_c \ddot{z}_c = P_{zc}(t) - \ddot{R}_{zc}(t) - T_{zc}(t) m_c g; \\ m_c \ddot{y}_c = P_{yc}(t) - \ddot{R}_{yc}(t) - T_{yc}(t); \\ m_c \ddot{x}_c = P_{xc}(t) - \ddot{R}_{xc}(t) - T_{xc}(t). \end{array} \right.$$

Здесь: i – номер упругого элемента; $\Theta_i \equiv \Theta_i(\Delta_i)$ – характеристика i -го упругого элемента подвески кабины; j – номер демпфирующего элемента; $R_j \equiv R_j(\Delta_j)$ – характеристика j -го демпфирующего элемента; k – номер элемента «сухого» трения; $T_{kj} \equiv T_k(\Delta_k)$ – характеристика k -го элемента «сухого» трения подвески кабины; $P_c \equiv P_c(\Delta_c)$ – характеристика упругого элемента подвески сиденья; $R_c \equiv R_c(\Delta_c)$ – характеристика демпфирующего элемента подвески сиденья; $T_c \equiv T_c(\Delta_c)$ – характеристика «сухого» трения подвески

сиденья; mg и $m_c g$ – соответственно вес кабины и сиденья.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанная математическая модель случайных колебаний кабины транспортно-технологической самоходной машины отражает взаимосвязь различных движений, внешние воздействия, а также инерционные и упруго-диссипативные свойства системы.

В процессе моделирования входные воздействия на кабину транспортно-технологической самоходной машины, полученные в результате испытаний в транспортном режиме при движении по грунтовым дорогам и различным агрофонам использовались в математической модели при моделировании.

Использование разработанной математической модели позволяет оценить эффективность различных, как существующих, так и вновь проектируемых систем вторичного поддресоривания во всех направлениях колебаний, путём сравнения расчётных показателей виброн нагруженности подвесок кабины и выбрать наилучший вариант конструкции.

Критерием качества разработанной математической модели случайных колебаний кабины ТТМ является степень совпадения результатов моделирования колебаний кабины со статистическими оценками экспериментальных исследований. На рис. 5 представлены спектральные плотности ускорений в зоне центра тяжести кабины (кривая 2), полученные в результате моделирования и испытаний в транспортном режиме при движении по грунтовой дороге (кривая 1).

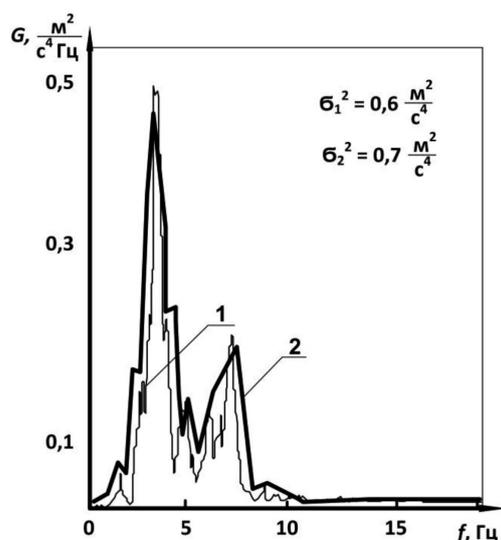


Рис. 5. Спектральные плотности ускорений в зоне центра тяжести кабины, полученные в транспортном режиме при движении по грунтовой дороге – 1 и в результате моделирования – 2

Из рис. 5 видно, что результаты теоретических исследований колебаний кабины, проведённые при помощи пространственной математической модели, имеют высокую качественную и количественную сходимость с результатами испытаний, проведённых в транспортном режиме при движении по грунтовой дороге. Характер протекания спектральных плотностей ускорений в кабине ТТМ, полученных экспериментальным и теоретическим

путём, определяет хорошее совпадение оценок ускорений в диапазоне частот от 1 до 12 Гц (максимальное различие 15%).

Выводы

1. Установлено, что в современных ТТМ продольные и поперечные возмущения от элементов несущей системы в местах установки кабин, наряду с вертикальными, являются основными воздействиями, влияющими на виброн нагруженность колёсной машины. Наряду с этим эти возмущения являются взаимосвязанными, и разработанная математическая модель случайных колебаний кабины должна описывать пространственные колебания объекта виброзащиты.

2. Предлагаемый метод позволяет моделировать колебания кабин ТТМ с разными упругими, демпфирующими и направляющими устройствами вторичной системы поддресоривания, дает возможность получать оптимальные нелинейные характеристики систем вторичного поддресоривания самоходных машин с различными компоновками.

3. Представленные данные свидетельствуют об адекватности предлагаемой модели динамической системы кабины и её реальной конструкции, а также правомочности применения её на стадии проектирования ТТМ.

Список литературы

1. Аксёнов П.В. Многоосные автомобили. М.: Машиностроение, 1989. 280 с.
2. Черненко А.Б., Гасанов Б.Г. Пневматические системы вторичного поддресоривания кабин многоосных автомобилей. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012. 156 с.
3. Корчагин П.А. Развитие научных основ проектирования виброзащитных систем землеройных машин: автореф. дис. ... докт. тех. наук. Омск, СибАДИ, 2011. 36 с.
4. Афанасьев Б.А. Проектирование полноприводных колёсных машин: учебник для вузов в 3-х т., Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2009. 496 с.
5. Шеховцов В.В., Победин А.В., Ляшенко М.В., Шеховцов К.В. Разработка модели и расчётные исследования подвески кабины транспортного средства // Проектирование колёсных машин: матер. Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию начала подгот. инж. по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана (25–26 дек. 2009 г.). ГОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2010. С. 184–188.
6. Сиротин П.В., Жилейкин М.М., Сапегин А.Г., Зленко С.В. Предпосылки создания комплексной системы горизонтирования и поддресоривания остова зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 11. С. 21–29.
7. Сиротин П.В., Лебединский И.Ю. Анализ виброакустической нагруженности рабочего места операторов зерноуборочных комбайнов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. № 1 (53). С. 113–121.
8. Жеглов Л.Ф. Виброакустика колёсных машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 205 с.
9. Сиротин П.В., Сапегин А.Г., Зленко С.В. Экспериментальная оценка плавности хода самоходного кормоуборочного комбайна // Труды НАМИ. 2017. № 4 (271). С. 67–74.
10. Ротенберг Р.В. Особенности колебаний многоосных автомобилей // Автомобильная промышленность. 1963. № 2. С. 16 с.
11. Афанасьев Б.А., Бочаров Н.Ф., Жеглов Л.Ф. Проектирование полноприводных колёсных машин: в 2 т. Т. 2. Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 465 с.
12. Корчагин П.А., Корчагин Е.А., Чакурин И.А. Снижение динамических воздействий на оператора автогрейдера в транспортном режиме: монография. Омск: СибАДИ, 2009. 195 с.

УДК 004.7

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СЕТЕВОГО УСТРОЙСТВА

Монахов Ю.М., Кузнецова А.П., Леткова Н.С., Шобин С.В.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: unklefck@gmail.com

Для быстрого расчета доступности сетей, например, в специализированных САПР, необходимо получить модели сетевых устройств, позволяющие практически мгновенно получать необходимые характеристики задержек. Авторы предлагают «сверточный» подход к моделированию, основанный на идентификации «импульсной характеристики» сетевого устройства (абстрактного обслуживающего прибора). В статье рассмотрены вопросы обработки входящей клиентской заявки, которая отправляется абстрактному обслуживающему прибору. В качестве такого устройства может выступать как маршрутизатор, так и сервер. В ходе исследования была описана построенная математическая модель с точки зрения теории стохастических систем и предложен способ определения импульсной характеристики абстрактного обслуживающего прибора в сетях передачи данных. По разработанному методу был проведен ряд опытов. В качестве выходного сигнала рассматривались последовательности величин времени, в течение которых сетевое устройство обрабатывало клиентские заявки. В результате авторами была найдена усредненная импульсная характеристика абстрактного обслуживающего прибора. Было произведено восстановление вида выходного сигнала в телекоммуникационной сети по методу Гиллемина. Погрешность восстановленного сигнала оценивалась по критерию Смирнова, при этом гипотеза H_0 подтверждается при уровне значимости $\alpha = 0,25$.

Ключевые слова: импульсная характеристика, сетевое устройство, задержка клиентских запросов, корреляционный анализ

ABOUT THE POSSIBILITY OF USING THE IMPULSE TRANSFER FUNCTION FOR MODELING THE NETWORK DEVICE BEHAVIOR

Monakhov Yu.M., Kuznetsova A.P., Letkova N.S., Shobin S.V.

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, Vladimir; e-mail: unklefck@gmail.com

In order to quickly evaluate the availability of networks, e.g. in specialized CAD/CAE systems, it is necessary to synthesize models of network devices, which will allow achieving required delay characteristics almost instantaneously. Authors propose the «convolutional» approach to modeling, based on an «impulse response» function identification for a network device (abstract server). The article discusses the processing of an incoming client request, which is sent to an abstract service device. Such a device can be either a router or a server. The authors describe the constructed mathematical model from the point of view of the theory of stochastic systems and suggest a method for determining the impulse response of an abstract server in data networks. According to the developed method, a series of experiments were carried out. The sequences of duration values of processing client requests are considered as an output signal. As a result, the averaged impulse response of the abstract server was found. The output signal type was regenerated using the Guillemin method. The error of the regenerated signal was estimated by the Smirnov criterion, and the null hypothesis is confirmed at a significance level of $\alpha = 0.25$.

Keywords: impulse response, network device, client request delay, correlation analysis

Для быстрого расчета доступности сетей, например, в специализированных САПР, необходимо получить модели сетевых устройств, позволяющие практически мгновенно получать необходимые характеристики задержек. Авторы предлагают «сверточный» подход к моделированию, основанный на идентификации «импульсной характеристики» сетевого устройства (абстрактного обслуживающего прибора). Данная работа содержит метод, опубликованный ранее в [1], однако подвергнутый доработке, в частности, восстановление сигнала происходит не просто операцией свертки, а посредством метода Гиллемина. Таким образом, отмеченный в [1] эффект падения амплитуды сигнала на выходе был

компенсирован без введения в схему компенсирующего звена.

Рассматриваемую в исследовании систему можно описать с точки зрения теории стохастического управления. Для этого необходимо изучение непосредственно самого обслуживающего прибора, который представляет собой линейную одномерную систему. Одномерными являются системы с одной регулируемой величиной [2]. На вход устройство получает поток пакетов, которые генерируются через случайные интервалы времени. В качестве выходного сигнала имеется поток обработанных заявок. Некоторый оператор X преобразует входящий трафик и описывает функциональную зависимость между входным и выходным потоками заявок.

Таким образом, цель исследования сводится к определению оператора X , так как он, действуя на входное распределение определенным способом и преобразовывая его в выходное, характеризует процесс обработки клиентских заявок абстрактным обслуживающим прибором.

Материалы и методы исследования

Под математической моделью объекта понимается описание функциональной зависимости между наблюдаемыми сигналами – оператор связи между функциями входных и выходных сигналов процесса. Построение таких моделей в основном осуществляется двумя способами: аналитическим и экспериментальным, а также путем их комбинаций.

Если из-за недостатка данных аналитическое описание объекта выполнить невозможно, применяют экспериментальные методы, в этом случае для построения модели используются непосредственно экспериментальные данные. В этом случае производится измерение входных и выходных сигналов системы, и модель формируется в результате обработки соответствующих данных [3].

В экспериментальном исследовании объектом изучения является сетевое устройство (маршрутизатор) в качестве линейной одномерной системы, на вход которой подается поток заявок, а на выходе имеется поток обработанных заявок. Поток заявок – это входящий трафик, который поступает на сетевое устройство через случайные промежутки времени. В качестве выходного сигнала рассматриваются временные интервалы между пакетами, прошедшими обработку сетевым устройством. Входящий поток заявок должен представлять собой эталонное воздействие на линейную систему. Для этого необходимо сгенерировать с помощью эталонного генератора случайных чисел набор равномерно распределенных величин – задержек между входящими запросами, которые и будут рассматриваться в качестве «белого шума».

Определение функциональной зависимости между входным и выходным сигналом осуществлялось путем проведения эксперимента. Две ЭВМ с операционной системой «Ubuntu» подключались к портам маршрутизатора (рис. 1).

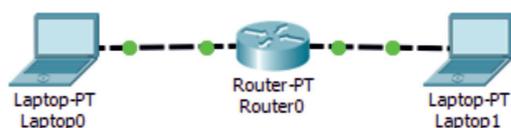


Рис. 1. Схема подключения ЭВМ к маршрутизатору

Далее производилась настройка маршрута обмена пакетами, файрволом блокировались все порты, кроме двух, подключенных к маршрутизатору. При отправке пакетов отправляющая ЭВМ является отправителем, а принимающая – приемником. После проведения каждого опыта данные ЭВМ менялись ролями. Все пакеты отправлялись через случайно сгенерированные промежутки времени в миллисекундах с помощью утилиты «hping». Фиксировались данные интервалы времени в текстовом файле утилитой «smoking». С помощью утилиты «tcpdump» регистрировалось время получения пакета на принимающей ЭВМ и записывалось каждое новое значение в отдельный текстовый файл.

Далее был произведен расчет количества необходимых опытов. При расчете использовалось распределение Стьюдента, а искомое значение с заданной точностью вычислялось с помощью соотношения

$$\delta = \frac{t_{\alpha} S}{\sqrt{n\bar{x}}}, \quad (1)$$

где δ – заданная точность, t_{α} – α -квантиль распределения Стьюдента, S^{α} – выборочная оценка стандартного отклонения, \bar{x} – выборочная оценка среднего значения, n – число степеней свободы.

В соответствии с таблицей коэффициентов Стьюдента при $\alpha = 0,95$ и полученного значения было найдено необходимое количество опытов. При коэффициенте Стьюдента равном 2,76 оптимальное количество опытов будет равно 5.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам пяти опытов было получено 10 текстовых файлов, разделенных на 2 группы: к первой группе относятся 5 файлов с находящимися в них 5000 величин – интервалами времени в миллисекундах, за которые генерировался каждый новый пакет. Во второй группе были 5 файлов, содержащие также по 5000 величин, но со значениями задержки каждого пакета маршрутизатором.

Импульсный отклик является важнейшей характеристикой системы и позволяет описать ее как «черный ящик», задав реакцию системы на некоторый простейший эталонный сигнал [4]. Таким образом, входной сигнал должен представлять собой эталонное воздействие на линейную систему, то есть являться «белым шумом». Термин «белый шум» обычно применяется к сигналу, имеющему автокорреляционную функцию, математически описываемую дельта-функцией Дирака по всем измерени-

ям многомерного пространства, в котором этот сигнал рассматривается. Данное статистическое свойство является основным для сигналов такого типа [5]. Величина лага для построения АКФ равна 50. Вид входного сигнала первого опыта и его автокорреляционная функция показаны на рис. 2 и 3 соответственно.

Полученный график АКФ входного сигнала в некотором приближении напоминает дельта-функцию Дирака. Таким образом, данный сигнал можно рассматривать в качестве белого шума [6].

Взаимная корреляционная функция (ВКФ) двух различных сигналов описывает степень сходства их формы, а также их смещение друг относительно друга по времени. ВКФ представляет собой импульсную характеристику устройства, то есть отклик линейной системы на эталонное воздействие при нулевых начальных условиях.

После проведения 5 опытов было получено две группы наборов задержек: между входными запросами и между заявками, обработанными маршрутизатором. Используя полученные данные, были определены пять ВКФ выходного сигнала. По совокупности пяти ВКФ была вычислена усредненная импульсная характеристика устройства (рис. 4).

Для восстановления вида выходного сигнала был использован метод Гиллемина. Согласно данному подходу, аппроксимирующая частотную характеристику функция или её производные выражаются как последовательность бесконечно коротких импульсов. Данная последовательность представляет собой заданную функцию в квантованной форме. Вероятность ошибки в данном способе восстановления сигнала в основном связана со ступенчатым характером аппроксимирующей функции [7]. Найденная частотная характеристика аппроксимируется кусочно-линейным образом, далее два последовательных дифференцирования сводят аппроксимирующую функцию к последовательности бесконечно коротких импульсов. Окончательное выражение для искомой функции времени $f(t)$ имеет вид

$$f(t) = -\frac{2}{\pi t^2} \sum_{k=0}^{n-1} a_k (\cos(w_k t) - \cos(w_{k+1} t)), \quad (2)$$

где a_k – величина k степени производной частотной характеристики, w_k – координата ступеней на частотной оси.

Тогда восстановленный выходной сигнал будет иметь вид (рис. 5).

Значение эмпирической функции распределения в точке x равно доле резуль-

татов наблюдений в выборке, меньших x [8]. Для проверки гипотезы H_0 создано много непараметрических методов – критерии Смирнова, типа омега-квадрат (Лемана – Розенблатта), Вилкоксона (Манна – Уитни), Ван-дер-Вардена, Сэвиджа, хи-квадрат и другие. Распределения статистик всех этих критериев при справедливости H_0 не зависят от конкретного вида совпадающих функций распределения $F(x) \circ G(x)$ [9].

Оценка погрешности восстановленного сигнала производилась по критерию согласия Смирнова. Проверяемая нулевая гипотеза имеет вид $H_0: F_1(x) = F_2(x)$ против конкурирующей $H_0: F_1(x) \neq F_2(x)$ [10].

Статистика критерия Смирнова для сравнения двух эмпирических функций имеет вид

$$\lambda = \sqrt{\frac{n_1 * n_2}{n_1 + n_2}} + \max |F_{n_1}(x) + F_{n_2}(x)|, \quad (3)$$

где $F_{n_1}(x)$ и $F_{n_2}(x)$ – эмпирические функции распределения, построенные по двум выборкам с объемами n_1 и n_2 соответственно. Гипотеза H_0 отвергается, если фактически наблюдаемое значение статистики λ больше критического $\lambda^{кр}$, т.е. $\lambda > \lambda^{кр}$, и принимается в противном случае.

При $n_1, n_2 \geq 50$ распределение статистики λ сводится к распределению Колмогорова для статистики λ . Тогда гипотеза H_0 опровергается на уровне значимости α , если фактически наблюдаемое значение λ больше критического λ^α , т.е. $\lambda > \lambda^\alpha$, и принимается в противном случае.

Объем каждой выборки 4999 значений. Выборки разбиты на 20 интервалов, начальное значение является минимальным из двух выборок, а конечным – самое большое. Первым шагом является вычисление частот значений в каждом интервале для каждой выборки, n_1 и n_2 соответственно. Затем необходимо посчитать накопленные частоты двух эмпирических функций для каждого интервала, обозначим их как n_1^{mk} и n_2^{mk} соответственно. Из полученных частот вычисляются значения их эмпирических функций распределения: $F_{n_1}(x_i) = \frac{n_1^{mk}}{n_1}$ и $F_{n_2}(x_i) = \frac{n_2^{mk}}{n_2}$.

Затем производится расчет модуля разницы между ними и находится его максимальное значение по формуле (4) из [10]:

$$\max |F_{n_1}(x) + F_{n_2}(x)|. \quad (4)$$

Для данных функций распределения максимальный модуль разницы получился равным 0,136.

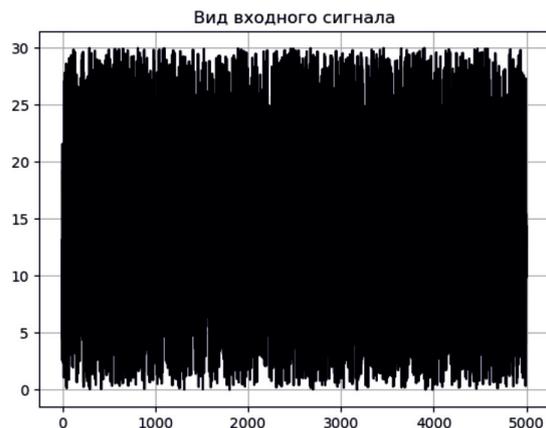


Рис. 2. Вид входного сигнала первого опыта

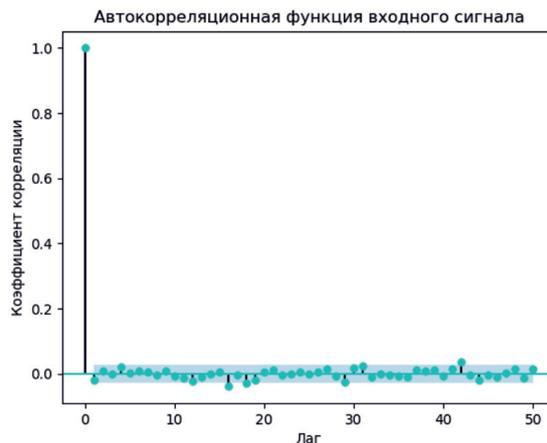


Рис. 3. АКФ входного сигнала первого опыта

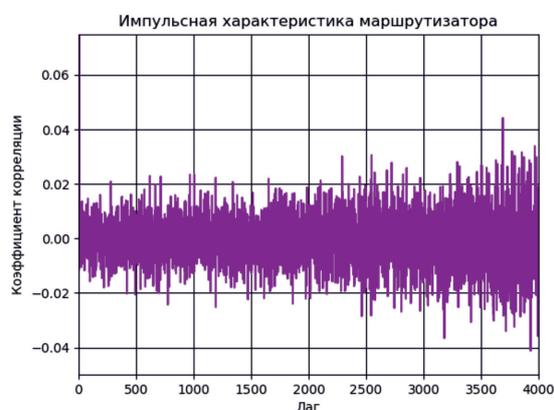


Рис. 4. Импульсная характеристика маршрутизатора

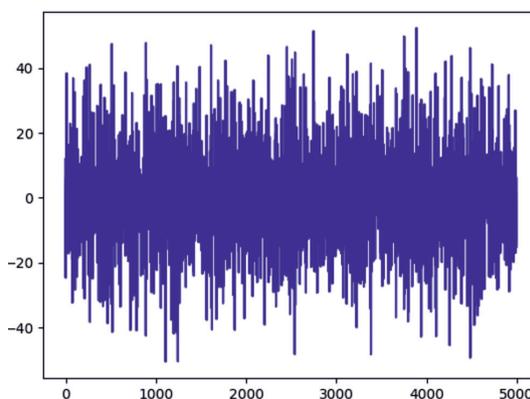


Рис. 5. Восстановленный методом Гиллемина вид выходного сигнала

Подставляя полученные значения в формулу статистики критерия Смирнова, получаем $\lambda = 6,79$ для уровня значимости $\alpha = 0,25$ $\lambda = 6,8$. Так как $\lambda < \lambda_{0,25}$, то принимается нулевая гипотеза H_0 , следовательно, обе выборки принадлежат одной и той же функции распределения [11].

Заключение

В ходе данной работы был представлен метод определения импульсной характеристики сетевого устройства. По результатам проведенного эксперимента была найдена импульсная характеристика маршрутизатора, а также выполнено восстановление вида выходного сигнала по частотной характеристике методом Гиллемина. Согласно критерию Смирнова гипотеза справедлива при уровне значимости $\alpha = 0,25$.

Данная статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательских работ, поддержанных грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 16-47-330055, № 18-07-01109.

Список литературы

1. Монахов Ю.М., Власова А.М. Метод определения импульсной характеристики абстрактного обслуживающего прибора в сетях TCP/IP // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2017. № 2 (26). С. 34–40.
2. Щербаков В.С., Лазута И.В. Теория автоматического управления. Линейные непрерывные системы. Омск: СибАДИ, 2017. 142 с.
3. Трошина Г.В. Об активной идентификации динамических объектов // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 4. С. 41.
4. Матвеев Ю.Н., Симончик К.К., Тропченко А.Ю., Хитров М.В. Цифровая обработка сигналов. СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013. 166 с.
5. Шум ZETLAB. 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://zetlab.com/shum/> (дата обращения: 25.12.2018).
6. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986. 526 с.
7. Гиллемин Э.А. Синтез пассивных цепей. М.: «Связь», 1970. 716 с.
8. Минашкин В.Г. Статистика: учебник для бакалавров. М.: «Юрайт», 2013. 448 с.
9. Орлов А.И. Прикладная статистика. 2-е испр. изд. М.: НОУ «Интуит», 2016. 947 с.
10. Рублева Г.В. Математическая статистика: статистические критерии проверки гипотез. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014. 50 с.
11. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. Перевод с немецкого. М.: Издательство Иностранной литературы, 1960. 435 с.

УДК 004.031.2(470.23-25)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА МЕТОДАМИ АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНЫХ ГРАФОВ

Наумов В.Н., Кучеренко Д.В.

Северо-Западный институт РАНХуГС, Санкт-Петербург, e-mail: naumov122@list.ru, kucherenko.dmitry@gmail.com

В данной статье рассмотрено использование методов анализа социальных графов при исследовании существующей инфраструктуры государственных информационных систем на примере Санкт-Петербурга, как современного, динамично развивающегося мегаполиса, который проводит активную работу по автоматизации деятельности исполнительных органов государственной власти за счет создания новых и развития уже существующих государственных информационных систем. В работе представлены результаты анализа выборки государственных информационных систем. С помощью методов анализа социальных графов проведен анализ информационной инфраструктуры Санкт-Петербурга и установлено, что граф информационных систем является связным, а значит, имеется возможность интегрировать все государственные информационные системы, создав единое информационное пространство города, выявлены системы, которые можно рассматривать как центральные вершины графа, на основе которых можно реализовать задачи совершенствования инфраструктуры. В результате анализа также выявлены сообщества систем, которые также имеют свою внутреннюю структуру и отраслевую направленность, что свидетельствует о том, что автоматизация сквозных процессов в одной отрасли требует организации активного межведомственного информационного обмена и, как следствие, приводит к интеграции отраслевых систем. На основании результатов сформулирована потребность в разработке и закреплении единых правил управления развитием ИТ архитектурой органов власти Санкт-Петербурга (формирования целевой ИТ архитектуры).

Ключевые слова: электронное правительство, государственные информационные системы, региональная информатизация, планирование ИТ архитектуры, кластерный анализ, граф взаимодействия систем

ANALYSIS OF THE STRUCTURAL COMPLEXITY OF THE STATE INFORMATION SYSTEMS OF ST. PETERSBURG USING METHODS OF ANALYSIS OF SOCIAL GRAPHS

Naumov V.N., Kucherenko D.V.

North-West Institute of Management – branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Saint-Petersburg, e-mail: naumov122@list.ru, kucherenko.dmitry@gmail.com

This article discusses the use of methods of analysis of social graphs in the study of the existing infrastructure of state information systems on the example of St. Petersburg, as in the modern, dynamically developing metropolis, which is actively working to automate the activities of the executive bodies of state power through the creation and development of existing state information systems. The paper presents the results of the analysis of a sample of state information systems. With the help of methods of analysis of social graphs in this article, the analysis of information infrastructure of St. Petersburg and found that the graph of information systems is connected, and therefore it is possible to integrate all state information systems to create a single information space of the city, identified systems that can be considered as the Central vertices of the graph, on the basis of which it is possible to implement the task of improving the infrastructure. As a result of the analysis, the communities of systems that also have their own internal structure and industry orientation are also identified, which indicates that the automation of end-to-end processes in one industry requires the organization of active interdepartmental information exchange, and as a consequence leads to the integration of industry systems. Based on the results articulated the need for the development and consolidation of common rules of management development of the it architecture of the government of St. Petersburg (the formation of the target it architecture).

Keywords: e-government, state information systems, regional IT architecture, IT architecture planning, cluster analysis, graph of interaction of systems

В Санкт-Петербурге, как и в других мегаполисах, ведется активная работа по автоматизации деятельности исполнительных органов государственной власти (ИОГВ) за счет создания новых, а также развития уже существующих государственных информационных систем (ГИС). В федеральном законе «Об информации, информационных технологиях и защите информации» говорится, что такие систе-

мы создаются в целях реализации полномочий государственных органов и обеспечения обмена информацией между ними. Для достижения этих целей особое внимание обращается на инфокоммуникационные технологии, на создание и совершенствование инфраструктуры ГИС.

Существуют различные ГИС по уровню интеграции процессов, отраслевой специфике, типу решаемых задач. Данные систе-

мы взаимодействуют друг с другом, образуя инфраструктуру ИОГВ. В статье предложен подход к ее исследованию, а также приведены результаты такого исследования на примере Санкт-Петербурга.

Цель исследования состоит в обосновании возможности использования методов анализа социальных графов при решении задач исследования государственных информационных систем, а также потребности в наличии единых правил и инструментов управления развитием ИТ архитектурой органов власти Санкт-Петербурга, разработки и внедрении целевой модели ИТ архитектуры органов власти Санкт-Петербурга.

Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа ГИС, их межсистемного взаимодействия была сделана выборка из Реестра государственных информационных систем Санкт-Петербурга [1].

Представим инфраструктуру графом, вершины которого соответствуют отдельным ГИС, а ребра определяют информационное взаимодействие между ними. Веса ребер графа определяют объем взаимодействия, частоту и важность передаваемой информации. Наличие разных типов взаимодействия определяет множество инфраструктурных графов

$$G_k = \langle V_k, E_k, W_k \rangle,$$

где V_k – множество вершин графа; E_k – множество ребер графа; W_k – вес ребер графа; k – тип взаимодействия.

Объединенный граф инфраструктуры имеет вид

$$G = \bigcup_{k=1}^K G_k = \langle V, E, W \rangle,$$

где $V = \bigcup_{k=1}^K V_k$; $E = \bigcup_{k=1}^K E_k$; K – число типов взаимодействия. Вес объединенного графа для каждого $v_{ij} \in V$ ребра определяется суммой весов исходных графов $w_{ij} = \sum_{k=1}^k w_{ij}^k$.

Под структурной сложностью инфраструктуры будем понимать свойство, оценивающее размерность такого объединенного графа, многообразие маршрутов между его вершинами, число циклов, близость между вершинами и др. Данное свойство является комплексным. Оно позволяет оценивать: надежность, устойчивость, живучесть, оперативность и инфраструктуру исполнительных органов государственной власти. Вопросы структурной сложности систем на основе использования теории графов были

приведены в [2]. Вместе с тем в данной книге было рассмотрено сравнительно небольшое число параметров, формируемых на основе матрицы смежности и матрицы расстояний. Прикладные вопросы их применения рассмотрены кратко.

С другой стороны, прикладной характер теории графов нашел свое отражение в анализе социальных сетей, изучаемых социальных структур, наличие в них сообществ, клик и др. Данный анализ имеет ясную практическую направленность. Социальная сеть в нем понимается как граф, узлы которого представлены социальными объектами, а ребра – социальными связями между ними. При решении задач анализа социальных сетей используется большее число показателей, метрик, с помощью которых можно исследовать социальные объекты [3]. В настоящей статье показана целесообразность использования методов и средств построения и анализа социальных графов в решении задач исследования инфраструктуры исполнительных органов государственной власти.

К одному классу задач исследования социальных графов относятся задачи кластеризации с целью разбиения субъектов сетей на группы, разработки стратегий для каждой группы, более тщательного анализа каждой группы, определения кругов «общения» субъектов и др. Для решения таких задач разработаны различные методы кластеризации, основанные на исследовании показателей центральности (степенной, промежуточной, собственного вектора, Катца) и модулярности. В библиотеку `igraph` языка R [4] включено девять методов, среди которых можно выделить, например, метод `betweenness`, основанный на использовании коэффициента центральности по посредничеству.

Выбор метода кластеризации может быть основан на значении показателя модулярности для графа G , под которым понимается скалярная величина из отрезка $[-1, 1]$, количественно описывающая неформальное определение структуры сообществ. Данный показатель вычисляется с помощью соотношения [3, 5]:

$$Q = 1 / 2m \sum_{i,j} (a_{ij} - k_i k_j / 2m) \delta(c_i, c_j),$$

где a_{ij} – элемент матрицы смежности графа A ; k_i – степень i -й вершины графа; k_j – степень j -й вершины графа; c_i, c_j – метка вершины i, j (номер сообщества или кластера, к которому относится вершина); m – общее количество ребер в графе; $\delta(c_i, c_j)$ – дельта-функция, равная единице при $c_i = c_j$ и нулю в других случаях. Таким

образом, ненулевыми слагаемыми в целевой функции будут те, для которых вершины графа принадлежат одному кластеру.

В этой формуле просчитывается количество связей, находящихся внутри одного кластера, и потом они складываются. Обратим внимание, что здесь также присутствует член $k_i k_j / 2m$. Данное слагаемое указывает на относительные степени вершин (плотности) в случайном графе. Таким образом, плотность в оптимизируемом графе инфраструктуры можно использовать как относительную метрику. У сформированного кластера графа плотность должна быть строго больше, чем в случайном графе.

Для взвешенного графа данная формула уточняется и принимает вид

$$Q = 1 / 2w \sum_{i,j} (w_{ij} - k_i k_j / 2w) \delta(c_i, c_j),$$

$$\text{где } w = \sum_{i,j} w_{ij}.$$

В данной формуле относительные степени вершин зависят от их веса. Решение задачи кластерного анализа для графа инфраструктуры ГИС предусматривает максимизацию значения модулярности. С целью решения данной задачи могут быть использованы различные алгоритмы, в том числе «жадный алгоритм» для графов большой размерности [6]. Выбор алгоритма зависит от значения показателя модулярности.

Распределение графа на кластеры (сообщества) позволит выявить подграфы, в которых число связей между ГИС сравнительно велико. Следовательно, такие подграфы можно рассматривать как отдельные сообщества, которые можно рассматривать как отдельную самостоятельную структуру. Развитие инфраструктуры ГИС возможно в пределах каждого сообщества.

Применение методов социальных сетей, а также методов теории графов позволяют провести дальнейший количественный анализ полученных сообществ. Такой анализ позволит определить возможные пути развития инфраструктуры в пределах каждого из сообществ, близость сообществ и возможность их объединения и др.

В дальнейшем воспользуемся данным алгоритмом при исследовании инфраструктуры ИОГВ Санкт-Петербурга. Будем представлять данную структуру социальным графом, вершинами которого являются отдельные ГИС с идентификаторами – номерами систем, а ребрами – информационные связи между ними. В силу того, что данные связи двунаправленные, граф является неориентированным. Он состоит из 63 вершин и 165 ребер. На рис. 1 приведен граф вза-

имосвязей ГИС Санкт-Петербурга. Исследуем свойства данного графа. С этой целью будем использовать программный пакет для анализа и визуализации Gephi, а также язык программирования и графическую оболочку RStudio, а также графическую библиотеку igraph [4].

При исследовании инфраструктуры ГИС Санкт-Петербурга примем допущение, что все веса одинаковые, поэтому ими можно пренебречь. Такое допущение основано на том, что задача определения весов нуждается в самостоятельном исследовании.

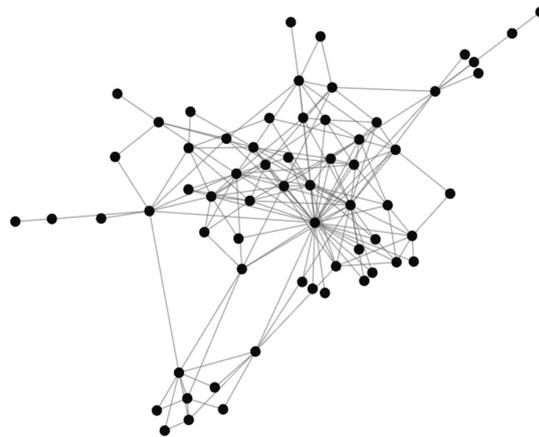


Рис. 1. Граф взаимосвязей ГИС Санкт-Петербурга

Судя по рисунку, можно сделать следующие выводы:

1. Граф является связным. Таким образом, между любыми двумя ГИС исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга имеется связь. Следовательно, имеется возможность интегрировать все государственные информационные системы в единую систему, создав единое информационное пространство города. Конечно, кроме существования физической связи необходимо обеспечить все протоколы взаимодействия, единые форматы данных, их целостность.

2. Диаметр исследуемого графа равен шести. Следовательно, максимальное число узлов коммуникации для связи между любыми двумя ГИС исследуемой инфраструктуры равно пяти. На рис. 2 приведена гистограмма эксцентриситетов всех вершин графа (максимальных расстояний между любыми ГИС инфраструктуры). Судя по гистограмме средний эксцентриситет равен 4,48.

3. Имеется большая дисперсия степеней вершин графа. Следовательно, есть системы, соответствующие вершины графа которых можно рассматривать как центральные. На их основе можно реализовать задачи со-

вершенствования инфраструктуры с целью уменьшения диаметра и эксцентриситетов вершин графа. На рис. 3 приведена гистограмма распределения степени вершин графа. Несмотря на то, что средняя степень вершины графа примерно равна пяти, существует сравнительно небольшое число вершин с большой степенью. Максимальная степень вершины равна тридцати пяти.

4. По аналогии с социальными сетями рассматриваемый граф относится к категории безмасштабного графа. Степени вершин убывают по степенному закону. Вновь приходим к выводу о наличии центральных вершин, соответствующие ГИС для которых можно рассматривать как системообразующие. Вокруг них следует совершенствовать инфраструктуру ГИС Санкт-Петербурга.

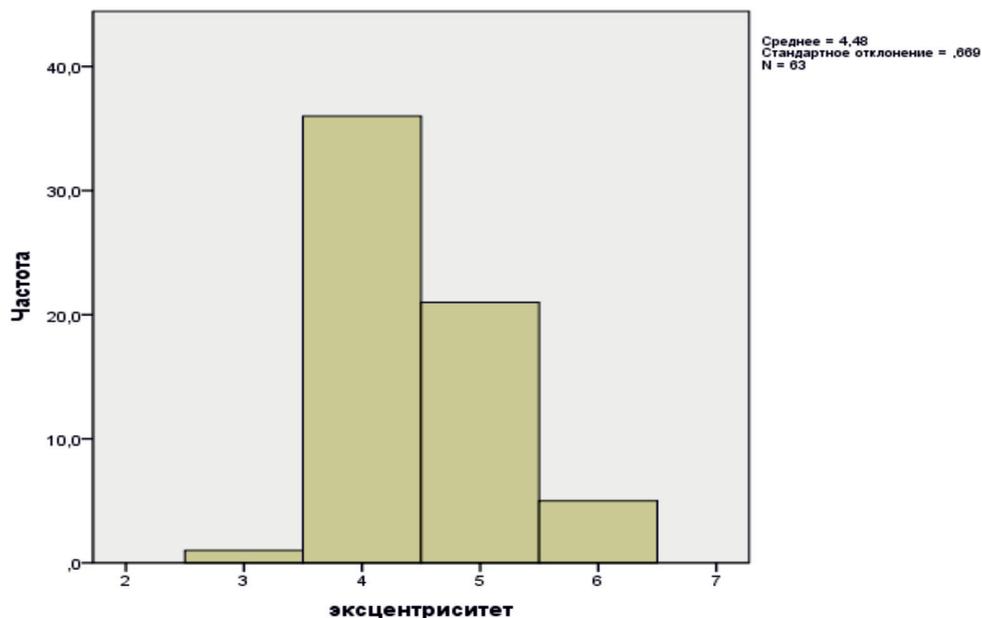


Рис. 2. Гистограмма распределения эксцентриситета

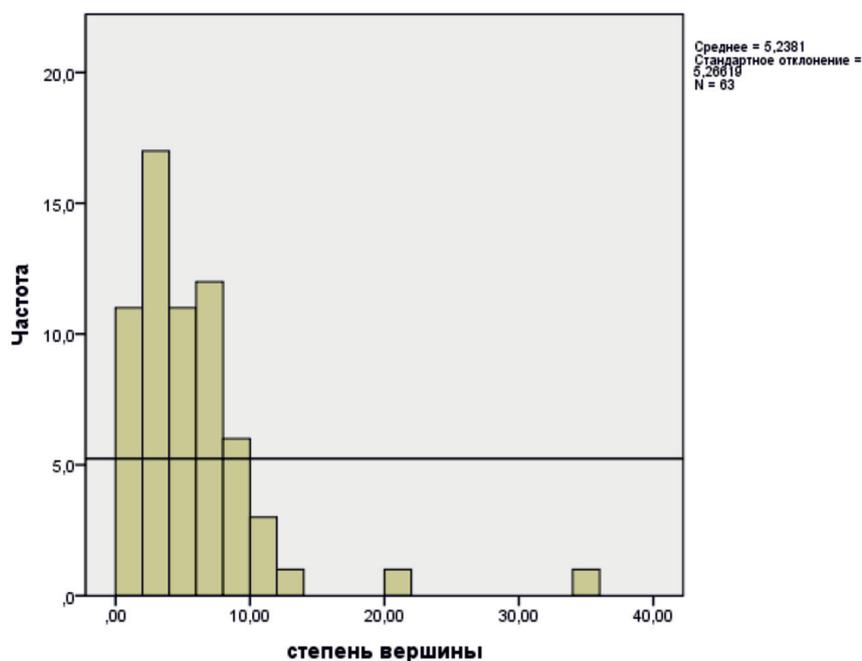


Рис. 3. Гистограмма распределения степени вершин графа

Результаты решения задачи кластерного анализа

| Метод кластерного анализа | Betweenness | Fast greedy | Info map | Label Propagation | Leading eigen | louvain Finding | Spin glass | Walk trap |
|---------------------------|-------------|-------------|----------|-------------------|---------------|-----------------|------------|-----------|
| Число кластеров | 21 | 6 | 5 | 2 | 7 | 5 | 6 | 9 |
| Значение модулярности | 0,28 | 0,39 | 0,25 | 0,17 | 0,32 | 0,38 | 0,39 | 0,33 |

В таблице приведены результаты решения задач кластеризации различными методами, полученными с помощью пакета igraph [4]. Данная таблица показывает, что рассмотренные методы кластеризации графов приводят к разным результатам, существенно отличающимся друг от друга по числу кластеров, а также по распределению объектов в них. Поэтому стоит задача выбора метода кластеризации, например, по значению показателя модулярности. Наибольшее значение модулярности, равное 0,39, характерно для двух из анализируемых методов, метода «жадной» оптимизации (fast greedy) и метода «спинового стекла» (spin glass). Сравнительно его большое значение свидетельствует о предрасположенности графа к кластеризации, наличии групп ГИС, тесно связанных между собой в сообществе [7].

Сравнительный анализ результатов кластерного анализа, этими двумя методами, показывает, что степень совпадения состава кластеров, определенных с их помощью, составляет более 90%, что свидетельствует о хорошем совпадении результатов решения задачи кластерного анализа.

В результате решения задачи оптимизации граф инфраструктуры ГИС Санкт-Петербурга разбит на шесть классов кластеров.

На рис. 4 приведен граф, в котором выделены шесть полученных кластеров, сообществ ГИС, построенных с помощью Gephi. Размер вершины графа соответствует номеру кластера. Судя по графику их размеры не сильно различаются. Однако первый кластер (соответствующий подграф находится справа внизу) включает наибольшее число треугольников. Для него также характерно максимальное значение среднего кластеринга, позволяющего оценить степень плотности кластера. Если данный показатель принимает значения близкие к единице, то это значит, что в подграфе, соответствующем кластеру, содержится много треугольников (замкнутых триплетов), и его вершины склонны образовывать связь, если они соединены через третью вершину. По аналогии с социальным графом друзей, данный коэффициент определяет долю друзей (смежных вершин) персонажа, которые дружат между

собой. Отметим, что в данном кластере находятся вершины с наибольшей степенью вершин (средняя степень вершин для этого кластера равна 6,3). Такие вершины можно рассматривать как аномальные. Они являются центральными как для кластера, так и для всего графа в целом.

Соответственно, если значение среднего кластеринга близко к нулю, то имеет место обратная тенденция. Такое значение присуще пятому кластеру (соответствующий подграф на рис. 4 расположен сверху слева). Можно предположить, что его образуют небольшие ГИС, которые слабо связаны с другими системами и вносят малый вклад в развитие информационной инфраструктуры города.

Таким образом, результаты кластеризации показывают, что несмотря на то, что в городе сформирована связанная инфокоммуникационная структура, в ней существует шесть сообществ, которые следует рассматривать как отдельные подсети. В данных сообществах ГИС связаны друг с другом. В них сформированы треугольники (триплеты), свидетельствующие о плотности сформированных сообществ. Дальнейшая автоматизация возможна в направлении увеличения плотности таких сообществ с учетом их размера и кластеринга. На рис. 5 приведены графы для каждого из шести сообществ.

Используя другие показатели социальных графов, можно оценить структурную важность каждой вершины. Так, определение показателей центральности: близости, промежуточности, собственного вектора позволяет выявить вершины, являющиеся структурно важными, на основе которых можно совершенствовать качество инфокоммуникационной сети. Определение центральности промежуточности с помощью соотношения позволяет определить ГИС, через которые проходит максимальное число маршрутов, соединяющих между собой две информационные системы.

В результате расчета выявлено, что существуют две ГИС (рис. 4, системы с номерами 1786 и 1783), которые наиболее важны в создании связанной информационной структуры. Они выступают в виде «мостов», сое-

диняющих отдельные сообщества в инфраструктуре ГИС Санкт-Петербурга. Данные две ГИС также имеют максимальные значения показателя pagerank, используемого при анализе важности веб-страниц, максимальное значение гармонической центральности, а также центральности собственного вектора, что подтверждает гипотезу о наибольшей важности этих ГИС в формируемой инфраструктуре.

Таким образом, в инфраструктуре ГИС Санкт-Петербурга имеется сравнительно небольшое число систем, с помощью которых можно сформировать единое городское информационное пространство.

Внешний вид каждого из приведенных графов позволяет сделать вывод, что сообщества также имеют свою внутреннюю структуру, включающую свои сообщества. Следует отметить, что между каждой парой сообществ имеется связь, что определяет структурную надежность инфраструктуры.

При анализе ГИС, вошедших в состав каждого кластера, удалось выявить 4 сообщества с явно выраженной отраслевой направленностью, в которые вошли системы

со смежными целями, задачами и назначением (по данным Реестра ГИС [1]). Далее представлен состав основных систем в отраслевых блоках.

Подграф № 1 «Здравоохранение» содержит в своем составе следующие ГИС:

– 2634 – Система обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» г. Санкт-Петербурга;

– 2680 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Управление скорой медицинской помощью Санкт-Петербурга»;

– 2206 – Специализированная медицинская информационная система;

– 1743 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Региональный фрагмент единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения»;

– 1754 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Учет лиц без определенного места жительства, прибывающих в Санкт-Петербург из других регионов Российской Федерации и иностранных государств».

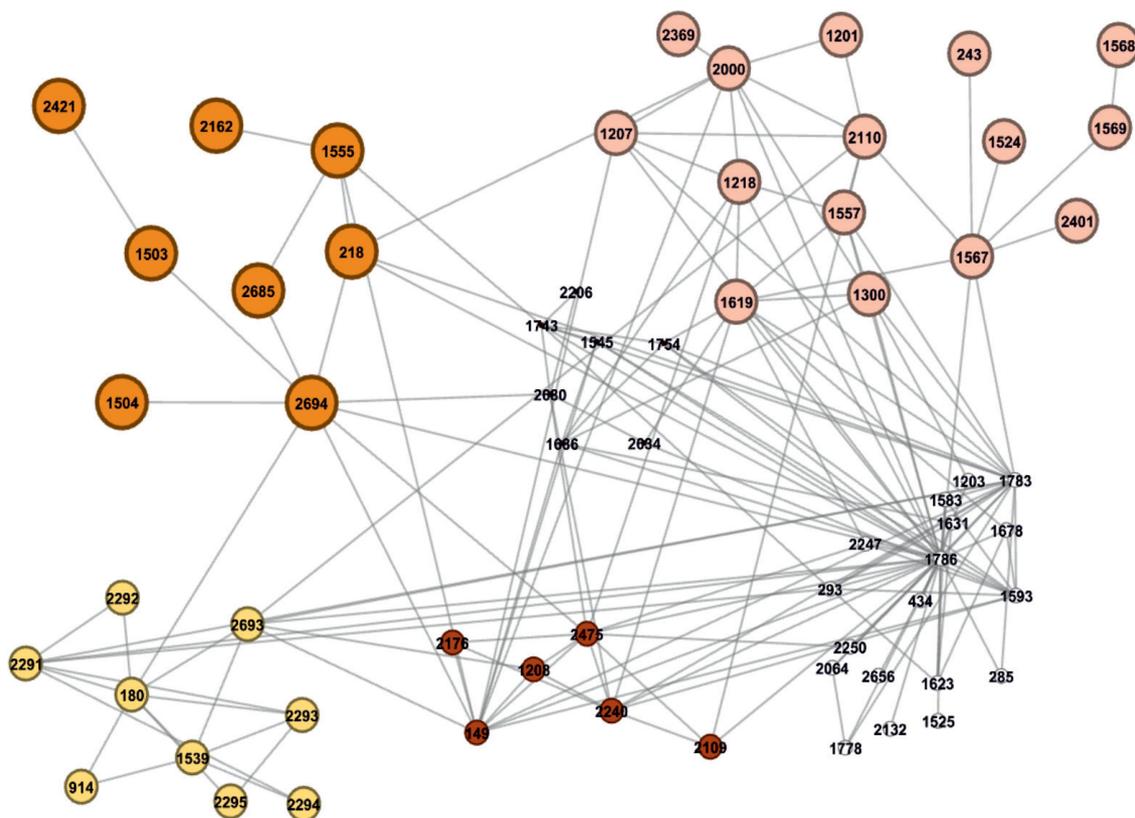


Рис. 4. Граф инфраструктуры ГИС, разделенный на кластеры (сообщества)

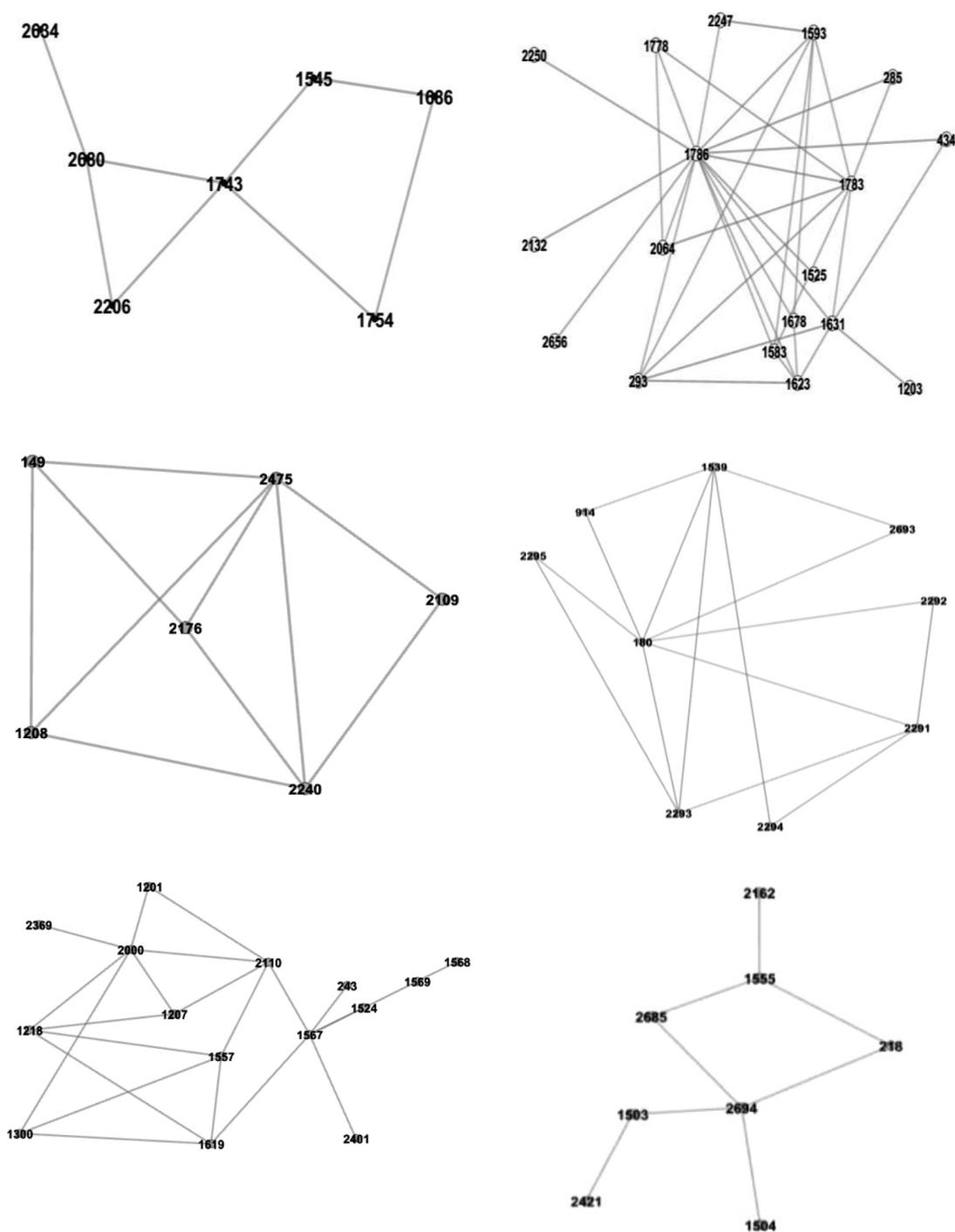


Рис. 5. Графы сообществ

Подграф № 2 «Жилищно-коммунальное хозяйство»:

- 180 – Городская информационно-поисковая подсистема «Население. Жилой фонд»;
- 914 – Программно-технологический комплекс «Раселение коммунальных квартир в Санкт-Петербурге»;

– 1539 – Отраслевая информационная система «Банк данных о гражданах Санкт-Петербурга, нуждающихся в улучшении жилищных условий»;

- 2291 – Автоматизированная система, распределенная «Население. Жилой фонд. Паспортная служба»;

- 2292 – Автоматизированная система «Договор»;
- 2293 – Информационная система «Свободная площадь»;
- 2294 – Информационно-поисковая система по жилому фонду и населению (районный уровень);
- 2295 – Автоматизированная система «Учет использования жилищного фонда Колпино».

Подграф № 3 «Финансово-хозяйственная деятельность, землепользование» включает следующие ГИС:

- 243 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Реестр государственных программ Санкт-Петербурга»;
- 1201 – Автоматизированная информационная система Санкт-Петербургского государственного казенного учреждения «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга»;
- 1207 – Единая информационная система службы «Стройформ»;
- 1218 – Региональная информационная система, содержащая сведения об объектах недвижимости и объектах землеустройства «Геоинформационная система Санкт-Петербурга»;
- 1300 – Экологический паспорт территории Санкт-Петербурга;
- 1524 – Автоматизированная информационная система государственного заказа Санкт-Петербурга;
- 1557 – Информационно-технологическая система Комитета имущественных отношений Санкт-Петербурга;
- 1567 – Автоматизированная информационная система бюджетного процесса – электронное казначейство;
- 1568 – Информационно-аналитическая система по долговым обязательствам, связанным с учетом ценных бумаг, эмитируемых Комитетом финансов Санкт-Петербурга;
- 1569 – Автоматизированная информационно-аналитическая система оценки финансовых рисков «РИСК-1»;
- 1619 – Информационно-технологическая система «Кадастр-2»;
- 2000 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Автоматизированная информационная система управления градостроительной деятельностью»;
- 2401 – Автоматизированная информационная система Контрольно-счетной палаты Санкт-Петербурга.

Подграф № 4 «Обеспечение безопасности жизнедеятельности и транспорт» включает следующие ГИС:

- 1503 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Автоматизированная система дежурных частей ГУ

МВД России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области»;

- 1504 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Дежурно-диспетчерская служба «01»;
- 1555 – Автоматизированная система управления городским и пригородным пассажирским транспортом общего пользования в Санкт-Петербурге;
- 2162 – Система электронного контроля оплаты проезда;
- 2421 – Автоматизированная информационная система обеспечения безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербурга;
- 2685 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Региональная навигационно-информационная система»;
- 2694 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город»;
- 218 – Автоматизированная информационная система Государственной административно-технической инспекции.

В оставшиеся сообщества вошли различные отраслевые системы, а также крупные инфраструктурные системы, такие как:

- 1786 – Государственная информационная система Санкт-Петербурга «Система межведомственного электронного взаимодействия Санкт-Петербурга»;
- 1783 – Межведомственная автоматизированная информационная система предоставления в Санкт-Петербурге государственных и муниципальных услуг в электронном виде.

Выявленное разделение на сообщества по отраслевой направленности свидетельствует о том, что автоматизация сквозных процессов в одной отрасли требует организации активного межведомственного информационного обмена и, как следствие, приводит к интеграции отраслевых систем. Данное отраслевое разделение и межведомственную связь необходимо учитывать на всех этапах планирования и проведения работ по развитию ГИС (сбор требований, анализ требований, выделение финансирования, подготовка технических заданий, выполнение работ и проведение комплексных испытаний при вводе в эксплуатацию), что позволит подходить комплексно к автоматизации отраслевых процессов, а также исключить ситуации, когда в результате развития одной ГИС нарушается информационный обмен и требуются дополнительные затраты и т.д.

Выводы

Таким образом, обоснована целесообразность использования методов анали-

за социальных графов для исследования инфраструктуры ГИС исполнительных органов государственной власти. Данные методы позволяют получить значения показателей графа инфраструктуры, решать задачи оптимизации структуры на их основе. Выделять сообщества в графе инфраструктуры, исследовать их свойства. Для подтверждения данной гипотезы с их помощью в настоящей статье проведен анализ информационной инфраструктуры Санкт-Петербурга.

В результате проведенного анализа установлено следующее:

1. Граф инфраструктуры ГИС является связным, а значит, имеется возможность интегрировать все государственные информационные системы в единую систему, создав единое информационное пространство города при должном обеспечении протоколов и регламентов взаимодействия. В результате исследования выявлены системы, которые можно рассматривать как центральные вершины графа. На их основе можно реализовать задачи совершенствования инфраструктуры с целью уменьшения диаметра и эксцентриситетов вершин графа, т.е. уменьшения длины маршрутов между различными ГИС.

2. В графе инфраструктуры выявлены сообщества (кластеры), которые также имеют свою внутреннюю структуру и отраслевую направленность, что свидетельствует о том, что автоматизация сквозных процессов в одной отрасли требует организации активного межведомственного информационного обмена и, как следствие, приводит к интеграции отраслевых систем.

3. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что создаваемое единое информационное пространство органов власти Санкт-Петербурга требует закрепления единых правил управления развитием ИТ архитектурой органов власти Санкт-Петербурга, внедрением соответствующей системы управления развитием ГИС.

4. Решение такой задачи требует дальнейших исследований данной области для проработки модели целевой архитектуры ГИС Санкт-Петербурга и закрепления её в Концепции информатизации Санкт-Петербурга на плановый период (Региональной стратегии информатизации).

Список литературы

1. Комитет по информатизации и связи. Реестр государственных информационных систем Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://reestr-gis.spb.ru/> (дата обращения: 05.01.2019).
2. Blondel V.D., Guillaume J., Lambiotte R., Lefebvre E. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. IOP Publishing Ltd. 2008. vol. 2008. oct. 2008 [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/0803.0476> (дата обращения: 05.01.2019). DOI: 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008.
3. Гусарова Н.Ф. Анализ социальных сетей. Основные понятия и метрики. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 68 с.
4. Руководство пользователя iGraph [Электронный ресурс]. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/igraph/igraph.pdf> (дата обращения: 05.01.2019).
5. Форман Дж. Много цифр: Анализ больших данных при помощи Excel. М.: Альпина Паблишер, 2016. 263 с.
6. Clauset A., Newman M.E.J., Moore C. Finding community structure in very large networks. *Physics Reports*. American Physical Society. 2004. Vol. 70 [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/cond-mat/0408187> (дата обращения: 05.01.2019). DOI: 10.1103/PhysRevE.70.066111.
7. Рапаков Г.Г., Горбунов В.А. Экспериментальное сравнение методов анализа социальных сетей в задаче обнаружения сообществ // *Вестник Воронежского государственного университета, серия: системный анализ и информационные технологии*. 2017. № 3. С. 94–102.

УДК 678

**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ УГЛЕПЛАСТИКОВ****Нелюб В.А., Городецкий М.А.***ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Москва, e-mail: admin@emtc.ru, mikgord@gmail.com*

Актуальность работы обоснована необходимостью совершенствования эксплуатационных характеристик существующих углепластиков и других типов полимерных композитов на основе тканых армирующих материалов. Предполагается, что металлизация углеродных тканей позволяет улучшить свойства углепластиков. Целью настоящей работы является разработка методики и алгоритма оптимизации толщины металлического покрытия. В качестве объекта исследований использовалась отечественная однонаправленная углеродная лента ЛУП, на которую методом магнетронного распыления наносили металлическое покрытие из нержавеющей стали, титана и меди. Приведены результаты оптимизации толщины металлического покрытия на элементарных нитях, из которых изготовлена углеродная однонаправленная лента ЛУП. Для нанесения металлического покрытия использовался метод магнетронного распыления с предварительной очисткой углеродной ленты. Оптимизацию проводили по критерию максимальных значений адгезионной прочности и по критериям минимальной плотности, перемещений и себестоимости. Для расчетов использовали результаты экспериментальных и теоретических исследований при оптимизации покрытия из нержавеющей стали, титана и меди методом последовательных уступок. В результате проведенных расчетов установлено, что при использовании в качестве покрытия всех исследуемых материалов (нержавеющей стали, титана и меди) оптимальным является покрытие толщиной 100 нм.

Ключевые слова: углеродная лента, элементарная нить, металлическое покрытие, моделирование, метод взаимных уступок, композиционные материалы

**ALGORITHM FOR THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL THICKNESS
OF THE METAL COATING IN THE MANUFACTURE OF CARBON PLASTICS****Nelyub V.A., Gorodetskiy M.A.***Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical
University», Moscow, e-mail: admin@emtc.ru, mikgord@gmail.com*

The relevance of the work is justified by the need to improve the performance characteristics of existing carbon plastics and other types of polymer composites based on woven reinforcing materials. It is assumed that the metallization of carbon fabrics can improve the properties of carbon plastics. The purpose of this work is to develop a methodology and algorithm for optimizing the thickness of the metallic coating. As the object of research, a domestic unidirectional carbon tape of LUP was used, on which a metallic coating of stainless steel, titanium and copper was applied by magnetron sputtering. The results of optimization of the thickness of the metal coating on the filaments of which the carbon unidirectional tape LUP is made are presented. For the application of a metallic coating was used the method of magnetron sputtering with pre-cleaning of carbon tape. Optimization was carried out according to the criterion of maximum values of adhesive strength and criteria of minimum density, displacements, and cost. For calculations, we used the results of experimental and theoretical studies in optimizing the coating of stainless steel, titanium, and copper by the method of successive concessions. As a result of the calculations, it was found that when using all the investigated materials (stainless steel, titanium and copper) as a coating, the coating with a thickness of 100 nm is optimal.

Keywords: carbon tape, filament, metal coating, simulation, mutual concessions, composite materials

Углеродные ткани, ленты и волокна широко используются в ракетно-космическом производстве, авиастроении, автомобилестроении, что обусловлено их высокими удельными характеристиками [1, 2], хорошей стойкостью к воздействию повышенных температур, высокими антифрикционными характеристиками и т.д. Необходимость совершенствования эксплуатационных характеристик существующих углепластиков и других типов полимерных композитов на основе тканых армирующих материалов, приводит к необходимости расширения комплекса их свойств [3, 4]. Для придания углепластикам специальных (или, как полагают авторы работ [5, 6], функциональных свойств) используются технологии нанесения на поверхность углеродных тканей тонких металлических покрытий. Основной

целью металлизации является изменение микроструктуры и физико-химических свойств поверхности тканей [7–9], что позволяет регулировать их реакционную способность, износостойкость, тепло- и электрофизические свойства, биосовместимость [10, 11] и др.

Авторами работ [5, 6] показано, что при использовании металлизированных углеродных лент в качестве армирующих материалов при изготовлении бандажей при ремонте поврежденных металлических трубопроводов в условиях отрицательных температур имеет место повышение механической прочности и долговечности. В работах [12, 13] приведены данные по повышению адгезионной прочности углепластиков при межслоевом сдвиге при использовании углеродной ленты с металлическим

покрытием из нержавеющей стали. Авторы работ [14–16] показали, что после нанесения на технический текстиль тонких слоев металлических покрытий имеет место улучшение комплекса свойств, в том числе повышаются на 15–20% показатели прочности, улучшаются характеристики драпируемости, износостойкости и др. Таким образом, металлization углеродных тканей позволяет улучшить свойства углепластиков, однако в технической литературе отсутствуют данные по оптимальным значениям толщин металлических покрытий.

Целью настоящей работы является разработка методики и алгоритма оптимизации толщины металлического покрытия.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследований использовалась отечественная однонаправленная углеродная лента ЛУП, на которую методом магнетронного распыления наносили металлическое покрытие из нержавеющей стали марки 12X18H10T, титана BT1-0 и меди М1.

Перед нанесением металлического покрытия проводили плазмохимическую обработку углеродной ленты. Толщину покрытия определяли непосредственно на элементарной нити с помощью атомно-силового микроскопа марки SOLVER47PRO.

Механические испытания элементарных нитей проводили на разрывной машине марки Zwick/Roell.

Модель элементарной нити строили в программе SiemensNX, расчеты проводили в программном комплексе NX/Nastran. При построении геометрической модели принимали, что диаметр элементарной нити равен 6 мкм. К модели прикладывали нагрузку в виде распределенной растягивающей силы. С противоположной стороны образца использовалась заделка.

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизацию толщины металлического покрытия проводили методом последовательных уступок [17, 18] на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований. В качестве критериев были использованы следующие характеристики: значения перемещений; линейная плотность; адгезионная прочность системы, элементарная нить-эпоксидная матрица и себестоимость покрытий при условии их нанесения методом магнетронного распыления на лабораторных установках. Оптимизацию проводили методом взаимных уступок. Характеристика адгезионной прочности принята за главный критерий, для которого определялось его экстремаль-

ное значение, и назначалась уступка. В соответствии с используемой «уступкой» задача решается еще раз, но при использовании второго по значимости критерия при условии, что отклонение первого критерия от его оптимального значения не превзойдет величины «уступки». Далее назначается «уступка» для второго критерия и т.д.

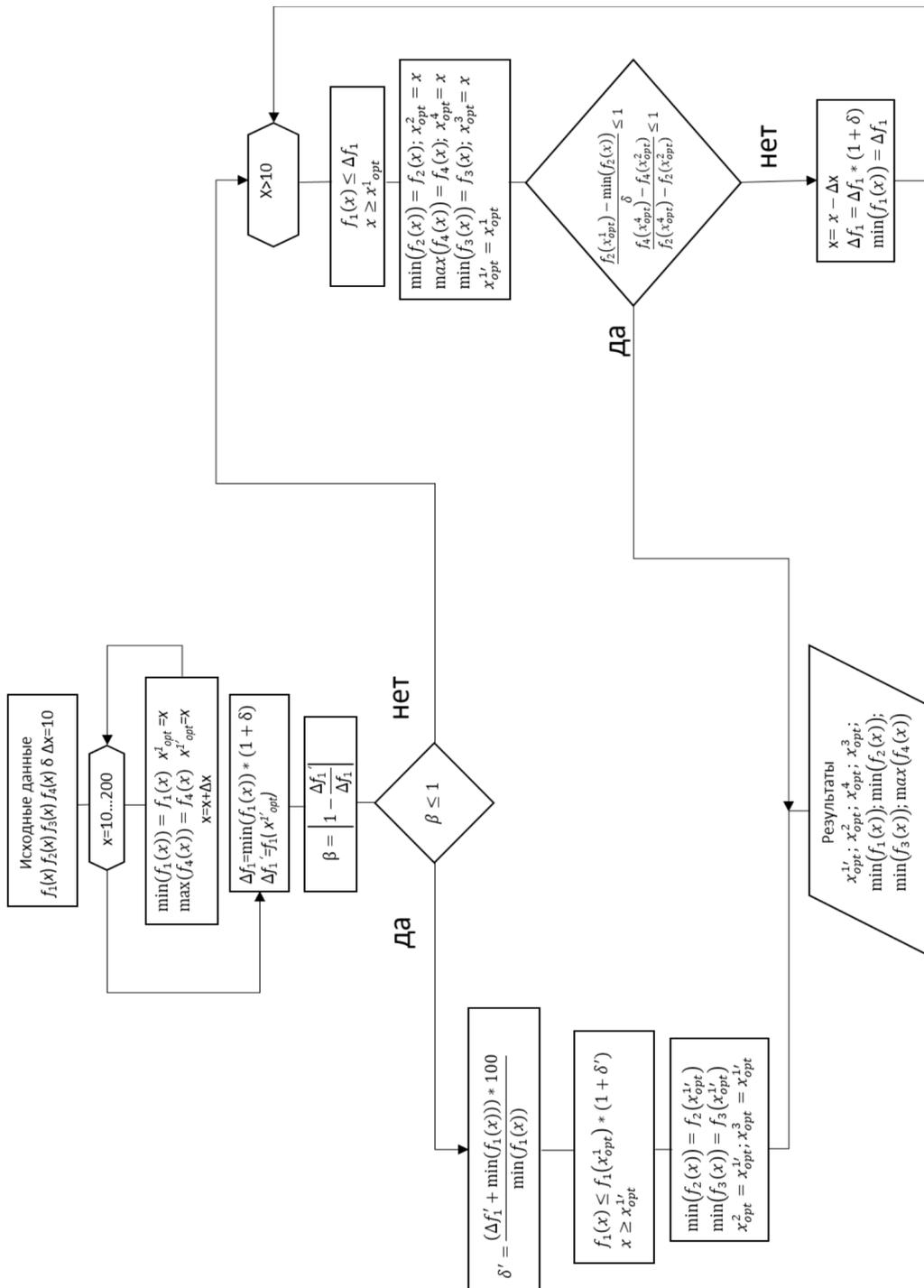
Алгоритм оптимизации толщины металлического покрытия показан на рисунке.

В работе использованы следующие обозначения: где: x – толщина металлического покрытия на углеродной ленте; δ – уступка; $f_1(x)$ – функция изменения величины деформационных свойств (перемещений) в зависимости от толщины металлического покрытия; x_{opt}^1 – значение толщины покрытия, соответствующее оптимальному изменению перемещения; $f_4(x)$ – функция изменения адгезионной прочности; x_{opt}^4 – значение толщины покрытия, соответствующее оптимальной величине адгезионной прочности; $f_2(x)$ и $f_3(x)$ – функции изменения плотности и себестоимости соответственно, которым соответствуют их оптимальные значения x_{opt}^2 и x_{opt}^3 .

Значения экстремальных величин и уступок по всем использованным критериям приведены в табл. 1.

Таблица 1
Значения показателей, используемых при оптимизации покрытия из нержавеющей стали 12X18H10T

| Толщина покрытия, нм | Критерии | Показатели | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|--|------------|--------------------------------------|------|--------------------------------------|---|--|------|
| | | Экстремальное значение | Уступка, % | | | | | | |
| 10 50 70 100 150 200 | Максимальные перемещения, мм | 0,265 0,252 0,247 0,241 0,232 0,225 | 7,1 | | | | | | |
| 10 50 70 100 150 200 | | Линейная плотность, текс $\times 10^{-2}$ | | 4,8 5,7 6,1 6,5 7,2 8 | 18,8 | | | | |
| 10 50 70 100 150 200 | | | | Адгезионная прочность, МПа | | 90 110 115 120 100 85 | 0 | | |
| 10 50 70 100 150 200 | | | | | | Себестоимость руб/м ² | | 190 230 250 270 310 350 | 22,9 |



Алгоритм оптимизации толщины металлического покрытия

Таблица 2

Значения показателей, используемых при оптимизации покрытия из титана BT1-0 и меди M1

| Толщина покрытия, нм | Критерии оптимизации | Показатели | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|---|---|------------|------|----------------------------------|------|----|---------------------------------|---|---|---------------------------------|----|----|
| | | Экстремальное значение | | Уступка, % | | | | | | | | | | |
| | | Титан | Медь | Титан | Медь | | | | | | | | | |
| 10 50 100 150 200 | Максимальные перемещения, мм | 0,273 0,264 0,256 0,250 0,245 | 0,274 0,265 0,257 0,251 0,246 | 4,49 | 4,47 | | | | | | | | | |
| 10 50 100 150 200 | | Линейная плотность, текс×10 ⁻² | 5,1 5,5 5,9 6,3 6,6 | | | 5,0 5,9 6,6 7,3 8,3 | 13,5 | 32 | | | | | | |
| 10 50 100 150 200 | | | Адгезионная прочность, МПа | | | 80 95 105 90 85 | | | 88 105 115 100 85 | 0 | 0 | | | |
| 10 50 100 150 200 | | | | | | Себестоимость руб/м ² | | | 210 260 300 340 380 | | | 200 240 280 320 360 | 30 | 40 |

Расположим критерии в порядке повышения их значимости: перемещения, плотность, адгезионная прочность, себестоимость. Определим минимальное значение главного критерия. Выберем уступку для главного критерия, приняв ее равной $\delta^1 = 10\%$.

Исходя из уступки δ^1 минимальное значение перемещения будет равно

$$\min(f_1(x)) = 0,225 + 0,225 * \frac{\delta^1}{100} = 0,247.$$

Что налагает следующее ограничение для второстепенных критериев:

$$f_1(x) \leq 0,247, \text{ т.е. } x_{opt}^1 \geq 70.$$

Минимальное значение плотности при таком ограничении будет равно 6,1 и в 86 раз превосходит проигрыш по главному критерию, что доказывает правомочность выбранной уступки. Выигрыш по себестоимости также превосходит проигрыш по перемещению во много раз. Поскольку направленность критериев себестоимости и линейной плотности одинаковые, то нет необходимости выбирать уступку для себестоимости по линейной плотности, можно использовать то же самое значение x_{opt}^2 и для определения себестоимости, которая составит 250.

С учетом уступки δ^1 значение адгезионной прочности будет равно 115 МПа, что является проигрышем относительно мак-

симального его значения 120 МПа при толщине 100 нм. Однако если рассматривать адгезионную прочность в качестве главного критерия и выбрать его оптимальное значение 120 МПа, то проигрыш по критерию перемещения составит 7,1%. При такой уступке значение перемещения будет равно 0,241, что хуже первоначального значения перемещения (0,247) в 1,02 раза. Значение уступки уменьшится до $\delta'' = 7,1\%$.

С учетом величины уступки (δ'') будет иметь место следующее ограничение:

$$f_1(x) \leq 0,21; x_{opt}^1 \geq 100.$$

При таком ограничении значение линейной плотности будет равно 6,5. Выигрыш по линейной плотности будет в 68 раз превышать проигрыш по перемещению. Значение себестоимости будет равно 270, а выигрыш по себестоимости также во много раз превосходит проигрыш по перемещению.

Таким образом, оптимальные значения перемещения – 0,241, плотности – 6,5, адгезионной прочности – 120 и себестоимости – 270 будут при толщине покрытия – 100 нм.

Поскольку характер изменения адгезионной прочности от толщины покрытия – нелинейный, а в его экстремуме значения остальных критериев лучше, чем при первоначальной уступке (10%), рекомендуется вначале определять максимальное значение адгезионной прочности, при этом оценивая

величину уступки по перемещению. Если модуль отношения значения перемещения при оптимуме адгезионной прочности к значению оптимума по перемещению будет меньше 1 ($|\beta| < 1$), то можно использовать оптимальное значение толщины покрытия при максимальной адгезионной прочности. Иными словами, в этом случае мы получаем смещение оптимума в сторону адгезионной прочности, при котором мы не проигрываем по перемещению. В противном случае (при $|\beta| > 1$) необходимо проводить оптимизацию методом уступок по первоначальной последовательности критериев: перемещение – линейная плотность – адгезионная прочность – себестоимость.

Для полученных значений показателей адгезионная прочность является главным критерием оптимизации. Соответственно, критерии оптимизации в порядке повышения их значимости будут располагаться следующим образом: адгезионная прочность, перемещения, плотность, себестоимость.

Аналогичным образом проведем расчеты для углеродной ленты ЛУП с покрытием из титана и меди (табл. 2).

Сравнение результатов, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что по всем исследуемым показателям (перемещение, плотность, адгезионная прочность и себестоимость) они близки между собой и поэтому использование дискретных критериев не приводит к изменению оптимального значения толщины. Для всех исследуемых материалов покрытий (нержавеющая сталь, титан и медь) она составляет 100 нм. При уменьшении толщины имеет место снижение адгезионной прочности, а при увеличении повышается себестоимость и плотность. Если задавать значения критериев в виде функций, то это позволило бы для каждого исследованного покрытия определить значение толщин более точно. Однако данный подход приведет лишь к увеличению продолжительности вычислений, но не изменит характера получаемых закономерностей.

Выводы

Приведены алгоритм и методика оптимизации толщины металлического покрытия на элементарных нитях, из которых изготовлена углеродная однонаправленная лента ЛУП методом взаимных уступок по критериям максимальной адгезионной прочности и минимальным значениям плотности, себестоимости и перемещениям. Для нанесения металлического покрытия использовался метод магнетронного распыления, с предварительной очисткой углеродной ленты. Для расчетов использовали результаты экспериментальных и теоретических исследований.

Величины адгезионной прочности, себестоимости и плотности определяли экспериментально. Значения перемещений находили расчетным путем. В результате проведенных расчетов установлено, что при использовании в качестве покрытия всех исследуемых материалов (нержавеющей стали, титана и меди) оптимальным является покрытие толщиной 100 нм.

Результаты настоящей работы получены в рамках проекта по теме «Научные исследования по разработке композиционных материалов со структурой управляемого хаоса и их применение в высокотехнологичном производстве» по заданию № 11.7291.2017/БЧ.

Список литературы

1. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Долгодурный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 352 с.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 264 с.
3. Цибизова Т.Ю., Гузева Т.А. Системы автоматического управления технологическими процессами отверждения изделий из полимерных композитов // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 5. С. 35–40.
4. Мальшева Г.В., Гузева Т.А., Гращенков Д.В., Раскутин А.Е. Влияние технологии нагрева на продолжительность процесса отверждения полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2018. № 8 (68). С. 23–27.
5. Нелюб В.А., Коноплин А.Ю. Материалы и технологии, эффективные в условиях Арктики при проведении ремонтных работ // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 6. С. 25–28.
6. Нелюб В.А., Коноплин А.Ю. Прочность клеевых соединений, изготовленных при отрицательных значениях температуры // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 9. С. 20–23.
7. Горберг Б.Л., Иванов А.А., Мамонтов О.В., Стегнин В.А. Способ модификации поверхности текстильного материала // Патент на изобретение № 2398045 от 27.08.2010.
8. Горберг Б.Л., Иванов А.А., Мамонтов О.В., Стегнин В.А. Способ изготовления антимикробного текстильного материала // Патент на изобретение № 2426559 от 31.05.2010.
9. Горберг Б.Л., Белова И.Ю., Веселов В.В., Иванов А.А., Мамонтов О.В., Стегнин В.А. Многослойный теплоизолирующий материал // Патент на изобретение № 2415622 от 11.05.2010.
10. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. М.: Техносфера, 2010. 528 с.
11. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением. М.: Техносфера, 2014. 256 с.
12. Нелюб В.А. Технология металлизации углеродных тканей и свойства углепластиков на их основе // Технология металлов. 2018. № 3. С. 7–10.
13. Нелюб В.А. Оценка влияния металлизации поверхности углеродных лент на механические характеристики элементарных нитей // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. № 4. С. 2–6.
14. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л., Гарипова Г.И. Новые методы и подходы к отделке текстильных материалов из полимерных волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 7. С. 118–120.
15. Гайнутдинов Р.Ф., Гайсин А.Ф. К вопросу применения низкотемпературной плазмы для обработки текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 2. С. 72–73.
16. Гаппаров Х.Г., Хомидов Я.Я., Файзилова Г.К. Виды и способы металлизирования текстильных материалов для пошива специальной одежды // Молодой ученый. 2016. № 11 (115). С. 310–313.
17. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении. М.: Дело, 2002. 440 с.
18. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1992. 504 с.

УДК 62-9:001.891.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВОЗДУШНОМ СЕПАРИРОВАНИИ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ

Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.

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

При сепарировании сыпучих смесей воздушным потоком необходимо точное определение параметров делительной камеры. Величина и расположение зоны приема различных компонентов зависит от их аэродинамических свойств, скорости воздушного потока, высоты воздушного канала. Аэродинамические свойства исходного материала зависят от его влажности, крупности, шероховатости поверхности и др. Стесненное движение компонентов в воздушном потоке также влияет на качество сепарирования. Возникают различные завихрения, влияющие на процесс обтекания компонентов воздушным потоком. Высокая концентрация и различные скорости движения компонентов в воздушном потоке приводят к столкновению компонентов. При расчетах необходимо учитывать скорость ввода компонентов в воздушный поток, угол ввода и угол наклона воздушного канала к горизонту. Математическое моделирование траекторий движения компонентов сепарируемой смеси позволяет определять конструктивные параметры сепараторов, а также необходимые регулировки для учета меняющихся свойств материала и условий сепарирования. Математическое моделирование позволяет прогнозировать качество процесса воздушного сепарирования. Процесс сепарирования усложняется, если исходная смесь имеет значительное перекрытие вариационных кривых разделения. В этом случае моделирование процесса сепарирования позволяет принять правильное решение о количестве и качестве фракций, получаемых в результате сепарирования.

Ключевые слова: воздушное сепарирование, сыпучие смеси, компоненты сепарируемого материала, аэродинамические свойства, траектории движения

MATHEMATICAL MODELING OF THE TRAJECTORIES OF COMPONENTS FOR AIR SEPARATION OF LOOSE MIXTURES

Piven V.V., Umanskaya O.L., Krivchun N.A.

Federal State Budget Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University», Tyumen, e-mail: pivenvv@yandex.ru

When separating bulk mixtures by air flow, it is necessary to accurately determine the parameters of the dividing chamber. The size and location of the reception area of the various components depends on their aerodynamic properties, the air flow rate, the height of the air channel. The aerodynamic properties of the starting material depends on its moisture content, grain size, surface roughness, etc. Constrained motion of a component in the air stream also affects the quality of separation. There are various turbulences that affect the process of flow around the components of the air flow. The high concentration and different speeds of the components in the air flow cause the components to collide. In the calculations it is necessary to take into account the speed of entering the components into the air flow, the angle of entry and the angle of inclination of the air channel to the horizon. Mathematical modeling of the trajectories of the separable mixture components allows determining the design parameters of the separators, as well as the necessary adjustments to take into account the changing properties of the material and the conditions of separation. Mathematical modeling allows to predict the quality of the air separation process. The separation process is complicated if the initial mixture has a significant overlap of the separation variation curves. In this case, the simulation of the separation process allows you to make the right decision about the number and quality of fractions obtained as a result of separation.

Keywords: air separation, bulk mixtures, components of the material to be separated, aerodynamic properties, trajectories of motion

Сепарирование многокомпонентных сыпучих смесей воздушным потоком применяют в различных отраслях промышленности: сепарирование порошков в фармацевтической промышленности, порошковой металлургии, пищевой и перерабатывающей промышленности, строительной индустрии и др. Разделяемые компоненты должны при этом различаться по аэродинамическим свойствам. Получение конечных продуктов разделения в чистом виде возможно только в том случае, если вариационные кривые разделения не пересекаются.

Воздушные сепараторы могут использоваться для извлечения примесей из основного потока зерна, фракционирования исходного зернового материала [1–3], выделения примесей из отходов [4]. Эффективность работы воздушных сепараторов и производительность незначительно зависит от влажности и засоренности зерна в сравнении с другими рабочими органами. Поэтому совершенствование воздушных сепараторов [5, 6] поиск новых технологических схем их применения, оптимизация параметров воздушных сепараторов является актуальной научной задачей. Эффективность

процесса воздушной сепарации зависит от точности определения конструктивных размеров сепарирующих камер, оптимальных значений скорости воздушного потока, скорости и угла ввода компонентов в воздушный поток, производительности [7–9].

Цель исследования: получить математические выражения для построения траекторий движения компонентов сепарируемых смесей в воздушном потоке, с помощью математического моделирования движения компонентов определить координаты зоны приема в зависимости от их исходных аэродинамических свойств.

Материалы и методы исследования

Критериями качества процесса воздушной сепарации при разделении исходного материала на две фракции является полнота разделения (процент или доля выноса легких примесей из основного материала в отходы) и потери основного продукта в отходы. Целесообразность применения технологии воздушного сепарирования определяется наличием в исходном материале компонентов, отличающихся от основного продукта аэродинамическими свойствами. Если таких отличий нет, применяются другие способы разделения. Если по физико-механическим свойствам компонентов исходной смеси ее можно разделить по нескольким признакам, то технологическая линия выстраивается таким образом, чтобы на первых этапах обработки можно было выделить наибольшее количество примесей и снизить нагрузку на последующие рабочие органы.

До 70% примесей в исходном зерновом материале, поступающем на послеуборочную обработку, отделяются от семян основной культуры по аэродинамическим признакам. Эффективность процесса воздушного сепарирования повышается, если применять скоростной ввод исходного ма-

териала в воздушный поток. Этот эффект наиболее ощутим при высокой (до 15–20%) засоренности исходного материала.

Для определения одного из основных параметров сепарирующей камеры – протяженности приемников фракций рассмотрим схему сил, действующую на частицу сепарируемого материала, которая движется в наклонном воздушном канале (рис. 1). Исходный зерновой материал с начальной скоростью V_0 вводится под углом α_0 к направлению воздушного потока. Воздушный поток имеет скорость W , а угол наклона воздушного канала к горизонту равен γ . Текущее значение скорости частицы сепарируемого материала обозначено как V . Вектор скорости V образует с вектором скорости воздушного потока W угол α . На частицу материала действует следующая система сил: сила тяжести $m \cdot g$ и сила аэродинамического сопротивления R . Дифференциальные уравнения движения частицы в проекции на координатные оси X и Y будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= R_x - m \cdot g \cdot \sin \gamma, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} &= m \cdot g \cdot \cos \gamma - R_y. \end{aligned} \quad (1)$$

Сила аэродинамического сопротивления R , действующая на частицу со стороны воздушного потока, направлена противоположно вектору V_R , а ее значение определяется по формуле

$$R = 0,5 \cdot c_x \cdot \rho \cdot S_M \cdot V_R^2, \quad (2)$$

где c_x – безразмерный коэффициент лобового сопротивления частицы; ρ – плотность воздуха, кг/м³; S_M – площадь миделева сечения (площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярную вектору относительной скорости V_R), м².

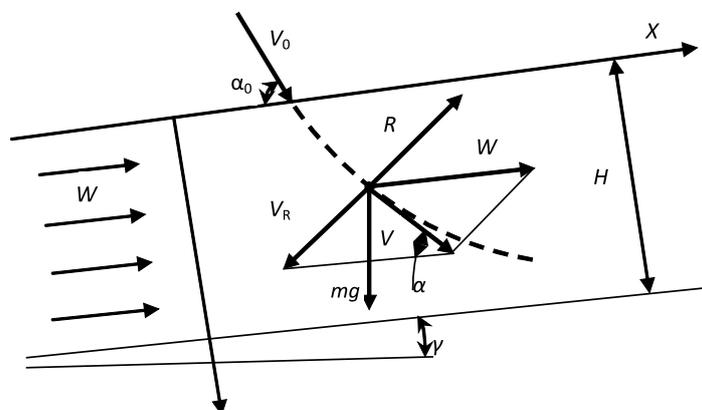


Рис. 1. Схема сил, действующая на частицу сепарируемого материала в наклонном воздушном канале

Во время движения сепарируемых частиц в воздушном потоке их положение все время меняется. Аэродинамические свойства зерновых материалов удобнее всего характеризовать скоростью витания. Это такая скорость вертикального воздушного потока, при которой частица находится в нем в равновесном положении. Сила аэродинамического сопротивления уравновешивается силой тяжести частицы. В этом случае усредненное значение аэродинамических свойств частицы учитывается обобщенным коэффициентом парусности k_w [10, 11]. Тогда силу аэродинамического сопротивления можно представить как

$$R = k_w \cdot m \cdot V_t^2, \quad (3)$$

где k_w – коэффициент парусности, m^{-1} ; m – масса частицы, кг; V_t – скорость витания, м/с.

В состоянии равновесия при нахождении частицы в воздушном потоке во взвешенном состоянии

$$k_w \cdot m \cdot V_t^2 = m \cdot g. \quad (4)$$

Из формулы (4) получаем математическое выражение для определения значения коэффициента парусности

$$k_w = g / V_t^2. \quad (5)$$

Математическую связь коэффициента парусности с коэффициентом лобового сопротивления можно установить из равенства правых частей формул (2) и (3). Учитывая, что во взвешенном состоянии относительная скорость движения частицы V_R равна скорости витания V_t , получаем

$$k_w = c_x \cdot \rho \cdot S_M / (2 \cdot m). \quad (6)$$

Вектор относительной скорости движения частицы V_R является стороной параллелограмма, построенного на векторах V_B и W . Вектор текущего значения абсолютной скорости частицы V является диагональю этого параллелограмма. Из соотношения сторон треугольника, построенного на векторах V , V_R и W , следует, что

$$V_R = \sqrt{W^2 + V^2 - 2 \cdot W \cdot V \cdot \cos \alpha}. \quad (7)$$

Для преобразований системы уравнений (1) заменим проекции векторов скорости V и ускорения на оси координат X и Y следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cdot \cos \alpha, \quad \dot{y} = V \cdot \sin \alpha, \quad \dot{x}_0 = V_0 \cdot \cos \alpha_0, \\ \ddot{x} &= \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad \ddot{y} = \frac{d^2 y}{dt^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Введем следующие подстановки:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \dot{x} / \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \quad \sin \alpha = \dot{y} / \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \\ V / \sin \beta &= V_R / \sin \alpha. \end{aligned} \quad (9)$$

При движении частицы в воздушном потоке аэродинамическая сила R зависит от относительной скорости V_R . Поэтому при определении R в выражении (3) параметр V_t необходимо заменять на V_R . С учетом зависимостей (3)–(9) дифференциальные уравнения движения (3) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= k_w (W - \dot{x}) \sqrt{(W - \dot{x})^2 + \dot{y}^2} - g \cdot \sin \gamma, \\ \ddot{y} &= g \cdot \cos \gamma - k_w \cdot \dot{y} \sqrt{(W - \dot{x})^2 + \dot{y}^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Решение дифференциальных уравнений движения материальной точки в воздушном потоке произведем методом разложения в степенные ряды в виде

$$x = x_0 + \dot{x}_0 \cdot t + \ddot{x}_0 \cdot t^2 / (2!) + \ddot{\ddot{x}}_0 \cdot t^3 / (3!) + \dots$$

$$y = y_0 + \dot{y}_0 \cdot t + \ddot{y}_0 \cdot t^2 / (2!) + \ddot{\ddot{y}}_0 \cdot t^3 / (3!) + \dots \quad (11)$$

Индекс «0» означает начальные условия: начальную скорость частицы, угол ввода (рис. 1). Проведенные расчеты показывают, что четвертые члены уравнений (11) на порядок меньше предыдущих и при расчетах ими можно пренебречь. Для определения времени сепарирования t_s (времени нахождения частицы в воздушном канале высотой H) приравняем координату Y во втором уравнении системы (11) величине H и получим

$$t_s = (-V_0 \cdot \sin \alpha_0 + \sqrt{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0 + 2H \cdot \ddot{y}_0}) / \ddot{y}_0. \quad (12)$$

Полученные формулы позволяют рассчитать траекторию движения сепарируемой частицы, имеющей определенные аэродинамические свойства.

Результаты исследования и их обсуждение

Компоненты исходной зерновой смеси, поступающей в воздушный канал, имеют большое разнообразие по аэродинамическим свойствам (рис. 2). Вариационные кривые распределения компонентов по скоростям витания частично перекрываются и получить при воздушном сепарировании в чистом виде зерно основной культуры или примеси невозможно. В чистом виде можно получить большую часть примесей – зона A и часть зерна – зона C . В диапазоне B вариационные кривые пересекаются, и в этом диапазоне скоростей витания получается промежуточная фракция, состоящая из зерна основной культуры и примесей.

Получение такой промежуточной фракции целесообразно, так как из основного потока выделяется значительная часть компонентов в чистом виде. Дальнейшая очистка промежуточной фракции должна производиться на других рабочих органах в зависимости от различия физико-механических свойств компонентов этой фракции.

Величина скорости компонентов V_R зависит от скорости ввода V_0 и от угла ввода α_0 . Поэтому для увеличения действующей на компоненты сепарируемого материала аэродинамической силы и повышения качества сепарации необходимо увеличение скорости ввода исходного материала в воздушный поток.

Расчеты траекторий движения компонентов зернового материала производились при следующих параметрах: скорость ввода

компонентов в воздушный поток $V_0 = 5$ м/с, угол ввода $\alpha_0 = 60^\circ$, скорость воздушного потока $W = 8$ м/с, высота воздушного канала $H = 0,3$ м. В результате расчета траекторий движения с помощью уравнений (11) установлено, что для зерна пшеницы с диапазоном скоростей витания $8,9 \dots 11,5$ м/с значение $X_D = 0,265$ м (рис. 3). Этой координате соответствует начало осаждения наиболее тяжелых зерен. Данные получены при высоте воздушного канала $H = 0,3$ м. Протяженность зоны приема полноценного зерна ($D_1 + D_2$) составляет $0,059$ м. Начало зоны осаждения примесей ($X_D + D_1$), имеющих скорость витания $0 \dots 9,5$ м/с, составляет $0,294$ м. Проведенные экспериментальные исследования траекторий движения компонентов показали их максимальное отклонение от расчетных значений в пределах 14%.

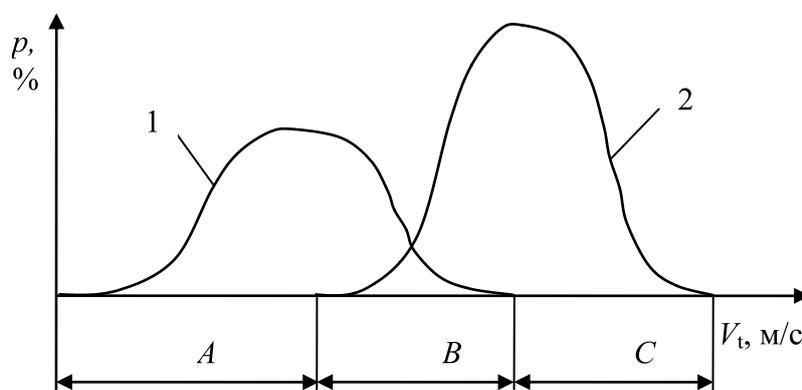


Рис. 2. Примерный график плотности распределения (p) компонентов основной культуры (2) и примесей (1) по скоростям витания (V): A – диапазон получения примесей в чистом виде; B – диапазон получения смешанной фракции: зерно основной культуры и примеси; C – диапазон получения зерна основной культуры в чистом виде

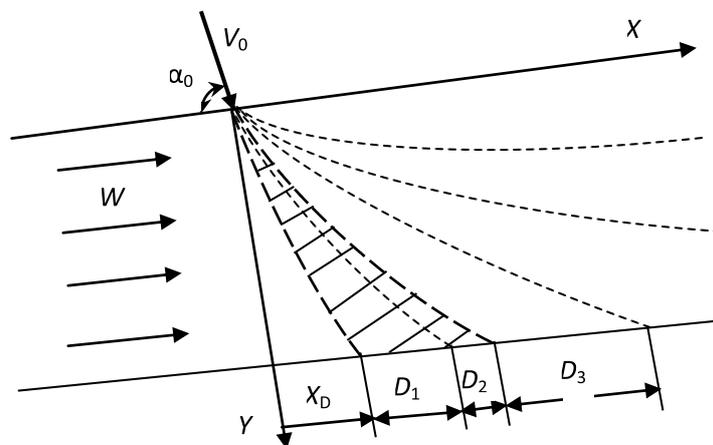


Рис. 3. Траектории движения компонентов: X_D – абсцисса начала зоны осаждения полноценного зерна; D_1 – протяженность зоны приема чистого зерна; D_2 – протяженность зоны приема чистого зерна и примесей; D_3 – протяженность зоны приема примесей

Легкие примеси выносятся воздушным потоком и не осаждаются. В зоне D_2 происходит осаждение как полноценного зерна, так и примесей. С помощью полученных в данной работе математических зависимостей можно так же определить максимальное значение скорости витания частиц, которые выносятся воздушным потоком по каналу и не будут осаждаться в приемнике фракций. Для вышеприведенного примера это значение скорости витания составляет 0,56 м/с.

Заключение

1. Математическое моделирование траекторий движения компонентов позволяет получить координаты и протяженность зоны приема компонентов, имеющих различные аэродинамические свойства. Оптимизация процесса воздушной сепарации должна производиться путем установления оптимальных значений параметров ввода сепарируемой смеси и скорости воздушного потока.

2. В процессе работы аэродинамические свойства компонентов и исходная засоренность материала могут меняться. Поэтому в зоне приема фракций необходимо предусматривать регулировочные устройства (поворотные заслонки, перемещение приемников фракций вдоль оси X). В случае перекрытия вариационных кривых распределения компонентов сепарируемого материала можно получать несколько фракций: чистое зерно, примеси, промежуточные фракции с содержанием зерна и примесей (рис. 3).

3. Выделение из общего потока обрабатываемого материала однородных фракций позволяет разгрузить основное оборудование для очистки зерна, снизить повреждение зерна, уменьшить энергетические затраты на послеуборочную обработку.

Список литературы

1. Piven V.V. The theoretical justification for the fractionation of bulk materials during separation. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 106. no. 03005. 9 p. DOI: 10.1051/matec-conf/201710603005.

2. Чумаков В.Г. Деление зернового вороха на фракции пневморешетным сепаратором // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 12. С. 31–33.

3. Семенов Е.В., Славянский А.А., Антипов С.Т. Расчет эффективности процесса фракционирования сыпучей смеси в рабочем объеме пневмосепаратора // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 3 (65). С. 43–49. DOI:10.20914/2310-1202-2015-3-43-49.

4. Saitov V.E., Kurbanov R.F., Suvorov A.N. Assessing the adequacy of mathematical models of light impurity fractionation in sedimentary chambers of grain cleaning machines. Procedia Engineering 2 series «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016». 2016. P. 107–110.

5. Авдеев Н.Е., Чернухин Ю.В., Странадко О.Г. Поиск новых принципов сепарирования // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 3 (53). С. 24–26.

6. Иванов Н.М., Чепурин Г.Е. Энергозатраты при послеуборочной обработке зерна // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 87–90.

7. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Исследование вертикального пневмосепарирующего канала с опорной сеткой // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 1 (44). С. 73–79.

8. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Исследование разделительной камеры фракционного пневмосепаратора при очистке семян кормовых трав // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 5 (42). С. 69–74.

9. Шуханов С.Н. Планирование и методика проведения экспериментальных исследований зернометателя барабанного типа // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (55). С. 71–73.

10. Глушков А.Л. Анализ процесса движения компонентов зернового материала в приемной камере зерноочистительной машины // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 4. С. 69–75.

11. Шуханов С.Н. Элементы взаимодействия частиц зернового вороха с воздухом при работе ленточного метателя // Аграрный научный журнал. 2015. № 12. С. 58–59.

УДК 004.02

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

Пыхтин А.И., Овчинкин О.В., Широкова Л.В., Запольский А.Д.

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: aipykhtin@swsu.ru

Эффективности вузов в целом и результативности трудоустройства выпускников в частности в настоящее время уделяется повышенное внимание. Для выполнения критерия трудоустройства выпускников в рамках мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования Минобрнауки России, учитывающего данные о занятости по сведениям Пенсионного Фонда Российской Федерации, вузы создают собственные программные системы сбора, обработки и хранения информации о занятости выпускников и модифицируют организационную структуру для сбора сведений о трудоустройстве. В Юго-Западном государственном университете с 2012 г. осуществляется разработка и внедрение такой многопользовательской клиент-серверной системы на базе технологической платформы 1С: Предприятие 8.3. Предложены функциональные IDEF0-модели и инфологическая ER-модель предварительного сбора информации о потенциальном трудоустройстве выпускников и текущего мониторинга распределения по каналам занятости. Оптимальным источником данных для внутреннего мониторинга занятости выпускников являются сведения в обязательном порядке передаваемые вузами в государственную информационную систему «Федеральный реестр сведений документов об образовании». В результате внедрения такой системы позволило в несколько раз повысить оперативность сбора сведений о текущем состоянии занятости выпускников, их трудоустройстве и развитии карьеры, увеличить скорость обработки данных для построения внешней и внутренней статистической отчетности, размещения информации о трудоустройстве и местах работы выпускников на официальном сайте вуза в сети Интернет.

Ключевые слова: эффективность, вуз, мониторинг, программное обеспечение, трудоустройство

THE SYSTEM OF MONITORING OF GRADUATES EMPLOYMENT AS A FACTOR OF INCREASE OF EFFICIENCY OF THE UNIVERSITY EDUCATIONAL ACTIVITY

Pykhtin A.I., Ovchinkin O.V., Shirokova L.V., Zapolskiy A.D.

Southwest State University, Kursk, e-mail: aipykhtin@swsu.ru

The effectiveness of universities in General and the effectiveness of employment of graduates in particular is currently being given increased attention. To meet the criterion of efficiency of employment of graduates in the monitoring of the Ministry of education and science of Russia, taking into account data on employment according to the Pension Fund of the Russian Federation, universities create their own software system to track the employment of students and modify the organizational structure to collect information about employment. In the South-West state University since 2012, the development and implementation of a multi-user client-server system based on the technology platform 1С: Enterprise 8.3. The proposed IDEF0 functional model and the entity-relationship ER model prior and current collection of information on potential employment of graduates. The optimal source of data for internal monitoring of employment of students is the information mandatory transmitted by universities in the state information system «Federal register of information documents on education.» As a result, the introduction of such a system has slightly improved the efficiency of collecting information about the current status of employment of students, increase the speed of data processing for the construction of external and internal statistical reporting, posting information about employment and places of employment on the official website of the University on the Internet.

Keywords: efficiency, university, monitoring, software, employment

Одним из важнейших критериев эффективности образовательной деятельности вузов является трудоустройство выпускников. Так, показатель «Удельный вес выпускников, трудоустроившихся в течение календарного года, следующего за годом выпуска, в общей численности выпускников образовательной организации обучавшихся по основному образовательным программам высшего образования» учитывается в мониторинге эффективности деятельности организаций высшего образования, проводимом ежегодно Минобрнауки России. Расчет этого показателя осуществляется на основании обработки данных из двух независимых источников: Пенсионного фонда

Российской Федерации и Федерального реестра сведений документов об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении (далее – ФРДО), в который все образовательные организации обязаны вносить в 60-дневный срок сведения о выданных документах об образовании. Дополнительно по результатам сбора информации Минобрнауки России создан интернет-портал «Мониторинг трудоустройства выпускников» (graduate.edu.ru), который аккумулирует на данный момент обработанные сведения по факту трудоустройства и средней заработной плате выпускников 2013–2015 гг. в 2014–2016 гг. соответственно; готовятся к отображению данные выпуска

2016 г. (и их трудоустройства на протяжении 2017 г.). Портал позволяет получить статистическую информацию по России в целом, по регионам, по отдельным вузам, направлениям подготовки (специальностям), а также позволяет оценить внутрироссийскую миграцию выпускников. Стоит отметить, что процент трудоустройства или иные аналогичные характеристики анализируются и при построении различных национальных и международных рейтингов.

Вопрос разработки моделей, алгоритмов и программного обеспечения для прогнозирования основных показателей эффективности деятельности вуза рассматривался в ряде научных работ [1, 2]. При этом было показано, что используемые в большинстве вузов информационные системы (как коммерческие, так и собственной разработки), как правило, не позволяют вычислять все прогнозные значения показателей эффективности деятельности, хотя некоторые из них предназначены для интеллектуализации управления изменениями деятельности вуза [3–5]. В то же время вопросу мониторинга трудоустройства выпускников, проблемам расчета показателя трудоустройства, используемого Минобрнауки России (сведения о трудоустройстве поступают из Пенсионного Фонда России, который не располагает информацией об отчислениях работников силовых структур и аналогичных ведомств, не учитываются лица, призванные на военную службу, находящиеся в декретном отпуске, работающие или продолжившие обучение за границей) и созданию соответствующей инфраструктуры в вузах уделяется большее внимание [6–8]. При этом рядом исследователей подчеркивается важность именно показателя доли трудоустройства для общей эффективности образовательной деятельности вуза [9].

Данная работа акцентирует внимание исключительно на процедуре мониторинга трудоустройства выпускников вуза, соответствующих технических средств и их роли в повышении эффективности деятельности университета. За пределами исследования остались не менее важные вопросы в комплексе мер, направленных на трудоустройство выпускников в общем: заключение долгосрочных договоров о сотрудничестве с потенциальными работодателями, модернизация образовательных программ под потребности крупных заказчиков, система стажировок, профориентационное и карьерное консультирование обучающихся, развитие у них рекрутинговых компетенций и профессиональная адаптация. Процесс отслеживания статусов трудоустройства студентов важен как для своев-

ременного предоставления точной внешней и внутренней статистической отчетности, так и для оперативной коррекции локальных «провалов» в обеспечении занятости выпускников.

Материалы и методы исследования

В качестве методов исследования использованы системный подход, методология функционального моделирования IDEF0, теория проектирования баз данных. Материалы для исследования получены на основе деятельности центра трудоустройства выпускников и управления информатизации ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (далее – ЮЗГУ) в 2012–2018 гг. [10, 11].

Результаты исследования и их обсуждение

Наиболее точным источником входных данных для анализа трудоустройства выпускников является электронная информационно-образовательная среда вуза, а точнее, ее подсистема, обеспечивающая выгрузку данных о выданных документах о высшем или среднем профессиональном образовании в ФРДО. Вуз обязан обеспечивать полную корректность и своевременность сведений о выпускниках в ФРДО (фамилии, имени, отчестве, гражданстве, дате рождения, реквизитах выданного документа об образовании, форме обучения, источнике финансирования обучения, образовательной программе). Указанные данные учитываются не только Минобрнауки России для оценки эффективности трудоустройства, но и контролирующими органами (например, Рособрнадзором) при проведении проверок соблюдения законодательства России и иными организациями, в том числе для проверки дипломов на подлинность при приеме на работу.

Отметим, что в Курской области региональный орган управления образованием ежегодно до момента выпуска собирает предварительную информацию (прогноз) о потенциальном распределении выпускников по каналам занятости. Соответственно, информация о фактическом выпуске на этот момент времени отсутствует, и единственным относительно достоверным источником сведений о будущем трудоустройстве является анкетирование обучающихся выпускного курса и верификация этой информации на уровне кафедр, факультетов и центра трудоустройства выпускников вуза. Функциональная модель данного процесса, спроектированная с использованием методологии IDEF0 с помощью программы Ramus Educational, представлена на рис. 1.

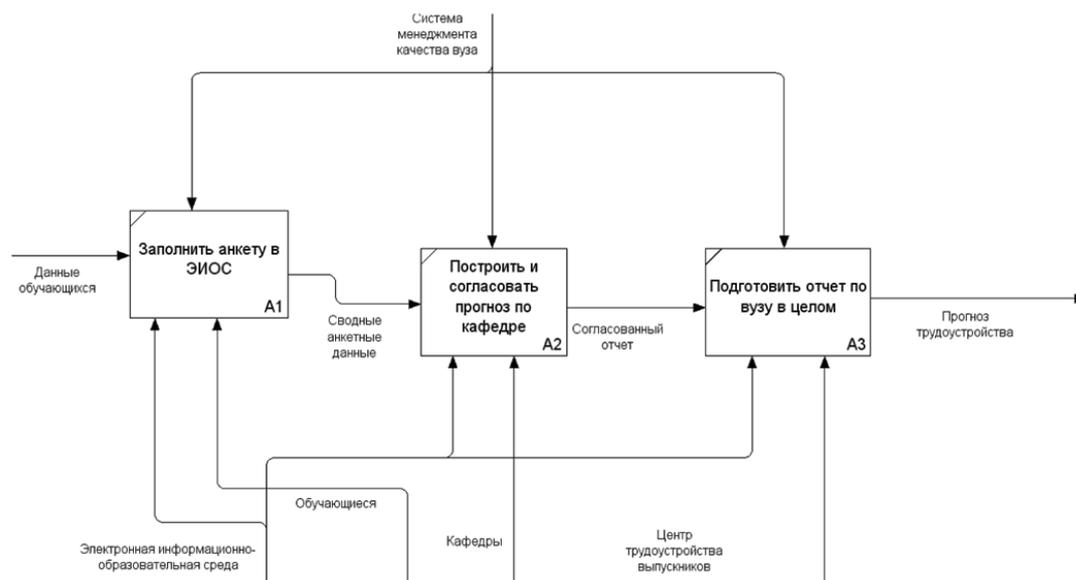


Рис. 1. IDEF0-модель предварительного мониторинга распределения выпускников по каналам занятости

Предварительный мониторинг позволяет заранее выявить проблемные места обеспечения занятости текущего выпуска и принять необходимые организационные меры. Так, например, с выпускниками, планирующими продолжение образования или трудоустройство за рубежом, уход в декретный отпуск, службу по призыву или контракту, должна быть организована разъяснительная работа и предложены варианты частичной занятости в РФ, в том числе удаленной работы, по направлениям деятельности, результаты которых будут отражены отчислениями в Пенсионный Фонд России в течение года после выпуска.

Функциональная модель процесса мониторинга текущего трудоустройства выпускников для предоставления ежеквартальных отчетов и для оценки выполнения критерия мониторинга эффективности деятельности вузов представлена на рис. 2.

Основные сущности инфологической ER-модели процесса мониторинга трудоустройства выпускников, спроектированной в программе Dia, представлены во фрагменте на рис. 3.

Программное обеспечение для системы реализовано с использованием технологической платформы «1С: Предприятие 8.3» в виде конфигурации собственной разработки.

После внесения в систему данных, переданных вузом в ФРДО, кафедры, факультеты и центр трудоустройства в многопользовательском клиент-серверном режиме получают возможность добавления информации о текущем статусе трудоустройства каждого выпускника («работает», «работает

за рубежом», «служит в армии», «продолжает обучение» и т.д.) с указанием места занятости, должности и их соответствия полученной профессии. История изменения статусов хранится и позволяет отслеживать персональную карьерную траекторию каждого выпускника. Отметим, что архитектура платформы «1С: Предприятие 8.3» позволяет осуществлять защищенный доступ к данным о трудоустройстве по локальной сети вуза через Web-интерфейс без необходимости установки и обновления клиентского программного обеспечения каждого отдельного пользователя.

Система позволяет формировать как общие внешние отчеты (например, данные для формы ВПО-1, количество и процент выпускников вуза, факультета, направления подготовки или отдельной учебной группы в разрезе статусов), так и специализированные внутренние, например, по подбору кандидатур, имеющих 2 высших образования в заданных сферах и прошедших службу в армии, отбору лиц с руководящим опытом работы и т.д., что позволяет оперативно реагировать на специфические запросы работодателей. Программа позволяет формировать сведения о местах трудоустройства выпускников в формате, утвержденном в методических рекомендациях Рособнадзора, и без дополнительной обработки размещать их на официальном сайте вуза в сети Интернет в обязательном разделе «Сведения об образовательной организации» (рис. 4), что значительно упрощает данную трудоемкую процедуру, которая должна в общем случае выполняться в течение 10 дней с момента изменения информации.

Текущие характеристики системы мониторинга трудоустройства выпускников ЮЗГУ в сравнении с действовавшей ранее структурой

| Характеристика | Ранее существовавшая структура | Созданная структура |
|--|--------------------------------|---------------------|
| Количество анализируемых выпускников в системе, чел. | 1500 | 12305 |
| Количество анализируемых дипломов выпускников в системе, шт. | 0 | 18694 |
| Количество сведений о местах трудоустройства выпускников, размещенных и непрерывно обновляемых на официальном сайте университета в сети Интернет | 0 | 91 |
| Среднее время поиска информации по трудоустройству выпускника, мин. | 10 | 1 |
| Среднее время построения и публикации 1-го отчета для раздела сайта «Сведения об образовательной организации», мин | 240 | 5 |
| Возможность специфического отбора выпускников по нескольким статусам | Нет | Да |
| Среднее время сбора данных о текущем статусе трудоустройства выпускников 1-го года, дней | 10 | 2 |

Текущие характеристики сформированной в ЮЗГУ программной и организационной системы мониторинга трудоустройства выпускников в сравнении с действовавшей ранее структурой приведены в таблице.

Заключение

Таким образом, в работе описана структура системы мониторинга трудоустройства выпускников в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», ее функциональная и ER-модели. Показано, что внедрение такой системы позволило повысить оперативность сбора сведений о текущем статусе трудоустройства обучающихся не менее чем в 5 раз. Скорость обработки данных для построения внешней и внутренней статистической отчетности, в том числе для выполнения требований Рособнадзора по размещению информации о трудоустройстве и местах трудоустройства на официальном сайте вуза в сети Интернет, при этом увеличилась в 48 раз. Рассматривая эффективность как «относительную результативность процесса, определяемую как отношение результата к затратам обусловившим или обеспечившим его получение» [12], можно сделать вывод о том, что при сохранившихся затратах на содержание системы мониторинга трудоустройства выпускников внедрение новых средств повысило эффективность системы в целом, увеличив результативность процесса.

Работа выполнена в рамках Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-968.2018.8.

Список литературы

1. Яндыбаева Н.В. Моделирование и прогнозирование показателей эффективности образовательной деятельности высшего учебного заведения // Вестник Мордовского уни-

верситета. 2018. Т. 28. № 1. С. 120–136. DOI: 10.15507/0236-2910.028.201801.120-136.

2. Яндыбаева Н.В., Кушников Н.В. Математические модели, алгоритмы и комплексы программ для мониторинга эффективности образовательной деятельности вуза // Проблемы управления. 2015. № 1. С. 53–62.

3. Бондарев Я.П., Львович Я.Е. Интеллектуализация управления изменениями в деятельности вуза на основе мониторинго-рейтинговой информации // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9162> (дата обращения: 04.02.2019).

4. Бурнашева С.Н., Журавлева И.И., Кустов Т.В., Пантюхова Н.С. Внутренний мониторинг трудоустройства выпускников СПбГЭТУ «ЛЭТИ» как эффективный инструмент планирования деятельности вуза // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. 2016. Т. 1. С. 206–212.

5. Булатова Г.А. Мониторинг и оценка трудоустройства выпускников вузов // Экономика Профессия Бизнес. 2017. № 4. С. 18–23.

6. Малолетко А.Н., Малолетко Н.Е., Воробьева Т.И. Проблемы создания системы мониторинга трудоустройства выпускников вузов России // Alma mater (Вестник высшей школы). 2015. № 8. С. 63–68.

7. Клешина И.И., Макусева Т.Г. Методика организации мониторинга трудоустройства выпускников в высших учебных учреждениях // Инновационная наука. 2017. № 6. С. 124–129.

8. Барлуков А.М. Трудоустройство выпускников как показатель качества образования // Научный руководитель. 2017. № 2 (20). С. 48–54.

9. Львович Я.Е., Каширина И.Л., Швиндт А.Н. Нейросетевое моделирование результатов мониторингового оценивания деятельности вузов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 4 (19). [Электронный ресурс]. URL: <https://moit.vivt.ru/?p=5426&lang=ru> (дата обращения: 04.02.2019).

10. Широкова Л.В. Центр трудоустройства выпускников – элемент системы стратегического управления конкурентоспособностью вуза // Содействие трудоустройству и адаптации к рынку труда студентов и выпускников учреждений профессионального образования Тульской области: сб. материалов II Регион. науч.-практ. конф. со всерос. участием. 2015. С. 77–80.

11. Широкова Л.В., Запольский А.Д. Новые решения в сфере автоматизации мониторинга занятости выпускников // Новые технологии в науке, образовании, производстве материалы международной научно-практической конференции. 2017. С. 523–528.

12. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. М.: ИНФРА-М, 2011. 479 с.

УДК 62-93

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ПОДГОТОВКИ СКВАЖИННОЙ ПРОДУКЦИИ

Савельева Н.Н.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал, Нижневартовск,
e-mail: nnsavelieva@yandex.ru

Рассматривается система технологического оборудования сбора и подготовки скважинной продукции на примере Самотлорского месторождения. Целью настоящего исследования является модернизация технологического оборудования для получения экономического эффекта за счет оптимизации затрат на подготовку нефти. Подготовка нефти на промыслах ведется непосредственно после ее добычи. Заключается в сборе с кустов на центральный пункт сбора, очистки от примесей и дальнейшей транспортировки скважинной продукции на первичную переработку. От того, как качественно очищена скважинная продукция, зависит весь дальнейший технологический цикл. Поэтому актуальным является внедрение новейшего технологического оборудования – концевых делителей фаз с целью улучшения системы подготовки нефти за счет снижения металлоемкости и, как следствие, уменьшения затрат. Концевые делители фаз трубные предназначены для нефтепромыслового разделения фаз газожидкостной эмульсии на фазы. КДФТ позволяет: расширить технологические возможности установки; повысить качество очистки нефти от воды и механических примесей; существенно снизить расход деэмульгатора; обеспечить возможность работы установки с любыми типами нефтяных эмульсий. Применение концевых делителей фаз трубных имеет высокую экономическую эффективность за счет уменьшения габаритов технологического оборудования, а также за счет низкой стоимости КДФТ. Также они улучшают качество предварительной очистки нефтяной жидкости; повышают экологическую безопасность на промышленных объектах, что является важным фактором.

Ключевые слова: система сбора и подготовки нефти, концевые делители фаз трубные, скважинная продукция

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE SYSTEM OF GATHERING AND WELDING PREPARATION

Saveleva N.N.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Industrial University of Tyumen,
e-mail: nnsavelieva@yandex.ru

The system of technological equipment the system of collection and preparation of well products on the example of Samotlor field is considered. The purpose of this study is the modernization of technological equipment to obtain economic effect by optimizing the cost of oil treatment. Preparation of oil in the fields is carried out immediately after its production. Is to collect from the bushes at the Central Assembly point, the purification from impurities and further transportation of downhole products to primary processing. The entire further technological cycle depends on how well products are cleaned. Therefore, it is important to introduce the latest technological equipment-end phase dividers in order to improve the oil treatment system by reducing metal consumption and, consequently, reducing costs. Pipe end phase dividers are designed for oilfield separation of gas-liquid emulsion phases into phases: produced water, oil up to the specified parameters. Kdft allows: to expand the technological capabilities of the installation; to improve the quality of oil purification from water and mechanical impurities; to significantly reduce the consumption of the demulsifier; to provide the ability to work with any type of oil emulsions. The use of end-phase dividers pipe has a high economic efficiency by reducing the size of the process equipment, as well as for the low cost of kdft. They also improve the quality of pre-treatment of oil liquids; increase environmental safety at industrial facilities, which is an important factor.

Keywords: system of collecting and preparation of oil, end the phase-splitters pipe, borehole products

Месторождения Западной Сибири, в том числе и Самотлорское месторождение, отличаются следующими особенностями: месторождение эксплуатируется с 1965 г.; несмотря на это месторождение до настоящего времени имеет высокие темпы добычи нефти; как следствие, с каждым годом растет обводненность нефти и уменьшается внутрислоевого давление. Эту ситуацию лишь усугубляет заболоченность территории. Поэтому система подготовки нефти должна соответствовать определенным требованиям, расскажем об этом ниже.

Скважинная продукция не является чистой нефтью на выходе из устья скважины.

С ней вместе поступает попутный газ, пластовая вода, механические примеси, что вызывает дополнительный износ трубопровода и другого оборудования. Поэтому технически целесообразно скважинную продукцию подвергать обессоливанию, обезвоживанию, дегазации и удалению механических примесей [1]. Все работы по очистке нефти проводятся, используя автоматизированные замерные установки (АГЗУ), где проводят учет поступающей скважинной продукции и предварительную очистку. Далее нефтяная жидкость поступает на центральный пункт сбора (ЦПС), где проводится комплексная подготовка нефти к дальнейшей транспортировке [2].

Рассмотрим, в общем случае, как проводится комплексная подготовка нефти на Самотлорском месторождении. Скважинная продукция поступает на АГЗУ типа «Спутник». «Спутник» предназначен для измерения дебита добывающих скважин куста, управление работой скважин и проведение других технологических операций. К АГЗУ может подключаться не более 14 скважин.

Целью исследования является модернизация технологического оборудования для получения экономического эффекта за счет оптимизации затрат на подготовку нефти.

Общий принцип сбора нефти заключается в следующем. Жидкость поступает со всех скважин куста и направляется на переключатель скважин многоходовой (ПСМ). Посредством ПСМ поток скважинной жидкости попадает в двухкорпусный газосепаратор, где происходит отделение газа. Далее нефтяная жидкость поступает на счетчик расхода ТОР (турбинный объемный расходомер). Количество жидкости измеряется трубными расходомерами ТОР-1 по каждой выкидной линии, идущей от скважин куста. Также здесь определяется количество жидкости в скважинной продукции (обводненность). После «Спутника» продукция скважин по общему коллектору подается на центральный пункт сбора. От АГЗУ до сборного пункта прокладывают два коллектора раздельного сбора обводненной и безводной нефти. На Спутнике в поток скважинной продукции добавляют реагент-деэмульгатор для разделения нефтяной эмульсии на фазы – нефть и воду.

От АГЗУ по нефтесборным коллекторам скважинная продукция поступает на дожимную насосную станцию. На дожимной насосной нефтяная жидкость проходит первую ступень сепарации и обезвоживания нефти. На Самотлорском месторождении дожимные насосные станции выполняют функции разделения и подготовки нефти, воды и газа. Также здесь применена герметизированная система сбора добываемой нефти. Рассмотрим технологический процесс подготовки нефти на примере КСП-23. Подготовка и переработка скважинной продукции на КСП-23 осуществляется по следующей технологической схеме.

Добываемая из скважин нефть с содержанием воды 92–98%, с температурой до 45 °С и с содержанием газа – 76–80 м³/тн поступает на распределительную гребенку. Через задвижки распределительной гребенки жидкость по трём трубопроводам диаметром 325 мм поступает на 1 ступень сепарации газа. Отделившийся газ в нефтегазосепараторах первой ступени НГС № 1–3 поступает в нефтегазосепараторы

второй ступени № 1, 2. Далее газ поступает на узел учёта и регулирования, откуда подается на ГПЗ, также возможен сброс газа на свечу факела [3].

Отсепарированная жидкость с первой ступени сепарации двумя потоками направляется на установку предварительного сброса (УПСВ) – отстойники ОГ-200П м³ № 1–3, где происходит выделение основного балласта пластовой воды. Далее из предварительных отстойников ОГ-200П м³ вода поступает в резервуарный парк водоподготовки [4] в резервуары РВС-5000 м³ № 1–4. Очищенная от механических примесей и нефтепродуктов пластовая вода с резервуаров водоподготовки откачивается насосами подтоварной воды на кустовую насосную станцию КНС-22.

Некондиционная нефть с предварительных отстойников ОГ-200П м³ № 1, 2 поступает на установку подготовки нефти УПН в буферные емкости БЕ № 1, 2.

Выделившийся в буферных емкостях газ через задвижки поступает на ВКС, откуда подается на газопровод на КС-4 или ГПЗ.

Нефть с буферных емкостей поступает на прием насосов внешней перекачки НВП и через узел замера откачивается по напорным трубопроводам на центральный товарный парк (ЦТП).

На рис. 1 представлена принципиальная схема центрального пункта сбора (КСП) и его основное составляющее технологическое оборудование.

Материалы и методы исследования

На КСП-23 проходит подготовка нефти, которая состоит в сборе, очистке от примесей, дегазации и транспортировке [5]. От того, как качественно очищена скважинная продукция, зависит весь дальнейший технологический цикл. Поэтому актуальным является внедрение новейшего технологического для улучшения качества подготовки. В нашем исследовании мы предлагаем использование новейшего оборудования – концевых делителей фаз трубные [6, 7]. Причем монтаж и обслуживание оборудования проводится работниками предприятия, которые прошли специальное обучение либо повышение квалификации в области обслуживания высоко-технологичного оборудования [8].

КДФТ (рис. 2) предназначены для нефтепромыслового разделения фаз нефтяной жидкости для последующей очистки до стандартных параметров товарной нефти. Данное устройство позволяет добиться очистки нефти от примесей за более короткий временной промежуток, таким образом сократить затраты и уменьшить цикл очистки на дожимной станции.

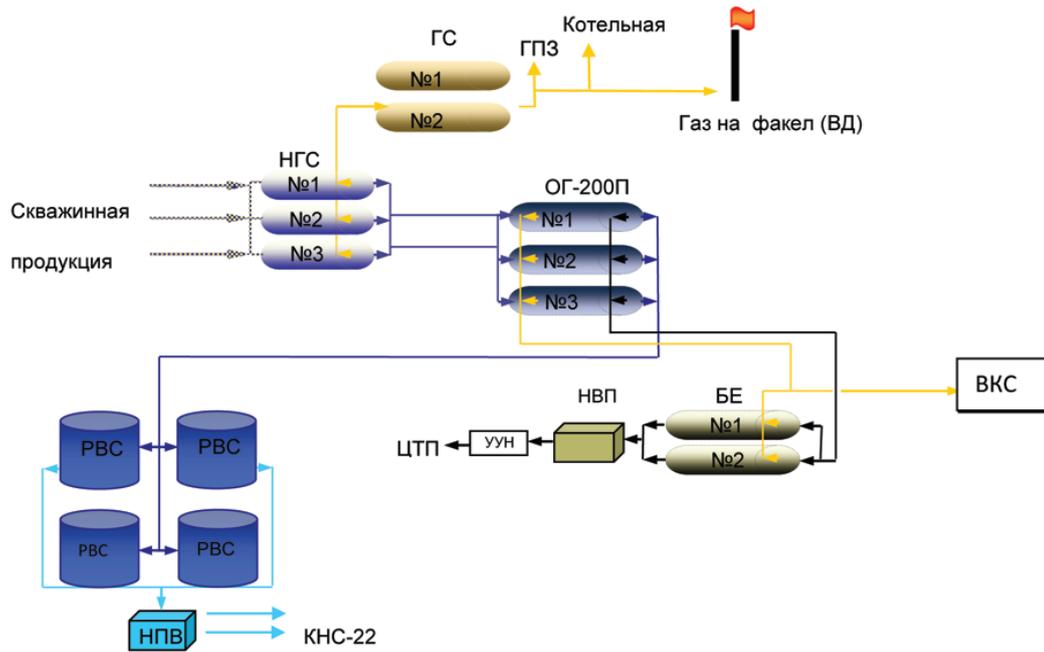


Рис. 1. Принципиальная схема КСП с обозначением основного технологического оборудования

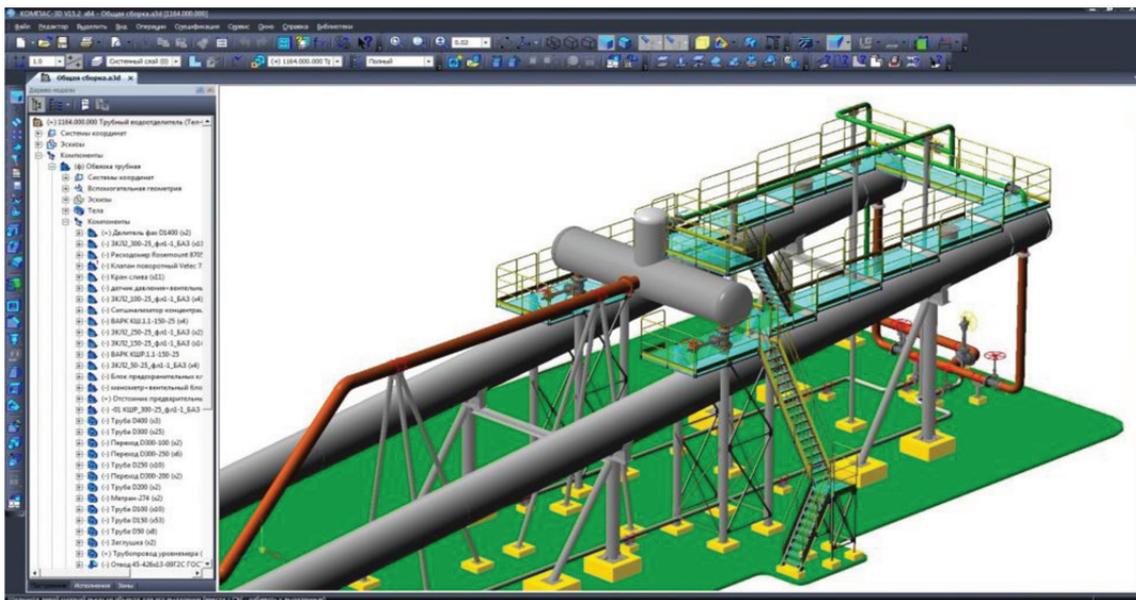


Рис. 2. Концевые делители фаз трубные (КДФТ)

На рис. 2 мы видим концевые делители фаз трубные, созданные в системе автоматизированного проектирования Компас 3D. Эта прикладная профессиональная программа используется для проектирования различных машин и технологического оборудования в трехмерном пространстве. Это позволяет

разрабатывать современное высокотехнологическое оборудование без дополнительных испытаний и пригонки и сразу запускать процесс сборки непосредственно на рабочем месте [9], что существенно сокращает время внедрения нового оборудования и уменьшает запуск в реальное производство.

Конструкция КДФТ представляет собой трубопровод, на конце которого имеются три выхода для нефтяной, водяной и газовой фаз. Габаритные и конструктивные размеры устройства, а также диаметры отходящих выходов от трубопроводов определяются проектировщиком по заданию заказчиков. С целью обеспечения качества подготовки фаз в трубном водоотделителе предусмотрены коалесцирующие устройства ступенчатого типа. Ступенчатый тип коалесцирующих устройств предотвращает накапливание механических примесей внутри насадки. Кроме того, камера накопления и отвода нефти оборудована отбойными пластинами, обеспечивающими более качественный процесс подготовки нефтяных эмульсий, препятствующий попаданию нефтепродуктов в камеру отбора воды.

Отличительными особенностями являются: небольшие габаритные размеры, малый вес, обслуживание производится рабочими низкой квалификации, высокая автоматизация, высокая производительность.

Рассмотрим технологическую схему с концевыми делителями фаз трубными (рис. 3). В данном случае продукция скважин через распределитель поступает на концевые делители фаз трубные, где происходит деление скважинной жидкости на воду, нефть и газ. Для активизации распада водонефтяной эмульсии в нефтегазопровод дозирочными насосами вводится реагент-деэмульгатор.

Нефть выводится с КДФТ с остаточным содержанием воды (0,5–5%), она поступает в буферные емкости БЕ-1,2 (V-100 м³) и далее на прием насосов внешней перекачки, для транспортировки на ЦТП. Пластовая вода для очистки от остаточной нефти и взвешенных веществ, через регулирующие клапаны поступает в резервуарный парк очистных сооружений РВС № 1, 2, 3, 4 (V-5000 м³). Окончательная очистка воды осуществляется методом гравитационного отстоя. Отделившийся газ из КДФТ через общий регулирующий клапан поступает в газосепаратор ГС-1,2 (V-100 м³) для его очистки от капельной жидкости. После очистки газ давлением 2–2,4 кгс/см² поступает через узел регулирования давления и узел учета в газопровод УКГ, далее на ГПК.

Таким образом, при применении КДФТ схема очистки меняется и показана на рис. 4.

Результаты исследования и их обсуждение

Применение концевых делителей фаз трубных имеет высокую экономическую эффективность за счет уменьшения габаритов технологического оборудования, а также за счет низкой стоимости КДФТ. Также они улучшают качество предварительной очистки нефтяной жидкости; повышают экологическую безопасность на промышленных объектах, что является важным фактором.

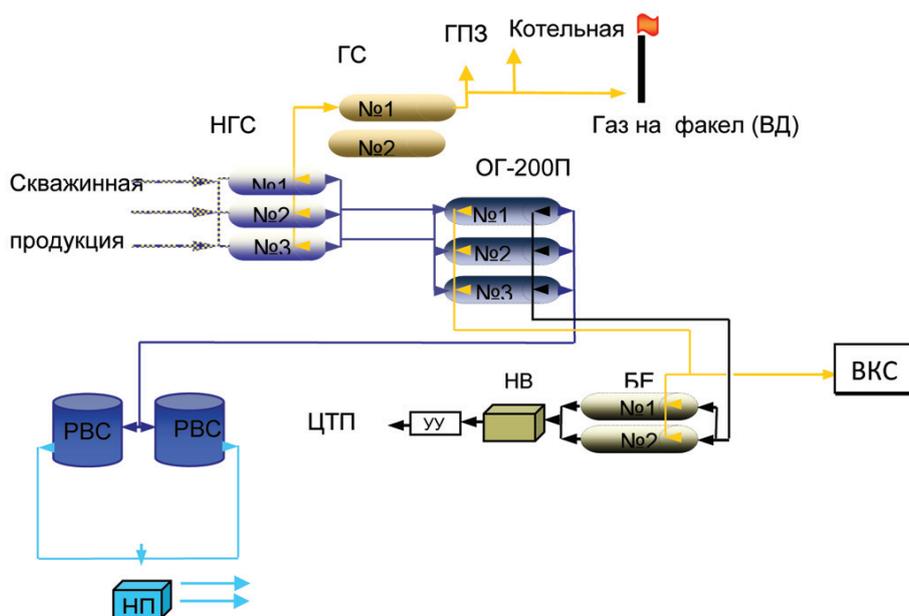


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема КСП с обозначением основного технологического оборудования

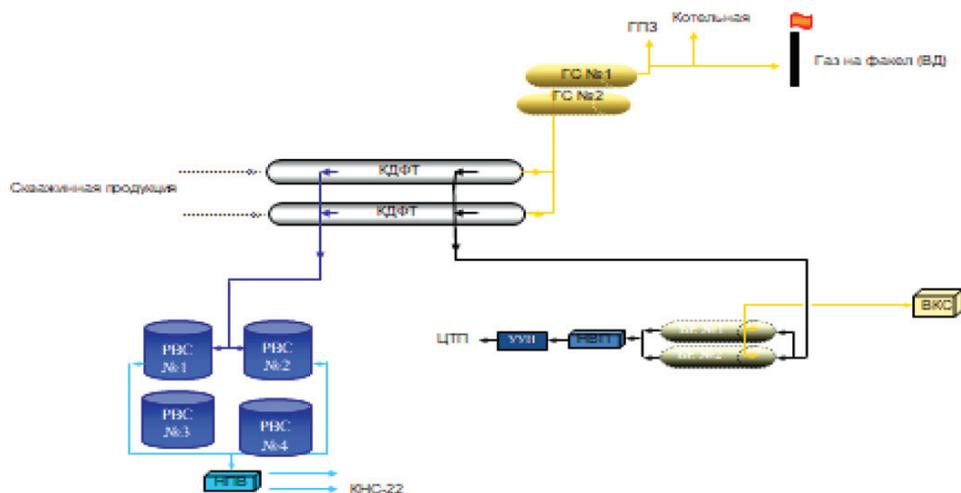


Рис. 4. Технологическая схема с концевыми делителями фаз трубными

Заключение

Применение в технологической схеме сбора и подготовки скважинной продукции концевых делителей фаз трубных существенно уменьшает площадь производственных объектов [10]. Тем самым уменьшает затраты на подготовку качественной нефтяной жидкости, уменьшает металлоемкость оборудования, уменьшает вероятность вредного воздействия на окружающую среду. Окупаемость предлагаемого автором совершенствования системы сбора и подготовки составляет пять лет.

Список литературы

1. Сваровская Н.А. Подготовка, транспорт и хранение скважинной продукции: учеб. пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2004. 268 с.
2. Шаймарданов В.Х. Процессы и аппараты технологий сбора и подготовки нефти и газа на промыслах: учеб. пособие / Под ред. В.И. Кудинова. М.; Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2013. 508 с.
3. Тронов В.П. Сепарация газа и сокращение потерь нефти. Казань: Фэн, 2002. 408 с.

4. Коновалов Н.И., Мустафин Ф.М., Коробков Г.Е., Ахияров Р.Ж., Лукьянова И.Э. Оборудование резервуаров: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2005. 214 с.

5. Галикеев Р.М. Исследование закономерностей структурообразования парафиносодержащих нефтей в добыче и системе сбора: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2011. 104 с.

6. Шаймарданов В.Х., Масленников Е.П. Трубный делитель фаз // Патент РФ № 2369425. Опубликовано: 10.10.2009. Бюл. № 28.

7. Савельева Н.Н. Модернизация системы подготовки нефти посредством применения концевых делителей фаз трубных // Материалы международной научно-технической конференции. Нефть и газ Западной Сибири. 2017. С. 239–243.

8. Савельева Н.Н. Принципы модернизации системы многоуровневого образования подготовки кадров нефтяной и газовой промышленности // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9–2. С. 327–332.

9. Савельева Н.Н. Применение методов компьютерного моделирования для организации электронного обучения студентов // Опорный университет в международном электронном пространстве: материалы V Международной научно-практической видеоконференции. 2018. С. 57–60.

10. Об утверждении нормативов технологических потерь углеводородного сырья при добыче, технологически связанных с принятой схемой и технологией разработки месторождений, на 2018–2019 гг. от 27 ноября 2018 года № 1089: Утв. Минэнерго РФ 27.11.2018. М., 2018. 14 с.

УДК 691.421:658.567.1

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ
АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА****Тимкин И.А., Малышкин А.В., Шелковников А.А., Соломачев М.А.,
Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Васильева М.Н.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kmp198@inbox.ru*

Исследованы отходы производства алюминия методом электролиза: фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей и шамотные отходы капитального ремонта электролизеров. Выбор отходов базировался на исследовании и оценке их химико-минералогического состава, содержащего преимущественно углерод и фтористые минерализаторы. Установлена существенная роль фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей в процессах спекания керамических масс, в значительной степени, на стадии формирования кристаллизационных структур. Процессы образования полезных кристаллических фаз связаны с присутствием в составе отходов минерализующих компонентов с низкой динамической вязкостью в интервале обжига керамики. Выявлен эффект существенного повышения прочности керамических стеновых материалов при добавлении в состав шихты фторуглеродсодержащих отходов со шламового поля в количестве 6,3–12,6 мас. %. Выявлен эффект снижения температуры обжига керамического кирпича, изготовленного из местных сульфидов, не менее чем на 100 °С при сохранении показателей эксплуатационных свойств керамики. Экспериментально доказана возможность утилизации шамотных отходов капитального ремонта электролизеров фракций –1 + 0,5 мм и –0,5 + 0,2 мм в соотношении 2:1 в производстве шамотных огнеупорных материалов, в том числе кордиерито-муллитового состава, при температуре синтеза 1275 °С, изотермической выдержке 4 ч, давлении формования изделий 35 МПа.

Ключевые слова: шламовые поля, фторуглеродсодержащие отходы, шамотные отходы, керамический кирпич, муллит, кордиерит, водопоглощение, прочность при сжатии, спекание, минерализатор

**PERSPECTIVE DIRECTIONS OF WASTE UTILIZATION
OF ALUMINUM PRODUCTION****Timkin I.A., Malyshkin A.V., Shelkovnikov A.A., Solomachev M.A.,
Nikiforova E.M., Eromasov R.G., Vasileva M.N.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kmp198@inbox.ru*

The wastes of aluminum production by electrolysis were investigated: fluorocarbon-containing wastes from sludge fields and chamotte wastes from the overhaul of electrolyzers. The selection of wastes was based on the study and evaluation of their chemical and mineralogical composition, containing, predominantly, carbon and fluoride mineralizers. The essential role of fluorocarbon-containing wastes from sludge fields in sintering processes of ceramic masses, to a large extent, at the stage of formation of crystallization structures has been established. The formation of useful crystalline phases is associated with the presence in the composition of the waste mineralizing components with low dynamic viscosity in the firing interval of ceramics. The effect of a significant increase in the strength of ceramic wall materials has been revealed by adding fluorine-carbon-containing wastes from a slurry field to the mixture in the amount of 6.3–12.6 wt. %. The effect of reducing the firing temperature of ceramic bricks made from local loams by at least 100 °C has been revealed, while maintaining the performance characteristics of ceramics. The possibility of recycling chamotte wastes from the overhaul of electrolyzers of fractions –1 + 0.5 mm and –0.5 + 0.2 mm in a 2: 1 ratio in the production of fireclay refractory materials, including cordierite-mullite composition, at a synthesis temperature of 1275 ° and isothermal aging 4 hours, pressure molding products 35 MPa.

Keywords: slurry fields, fluorocarbon containing waste, fireclay waste, ceramic brick, mullite, cordierite, water absorption, compressive strength, sintering, mineralizer

В Сибирском регионе наблюдается практика размещения хранилищ отходов производства алюминия непосредственно в черте крупных городов региона [1–2]. При этом объемы хранилищ отходов только нарастают, что напрямую связано с отсутствием технических решений по утилизации техногенных продуктов. Отходы производства алюминия связаны с переделом газоочистки процесса электролиза алюминия (жидкие шламы от очистки газов, а также тонкодисперсная пыль электрофильтров). Значительный объем занимают остаточные продукты от процесса флотации угольной пены, а также неиспользованные растворы

регенерации криолита [2]. К отходам, складываемым на территории алюминиевых заводов, также относятся продукты демонтажа электролизеров в период капитальных ремонтов (угольная и шамотная футеровка подовой и боковой части электролизных ванн). Химический и минералогический состав отходов свидетельствует о возможности их использования в качестве минерализаторов ряда силикатных систем, соответствующих получению керамики и цемента [3–5]. Возможность применения отходов в качестве минерализующего компонента при синтезе керамических материалов основана на установленном по-

следовательном их влиянии на процессы дегидратации основных глинообразующих минералов (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда), а также на преобразования их структуры в полезные кристаллические фазы, обеспечивающие высокие эксплуатационные свойства керамических материалов. Преобразования подобного рода связаны с воздействием фторсодержащих минерализаторов на возникновение эвтектических расплавов с низкой динамической вязкостью в интервале температур обжига керамики [2].

Цель исследования: изучение технологических параметров получения керамических материалов с использованием в качестве минерализующего компонента отходов алюминиевого производства.

Материалы и методы исследования

Подготовку сырьевых материалов проводили последовательным дроблением (щелочная дробилка ШД-6), помолом (кольцевая мельница Roklabs), разделением на фракции (ситовой анализатор ВПТ-220). Исследование микроструктуры сырья и керамики осуществляли на спектрометре Lab Center XRF-1800 Shimadzu (Япония) и дифрактометре XRD-6000 Shimadzu. Оценку физико-механических характеристик осуществляли по результатам их определения на испытательной машине LFM.

Минералогический состав представлен на рис. 1, химический – в табл. 1.

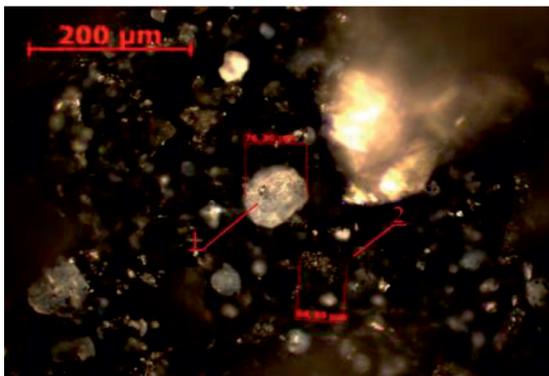


Рис. 1. Микроструктура фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей: 1 – криолит; 2 – графит

Основной составляющей фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей является графит (70–73 мас.%) На дифрактограммах выявлены основные пики графита 0,338; 0,202; 0,169 нм. Криолит содержится в отходах в довольно больших количествах (8–10%) и идентифицируется пиками 0,193; 0,275; 0,233 нм. Еще одним

компонентом во фторуглеродсодержащих отходах со шламовых полей выявлен флюорит, представленный бесцветными зернами и содержащийся в количестве 4–6 мас.%. В меньших количествах в состав отходов входит корунд как в кристаллической, так и в аморфной форме (5–6 мас.%), нефелин (2–3 мас.%), диаспор (2 мас.%). Анализ химического состава фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей свидетельствует о высоком содержании в них потерь при прокаливании, связанных с интенсивными экзотермическими процессами выгорания углерода при 350–600 °С. Содержание фторсодержащих компонентов в шамотных отходах капитального ремонта электролизеров колеблется в зависимости от условий эксплуатации электролизных ванн. Фторсодержащие компоненты в шамотных отходах капитального ремонта электролизеров представлены (мас.%) криолитом (0,3–0,5) и фтористым натрием (1–1,2).

Результаты исследования и их обсуждение

Выполнены исследования по спеканию керамических масс с использованием в качестве компонента шихты стеновой керамики фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей. В качестве основного компонента масс исследованы суглинки Сибирского региона разнообразного минералогического состава глинистого компонента. Так, полиминеральный суглинок Садового месторождения сложен глинистыми минералами монтмориллонита, каолинита и гидрослюда (г. Красноярск). Суглинок Бадальковского месторождения (г. Красноярск) представлен монтмориллонито-гидрослюдистой глинистой составляющей. Для суглинка Анзобинского месторождения (г. Братск) характерна мономинеральность по отношению к глинистому компоненту, представленному гидрослюдой. Выбор глинистого сырья разнообразного минералогического типа определялся необходимостью расширения возможностей применения фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей в качестве топливной и минерализующей добавки в сырьевые керамические смеси. Температурный интервал исследований процессов спекания керамических масс соответствовал 900–1050 °С. Предполагаемым механизмом спекания керамических смесей с фторуглеродсодержащими отходами со шламовых полей является спекание с участием жидкой фазы. Источниками образования жидкой фазы являются фторсодержащие соединения, характеризующиеся расплавлением в период продолжительной изотермической выдержки. Анализ

динамической вязкости фторсодержащих соединений в отходах (криолита, фторида натрия) свидетельствует о ее весьма низких значениях в температурном интервале обжига керамики 850–1050 °С. Так, при температурах 850–1050 °С вязкость комбинированной добавки криолита и фторида натрия составляет $\eta = (4,60 - 1,84 \cdot 10^{-3}) \text{ Па}\cdot\text{с}$ [2, 6]. Для обеспечения эквивалентного содержания минерализаторов в сырьевых смесях применен расчет их ввода по катион-кислородному компоненту (1–2 %) [2, 6]. Содержание минерализующего компонента в 1 мас. % соответствует вводу в состав шихты 6,3 мас. % фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей, а 2 мас. % минерализатора привносятся в состав шихты этими отходами в количестве 12,6 мас. %. Экспериментальные составы масс приведены в табл. 3. Там же приведен характер изменения показателей прочности образцов при сжатии в зависимости от типа глинистого сырья, а также количества введенного отхода (как в мас-

совых процентах, так и по катион-кислородному компоненту) при различных температурах обжига.

Анализ данных табл. 2 свидетельствует об эффективности и целесообразности использования фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей в качестве минерализующей и топливной добавки, активизирующей процесс спекания с участием жидкой фазы с низкой динамической вязкостью и достаточной для интенсивного спекания удельной растекаемостью. Об этом свидетельствует существенный рост прочности керамических изделий, изготовленных из глинистого сырья всех исследованных минералогических типов. При этом рост прочности наблюдается во всем температурном диапазоне изотермической выдержки. В соответствии с нормами технологического проектирования по производству керамического кирпича фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей можно классифицировать как комплексную топливно-флюсующую корректирующую добавку.

Таблица 1

Химический состав отходов, мас. %

| Наименование отходов | Содержание компонентов | | | | | | | | |
|---|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|-------------------------------|----------------|-------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | SO ₄ ²⁻ | F ⁻ | п.п.п |
| Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей | 0,68 | 12,53 | 1,13 | 0,73 | 0,6 | 15,89 | 0,64 | 16,38 | 51,42 |
| Шамотные отходы капитального ремонта электролизеров | 65,64 | 20,86 | 2,78 | 0,90 | 0,86 | 4,21 | 0,23 | 2,53 | 2,09 |

Таблица 2

Прочность керамических материалов на основе фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей

| Индекс массы | Состав шихты, мас. % | Прочность при сжатии, МПа при температуре обжига, °С | | | |
|--------------|--|--|------|------|------|
| | | 900 | 950 | 1000 | 1050 |
| 1 | Суглинок садовый – 100 | 9,6 | 12,4 | 18,4 | 20,6 |
| 2 | Суглинок садовый – 93,7 Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей – 6,3 | 15,8 | 18,4 | 28,9 | 38,9 |
| 3 | Суглинок садовый – 87,4 Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей – 12,6 | 16,4 | 20,5 | 29,2 | 43,4 |
| 4 | Суглинок бадалыкский – 100 | 7,5 | 9,8 | 15,4 | 17,1 |
| 5 | Суглинок бадалыкский – 93,7 Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей – 6,3 | 12,7 | 15,4 | 19,4 | 25,8 |
| 6 | Суглинок бадалыкский – 87,4 Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей – 12,6 | 14,0 | 17,8 | 21,4 | 27,2 |
| 7 | Суглинок анзевинский – 100 | 9,1 | 14,8 | 17,0 | 23,0 |
| 8 | Суглинок анзевинский – 93,7 Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей – 6,3 | 14,8 | 19,9 | 24,5 | 35,6 |
| 9 | Суглинок анзевинский – 87,4 Фторуглеродсодержащие отходы со шламовых полей – 12,6 | 15,6 | 21,2 | 25,4 | 38,3 |

Очевидно, что взаимодействие высоко-реакционного расплава с примесными компонентами глинистых пород способствует формированию полезных кристаллических фаз, определяющих эксплуатационные характеристики керамики. Так, наличие в суглинке Анзобинского месторождения кальцита определяет его взаимодействие с глинистыми минералами с образованием анортита. При этом объем жидкой фазы может существенно возрасти за счет вовлечения в образующиеся эвтектические расплавы продуктов диссоциации карбонатов (CaO) с образованием анортита. Источником образования полезной кристаллической фазы диопсида, существенно повышающего прочностные показатели керамики, является продукт диссоциации доломита (MgO), вовлекаемый в расплавы фтористых минерализующих составляющих с последующей перекристаллизацией из них диопсида. Рост прочности и снижение водопоглощения с вводом в состав шихты фторуглеродсодержащих отходов со шламового поля, очевидно, помимо минерализующего эффекта, связан с их высокой теплотворной способностью, сопоставимой с показателями высококачественных углей. Сопоставительные данные прочности керамических материалов при различных температурах обжига (табл. 2) позволяют выявить эффект снижения температуры обжига керамического кирпича, изготовленного из местных суглинков, не менее чем на 100 °С при сохранении высоких показателей эксплуатационных свойств керамики.

Перспективным направлением утилизации отходов алюминиевого производства, в частности шамотных отходов капитального ремонта электролизеров, является их применение в производстве шамотных огнеупорных материалов. Выбор кордиеритомуллитового состава шамотных материалов основывался на возможности достижения высоких эксплуатационных характери-

стик данного класса технической керамики [7–9]. Кристаллическая фаза кордиерита характеризуется низким коэффициентом термического расширения, а фаза муллита – высокой прочностью [2, 10]. Сочетание этих кристаллических фаз дает возможность получения механически прочного и термостойкого материала (ГОСТ 7875.0-94). Еще одним важным технологическим преимуществом ведения процесса спекания является существенная разница в температурах плавления кордиерита (1460 °С) и муллита (1890 °С). Теоретический состав кордиерита отвечает содержанию: MgO – 13,7; Al₂O₃ – 34,9; SiO₂ – 51,4 (мас. %). Установлен оптимальный вещественный состав сырьевой смеси матрицы и наполнителя (мас. %): тальк марки ТРПН – 36,8 %, глина огнеупорная Кантатского месторождения – 47,85 %, глинозем технический – 15,4 %. Содержание наполнителя соответствует 45 мас. %. С целью замены традиционного шамотного наполнителя на отходы промышленности проведены исследования по использованию шамотных отходов капитального ремонта электролизеров. Использование отходов, содержащих фтористые компоненты, обеспечивает увеличение количества жидкой фазы на стадии спекания, ее образование при более низких температурах, тем самым способствуя синтезу кордиеритовой фазы. Проведены исследования по оптимизации фракционного состава шамотных отходов капитального ремонта электролизеров при производстве алюминия. Исследованы фракции, микроструктура которых представлена на рис. 2: –1 + 0,5 мм (а), –0,5 + 0,2 мм (б), –0,2 мм (в).

Для оптимизации фракционного состава шамота реализован симплекс-решетчатый план Шеффе (рис. 3).

Целесообразно использование двухкомпонентной по фракционному составу шихты для достижения минимального показателя водопоглощения (11–12 %).

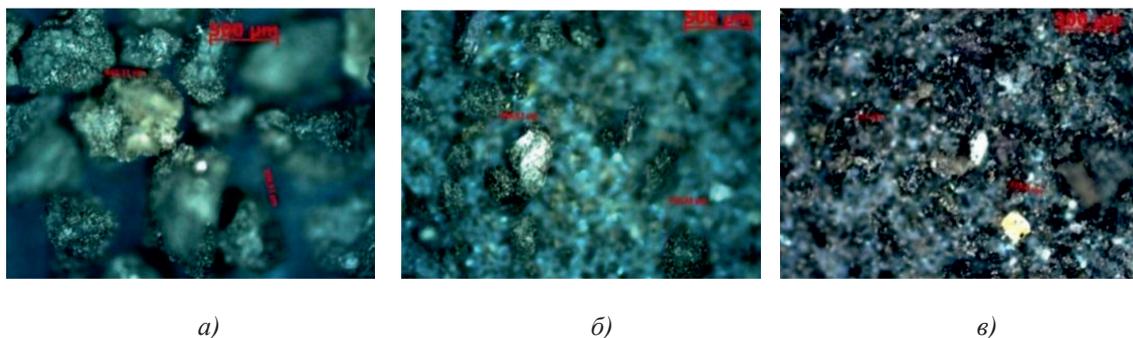


Рис. 2. Микроструктура шамотных отходов капитального ремонта электролизеров

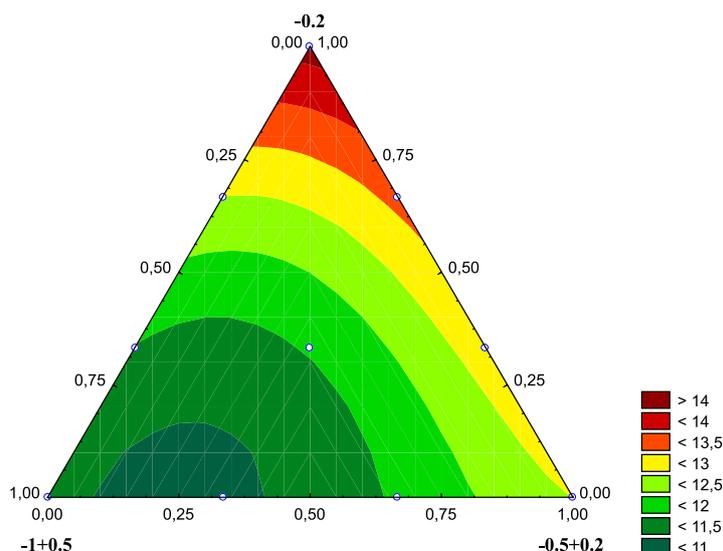


Рис. 3. Проекция линий равного водопоглощения на трёхкомпонентный симплекс

Заключение

Для достижения минимального значения водопоглощения, максимальной кажущейся плотности и минимальной огневой усадки муллито-кордиеритовой керамики следует применять шамотные отходы капитального ремонта электролизеров фракций $-1 + 0,5$ мм и $-0,5 + 0,2$ мм в соотношении 2:1 при температуре синтеза 1275°C , изотермической выдержке 4 ч при давлении формования изделий 35 МПа. Введение в состав керамических масс фторуглеродсодержащих отходов со шламовых полей приводит к существенному улучшению эксплуатационных свойств стеновой керамики и снижению температуры изотермической выдержки на 100°C .

Список литературы

1. Лохова Н.А., Ермолина Н.С., Тарновская А.С. Обжиговые строительные материалы повышенной долговечности с использованием техногенного сырья: моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 80 с.
2. Никифорова Э.М. Минерализаторы в керамической промышленности. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. 108 с.
3. Волконский Б.В. Минерализаторы в цементной промышленности. М.: Изд. литературы по строительству, 1964. 199 с.
4. Куликов Б.П., Баринов В.В., Николаев М.Д., Пыркова И.В., Шувалова С.А. Утилизация фторсодержащих отходов алюминиевого производства в цементной промышленности // Экология и промышленность России. 2010. № 5. С. 4–6.
5. Куликов Б.П., Николаев М.Д., Кузнецов А.А., Пигарев М.Н. Патент № 2383506 Российская Федерация, МПК С 04 В7/42 (2006.01). Способ получения портландцемента (варианты); № 2008139089/03; заявл. 30.09.2008; опубл. 10.03.2010.
6. Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г. Патент № 2420484 Российская Федерация, МПК С 04 В 33/132 (2006.1). Керамическая масса; № 2010103235/03; заявл. 01.02.2010; опубл. 10.06.2011. Бюл. № 16.
7. Головных Н.В. Упрочнение технологических материалов и рециклинг отходов футеровки электролизеров алюминиевого производства // Экология промышленного производства. 2010. № 4. С. 47–52.
8. Кашеев И.Д., Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Химическая технология огнеупоров: учеб. пособие. М.: Интермет-жиниринг, 2007. 750 с.
9. Вакалова Т.В., Хабас Т.А., Погребенков В.М., Бирюкова А.А., Вакалова Т.В. Активация процессов синтеза и спекания композиций муллито-кордиеритового состава на основе природного сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. С. 379–384.
10. Вакалова Т.В. Активация процессов синтеза и спекания композиций на основе оксидов в системе «Муллит – кордиерит» // Известия вузов. Физика. 2013. Т. 56. № 7/2. С. 189–193.

УДК 539.422.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛИ ПРИ УСТАЛОСТНОМ РАЗРУШЕНИИ

Шиховцов А.А., Михеев Г.В., Владимиренко А.С., Вербицкий Д.О.

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,
e-mail: alexey.shikhovtsov@mail.ru*

В статье рассмотрены стадии процесса усталостного разрушения, которые отличаются характером необратимых изменений в материале. Проведен теоретический анализ исследований процессов, происходящих при усталостном развитии трещин, которые в первую очередь базируются на анализе напряженно-деформированного состояния в месте расположения трещины. Выявлены барьеры, препятствующие определению напряженно-деформированного состояния при помощи решения стандартных задач теории упругости. Определены методики, позволяющие оценить напряженно-деформированное состояние материала в докритический период развития усталостных трещин. Обоснована методика количественной оценки системы допустимых пороговых нагрузок, приложенных к детали, на основе использования характеристики сопротивления замедленному разрушению порогового локального растягивающего напряжения. Предложен способ определения напряженно-деформированного состояния у вершины усталостной трещины методом конечных элементов. Обосновано использование приемов математического моделирования напряженно-деформированного состояния стали и стальных деталей в местах формирования микротрещин. Рассмотрены результаты действия циклической нагрузки, при которых макроскопические дефекты могут развиваться путем распространения трещин до полного разрушения элемента. Предложен способ определения напряженно-деформированного состояния с помощью создания математической модели образца с надрезом, согласно которой исследуемый объект – идеализированная расчетная схема – система линейных алгебраических уравнений, и расчета напряжений методом конечных элементов.

Ключевые слова: усталостное разрушение, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов

DETERMINATION OF STRESS-STRAIN STATE OF STEEL AT THE TOP OF FATIGUE CRACK BY FINITE ELEMENT METHOD

Shikhovtsov A.A., Mikheev G.V., Vladimirenko A.S., Verbitsky D.O.

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Kuban State Technological University,
Krasnodar, e-mail: adm@kgtu.kuban.ru*

The article deals with the stages of the fatigue failure process, which differ in the nature of irreversible changes in the material. The theoretical analysis of studies of the processes occurring in the fatigue development of cracks, which are primarily based on the analysis of the stress-strain state in the location of the crack. The barriers preventing determination of the stress-strain state by means of the solution of standard problems of the theory of elasticity are defined. The methods allowing to estimate the stress-strain state of the material in the subcritical period of fatigue cracks development are determined. The method of quantitative evaluation of the system of permissible threshold loads applied to the part based on the use of the characteristic of resistance to delayed destruction of the threshold local tensile stress is substantiated. A method for determining the stress-strain state at the top of the fatigue crack by the finite element method is proposed. The use of methods of mathematical modeling of stress-strain state of steel and steel parts in the field of formation of microcracks is justified. The results of cyclic loading action are considered, at which macroscopic defects can develop by crack propagation until complete destruction of the metal structure element. A method is proposed for determining the stress-strain state by creating a mathematical model of a sample with a notch, according to which, the object under study is an idealized calculation scheme – a system of linear algebraic equations, and stress calculation by the finite element method.

Keywords: fatigue failure, stress-strain state, finite element method

Усталостное разрушение – одно из самых распространенных видов замедленного разрушения стали, при котором происходит зарождение и постепенный рост начальных трещин до достижения ими критических размеров. Выявлено, что такой вид разрушения является основной причиной эксплуатации поврежденных большинства современных металлоконструкций и их сварных соединений.

Несмотря на то, что ответственные элементы таких конструкций подлежат периодическому техническому освидетельствованию, их усталостное разрушение часто

протекает без видимых признаков. В связи с этим актуальной является проблема прогнозирования усталостного разрушения стальных деталей.

Цель исследования: определить методики, позволяющие оценить напряженно-деформированное состояние материала в докритический период развития усталостных трещин. Ее достижение известными методами современной теории связано со значительными математическими трудностями, в частности с решениями сложных нелинейных уравнений в частных производных. Усталость, как один из механизмов

разрушения, является причиной эксплуатационных повреждений подавляющего большинства современных инженерных сооружений. Поэтому проблема сохранения прочности элементов конструкций при действии переменных нагрузок является одной из наиболее актуальных [1].

Материалы и методы исследования

Период докритического роста усталостной трещины определяет остаточную долговечность элемента конструкции. Стадия развития усталостной трещины в зависимости от конструктивных особенностей изделия (режимов его нагрузки, условий эксплуатации и др.) может составлять значительную часть общей долговечности элемента металлоконструкции. Поэтому исследование кинетики распространения усталостных трещин с учетом всех факторов влияния является важной научно-технической задачей и имеет большое практическое значение.

Как показывают экспериментальные исследования [2, 3], подавляющему большинству современных инженерных конструкций и сооружений присуще наличие макроскопических дефектов (трещины, разного рода несплошности, непровары в сварных соединениях, включения и др.), возникающих еще в процессе изготовления этих конструкций или появляющихся в процессе их эксплуатации.

В результате действия циклической нагрузки эти дефекты могут развиваться путем распространения трещин до полного разрушения элемента металлоконструкции, причем этот процесс может происходить при значительно меньшем предельном уровне нагрузки и характеризуется длительным накоплением необратимых повреждений в материале, что приводит к зарождению, развитию трещин и полному разрушению тела. Такое разрушение при циклической, то есть переменной во времени, нагрузке называется усталостным разрушением. Как правило, усталостное разрушение происходит непредсказуемо, часто без признаков поврежденности на поверхности металла элемента конструкции.

В сложном процессе усталостного разрушения достаточно четко просматриваются отдельные его стадии, отличающиеся необратимыми изменениями в материале. Общепринято разделять этот процесс на три основные стадии:

– инкубационный период, который характеризуется неоднородной концентрацией микропластических оползней, главным образом в поверхностных слоях деформируемого тела вследствие их повышенной технологической дефектности и пониженного сопротивления текучести;

– период зарождения субмикротрещины, слияния и образования минитрещин – нарушение структуры материала на уровне его блоков, зерен, включений, а в поверхностном слое – образование ступенек экструзии и интрузии;

– период распространения трещины, который начинается в тот момент, когда одна из микротрещин становится доминантной и перерастает в макротрещину. Контролирующим фактором распространения трещины является величина циклической пластической деформации в области пластической зоны у вершины трещины.

Исследование процессов, происходящих при усталостном развитии трещин, в первую очередь базируется на анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) в месте расположения трещины. В границах механики разрушения, которая базируется на принципах идеальной упругости рассматриваемого тела и понимает трещину как разрез с толщиной равной нулю с поверхностью, на которой отсутствует напряжение, такая задача решается как краевая задача теории упругости [3].

Общий случай распределения изменений в радиусе произвольной точки O (рис. 1) границ трещины можно показать в виде трех видов изменений (рис. 2), которые находятся в соответствии главным видам смещений на поверхности этой трещины: нормального отрыва (I), поперечного (II) и продольного (III) смещения [4, 5].

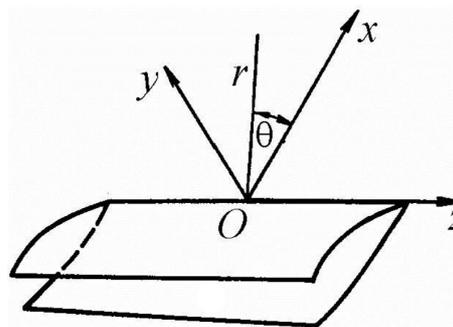


Рис. 1. Локальная система координат у вершины трещины

Первый представленный вид – это смещение верхних слоев трещины в разновекторных направлениях (симметрично к поверхностям xy и xz). Второй вид – это скольжение, в случае которого верхние слои трещины перемещаются один по другому в направлении, которое будет перпендикулярным по отношению к их фронту. Третий вид демонстрирует перемещение одного слоя трещины по-другому в направлении, параллельном фронту такой трещины.

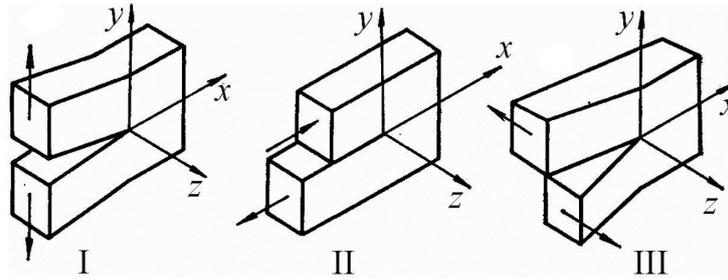


Рис. 2. Схема основных макромеханизмов распространения трещины

Согласно исследованиям А.Е. Андрейкива [4, 5] при реализации каждого из упомянутых типов деформирования распределение напряжений в окрестности контура трещины запишется в виде (1), (2), (3).

Для нормального отрыва [4, 5]:

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right),$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right), \quad (1)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}; \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0.$$

Для поперечного смещения [4, 5]:

$$\sigma_x = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right),$$

$$\sigma_y = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}, \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right); \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0.$$

Для продольного смещения [4, 5]:

$$\tau_{xz} = -\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2},$$

$$\tau_{yz} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}; \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = 0. \quad (3)$$

Дополнительно в соотношениях (1), (2) необходимо принять $\sigma_z = 0$ для плоского напряженного состояния и $\sigma_z = \mu(\sigma_x + \sigma_y)$ для плоской деформации.

Таким образом, коэффициенты интенсивности напряжений являются основными расчетными характеристиками линейной механики разрушения, однозначно определяют НДС в зоне предразрушений.

При циклической нагрузке тела с трещиной анализ реальной механической ситуации в зоне предразрушения осложняется еще больше. Сложные процессы постепенного накопления повреждений во времени, сопровождающиеся непрерывным изменением реологических и прочностных свойств материала в этой зоне, практически не поддаются математическому описанию и могут быть смоделированы только в общих чертах.

Существование неупругих (пластичных) деформаций приводит к тому, что при разгрузке металлического материала, непосредственно у вершины трещины возникают остаточные напряжения сжатия, которые в свою очередь вызывают обратное пластическое течение материала. Таким образом, в некоторой части начальной зоны пластичности формируется область, где при циклических нагрузках происходит реверсивное течение, что приводит к накоплению пластических деформаций. Эта область и является, по сути, циклической пластической зоной.

Согласно некоторым качественным оценкам [4], ее размеры примерно в четыре раза меньше размеров пластической зоны при статической нагрузке. Наличие у вершины трещины зоны пластической деформации приводит к несоответствию настоящего НДС такому, что предполагается соотношениями, полученными при решении задачи для упругих тел.

Однако, если зона нелинейного поведения свойств материала достаточно мала, то существует область, которая по размерам является промежуточной между размерами пластической зоны и длиной трещины или размерами тела, в которой асимптотическое решение (1)–(3) еще описывает истинное распределение напряжений.

А поскольку в этом случае значения коэффициентов интенсивности напряжений полностью определяют поле напряжений вне зоны пластичности, то тем самым они контролируют напряженное состояние ма-

териала в середине этой области, а именно – интенсивность процессов разрушения, которые в ней происходят.

Таким образом, критерии линейной механики разрушения сохраняют свою прогнозирующую способность и в реальных ситуациях, если только выполняются условия малости пластических зон (условия квазихрупкого состояния). Необходимые ограничения, при которых указанные условия имеют место, устанавливаются специальными математическими соотношениями – условиями автомодельности [5].

Эти соотношения, в частности, являются основным критерием выбора оптимальных размеров образцов, при испытании которых разрушение происходит квазихрупким механизмом и тем самым обеспечивается адекватное определение характеристик трещиностойкости. Следует отметить, что развитие усталостных трещин происходит при сравнительно низких уровнях действующих напряжений и сопровождается меньшими, чем в статике, пластическими зонами.

Поэтому возможности применения коэффициентов интенсивности напряжений как расчетных параметров для описания усталостного разрушения значительно шире, чем при однократной (монотонной) нагрузке. Они могут быть эффективно использованы при расчете многих реальных инженерных объектов. В тех случаях, когда условия квазихрупкого разрушения не обеспечиваются, для расчета нужны более точные методы, учитывающие наличие развитых пластических зон у вершины трещины.

Для всех реальных материалов, при напряжениях превышающих σ_p , линейная связь между напряжениями и деформациями нарушается и дальнейшая нагрузка сопровождается пластическим течением. В результате этого перед концом трещины всегда существует пластическая зона определенных размеров. Для расчета этой зоны необходимо исследовать распределение напряжений и деформаций у вершины трещины в упруго-пластической постановке, что связано со значительными математическими трудностями.

Рассчитать в ней локальные напряжения возможно с помощью компьютерного математического моделирования напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ).

Суть метода конечных элементов заключается в том, что тело представляется в виде некоторого каркаса, состоящего из элементов прямоугольной или треугольной формы. Совокупность элементов образует законченную решетку, внешняя форма которой соответствует форме тела.

Распределение напряжений в теле рассчитывают, рассматривая равновесие сил в общих точках или узлах решетки, а распределение деформаций – принимая во внимание перемещение обоих узлов.

Результаты исследования и их обсуждение

Авторами [6, 7] была разработана схема создания математической модели образца с надрезом, согласно которой исследуемый объект – идеализированная расчетная схема – система линейных алгебраических уравнений.

Непосредственный переход к расчетной схеме дает возможность естественно формулировать граничные условия, произвольно располагать узлы сетки элементов, сгущая ее в местах ожидаемого большого градиента напряжений и деформаций. Используемая модель позволяет рассчитывать напряжения, в том числе и в пластической зоне перед надрезом, с учетом эффекта упрочнения. Конечно-элементная сеть строится посредством стыковки любого числа фрагментов.

Графический образ сетки конечных элементов вблизи концентратора напряжений представлен на рис. 3.

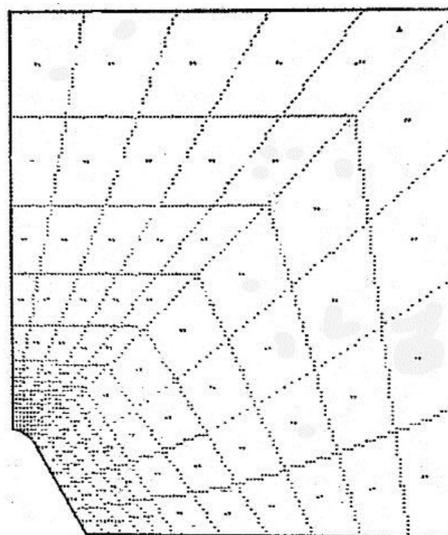


Рис. 3. Графический образ сетки конечных элементов вблизи концентратора напряжений [6]

Входные характеристики программы: предел текучести, модуль Юнга, показатель и коэффициент упрочнения определяется из испытаний на растяжение гладких образцов МРГ-3. В результате расчетов с помощью МКЭ определяется напряженно-деформированное состояние во всех узлах сетки конечных элементов.

С помощью этой методики можно определить локальные напряжения в зоне зарождения трещины по известному пределу текучести стали [7].

Выводы

Для любой заданной нагрузки можно определить локальное напряжение до и после образования пластически деформированной зоны разрушения.

Использование приемов математического моделирования напряженно-деформированного состояния стали и стальных деталей в местах формирования микротрещин предоставляет возможность диагностировать критические напряжения в местах зарождения трещин. Метод конечных элементов можно применять для определения докритического периода развития усталостных трещин.

Список литературы

1. Горохова В.А. Материалы и их технологии. В 2 ч. Ч. 2.: учебник. М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. 533 с.
2. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения: монография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. 328 с.
3. Зуев Л.Б., Данилов В.И. Физические основы прочности материалов: учеб. пособие / Отв. ред. Б.Д. Аннин. Долгопрудный: Интеллект, 2013. 376 с.
4. Андрейкив А.Е. Пространственные задачи теории трещин. К.: Науч. мысль, 1982. 245 с.
5. Андрейкив А.Е. Разрушение квазихрупких тел с трещинами при сложном напряженном состоянии. К.: Науч. мысль, 1979. 144 с.
6. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Методика определения сопротивления замедленному разрушению стальных деталей с концентраторами напряжений // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 3. С. 43–48.
7. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Расчет зависимости перенапряжения в зоне зарождения трещины в образцах с различными концентраторами напряжений с помощью метода конечных элементов // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 3. С. 73–74.

УДК 004.415.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВУЗОВСКОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**¹Штырова И.А., ¹Виштак Н.М., ²Ремаренко С.А.**¹*Балаковский инженерно-технологический институт – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Балаково, e-mail: irina-shtyrova@mail.ru;*²*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, e-mail: remarenko-2010@yandex.ru*

В современных условиях актуальным вопросом является развитие дополнительного образования. В связи с этим в вузах создаются центры дополнительного образования, в которых проводится обучение по дополнительным образовательным программам преподавателей, студентов, специалистов предприятий и организаций, а также школьников. Постоянно увеличивающийся объем данных, связанных с работой вузовских центров дополнительного образования, внедрение в образовательный процесс современных электронных образовательных ресурсов требует широкого использования в их работе современных компьютерных технологий. Учитывая всестороннее распространение мобильных устройств, необходимость оперативного доступа к информации, одной из первоочередных задач в данном направлении является разработка и применение мобильных приложений в организации образовательного процесса в вузовских центрах дополнительного образования, включая их использование в качестве образовательных инструментов. Аспекты разработки мобильных средств обучения включают анализ текущей информационной системы вузовского центра дополнительного образования, особенностей мобильного обучения, определение направления развития мобильного приложения. Процесс разработки мобильного приложения предусматривает формирование системы требований к мобильному приложению, определение функционала создаваемого средства, построение архитектурного решения с учетом принципов эффективности, гибкости, расширяемости.

Ключевые слова: мобильное приложение, дистанционное образование, вузовский центр дополнительного образования

USE OF THE MOBILE APPLICATION FOR THE ESTABLISHMENT OF A HIGHER EDUCATION UNIT OF ADDITIONAL EDUCATION**¹Shtyrova I.A., ¹Vishtak N.M., ²Remarenko S.A.**¹*Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, e-mail: irina-shtyrova@mail.ru;*²*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, e-mail: remarenko-2010@yandex.ru*

In modern conditions, an urgent issue is the development of additional education. In connection with this, additional education centers are being set up in higher educational institutions, in which training is conducted on additional educational programs for teachers, students, specialists of enterprises and organizations, as well as schoolchildren. The constantly increasing volume of data related to the work of higher education centers of additional education, the introduction of modern electronic educational resources into the educational process requires the widespread introduction of modern computer technologies into their work. Given the wide distribution of mobile devices, the need for rapid access to information, one of the primary tasks in this direction is the development and application of mobile applications in the organization of the educational process in higher education institutions of higher education, including their use as educational tools. Aspects of the development of mobile learning tools include: analysis of the current information system of the higher education institution; analysis of the features of mobile learning; determine the direction of development of the mobile application. The development of a mobile application includes the identification of requirements for a mobile application, the definition of the functionality of the created tool, the construction of an architectural solution taking into account the principles of efficiency, flexibility, extensibility.

Keywords: mobile application, distance education, higher education institution of higher education

На современном этапе становление саморазвивающейся и самоопределяющейся личности, способной к открытому, творческому взаимодействию с обществом, окружающей природой на основе общепринятых гуманистических ценностей определено государством как основная цель развития системы образования [1].

В решении этой важнейшей задачи особая роль отводится вузовским центрам дополнительного образования, где обуча-

ющийся сам определяет образовательную программу, уровень сложности, темп освоения дополнительной образовательной программы, организуется творческое сотрудничество школьников, обучающихся в этих центрах, и вузовских преподавателей [2–4].

Одним из базовых факторов успешности в профессиональной деятельности является уровень информационной культуры, поэтому новые информационные и образовательные технологии получают все

большее развитие в организации дополнительного образования. Электронные образовательные ресурсы являются одной из самых ценных составляющих информационной среды дополнительного образования, поэтому в настоящее время разрабатывается и внедряется в образовательный процесс большое многообразие программно-педагогических средств [5–7].

Внедрение современных информационных технологий с использованием мобильных устройств в образовательном процессе существенно меняет структуру и среду обучения центров дополнительного образования. Сегодняшние обучающиеся используют свои смартфоны для набора текста, просмотра электронной почты или звонков в течение всего дня. Соответственно, коммуникационные стратегии образовательных учреждений становятся направленными на интеграцию мобильных приложений и традиционных образовательных технологий в образовательном процессе [8].

Целью мобильных образовательных технологий применительно к дополнительному образованию является решение комплексной информатизации образовательной деятельности центров дополнительного образования, включая вузовские центры дополнительного образования, на основе которых реализуется интеграция учебной, организационной, методической и управленческой деятельности центров, что способствует повышению качества образовательных услуг по дополнительным образовательным программам и росту привлекательности, востребованности дополнительного образования.

Целью и задачами данного исследования является выявление именно тех преимуществ, которые будут использованы в учебном процессе при применении мобильных технологий, разработка поэтапного подхода их внедрения. Соответственно для получения максимального эффекта от мобильных инноваций, необходимо запланировать внедрение критически важных мобильных приложений, которые будут использоваться повсеместно, а сотрудники будут применять мобильные устройства на условиях, которые определены организацией.

При определении требований к мобильному приложению, используемому в учебном процессе, проведен анализ текущей информационной системы вузовского центра дополнительного образования; анализ особенностей мобильного обучения; определение направления развития мобильного приложения. Каждое подразделение дополнительного образования имеет уникальный набор дополнительных образовательных

программ и имеет свои особенности организации образовательного процесса.

Таким образом, обучающиеся нуждаются в приложениях, которые наилучшим образом соответствуют потребностям организации образовательного процесса и учитывают специфику изучаемой предметной области. Приложения должны быть фирменными и содержать функции, которые облегчают навигацию внутри информационной среды центра дополнительного образования и обеспечивают информационную поддержку процесса обучения.

При разработке мобильного образовательного приложения необходимо учитывать систему требований, в соответствии с которой приложение будет удовлетворять дидактико-технологическим требованиям, предъявляемым к программно-педагогическим средствам [9, 10]:

- создание максимально благоприятных условий для получения обучающимися знаний, соответствующих избранной профессии, для развития интеллектуального, творческого потенциала, аналитического мышления и проявления самостоятельности;

- индивидуальный график обучения, что обеспечивается наличием мобильного устройства у обучающегося в любое время и в любом месте. Соответственно, он имеет возможность в удобное для себя время получить информацию, выполнить задание, отправить результаты и т.д.;

- требование безопасности, касающейся защиты персональных данных, распространения ложной информации, исключения недобросовестности и фальсификации обучения;

- компактность, так как компоненты мобильного обучения находятся в среде, в которой вероятны перерывы в связи, поэтому они должны быть короткими по продолжительности;

- высокое качество изображения/звука при малом размере экрана;

- доступность, так как мобильный учебный контент должен быть предоставлен в любом месте, независимо от местонахождения и в любое время.

Кроме этого определены функциональные возможности мобильного приложения, используемого для вузовского центра дополнительного образования:

- оперативный обмен информацией между преподавателями, слушателями, родителями обучающихся в вузовском центре дополнительного образования;

- возможность отправить выполненное задание;

- уведомление об отсутствии слушателя;

- возможность создания календаря расписания;

- обмен изображениями и видео;
- просмотр трехмерных объектов, анимационных приложений, интерактивных схем;
- возможность работы с интерактивными моделями;
- выполнение оплаты образовательных услуг.

Существуют готовые мобильные приложения от различных компаний для решения определенных задач организации, такие как:

- Oracle Mobile Security Suite автономная среда, которая предоставляет сотрудникам предприятия безопасный доступ к ресурсам интранета;
- Cisco AnyConnect Secure Mobility Client обеспечивает мобильных сотрудников защищенным сетевым соединением и их безопасностью.
- IBM Lotus Notes Traveler приложение для беспроводной синхронизации сообщений корпоративной электронной почты, контактов и данных календаря между серверами Lotus
- IBM Endpoint Manager for Mobile Devices позволяет управлять конечными устройствами, объединяя их управление с управлением защиты в единое решение.
- Afaria корпоративное решение для управления мобильными устройствами и их защитой.
- Evernote приложение для ведения заметок и архивирования документов.

Учитывая особенности функционирования центра дополнительного образования и необходимость постоянного обновления функциональных возможностей мобильного приложения, было принято решение для создания макета в стиле Material design добавить дополнительные компоненты в проект: implementation 'com.android.support.design:26.1.0', что позволит создавать компоненты в стиле Material design.

Приложение Android состоит не только из кода, но и ресурсов, которые отделены от исходного кода, таких как изображения, аудиофайлы и все, что связано с визуальным представлением приложения. Например, необходимо определять анимацию, меню, стили, цвета и макет пользовательских интерфейсов операций в файлах XML.

Используя ресурсы приложения, можно без труда изменять его различные характеристики, не меняя код, а, кроме того, путем предоставления наборов альтернативных ресурсов можно оптимизировать свое приложение для работы с различными конфигурациями устройств (например, для различных языков или размеров экрана).

Для каждого ресурса, включаемого в проект Android, инструменты SDK за-

дают уникальный целочисленный идентификатор, который может использоваться, чтобы сослаться на ресурс из кода приложения или из других ресурсов, определенных в XML. Например, если в приложении имеется файл изображения с именем logo.png (сохраненный в папке res/drawable/), инструменты SDK сформируют идентификатор ресурса под именем R.drawable.logo, с помощью которого на изображение можно будет сослаться и вставлять его в пользовательский интерфейс.

Мобильное приложение, как и любую современную информационную систему, со временем необходимо поддерживать, модернизировать и развивать [11–14]. В связи с этим необходимо построение архитектуры приложения, которая представляет собой совокупность решений организации программного обеспечения. Архитектура программного обеспечения разрабатывается в соответствии с основными принципами: эффективность, гибкость и расширяемость.

В первую очередь приложение должно решать поставленные задачи, причем в различных условиях, и обладать следующими свойствами: надежность, безопасность, производительность, способность справляться с увеличением нагрузки (масштабируемость), что и характеризует эффективность приложения.

Любое приложение приходится менять со временем изменяются требования, добавляются новые. Чем быстрее и удобнее можно внести изменения в существующий функционал, чем меньше проблем и ошибок это вызывает, соответственно тем гибче и конкурентоспособнее разрабатываемое приложение. По возможности, архитектурные решения не должны «вырубаться в камне» и последствия архитектурных ошибок должны быть в разумной степени ограничены. «Хорошая архитектура позволяет откладывать принятие ключевых решений» (Боб Мартин) и минимизирует «цену» ошибок [15].

За последние несколько лет определены базовые положения относительно архитектуры информационных систем, повышающие эффективность разработки приложений:

- полная независимость от фреймворков: фреймворк должен использоваться только в качестве инструмента;
- изменение пользовательского интерфейса не должно влиять на изменение остальной системы;
- относительная простота тестирования: бизнес-правила, пользовательский интерфейс, база данных, или любой другой внешний компонент тестируются отдельно и независимо друг от друга;

– бизнес-правила должны быть отделены от базы данных;

– UseCase'ы и бизнес-правила ничего не знают о внешнем мире.

Для реализации подобной архитектуры используется Dagger 2, представляющий собой фреймворк, который реализует паттерн «Внедрение зависимости» (Dependency Injection), который в свою очередь является специфичной формой инверсии управления (Inversion of control). Верхнеуровневые модели разрабатываются независимо от нижнеуровневых модулей. Модули зависят только от абстракций. Сами абстракции не зависят от деталей.

При применении инверсии управления устраняются такие недостатки, как жесткость, неподвижность и хрупкость, соответственно, изменение одного модуля не приводит к изменению другого, изменения не приводят к ошибкам в различных частях приложения, модуль легко отделяется от всей части приложения и возможно его повторное использование.

Процесс предоставления внешней зависимости программному компоненту является специфичной формой «инверсии управления» (Inversion of control), применяемой к управлению зависимостями. В полном соответствии с принципом единой обязанности объект отдаёт заботу о построении требуемых ему зависимостей внешнему, специально предназначенному для этого общему механизму.

Основные преимущества библиотеки: доступ только к доступным реализациям; возможность настроить сложные зависимости, так как чем больше приложение, тем больше становится зависимостей; упрощение процесса тестирования; «локальные» синглтоны; кодогенерация; отсутствие проблем при обфускации; малые размеры библиотеки.

Аннотация `@Inject` запрашивает зависимость, `@Module` классы, предоставляющие зависимости, `@Provide` используются внутри модуля для конструирования зависимостей, `@Component` используется между запросом и модулем, `@Scope` создает локальные или глобальные синглтоны.

В каждом приложении имеются синглтоны. В Android без них невозможно, учитывая жизненные циклы `activity` и `fragment`. При этом имеющиеся синглтоны можно разделить на две категории:

1) «глобальные» синглтоны, которые могут понадобиться в любой части приложения. К ним относятся `Context`, утилитные классы и прочие классы, влияющие на работу всего приложения;

2) «локальные» синглтоны, которые нужны только в определенном одном или

нескольких модулях. Но из-за возможных переориентаций экрана часто возникает необходимость выноса части логики и данных в независимое от жизненного цикла место.

Глобальные синглтоны в большинстве случаев имеют следующий вид: `MySingleton.getInstance().someMethod()`; . Это обычная практика, но если применять паттерн внедрения зависимостей, то данный код будет неудовлетворителен по нескольким причинам:

– в классе, где используется подобный вызов, внезапно возникает зависимость от класса `SomeSingleton`. Это неявная зависимость нигде четко не обозначена (ни в конструкторе, ни в полях, ни в методах), поэтому увидеть такую зависимость можно, только просматривая код конкретного метода, но по интерфейсу класса нельзя определить, что в нем применяется данный `SomeSingleton`;

– процессом инициализации занимается сам `SomeSingleton`. Если используется ленивая инициализация, то стартует процесс инициализации какого-либо класса, применяющего `SomeSingleton`. Таким образом, классы, помимо своей работы, отвечают еще и за старт инициализации синглтона;

– с увеличением количества таких синглтонов система покрывается сетью неявных зависимостей. Также синглтоны могут зависеть от других, что не упрощает дальнейшее их сопровождение. Кроме этого, синглтоны разбросаны по системе, соответственно могут находиться в разных пакетах, что приводит к некоторым неудобствам.

Для создания REST клиента в операционной системе Android существует библиотека `Retrofit`, проверенная временем и являющаяся негласным промышленным стандартом. Трудно представить существующие проекты на рынке без этого инструмента. Он может относительно легко получать и разбирать JSON (или другие структурированные данные) через веб-сервисы, использующие REST. В `Retrofit` для (де)сериализации данных используются конверторы, которые необходимо указывать вручную.

Типичным конвертором для JSON формата является библиотека `Gson`, но при этом можно воспользоваться кастомным конвертером для обработки XML или прочих протоколов. Для HTTP-запросов `Retrofit` использует `OkHttp` библиотеку. Для работы с `Retrofit` необходимо выполнить три этапа:

1) создать класс модели, который будет перегоняться в JSON;

2) создать интерфейс, определяющий возможные HTTP-операции;

3) настроить `Retrofit` с помощью `Retrofit.Builder` класса.

Каждый метод из интерфейса, созданного на этапе 2, представляет одну реализацию вызова API веб-сервиса. Метод должен иметь HTTP-аннотацию (GET, POST, и т.д.) для указания типа запроса и URL адрес. Возвращаемое значение оборачивается в ответе в Call-объект, параметризованный типом ожидаемого результата.

Таким образом, архитектура разрабатываемого мобильного приложения с учетом принципов эффективности, гибкости и расширяемости позволяет своевременно модернизировать существующий функционал, что соответственно делает разрабатываемое приложение более гибким и конкурентоспособным при дальнейшем использовании в вузовском образовательном процессе.

Заключение

Очевидно, что использование мобильных приложений стало частью образовательного процесса. Происходит расширение возможностей и обеспечение равного доступа к образованию, так как стоимость мобильных устройств постоянно снижается, соответственно, все большее количество людей имеет возможность приобрести их, знают, как ими пользоваться, а, следовательно, обучение по дополнительным образовательным программам становится доступнее.

Так как мобильные устройства, как правило, являются собственностью своих владельцев, находятся в их распоряжении в течение всего дня, поэтому оперативность и доступность к учебной, методической, организационной и управленческой информации очень высоки. С помощью приложения можно оставаться в курсе событий образовательного учреждения, оперативно получать актуальную информацию.

Обучающиеся центров дополнительного образования смогут общаться со своими одногруппниками через дискуссионный форум. У преподавателей имеется возможность оперативно отвечать на вопросы обучающихся. Родители смогут присоединиться к обсуждению с другими родителями обучающихся и быть в курсе событий последних новостей центра.

Таким образом, мобильные технологии ускоряют процесс оценки результатов обучения, предоставляют возможность преподавателям, обучающимся, родителям обучающихся оперативно отслеживать достигнутые успехи, обеспечивая обратную связь в процессе обучения, способствуют повышению информационной культуры обучающихся, развитию их мышления, развитию навыков самоуправления своей деятельностью. Соответственно, актуальность использо-

вания мобильных приложений в образовательном пространстве, где растет зависимость от средств связи и от оперативного доступа к информации, требуется разработка мобильных приложений для всестороннего использования в качестве образовательных инструментов, в том числе и для организации дополнительного образования.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 21.11.2018).
2. Андреев В.И. Современное образование как открытая система: коллективная монография. М.: Институт научной и педагогической информации РАО, ЮНИТИ-ДАНА, ЮРКОМПАНИ, 2012. 576 с.
3. Виштак Н.М., Штырова И.А., Грицок С.Н. Методы и формы дистанционного обучения в дополнительном профессиональном образовании // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 6–1. С. 107–110.
4. Штырова И.А., Виштак О.В. Критерии оценки деятельности вузовского центра дополнительного образования // Фундаментальные исследования. 2013. № 4–3. С. 555–559.
5. Vishtak O.V., Mikheyev I.V., Shtyrova I.A. The use of the computer training system as the factor of effective formation of information competence of future IT-specialists. AIP Conference Proceedings 1797, 020018 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4972438>.
6. Vishtak N.M., Frolov D.A. Methodical and technological aspects of creation computer learning system. AIP Conference Proceedings 1797, 020018 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4972463>.
7. Виштак Н.М. Применение мультимедийных средств обучения в вузовской практике реализации программ дополнительного образования // Научно-электронный журнал Концепт. 2014. Т. 20. С. 4826–4830.
8. Бауэр Е.К. Мобильные приложения в современном образовании [Электронный ресурс]. URL: <http://www.it-pedagog.ru/prilozheniya-v-sovremennom-obrazova> (дата обращения: 26.11.2018).
9. Виштак О.В. Дидактические основы построения информационных комплексов для самостоятельной учебной деятельности студентов, изучающих информатику. М.: Московский государственный открытый университет им. М.А. Шолохова, 2005. 355 с.
10. Самарина А.Е. Мобильные приложения дополненной реальности и возможности их использования в образовательном процессе // Современная педагогика. 2016. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://pedagogika.snauka.ru/2016/01/5303> (дата обращения: 20.11.2018).
11. Цой О.В. Мобильные технологии в образовании // О некоторых вопросах и проблемах психологии и педагогики / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Красноярск, 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://izron.ru/articles/o-nekotorykh-voprosakh-i-problemakh-psikhologii-i-pedagogiki-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh> (дата обращения: 26.11.2018).
12. Иванченко Д.А., Попов С.О., Хмельков И.А. Мобильные устройства и сервисы в высшем образовании: основные барьеры и направления развития // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 12 (78). С. 38–48.
13. Атисков А.Ю., Давидович И.И. Тестирование эргономики пользовательского интерфейса мобильных приложений // Научный вестник НГТУ. 2014. № 4 (57). С. 119–130. DOI: [10.17212/1814-1196-2014-4-119-130](https://doi.org/10.17212/1814-1196-2014-4-119-130).
14. Валиева Л.Р., Фандрова Л.П. Мобильные устройства в образовательном процессе // Молодежный научный форум: Гуманитарные науки: электр. сб. ст. по мат. XXX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1 (29) [Электронный ресурс]. URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_humanities/ (дата обращения: 30.11.2018).
15. Идеальная архитектура [Электронный ресурс]. URL: http://sergeyteplyakov.blogspot.ru/2011/11/blog-post_23.html / (дата обращения: 05.12.2018).

УДК 625.856

ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН СО СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ

¹Ястремский Д.А., ¹Абайдуллина Т.Н., ²Кудяков А.И.

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: yaster.dmitry@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Томск

В данной статье рассмотрено повышение физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) за счёт введения комплексной стабилизирующей добавки на основе целлюлозы, оказывающей полифункциональный эффект на асфальтобетонную смесь. Показана целесообразность её разработки. Разработана комплексная стабилизирующая добавка для ЩМА, включающая целлюлозосодержащие волокна из макулатуры. Приведены результаты лабораторных исследований по подбору оптимального состава стабилизирующей добавки. Установлено, что добавка, состоящая из волокон длиной 0,8–2 мм в количестве 90%, резиновой крошки диаметром 0,5 мм в количестве 5% и битума БНД 90/130 – 5%, позволяет получить щебеночно-мастичный асфальтобетон с улучшенными физико-механическими свойствами по пределу прочности при сжатии при 50 °С (на 12%) и водонасыщению. Представлена технологическая схема и описание процессов производства комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки и ЩМА на ее основе. Выполнена технико-экономическая оценка стоимости ЩМА-20 с разработанной добавкой на 1 т смеси. Установлено, что стоимость 1 т ЩМА с разработанной добавкой снижается на 5,4%, что составляет 111,21 руб. на каждую тонну асфальтобетона в текущем уровне цен.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, целлюлозосодержащее сырье, состав и свойства стабилизирующей добавки, технология добавки, технология ЩМА с добавкой, технико-экономическая эффективность

STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE WITH STABILIZING CELLULAR CONTAINING ADDITIVE

¹Yastremskiy D.A., ¹Abaydullina T.N., ²Kudyakov A.I.

¹Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: yaster.dmitry@yandex.ru;

²Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk

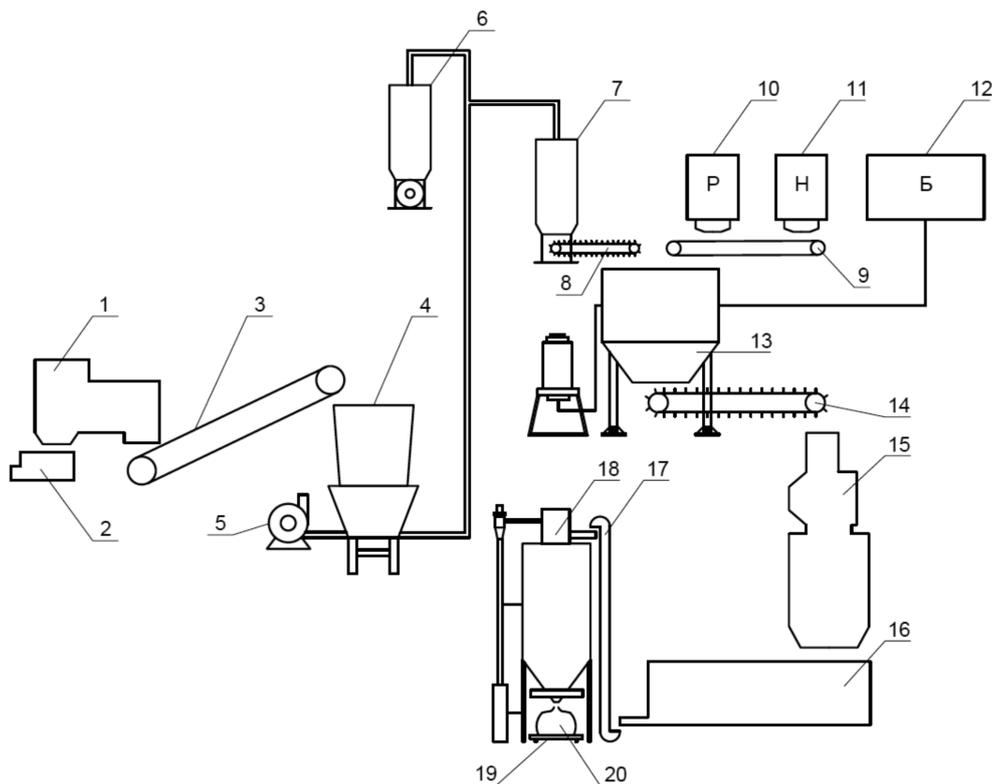
This article discusses the improvement of the physicomaterial properties of crushed stone-mastic asphalt concrete (SMA) due to the introduction of a complex stabilizing additive based on cellulose, which has a multifunctional effect on the asphalt concrete mix. The expediency of its development is shown. A complex stabilizing additive for SMA, including cellulose-containing fibers from waste paper, has been developed. The results of laboratory studies on the selection of the optimal composition of a stabilizing additive are given. It has been established that the additive consisting of fibers with a length of 0.8-2 mm in the amount of 90%, crumb rubber with a diameter of 0.5 mm in the amount of 5% and BND 90/130 bitumen – 5%, allows to get crushed stone and mastic asphalt concrete with improved physical properties. – mechanical properties for ultimate compressive strength at 50 °C (12%) and water saturation. A flow chart and a description of the production processes of the complex cellulose-containing stabilizing additive and SMA based on it are presented. The technical and economic evaluation of the cost of SchMA-20 with the developed additive per 1 ton of the mixture was carried out. It was established that the cost of 1 ton of SMA with the developed additive is reduced by 5.4%, which amounts to 111.21 rub. for each ton of asphalt concrete at the current price level.

Keywords: crushed stone-mastic asphalt concrete, cellulose-containing raw materials, composition and properties of stabilizing additive, technology of additive, technology of SMA with additive, technical and economic efficiency

На качество щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) существенно влияют вид применяемых стабилизирующих добавок (СД), которые способствуют повышению адсорбции и увеличению толщины битумного слоя на поверхности минеральной части асфальтобетона, предотвращая сегрегацию и расслоение смеси в процессе кратковременного хранения и транспортирования материала к месту укладки в покрытие автомобильной дороги [1–3].

Вид и свойства применяемых стабилизирующих добавок, а также модифицированного асфальтобетона должны соответство-

вать требованиям ГОСТ и национальным стандартам [4, 5]. В нормативных документах отсутствуют требования к исходному сырью для производства СД. В настоящее время на российском строительном рынке предлагается много разновидностей СД для ЩМА, предназначенных для предотвращения стекания вяжущего. Однако, данные добавки не оказывают существенного влияния на основные физико-механические свойства асфальтобетона. Кроме того, они имеют необоснованно высокую стоимость [6, 7], а структурированные ими смеси обладают расслоением [8–10].



Технологический комплекс по производству комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона

В связи с этим целью данной работы является разработка научно обоснованных составов комплексной стабилизирующей добавки на основе целлюлозосодержащего сырья из макулатуры, модифицированного этой добавкой щебеночно-мастичного асфальтобетона повышенного качества, а также технологического комплекса для их производства. Кроме того, необходимо разработать нормативный документ, разрешающий использование разработанной добавки в производстве ЩМА. Вопросы переработки макулатуры для получения целлюлозных волокон и стабилизирующих добавок на их основе занимались М.В. Севостьянов, Т.Н. Ильина, И.А. Кузнецова, А.В. Осокин, И.Г. Мартакова, М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, Г.Н. Коновалов, В.В. Ядыкина [11–13].

Материалы и методы исследования

Исходным сырьём для производства комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки является макулатура группы А или группы Б по ГОСТ 10700 [14], резиновая крошка и битум. Добавка, изготовляемая из данного сы-

рьевого материала, не должна содержать парафиновые углеводороды, а также полиэтилен, пластмассы, лаки, смолы. Поэтому поступающее на завод сырье проходит тщательный контроль на содержание вредных компонентов.

Технология производства комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона представлена на рисунке.

Технологический комплекс по производству комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки состоит из трех основных блоков:

- 1) блок получения целлюлозных волокон необходимой длины и диаметра;
- 2) блок дозирования и смешения компонентов добавки;
- 3) блок гранулирования комплексной добавки.

Целлюлозосодержащее сырье (макулатура) проверяется по влажности, которая не должна превышать 8%, а также из него вручную удаляется крупный мусор в виде плёнок, скотчей, пружин и т.д. Подготовленный к дальнейшей переработке материал отправляется на склад. Сырьё повышен-

ной влажности направляется в сушильную камеру. Отсортированное сырьё вводится в шредер крупного помола 1, оборудованный магнитным сепаратором, который удерживает скрепки, булавки, пружины и т.д., сбрасывая их в бункер-накопитель металлических отходов 2, крупно измельчённый материал поступает на ленточный конвейер 3 и далее в рабочую камеру измельчения 4. В данной камере с помощью дисковой мельницы принудительного действия макулатура измельчается до волокон размером 0,8–2 мм. Полученное волокно пневматическим способом при помощи камерного компрессора 5 поднимается и загружается в бункер-накопитель 7, волокна размером менее 0,8 мм, потоком сжатого воздуха, поднимаются в циклон 6, где осаждаются и в дальнейшем утилизируются. Волокна размером выше 2 мм продолжают разбиваться до необходимых размеров и распределяются аналогичным образом.

Из накопителя 7 целлюлозное волокно скребковым транспортёром 8 подаётся в смеситель 13. В смеситель же ленточным транспортёром 9 из расходного бункера 10 порционно дозируется резиновая крошка в количестве 5% от массы целлюлозного волокна. Для непрерывной работы технологического комплекса, по окончании материала в расходном бункере, резиновая крошка подается из бункера-накопителя 11, параллельно загружается резиновой крошкой бункер 10. В качестве связующего применяется битум БНД 90/130 в количестве 5%, разогретый до температуры 110 °С. Битум подаётся из емкости 12 насосом и через форсунки равномерно распределяется по поверхности волокна в момент перемешивания. В смесителе 13 все компоненты тщательно перемешиваются до однородного состояния в течение 2 мин. Готовая смесь выгружается на шнековый транспортёр закрытого типа 14, по которому поступает в аппарат гранулирования 15. В грануляторе волокно прессуется в цилиндрические гранулы диаметром 5 мм и длиной от 6 до 10 мм. Готовые гранулы в процессе приготовления разогреваются до 100 °С, поэтому далее они поступают в камеру термостабилизации 16, где с помощью вентиляторов охлаждаются до температуры 20 °С. Охлаждённые гранулы по лопастному элеватору 17 попадают в бункер-запасник 18, с роторным шлюзом-питателем. Готовая комплексная добавка порционно, через дозирующий шлюз выгружается на весы 19, где фасуется в мешки готовой продукции 20, массой по 500 кг.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения оптимального соотношения компонентов комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки, обеспечивающей максимальное повышение качества ЦМА, готовили смесь различных составов, формовали стандартные образцы-цилиндры [15]. Для приготовленной ЦМАС определяли показатель стекания вяжущего, а у изготовленных стандартных образцов – среднюю плотность, водонасыщение и прочность при сжатии при 50 °С. Состав добавки и результаты определения физико-механических свойств ЦМА представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что оптимальным является следующий состав стабилизирующей добавки: волокна целлюлозосодержащего компонента длиной от 0,8 до 2 мм – 90%, резиновая крошка диаметром 0,5 мм – 5%, вязкий нефтяной дорожный битум марки БНД 90/130 – 5%. Установлено, что прочность образцов ЦМА с разработанной комплексной стабилизирующей добавкой при температуре 50 °С выше на 12%, по сравнению с аналогичными образцами, содержащими традиционную добавку на целлюлозной основе. Также отмечается снижение водонасыщения образцов ЦМА с разработанной комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой. Возможно, это объясняется уменьшением остаточной пористости и образованием новых пространственных связей в структуре асфальтобетона.

Технология приготовления щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси приведена в табл. 2.

Комплексная целлюлозосодержащая стабилизирующая добавка вводится в смеситель асфальтосмесительной установки на разогретый каменный материал вместе с минеральным порошком, производится «сухое» перемешивание в смесителях принудительного действия в течение 20 с. За 5 с гранулы добавки контактируют с разогретым инертным материалом и лопастями смесителя, за счёт чего распускаются на отдельные волокна и равномерно распределяются в объеме смеси. После «сухого» перемешивания вводится органическое вяжущее, которое в течение 10 с интенсивно перемешивается до полного обволакивания минеральной части битумом.

Технико-экономическая оценка разработанной комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки в сравнении с традиционно применяемым импортным аналогом в базисном уровне цен 2001 г. приведена на примере расчета стоимости 1 т ЦМА.

Таблица 1

Состав комплексной добавки на основе целлюлозы и свойства ЩМА

| № п/п | Целлюлозо-содержащий компонент, % | Резиновая крошка, % | Битум, % | Стекание, % | Средняя плотность, г/см ³ | Водонасыщение, % | Прочность образцов при 50°С, МПа |
|-------|-----------------------------------|---------------------|----------|-------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| 1 | 97,0 | 3 | 0 | 0,09 | 2,41 | 2,45 | 0,99 |
| 2 | 96,0 | 4 | 0 | 0,09 | 2,42 | 2,45 | 1,10 |
| 3 | 95,0 | 5 | 0 | 0,10 | 2,42 | 2,41 | 1,30 |
| 4 | 94,0 | 6 | 0 | 0,10 | 2,42 | 2,41 | 1,40 |
| 5 | 97,0 | 0 | 3,0 | 0,09 | 2,40 | 2,17 | 0,98 |
| 6 | 96,5 | 0 | 3,5 | 0,09 | 2,40 | 2,09 | 1,00 |
| 7 | 96,0 | 0 | 4,0 | 0,09 | 2,40 | 2,01 | 1,01 |
| 8 | 95,5 | 0 | 4,5 | 0,09 | 2,40 | 1,89 | 1,04 |
| 9 | 95,0 | 0 | 5,0 | 0,10 | 2,40 | 1,83 | 1,04 |
| 10 | 94,5 | 0 | 5,5 | 0,10 | 2,40 | 1,74 | 1,09 |
| 11 | 94,0 | 0 | 6,0 | 0,12 | 2,40 | 1,69 | 1,08 |
| 12 | 94,0 | 3 | 3,0 | 0,11 | 2,41 | 1,94 | 1,28 |
| 13 | 93,5 | 3 | 3,5 | 0,11 | 2,41 | 1,92 | 1,28 |
| 14 | 93,0 | 3 | 4,0 | 0,12 | 2,41 | 1,9 | 1,36 |
| 15 | 92,5 | 3 | 4,5 | 0,12 | 2,41 | 1,85 | 1,48 |
| 16 | 92,0 | 3 | 5,0 | 0,13 | 2,41 | 1,81 | 1,52 |
| 17 | 91,5 | 3 | 5,5 | 0,13 | 2,41 | 1,79 | 1,53 |
| 18 | 91,0 | 3 | 6,0 | 0,15 | 2,41 | 1,72 | 1,53 |
| 19 | 93,0 | 4 | 3,0 | 0,10 | 2,42 | 1,78 | 1,52 |
| 20 | 92,5 | 4 | 3,5 | 0,10 | 2,42 | 1,73 | 1,60 |
| 21 | 92,0 | 4 | 4,0 | 0,11 | 2,42 | 1,66 | 1,66 |
| 22 | 91,5 | 4 | 4,5 | 0,11 | 2,42 | 1,65 | 1,68 |
| 23 | 91,0 | 4 | 5,0 | 0,11 | 2,42 | 1,64 | 1,70 |
| 24 | 90,5 | 4 | 5,5 | 0,12 | 2,42 | 1,64 | 1,70 |
| 25 | 90,0 | 4 | 6,0 | 0,13 | 2,42 | 1,62 | 1,69 |
| 26 | 92,0 | 5 | 3,0 | 0,11 | 2,42 | 1,71 | 1,68 |
| 27 | 91,5 | 5 | 3,5 | 0,11 | 2,42 | 1,67 | 1,70 |
| 28 | 91,0 | 5 | 4,0 | 0,11 | 2,42 | 1,67 | 1,70 |
| 29 | 90,5 | 5 | 4,5 | 0,12 | 2,42 | 1,65 | 1,71 |
| 30 | 90,0 | 5 | 5,0 | 0,12 | 2,42 | 1,64 | 1,73 |
| 31 | 89,5 | 5 | 5,5 | 0,13 | 2,42 | 1,64 | 1,72 |
| 32 | 89,0 | 5 | 6,0 | 0,13 | 2,42 | 1,59 | 1,71 |
| 33 | 91,0 | 6 | 3,0 | 0,12 | 2,42 | 1,81 | 1,65 |
| 34 | 90,5 | 6 | 3,5 | 0,13 | 2,42 | 1,81 | 1,66 |
| 35 | 90,0 | 6 | 4,0 | 0,13 | 2,42 | 1,77 | 1,68 |
| 36 | 89,5 | 6 | 4,5 | 0,14 | 2,42 | 1,76 | 1,69 |
| 37 | 89,0 | 6 | 5,0 | 0,14 | 2,42 | 1,71 | 1,69 |
| 38 | 88,5 | 6 | 5,5 | 0,14 | 2,42 | 1,71 | 1,70 |
| 39 | 88,0 | 6 | 6,0 | 0,14 | 2,42 | 1,69 | 1,70 |

Таблица 2

Технологические процессы приготовления ЩМА с комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой

| | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--|--------|----------------|-------|
| Щебень, песок из отсева дробления | 15 сек | | | | |
| Минеральный порошок | 20 сек | | | Время смешения | |
| Стабилизирующая добавка | 5 сек | | | >53 сек | |
| Битум | | | 15 сек | | |
| «Мокрое» перемешивание | | | | 10 сек | |
| Выгрузка | | | | | 8 сек |

Таблица 3

Технико-экономическая оценка ЦМА с различными СД

| Наименование компонента | Содержание компонентов в ЦМА-20, % | Объём по массе, кг | Стоимость, руб. | |
|---------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------|-------|
| | | | Viatop | КСД |
| Щебень | 73 | 690 | 93,78 | 93,78 |
| Песок из отсева дробления | 16 | 151 | 25,98 | 25,98 |
| Минеральный порошок | 11 | 103 | 13,70 | 13,70 |
| Стабилизирующая добавка | 0,4 | 4 | 26,22 | 12,49 |
| Битум | 5,5 | 52 | 93,05 | 93,05 |
| ИТОГО | 105,9 | 1000 | 252,73 | 239,0 |

Как следует из расчётов, приведённых в табл. 3, стоимость 1 т ЦМАС-20 с применением комплексной стабилизирующей добавки в базисном уровне цен (по состоянию на 01.01.2001) по сравнению с традиционно применяемой добавкой на основе целлюлозы ниже на 5,4% или на 13,73 руб. В текущем уровне цен (по состоянию на 4-й квартал 2018 г.) для юга Тюменской области экономия составит 111,21 руб. за каждую тонну асфальтобетона.

Выводы

1. При введении в ЦМА комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки, состоящей на 90% из целлюлозного волокна размером 0,8–2 мм, 5% резиновой крошки диаметром 0,5 мм и 5% битума БНД 90/130, повышается предел прочности на сжатие при 50 °С на 12%, снижается водонасыщение на 11% и стекание битума с зерен заполнителя минеральной части на 20%.

2. Себестоимость 1 т щебеночно-мастичного асфальтобетона с разработанной комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой снижается на 5,4%, что составляет 111,21 руб. с каждой тонны выпущенной щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси в текущем уровне цен (по состоянию на 4-й квартал 2018 г.), без учёта экономии за счёт увеличения срока службы дорожного покрытия и межремонтных сроков.

Список литературы

1. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий. Нижний Новгород: НГАСУ, 2009. 67 с.
2. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство «Элит»», 2009. 176 с.
3. Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Чепур П.В., Проблема повышения долговечности асфальтобетонного

покрытия и пути её решения // Современные наукоёмкие технологии. 2016. № 3–2. С. 307–310.

4. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. 2003-05-01. М.: МНТКС, 2003. 32 с.

5. ПНСТ 183-2016. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 17 с.

6. Ядыкина В.В., Тоболенко С.С., Траутвайн А.И. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе отходов целлюлозно-бумажной промышленности // Известия вузов. Строительство. 2015. № 2. С. 31–36.

7. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Траутвайн А.И. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 7–11.

8. Кудяков А.И., Эфа А.К., Трофимов И.Н., Базилевич А.Л. Новые подходы в нормировании свойств компонентов и технологии приготовления асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. 2009. № 1 (48). С. 18–21.

9. Базилевич А.Л., Кудяков А.И. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий // Вестник ТГАСУ. 2009. № 1. С. 116–122.

10. Кудяков А.И., Смирнов А.Г., Петров Г.Г. Проектирование и использование заполнителей с оптимальной межзерновой пустотностью // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1987. № 7. С. 135–138.

11. Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Чепур П.В., Гладких В.А. Исследование долговечности асфальтобетона с добавкой «Армидон» // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 2 (49). С. 63–70.

12. Мухаметханов А.М., Нугманов О.К., Гаврилов В.И. Способ получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 6. С. 204–210.

13. Севостьянов М.В., Ильина Т.Н., Кузнецова И.А., Осокин А.В., Мартакова И.Г. Ресурсосберегающий технологический комплекс для производства гранулированных стабилизирующих добавок щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник ТГТУ. 2016. Т. 22. № 2. С. 272–279.

14. ГОСТ 10700-97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 1997. 7 с.

15. Хасанов Н.М., Сайрахмонов Р.Х., Сулейманова М.А. Применение природного волластонита в качестве армирующей и стабилизирующей добавки в составе ЦМА // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3. С. 181–186.

УДК 377.5

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ НАСТАВНИКОВ ДЛЯ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ КОЛЛЕДЖА

Головнев А.В.

*ГБПОУ СО «Верхнепыхиминский механико-технологический техникум «Юность»,
Верхняя Пышма, e-mail: gxav@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы, затрагивающие проблемы подготовки наставников, которые занимаются профессиональной подготовкой и адаптацией студентов, проходящих производственную практику. Представлен анализ существующих методик подготовки наставников, в том числе с учетом исторического аспекта существования этого явления. Кратко описана суть деятельности наставника студента автотранспортного профиля, наставничеству дано авторское определение. Проблемы подготовки наставников представлены с различным учетом желаний и требований сторон, участвующих напрямую или косвенно в процессе подготовки наставников и выработки требований к его деятельности: колледж, предприятие, наставник, студент. В ходе опроса выяснено, что педагогические работники колледжа хотят, чтобы их студенты на практике закреплялись за ответственными высококвалифицированными работниками, которые выполняли бы функции наставника добросовестно. Предприятие, предоставляющее место практики и наставника, заинтересовано в пропаганде корпоративной этики студентам через наставника, привлечение их к трудоустройству по окончании обучения в колледже. Большинство наставников стараются выполнять свои обязанности добросовестно и правильно, однако многие, даже имея большой опыт наставнической деятельности, не уверены, что они делают это правильно, поэтому и у них имеется желание получить необходимые знания и умения, также их очень волнует вопрос материального вознаграждения, поскольку это дополнительная работа. Выделенные требования и изученный опыт позволили автору выделить основные проблемы подготовки наставников.

Ключевые слова: профессиональная подготовка, наставничество, студенты-практиканты, среднее профессиональное образование

PROBLEMS OF TRAINING THE TRAINERS FOR PRACTICAL TRAINING OF STUDENTS OF THE COLLEGE

Golovnev A.V.

*Verkhnyaya Pyshma mechanical-technological technical school «Yunost», Verkhnyaya Pyshma,
e-mail: gxav@mail.ru*

The article deals with issues affecting the training of mentors who are engaged in professional training and adaptation of students undergoing practical training. The analysis of existing methods of training mentors, including taking into account the historical aspect of the existence of this phenomenon. The essence of activity of the tutor of the student of a motor transport profile is briefly described, to mentoring the author's definition is given. The problems of training mentors are presented with different consideration of the desires and requirements of the parties involved directly or indirectly in the process of training mentors and develop requirements for its activities: College, enterprise, mentor, student. During the survey, it was found that the teaching staff of the College want their students to practice assigned to responsible highly qualified employees who would perform the functions of a mentor in good faith. The company provides a place of practice and mentor, is interested in promoting corporate ethics to students through a mentor, attracting them to employment at the end of College. Most mentors try to perform their duties in good faith and correctly, but many even with extensive experience of mentoring activities are not sure that they are doing it right, so they have a desire to obtain the necessary knowledge and skills, and they are very concerned about the issue of material compensation because this additional work. Selected requirements and studied experience allowed the author to identify the main problems of training mentors.

Keywords: vocational training, mentoring, student interns, secondary vocational education

В среднем профессиональном образовании (СПО) России давно сложилась система обучения специалистов, рабочих и служащих, предусматривающая обязательное прохождение студентами производственной практики (далее – практика). Выполнение этой части образовательной программы позволяет в полной мере ознакомить студента с его профессией, условиями производства и рабочего места, закончить профессиональную подготовку, обеспечив тем самым студента знаниями, умениями и навыками, сделать студента

компетентным, готовым выполнять трудовые функции.

В СПО практика организуется в совместной деятельности колледжа и предприятия (место практики). Участвуя в конференциях и семинарах, посвященных практике студентов, мы сделали вывод, что существенных различий в ее организации среди образовательных организаций нет. Конечно можно утверждать, что они действуют согласно Положению о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные образовательные програм-

мы СПО, поэтому их не может и быть. Однако Положение регламентирует лишь общие требования к организации практики и дает возможность колледжу и предприятию вносить дополнительные элементы в этот процесс. К таким элементам мы относим определенным образом организованную наставническую деятельность по отношению к студенту и специальную подготовку наставников. Под наставничеством мы понимаем педагогическую деятельность, направленную на профессиональную подготовку, адаптацию студентов-практикантов на рабочем месте, предприятию, а также вне него. Наставничество как явление в нашей стране зародилось в 1920–1930-х гг. и вплоть до начала 1960 гг. упоминалось как шефство. А с 1964 г., как утверждает в своих трудах академик М.И. Махмутов, зародилось новое социальное явление – наставничество. В 1970–1980-х гг. наставничество, как одно из условий подготовки специалистов и рабочих, начинает закрепляться в профессиональном образовании. С тех пор и по настоящее время наставничество претерпело различные изменения, однако его использование остается обязательным условием при обучении студентов в СПО. Напомним, что на практике за студентом или группой студентов закрепляется наставник, который назначается из числа высококвалифицированных работников. Именно он в тесном сотрудничестве с работником образовательной организации осуществляет окончательную профессиональную подготовку и адаптацию студентов во время практики. Наставник на протяжении всей практики контактирует со студентом, учит, делится советами и опытом, передает необходимые знания, умения и навыки для выполнения работ предусмотренных программой практики. Поэтому на наш взгляд, очень важно, чтобы деятельность наставника была организована и осуществлялась как педагогическая.

Таким образом, высококвалифицированный работник, выполняющий обязанности наставника, в нашем случае это автослесарь (автомеханик), как правило, не имеющий специальной педагогической подготовки, осуществляющий педагогическую деятельность. Поэтому возникает необходимость осуществлять специальную подготовку наставников с педагогическим уклоном. Однако в процессе осуществления такой подготовки возникает ряд проблем. Вкратце их можно описать так: кто будет заниматься подготовкой наставников? Где будет осуществляться данная подготовка? Какими методами и средствами ее проводить? Данные вопросы требуют детально-

го рассмотрения. Именно этому посвящена данная статья.

Цель исследования: определить существующие проблемы в подготовке наставников для практики студентов колледжа.

Материалы и методы исследования

Материалы статьи основываются на исследованиях отечественных ученых по педагогике и психологии в области подготовки наставников, сущности наставнической деятельности. Методами исследования являются теоретические методы: изучение литературы, научных изданий – и эмпирические: наблюдение, опрос.

Результаты исследования и их обсуждение

С момента появления феномена наставничества как неотъемлемого условия в области подготовки специалистов и рабочих для предприятий начал подниматься вопрос о подготовке людей занимающихся наставнической деятельностью, другими словами, о подготовке наставников. Трактовать это понятие мы будем по предложенному определению В.И. Смирнова в книге «Рядом с наставником»: «Наставник – это не просто отличный производственник, познавший все секреты мастерства, но и, безусловно, человек, наделенный педагогическими способностями, с широким кругозором, владеющий умением общения с молодыми». Имеется и множество других определений, но подходит именно это, поскольку явно отображает портрет и требования к наставнику студентов-практикантов автотранспортного профиля.

Анализ литературы и исследований показал, что всерьез, с научной точки зрения, подготовкой наставников начали заниматься с 1970-х гг. (А.С. Батышев, С.Я. Батышев, С.Г. Вершловский, М.И. Махмутов, В.И. Смирнов, Н.М. Таланчук, А.И. Ходаков и др.). Обобщая опыт тех лет, можно выделить, что подготовка проводилась в двух плоскостях: к первым относятся всевозможные лекции, семинары, конференции для наставников, ко вторым – различные курсы подготовки и повышения их квалификации. Можно привести пример поэтапной подготовки наставников, предложенной В.И. Смирновым: первый этап – индивидуальный методический инструктаж; второй этап – групповой методический инструктаж; третий этап – педагогический семинар; четвертый этап – школа (университет) наставников; пятый этап – участие в конференциях, выступление с рефератом для обмена опытом работы, участие в слетах наставников и др.; шестой этап – педагогическое самообразова-

ние (изучение педагогической и другой литературы и т.п.) [1, с. 271].

Каждый этап реализовывался по-разному с точки зрения того, кто будет учить наставников. В случае с инструктажами наставников, их проводили инженерно-технические работники предприятия. Педагогические семинары, школы и университеты организовывались под руководством педагогических работников школ, ПТУ, институтов. Уже тогда были определены основные проблемы в подготовке наставников, было выяснено, что не каждый может быть наставником, при этом выделялись три уровня компетентности наставников: высокий, средний и низкий (С.Я. Батышев, М.И. Махмутов, В.И. Смирнов и др.).

Таким образом, необходимо проводить отбор работников, чтобы после специальной подготовки наставник имел средний или высокий уровень.

Другая серьезная проблема состояла в том, что любой работник, исполняющий обязанности наставника, должен параллельно выполнять еще и производственные задачи, отсюда вытекает то, что он перегружен и может в полной мере ни с тем, ни другим не справиться. Еще одна существенная проблема заключалась, по мнению академика С.Я. Батышева, в том, что наставники на производстве были разных возрастов «следовательно, речь идет» – писал он – «о разработке дифференцированной системы повышения квалификации наставников, наладить плодотворное взаимодействие наставников разного возраста, создавать необходимые условия для непрерывного накопления опыта, совершенствования в деле обучения и воспитания молодых рабочих, создание резерва наставников на каждом предприятии» [2, с. 33]. Кроме этого исследователями выделялось, что необходимым условием подготовки и самообразования наставников является наличие специальной учебной литературы, методичек и брошюр в помощь наставнику их разработка также имела ряд проблем, например таких, как содержание (о чем) и форма представления материала (книга, телевидение, радио и др.). Немаловажно также, чтобы наставническая деятельность не осознавалась, по мнению В.И. Смирнова «в качестве нагрузки» [1, с. 273].

Таким образом, во время активного развития системы наставничества в 1970–1980-х гг. решалась и задача подготовки наставников. При этом были выделены следующие проблемы: не каждый работник может исполнять обязанности наставника; наставническая деятельность не должна восприниматься как дополнительная на-

грузка, и это при том, что наставник еще должен решать производственные задачи; подготовка должна учитывать разновозрастной состав наставников; разработка специальной учебной литературы, методичек и т.д. должна учитывать вышеперечисленные проблемы при наполнении содержания, обязательно учитывать форму представления учебного материала.

Анализируя литературу и исследования XIX в. в России в области изучения наставничества, мы выяснили, что проблемами подготовки наставников занимались: А.Р. Масалимова, А.Н. Плотников, Е.Н. Фомин. По мнению А.Р. Масалимовой, «к факторам, блокирующим процесс корпоративной подготовки специалистов технического профиля к осуществлению наставнической деятельности, другими словами, подготовки наставников (курсив наш – А.Г.), в исследовании отнесены следующие: недостаточная подготовленность наставнического корпуса к инновационным преобразованиям в содержании и методах обучения; быстрое устаревание научно-методических материалов, в том числе учебной литературы; смещение интересов наставников в сторону решения производственных задач; отсутствие включенности наставнического корпуса в процесс корпоративного обучения молодых работников; отсутствие устойчивой мотивации и установок специалистов предприятия на осуществление наставнической деятельности и др. [3, с. 24]. Еще одну проблему А.Р. Масалимова видит в том, что наставникам «приходится совмещать преподавательскую практику с выполнением основных производственных обязанностей, что ограничивает их образовательные возможности в области педагогики» [4].

Под понятием наставнический корпус понимается по сути совет наставников. В исследованиях Е.Н. Фомина говорится о том, что многие предприятия и вовсе не нуждаются в наставниках, тем более их подготовке, поскольку руководство предприятий хочет принимать специалистов и рабочих полностью подготовленных к своей профессиональной деятельности. А более опытные работники сейчас также не горят желанием помогать молодежи на рабочем месте. Как показали наши исследования, более 60% работников не планируют помогать молодым специалистам, приходящим к ним, и только примерно 15% опрошенных работников согласны делиться опытом с молодежью [5, с. 7].

Обращаясь к опыту финских коллег в подготовке наставников, можно отметить, что ими выделены следующие трудности при обучении наставников: специфические

особенности учебной дисциплины / учебных дисциплин; возможности и ограничения, налагаемые трудовой средой (трудовыми средами); реализация обучения для множества дисциплин или с ориентацией на представителей определённой отрасли; ориентирование обучения на представителей компаний определённого размера – например, малых предприятий; организация обучения для отдельного рабочего места либо для многих рабочих мест [6, с. 24].

Таким образом, анализируя и обобщая вышенаписанное, можно утверждать, что за годы развития наставничества в нашей стране, а также за рубежом проблемы в области подготовки наставников не только имеются, а еще и дополняются. Например, к таким можно отнести: отсутствие понимания руководством предприятий пользы наставничества для молодых (новых) работников, тем более об их подготовке; быстрое устаревание научно-методических материалов вследствие развития технического прогресса и науки.

Если же рассматривать интересующую нас тему подготовки наставников для студентов, проходящих производственную практику (далее – практика), обучающихся по образовательным программам СПО, относящихся к техническому обслуживанию (далее – ТО) и ремонту автомобилей, мы можем представить накопленный нами опыт в ходе проведенных опросов руководителей, работников, наставников предприятий по ТО и ремонту автомобилей.

Необходимо отметить, что в этой сфере имеются некоторые особенности, которые непосредственно влияют на возможность организации специальной подготовки наставников.

А именно, что большая часть мест для прохождения практики – это автосервисы, станции технического обслуживания, автомастерские и другие предприятия малого бизнеса автотранспортного профиля. В результате опросов было выяснено, что на предприятиях не всегда готовы принять практикантов по ряду причин, таких как нехватка времени у работников на шефство над практикантами; нет возможности предоставить рабочее место так как каждое место приносит доход; нежелание оплачивать труд практикантов (когда это предусмотрено договором практики); нежелание брать ответственность за практиканта; отсутствие работников, готовых выполнять функции наставника [7, с. 63].

На наш взгляд, организация специального обучения (курсы повышения квалификации) эффективный метод подготовки наставников, но в то же время не всегда до-

ступный, а также с уменьшающимся эффектом. Причины этого в следующем: не все предприятия автотранспортного профиля имеют средства на обучение своих работников, не хватает работников, которых можно отправить на такие курсы (малые и средние предприятия); образовательная организация не имеет ресурсов, чтобы организовать такие курсы бесплатно; курсы проводятся достаточно редко – один раз в год, либо раз в три года.

Поэтому, на наш взгляд, наше исследование целесообразней проводить на крупных предприятиях, особенно оптимально если колледж и предприятие, где работают наставники, требующие подготовки, имеют длительные отношения социального партнерства. Это суждение подтверждает Е.Н. Фомин, он пишет: «наставничество и обучение на рабочем месте невозможно без улучшения состояния социального климата на производстве, а это в свою очередь невозможно без реализации идеи социального партнерства» [5, с. 7].

Таким образом, базой, где мы проводили исследование в виде опроса был, основным социальный партнер Верхнепышминского механико-технологического техникума «Юность» АО «Уралэлектромедь», в частности автотранспортный цех, а также учебный центр в котором занимаются инструкторами, обучением и курсами повышения квалификации работников.

Для понимания того, проводится ли хоть какая-нибудь подготовка наставников, нами было проанализировано Положение о наставничестве, которое регламентирует работникам, осуществляющим наставническую деятельность их права и обязанности, о том, каким образом ее проводить, не указано, также не указано о необходимости проведения подготовки. Других документов, регламентирующих деятельность наставников, не имеется. В ходе организации практики и прикрепления студентов за наставниками с последними велись беседы, проводился опрос. Всего в течение нескольких практик было опрошено более 30 наставников. Темы бесед были разные, но все проводились с уклоном на то, что руководитель практики студентов от образовательной организации выяснял понимание наставниками сути их деятельности. Практически все, кроме нескольких работников, положительно относятся к наставничеству, однако все эту деятельность все-таки воспринимают как дополнительную нагрузку. При этом хочется отметить, что на данном предприятии предусмотрены выплаты за руководство практикой студентов и наставничество. Что касается понимания сути де-

тельности наставника, то работники объясняли ее очень однобоко. Большинство высказываются, что их работа со студентами заключается в основном в организации работ согласно программе практики, контроль их выполнения в первую очередь с точки зрения того, чтобы практиканты ничего не сломали и сами не получили травм. И лишь несколько опрошенных работников высказались о том, что они все-таки обучают практикантов. Когда наставникам было объяснено, что их деятельность педагогическая, они указывали на то, что не имеют знаний в этом направлении. При этом им было предложено пройти такое обучение в виде курсов, большинство высказалось положительно, однако не все хотят, чтобы оно проводилось в их свободное время.

Руководство автотранспортного цеха во время интервью также положительно высказалось в пользу специальной подготовки наставников, тем не менее организовывать их необходимо без ущерба для предприятия в плане того, что каждый работник должен в первую очередь решить производственные задачи. Кроме этого руководство отметило, что программы подготовки наставников должны учитывать продвижение корпоративной этики среди молодых рабочих и студентов-практикантов через наставников. Со стороны образовательной организации и преподавателей, занимающихся руководством практики студентов, которым задавались вопросы по поводу необходимости подготовки наставников, все без исключения высказались за проведение такой подготовки. При опросах руководства и педагогических работников поднимались вопросы: Где и кто будет проводить подготовку? Какими методами будет она осуществляться? Руководители убеждены, что проводить такую подготовку необходимо в образовательной организации, педагогам, в первую очередь заинтересованным в подготовленных наставниках, во время лекций и семинаров, а также с помощью специальных методических рекомендаций. Опрошенные педагоги по поводу места подготовки наставников в большинстве случаев, высказывались также за образовательную организацию. Однако часть выдвинула предположение, что такая подготовка должна проводиться и на предприятии. Осуществлять подготовку наставников, по мнению педагогических работников, могут сами педагоги, при наличии готовых методических материалов, проводя лекции и беседы с наставниками.

Выводы

Таким образом, в ходе анализа исследований литературы и эмпирических исследо-

ваний проблем подготовки наставников для практики студентов колледжа было выяснено, что к таким проблемам можно отнести: совмещение наставнической деятельности с производственной; подготовка наставников из числа работников предприятий сложно осуществима, если образовательная организация и предприятие не находятся в условиях социального партнерства; функции наставника воспринимаются как дополнительная нагрузка; подбор содержания подготовки наставников (о чем) и форма представления материала (книга, телевидение, радио и др.); разработка дифференцированной системы повышения квалификации наставников; быстрое устаревание научно-методических материалов, в том числе учебной литературы; обучение наставников для множества дисциплин или с ориентацией на представителей определенной отрасли; кем (преподаватель колледжа или специально подготовленный человек) и где (предприятие или образовательная организация) будет проводиться подготовка. На наш взгляд, несомненно, есть проблемы подготовки наставников, которые решать необходимо в первую очередь с учетом различных аспектов психологии, такие как: определение качеств личности наставника, его психологический портрет; отбор в наставники, так необходимо учитывать множественные особенности психики, способностей кандидатов; мотивация работников к выполнению функций наставника.

Список литературы

1. Смирнов В.И. Рядом с наставником. М.: Сов. Россия, 1978. 336 с.
2. Педагогические основы наставничества // Материалы теорет. конф.: [В 2 ч.] / Под общ. ред. д. чл. АПН СССР С.Я. Батышева и чл.-кор. АПН СССР М.И. Махмутова. Науч. исслед. ин-т проф. техн. педагогики. М., 1977. Ч. 1. 324 с.
3. Масалимова А.Р. Корпоративная подготовка наставников в условиях современного производства. Концепция. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2013. 25 с.
4. Масалимова А.Р. Проектирование и реализация содержания учебно-методического обеспечения корпоративной подготовки наставников // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11982> (дата обращения: 24.11.2018).
5. Фомин Е.Н. Диверсификация института наставничества как потенциал успешной адаптации молодого специалиста // Среднее профессиональное образование. 2012. № 7. С. 6–8.
6. Ламми А. Руководство по организации подготовки наставников производственного обучения. Национальное управление образования Финляндии. Тампере, 2014. 74 с.
7. Головнев А.В. О подготовке наставников студентов-практикантов (Технический профиль) // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: материалы XIV Международной научно-практической конференции. 2017. Т. 3. С. 63–68.

УДК 796.8:612.7

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ МОТОРНОЙ СИММЕТРИИ-АСИММЕТРИИ ПАРНЫХ КОНЕЧНОСТЕЙ ОТ ДВИГАТЕЛЬНО-КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПРИКЛАДНЫМИ ВИДАМИ ЕДИНОБОРСТВ

Еганов А.В., Мартемьянов Ю.Г., Янчик В.В., Халабов А.О.

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры»,
Челябинск, e-mail: eganov@bk.ru*

Выполнение технических действий занимающихся прикладными видами единоборств в условиях соревновательной деятельности связано с выраженностью моторной симметрии-асимметрии парных конечностей в трехмерном пространстве относительно расположения условных плоскостей тела – сагиттальной, фронтальной горизонтальной. При этом выполнение технических действий конечностями классифицируются в направлениях движения вправо, влево, в обе стороны, вперед-назад. Явление моторной симметрии-асимметрии обусловлено проявлением отдельных параметров координационных способностей. Авторы рассматривают корреляционные зависимости показателей моторной симметрии-асимметрии выполнения технических действий верхними и нижними конечностями с параметрами двигательно-координационных способностей. В статье представлены определения понятий, относящиеся к предмету исследования: моторная симметрия-асимметрия, интегральный показатель двигательных координационных способностей. Выявлены достоверные корреляционные зависимости, интегрального параметра двигательно-координационной способности с предпочтением выполнять технические действия в соответствии с выраженностью моторной симметрии-асимметрии парных конечностей. Параметр интегральной координационной способности обнаружил достоверную связь со следующими показателями соревновательной деятельности: предпочтением наносить удары и выполнять броски обеими нижними конечностями, предпочтением наносить удары левой нижней конечностью, сменой стойки с правой на левую и, наоборот, согласованностью моторики «рука – нога» и уровнем спортивного мастерства. Эти зависимости следует рассматривать как закономерности, позволяющие определить направленность педагогических воздействий выполнения технических действий при различном уровне выраженности двигательной симметрии-асимметрии парных конечностей спортсменов.

Ключевые слова: координационные способности, симметрия, асимметрия, технические действия, нижние конечности, прикладные единоборства

DEPENDENCE OF PAIRED LIMBS MOTOR SYMMETRY-ASYMMETRY SIGNS ON MOTOR-COORDINATING ABILITIES OF SPORTSMEN, DOING PRACTICAL COMBAT SPORTS

Eganov A.V., Martemyanov Yu.G., Yanchik V.V., Khalabov A.O.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education
«Ural State University of physical training», Chelyabinsk, e-mail: eganov@bk.ru*

Technical actions performance by sportsmen, engaged in applied martial arts under the conditions of competitive activities is associated with the of motor symmetry-asymmetry expressiveness of paired limbs in three – dimensional space relative to the body's conditional planes location – sagittal, frontal and horizontal ones. Thus performance of technical actions by extremities is classified in the movement directions – to the right, to the left, either side and, forward-back. The phenomenon of motor symmetry-asymmetry is due to individual parameters of coordination abilities' manifestation. The authors consider the correlation of motor symmetry-asymmetry of technical actions performance indicators of the upper and lower extremities with motor and coordination abilities parameters. The article presents the definitions of concepts related to the subject of the study: motor symmetry-asymmetry and motor coordination abilities' integral indicator. The reliable correlation dependences of motor-coordination ability integral parameter with the preference to perform technical actions in accordance with the expressiveness of motor symmetry-asymmetry of paired limbs are revealed. The integral coordination ability parameter showed up a reliable connection with the following competitive activity indicators: the preference to strike and throw with both lower limbs, the preference to strike with the left lower limb, the change of the stand from the right to the left and vice versa, the consistency of «hand-foot» motor skills and the level of sportsmanship. These dependencies should be considered a fundamental trend, allowing pedagogical impact direction determining for the implementation of technical actions at various level of locomotor symmetry-asymmetry expressiveness of athletes' paired limbs.

Keywords: coordinational abilities, symmetry, asymmetry, technical activities, lower limbs, practical combat sports

В остроконфликтных ситуациях соревновательной деятельности в прикладных видах спортивных единоборств спортсмены выполняют технические действия в трехмерном пространстве относительно расположения условных плоскостей тела – сагиттальной, фронтальной горизонтальной.

Соответственно классифицирующие выполнение моторных технических действий в направлении движения вправо-влево, вперед-назад, верхними и нижними конечностями. Предпочтение выполнять технические действия правой и левой конечностью неравнозначно. Одной конеч-

ностью более удобно выполнять моторные действия, а другой менее удобно.

В процессе соревновательной деятельности на спортсмена действуют сбивающие факторы, в том числе альтернативный выбор направления выполнения действия. Происходит частая смена динамических положений, влекущих за собой чередование асимметричной и симметричной физической нагрузки на верхние и нижние конечности. Совершенный уровень, обеспечивающий технико-тактическое мастерство в ситуационных видах спорта, достижим одаренными в координационном отношении спортсменами [1, с. 65, 67].

В различных видах единоборств накопились факты, указывающие на значимость проявления моторной симметрии-асимметрии [2, 3]. Некоторые из параметров могут носить стойкий характер, связанный с генотипом, достаточно консервативны к педагогическим воздействиям и становится препятствием в достижении высокого спортивного результата [4].

В различных видах спорта доминирующими обнаруживаются определённые профили проявления моторной симметрии-асимметрии. Однако до сих пор не выявлено, в какой мере те или иные двигательные способности оказывают влияние на выполнение технических действий в зависимости от выраженности симметрии-асимметрии [5].

Подготовка спортсменов с учётом моторной симметрии-асимметрии обеих верхних и нижних конечностей является одним из факторов успешности соревновательной деятельности и резервом повышения спортивного мастерства. Изучению зависимости функциональной моторной симметрии-асимметрии при выполнении технических действий от параметров двигательно-координационных способностей при занятии спортом посвящены работы Г.Н. Германова, С.В. Седоченко [6], С.Б. Пронина, Т.В. Гладких [7], К.К. Маркова, О.О. Николаевой, Е.Н. Сидоровой [8].

В частности, функциональная асимметрия отражает состояние субординационной готовности, обеспечивающей координационную преднастройку латерализованных моторных действий. Е.М. Бердичевская, А.С. Гронская изучали профиль межполушарной асимметрии и обнаружили неравенство право-левых сложнкоординационных способностей верхних и нижних конечностей. Авторы пришли к заключению, что направленность двигательных действий зависит от требований к точности, направлению перемещения, экстренного альтернативного выбора и др. При этом выражен-

ность моторной асимметрии исследуемых спортсменов с ведущей правой или левой конечностью достоверно отличалась [1].

Учет явления латерализации признан одним из важных положений тренировки координационных способностей. На начальном этапе обучения технике движений В.И. Лях, Е. Садовски предлагают предоставлять спортсменам, специализирующимся в спортивных играх и единоборствах, возможность свободного выбора ведущих правой, левой верхней или нижней конечностей [9].

Необходимость изучения зависимости проявления моторной симметрии-асимметрии верхних и нижних конечностей от двигательно-координационных способностей занимающихся прикладными видами единоборств заключается в выявлении взаимосвязи и закономерностей, которые укажут на направленность педагогических воздействий. В частности, если имеется достоверная зависимость отдельного параметра моторной симметрии-асимметрии показателями, определяющими спортивный результат, то целесообразно с точки зрения требований соревновательной деятельности направленно на этот параметр целесообразно воздействовать. Так же в других случаях, когда, например, травмирована доминирующая конечность или этого требует сама деятельность.

Результативность и надежность технических действий зависит от отдельных параметров двигательно-координационных способностей: различительной чувствительности по времени, пространству, дифференцирования динамических усилий [9]. При этом пространственно-различительные функции анализаторов, восприятие своих движений в пространстве и во времени, точность пространственной и временной оценки движений, как параметров двигательно-координационных способностей, способствуют значительному улучшению спортивной техники в кикбоксинге [10].

Качество выполнения техники спортивных движений требует проявления отдельных компонентов координационных способностей: точности, соответствующей амплитуды, направления движения, связанных в том числе с двигательной асимметрией. Влияние моторной асимметрии в прыжках в воду рассматривали в В.В. Анцыперов, О.И. Иванов. Выявлено, что формирование навыка невозможно без выявления причин возникновения двигательных ошибок, связанных с двигательной асимметрией нижних конечностей. Такие ошибки приводят к нарушению техники исполнения самих

прыжков. Авторами выделено два типа таких ошибок:

1) технического характера: при отталкивании от опоры, проявляющиеся в асимметричной работе стоп;

2) фонового характера: оказывающие существенное влияние на управление движением, в частности вызванными недостаточной локализацией усилий в звеньях двигательной биодинамической цепи.

К их числу отнесены ошибки, выходящие в состав нарушения симметричности выполнения движений, координационного характера, связанные с точностью выполнения спортивной техники, направлением движения, амплитудой, элементами позы, энергетическим обеспечением. В процессе роста технического мастерства и развития уровня компонентов координационных способностей, проявление асимметричности выполнения точности выполнения техники движений снижается [11].

В.А. Еганов, В.С. Быков, применяя метод корреляционного анализа, выявили достоверную зависимость между умением кикбоксеров наносить удары обеими конечностями. Достоверные связи уровня спортивного мастерства выявлены с показателями умения наносить удары двумя руками, наносить удары двумя ногами, вести бой с соперником «левой». Следовательно, спортивный результат определяется в том числе в склонности кикбоксеров к амбидекстрии по верхним и нижним конечностям, а тренировка должна быть направлена, судя по результатам исследования, на преодоление двигательной асимметрии конечностей [12].

Теоретический анализ показал, что работ по изучению зависимости проявления моторной симметрии-асимметрии парных конечностей выполнения технических действий в прикладных видах спортивных единоборств от параметров двигательного-координационных способностей недостаточно.

Цель исследования: изучить зависимость проявления симметрии-асимметрии выполнения технических действий верхними и нижними конечностями от уровня развития двигательного-координационных способностей, занимающихся прикладными видами спортивных единоборств.

Материалы и методы исследования

Достижение цели предполагало применение методов теоретического анализа, тестирования, математической статистики, интерпретации. Для получения первичных материалов была применена методика оценки двигательного-координационных способностей и двигательных предпочтений выполнения атакующих действий верхни-

ми и нижними конечностями в прикладных видах спортивных единоборств по шести – балльной шкале [2, 13]. Уровень спортивного мастерства определялся в баллах по абсолютной 100-балльной шкале от новичка до олимпийского чемпиона [13].

Материал был получен в 2015–2018 гг. в г. Челябинске. В тестировании принимали участие спортсмены мужского ($n = 84$) и женского ($n = 21$) пола в количестве 105 человек, занимающиеся борьбой (вольная, самбо, дзюдо, греко-римская, куреш), а также другими прикладными видами единоборств (тайский бокс, джиу-джитсу, армейский рукопашный бой, бокс, смешанные единоборства, панкратион, тхеквондо, киокусинкай, спортивное каратэ) в возрасте от 17 до 26 лет, со стажем занятий от трёх до десяти лет.

Мера связи между переменными констатирующего исследования определялась методом расчёта коэффициентов парной корреляции (r) К. Пирсона. Связь переменных будет положительной, если при увеличении одного признака увеличивается другой, и отрицательной, если при увеличении одного признака уменьшается другой. Задача метода заключается в определении тесноты и направленности изучаемых переменных. Корреляционный анализ позволяет выявить только статистическую зависимость изучаемого явления. Расчёты проводились на персональном компьютере по пакету анализа Microsoft Excel для статистической обработки первичных данных. Для более точного понимания сути проблемы, уточним некоторые определения, как они нами понимаются в данной статье.

Моторная симметрия-асимметрия («дихотомия») в прикладных видах единоборств – это пара взаимосвязанного альтернативного выбора направления выполнения верхними и нижними конечностями атакующего или защитного ударного и броскового технического действия. С учетом условного деления на непересекающиеся части тела относительно сагиттальной, фронтальной, горизонтальной плоскостей.

Амбидекстрия – это отсутствие явно выраженной асимметрии парных конечностей, является отражением общей асимметрии полушарий коры головного мозга и зависит от её функциональных особенностей. Может быть вызвана генетической обусловленностью, направленным воздействием на развитие не ведущей конечности или ошибками методики тренировки. В настоящее время, пока нет точного ответа на первопричину возникновения амбидекстрии как биологического феномена и её роли в организме человека. Амбидекстрию, при-

менительно к прикладным видам спортивных единоборств, следует рассматривать со стороны управления движениями биомеханики, кинематики, от выраженности двигательных координационных способностей, проявляющихся в выполнении технических действий правой и левой парной конечностью. В прикладных видах единоборств амбидекстрия проявляется при выполнении ударов, бросков руками и ногами, без выделения ведущей конечности.

Двигательные координационные способности, проявляющиеся в видах спортивной деятельности – это достигнутые в результате приобретенных навыков своевременности, точности, целесообразности, упорядоченности и согласованности в пространстве и во времени движений отдельных частей тела, быстроты перестроения сложно-координационных двигательных действий в соответствии с требованиями меняющейся динамической ситуации, обеспечивающих эффективное решение двигательной задачи.

Интегральный показатель двигательно-координационных способностей – это сумма отдельных оценок параметров, включающих способность к точности, своев-

ременности, упорядоченности, перестроению, приспособлению к движениям и др. в условиях единоборства, определяющий в лабораторных условиях, на основе самооценки по десятибалльной шкале выраженный в баллах [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Корреляционные зависимости интегрального показателя двигательно-координационных способностей с показателями, характеризующими выраженность симметрии-асимметрии парных конечностей при выполнении технических действий в прикладных видах спортивных единоборств представлены в таблице.

Выявлено, что с уровнем интегрального показателя двигательно-координационных способностей имеют достоверные положительные связи ($P \leq 0,05-0,001$) моторной симметрии-асимметрии по следующим показателям: предпочтение наносить удары в поединке обеими ногами, умение выполнять броски обеими ногами, выполнять удары левой ногой, смену стойки с правой на левую и наоборот, согласованность моторики «рука – нога» и спортивное мастерство.

Корреляционные зависимости интегрального показателя двигательно-координационных способностей с выраженностью симметрии-асимметрии выполнения технических действий парными конечностями в прикладных видах спортивных единоборств

| Показатели симметрии-асимметрии парных конечностей | r |
|--|-------------|
| 1. Предпочтение выполнять удары в поединке правой рукой | -0,12 |
| 2. Предпочтение выполнять броски в поединке через правое плечо, правой рукой | -0,07 |
| 3. Предпочтение выполнять удары в поединке правой ногой | 0,17 |
| 4. Предпочтение выполнять броски правой ногой | 0,10 |
| 5. Предпочтение наносить удары в поединке обеими руками | 0,15 |
| 6. Предпочтение выполнять броски через правое и левое плечо (обеими руками) | 0,16 |
| 7. Предпочтение выполнять удары обеими ногами | 0,41 |
| 8. Предпочтение выполнять броски обеими ногами | 0,29 |
| 9. Предпочтение выполнять удары в поединке левой рукой | 0,10 |
| 10. Предпочтение выполнять броски через левое плечо, левой рукой | -0,04 |
| 11. Предпочтение выполнять удары в поединке левой ногой | 0,20 |
| 12. Предпочтение выполнять броски в поединке левой ногой | 0,08 |
| 13. Предпочтение выбора правой стойки при выполнении ударов ногами | 0,13 |
| 14. Предпочтение выбора правой стойки при выполнении бросков | -0,02 |
| 15. Предпочтение выбора левой стойки при выполнении ударов ногами | 0,02 |
| 16. Предпочтение выбора левой стойки в поединке при выполнении бросков | 0,00 |
| 17. Предпочтение смены стойки с правой на левую и наоборот | 0,28 |
| 18. Согласованность моторики системы «рука – нога» | 0,57 |
| 19. Стаж занятий спортом, лет | 0,14 |
| 20. Уровень спортивного мастерства | 0,34 |

Примечание: r – коэффициент корреляции. При, $n = 105 - r = 0,20, P \leq 0,05; r = 0,25, P \leq 0,01; r = 0,33, P \leq 0,001$. Достоверные коэффициенты корреляции выделены жирным шрифтом.

Педагогический смысл выявленных корреляционных зависимостей интегрального показателя двигательного-координационных способностей с выраженностью симметрии-асимметрии выполнения технических действий нижними конечностями в прикладных видах спортивных единоборств заключается в следующем. Чем выше уровень значения интегрального показателя координационных способностей, тем чаще спортсмены предпочитают выполнять в поединке удары и броски обеими ногами, удары левой ногой и предпочитают смену стойки с правой на левую, и наоборот.

Следовательно, проявление склонности спортсменов в поединке к амбидекстрии по нижним конечностям, выполнению ударов преимущественно левой ногой и смене стойки на противоположную связано с высоким уровнем развития двигательного-координационных способностей. При этом следует отметить, что предпочтение выполнять удары и броски в поединке правой ногой имеют лишь тенденцию к аналогичной зависимости ($r = 0,17-0,10$, при $P \geq 0,05$). Как видно из результатов, проявление двигательного-координационных способностей выполнения технических действий с различным профилем симметрии-асимметрии преимущественно связана с нижними конечностями.

Показатель двигательного-координационных способностей, проявляющийся при выполнении технических действий в прикладных видах спортивных единоборств связан с согласованностью моторики в связке «рука – нога». Педагогический смысл выявленных корреляционных зависимостей означает, чем выше уровень развития двигательного-координационных способностей, тем чаще спортсмены применяют технические действия руками для перехода из единоборства стоя в положение лёжа с использованием ударов ногами и бросков ногами.

Следует особо отметить положительную (прямую) связь двигательного-координационных способностей в прикладных видах спортивных единоборств с интегральным уровнем спортивного мастерства ($r = 0,34$, при $P \leq 0,001$). Это означает, что в прикладных видах спортивных единоборств необходимо специально воздействовать на развитие двигательного-координационных способностей, определяющих уровень спортивного мастерства.

Что касается верхних конечностей, то достоверных связей не выявлено или имеются лишь тенденция к достоверному уровню ($r = 0,15-17$, при $P > 0,05$) по показателям 3, 5, 6, характеризующими праворукость

и амбидекстрию верхних конечностей. Не выявлено также достоверной зависимости двигательного-координационных способностей в проявлении моторной симметрии-асимметрии выполнения технических действий с показателями под номерами 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19.

Таким образом, интегральный показатель двигательного-координационных способностей связан с проявлением симметрии-асимметрии выполнения технических действий парными конечностями в прикладных видах спортивных единоборств. Он определяет направление и уровень связи касающейся преимущественно нижних конечностей в сочетании выполнения спортивной техники в связке «рука – нога», а также уровнем спортивного мастерства.

Заключение

Выявлены достоверные положительные корреляционные зависимости моторной симметрии-асимметрии нижних конечностей выполнения технических действий, занимающихся прикладными видами спортивных единоборств от интегральной двигательного-координационной способности по ряду показателей. К ним относятся следующие показатели: предпочтение наносить удары в поединке обеими ногами, выполнять броски обеими ногами, наносить удары левой ногой, смены стойки с правой на левую и наоборот, согласованность моторики «рука – нога» и уровень спортивного мастерства.

Эти зависимости следует рассматривать как закономерности, позволяющие определить направленность педагогических воздействий при развитии двигательного-координационных способностей спортсменов, выполняющих технические действия преимущественно нижними конечностями.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методики по развитию двигательного-координационной подготовленности, занимающихся прикладными видами спортивных единоборств, направленную на моторную симметрию-асимметрию выполнения технических действий преимущественно нижними конечностями.

Список литературы

1. Бердичевская Е.М., Гронская А.С. Функциональная асимметрии и спорт: руководство по функциональной межполушарной асимметрии. М.: Научный мир, 2009. 836 с.
2. Еганов А.В., Чемерчей О.А. Направленность педагогических воздействий при разном уровне индивидуальной выраженности моторной дихотомии конечностей у спортсменов, занимающихся прикладными видами единоборств // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 2. С. 137–141.

3. Чермит К.Д. Диалектика симметрии и асимметрии в теории спортивной тренировки // Теория и практика физической культуры. 1994. № 8. С. 29–32.
4. Чемерчей О.А., Еганов А.В. Факторная структура моторной дихотомии конечностей спортсменов, занимающихся прикладными видами единоборств // Педагогико-психологические, медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2017. Т. 12. № 2. С. 225–234. DOI: 10.14526/01_2017_226.
5. Степанов В.С. Асимметрия двигательных действий спортсменов в трехмерном пространстве: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Санкт-Петербург, 2001. 48 с.
6. Германов Г.Н., Седоченко С.В. Психофизиологические особенности в проявлениях мышечной асимметрии у фехтовальщиков и теннисистов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2015. № 3. Т. 121. С. 224–228.
7. Пронин С.Б., Гладких Т.В. Характер влияния общей координации на техническую подготовку спортсменов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2018. № 6 (160). С. 191–196.
8. Марков К.К., Николаева О.О., Сидорова Е.Н. Современные направления совершенствования методики спортивной тренировки // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5–1. С. 131–135.
9. Лях В.И., Садовски Е. О концепциях, задачах, месте и основных положениях координационной подготовки в спорте // Теория и практика физической культуры. 1999. № 5. С. 40–45.
10. Чечев И.С., Марков К.К. Экспериментальное исследование пространственно-различительной деятельности в кикбоксинге // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 3. С. 125–129.
11. Анцыперов В.В., Иванов О.И. О роли двигательной асимметрии в прыжках в воду // Современные проблемы науки и образования. 2013. Вып. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11194> (дата обращения: 30.12.2018).
12. Еганов В.А., Быков В.С. Двигательная амбидекстрия нижних конечностей, проявляющаяся у студентов-кикбоксёров // Оптимизация учебно-воспитательного процесса в образовательных организациях физической культуры: XXV регион. науч.-метод. конф.; УралГУФК. Челябинск, 2015. С. 55–56.
13. Еганов А.В., Быков В.С., Кокин В.Ю. Разработка методики самооценки двигательных-координационных способностей спортсменов, занимающихся спортивными видами ударных единоборств // Наука ЮУрГУ: материалы 67-й науч. конф. / отв. за выпуск С.Д. Ваулин; Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. С. 1447–1452 [Электронный ресурс]. URL: <http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/5705/8.pdf?sequence=1> (дата обращения: 30.12.2018).

УДК 378.09:372.85(575.2)(04)

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМАТИЗАЦИИ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ НА РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЙ

Сапарбаева У.Ч.

Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева, Бишкек, e-mail: uulai_s@mail.ru

Согласно концепции предметного стандарта по биологии определено ее фундаментальное ядро и систематизированы соответствующие дидактические средства. Для обучения биологии в 6-м классе проанализированы функции средств обучения, уточнены их место и роль в учебном процессе, на основе чего создана система средств обучения и разработана методика их применения. Уточнены средства обучения, применимые в курсе биологии при формировании понятий, путем проведенного нами педагогического эксперимента исследовано влияние их применения в сочетании на учебный процесс, разработана система дидактических средств, используемых в процессе обучения и методика их применения. Проверена педагогическая эффективность разработанной системы и методики ее применения. Уточнены основные теоретические положения исследования. В качестве педагогических условий применения системы средств, во-первых, введение в систему развития биологических понятий применение средств, во-вторых, обоснование на закономерность познания соответствия средств при внедрении их в учебный процесс, создана система средств обучения биологии, разработаны пути применения современных технологий обучения при использовании этой системы. Оптимальность данной системы и ее воздействие на эффективность обучения подтверждены материалами экспериментальной проверки. Соответствие разработанной системы средств обучения и эффективность методических рекомендаций апробированы путем обучающего эксперимента. Насколько комплексно и согласованно будут применяться средства обучения на уроке, настолько высок будет процент успеваемости учащихся. Таким образом, можно сделать вывод, что способы, методические условия и соответствия применения системы дидактических средств обучения биологии оказывают положительное влияние на повышение знаний по биологии учащихся 6-го класса.

Ключевые слова: средства обучения, морфологические и анатомические понятия, систематизация, сочетание, методические условия

THE RATIONALE FOR THE SYSTEMATIZATION MEANS OF TRAINING IN BIOLOGICAL EDUCATION ON THE DEVELOPMENT OF CONCEPTS

Saparbaeva U.Ch.

Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Bishkek, e-mail: uulai_s@mail.ru

According to the concept of the subject standard in biology, its fundamental core was determined, and the corresponding didactic means were systematized. For the study of biology in the 6th grade, the functions of the teaching aids are analyzed, their place and role in the educational process are clarified, because of which a system of teaching aids is created and a methodology for their use is developed. The teaching aids applicable in the course of biology during the formation of concepts are clarified; the pedagogical experiment conducted by us investigated the influence of their use in combination on the educational process, a system of didactic tools used in the learning process and the method of their application have been developed. The pedagogical effectiveness of the developed system and the method of its application has been tested. Clarified the basic theoretical position of the study. As pedagogical conditions for using the system of means, firstly, introducing means into the system of developing biological concepts, secondly, justifying the law of knowledge of the appropriateness of means when introducing them into the learning process; when using this system. The optimality of this system and its impact on the effectiveness of training is confirmed by the materials of experimental verification. Compliance with the developed system of teaching aids and the effectiveness of the methodological recommendations have been tested by means of a training experiment. As far as complex and consistently used learning tools in the classroom, so high will be the percentage of student achievement. Thus, we can conclude that the methods, methodological conditions and compliance with the application of the system of didactic biology teaching tools have a positive effect on increasing knowledge of the biology of students in the 6th grade.

Keywords: means of training, morphological and anatomical concepts, systematization, combination, methodical conditions

Основной стержень нашей научной работы составили анализ функций средств обучения по биологии в 6-м классе, уточнение их места и роли в учебном процессе, создание системы средств обучения и разработка методики ее применения на основе вышеуказанного. При проведении такого исследования нами учтено следующее:

1. В связи с разработкой Государственного стандарта среднего общего образования в Кыргызской Республике, пред-

метного стандарта и новой программы по биологии, изменением содержания учебника необходимо изменить и средства обучения (введены местные материалы, разработаны рабочая тетрадь для учащихся, инструкции для проведения лабораторных работ и др.).

2. Согласно новому содержанию, появилась необходимость освоения системы научных знаний, активного овладения учащимися фактическим материалом, раскры-

тия причинно-следственных связей и уточнения закономерностей.

Как доказано в теоретических исследованиях о месте и роли средств обучения в учебном процессе, определено, что достичь повышения эффективности обучения можно путем улучшения методики обучения и рационального применения средств обучения [1].

Низкий уровень результатов обучения – отмечает И.Я. Маурина, – связан с недостатками в методике обучения, с неоптимальным использованием системы средств обучения [2, с. 159].

Основы целевого наблюдения в живой природе и на уроках за натуральными объектами и роли кабинета биологии исследовали выдающиеся методисты-биологи С.А. Павлович, А.В. Козырь, Н.А. Пугал и А.М. Розенштейн и др. [3]. А пути внедрения местных материалов в создание материальной базы обучения биологии в наших условиях через систему создания учебно-наглядных пособий основала Г.В. Благодарова и Н.Н. Ляшенко [4], диссертационные работы, посвященные проблеме создания учебно-материальной базы, защищены Н.Н. Лужниченко, М. Субановой [5]. В данных работах с научно-педагогической точки зрения обоснованы принципы отбора местных материалов (растений Кыргызстана) для введения в процесс обучения биологии и система их применения.

М.М. Ботбаева мир растений Кыргызстана охарактеризовала так, чтобы было понятно широкой массе, и выразила растения в цветных рисунках, обогатив содержание биологии дополнительными средствами [6]. Б.С. Тетенькин, Е.М. Бельская, А. Ысыкеев и др. в своих исследованиях отмечают вопрос внедрения местных материалов в учебный процесс.

Но в этих трудах средства обучения, направленные на формирование понятий в методике обучения биологии, рассматриваются не как целостная система. Не обоснована единая теория, объединяющая структуру системы средств обучения, достаточных и необходимых для реализации учебной программы.

В связи с этим цель нашего исследования – уточнить средства обучения, которые нужно применять в курсе биологии (6 класс) при формировании понятий, а также в проведенном нами педагогическом эксперименте исследовать влияние их соответствующего применения на учебный процесс:

- методических условий применения системы средств обучения в учебном процессе;
- эффективность согласованного применения средств обучения;

- воздействие разработанной системы на повышение эффективности обучения биологии в 6 классе.

Для достижения этих целей, используя различные способы при применении системы средств обучения, образование учащихся, повышение их познавательной активности осуществлялось путем решения следующих задач:

- определение методических условий применения в учебном процессе системы средств обучения биологии, определение влияния на познавательную деятельность учащихся использования в соответствующей согласованности средств обучения – методическое условие;

- определение и обоснование возможностей применения в обучении биологии в 6 классе системы средств обучения, при формировании биологических понятий;

- проверка эффективности технологий обучения при использовании созданной нами системы средств обучения;

- уточнение путей организации различными способами обучения деятельности учащихся при использовании системы средств обучения биологии;

- проверка путем педагогического эксперимента эффективности методики согласованного применения средств обучения.

В экспериментальных исследованиях использованы следующие методы:

- теоретические методы (анализ и систематизация изучаемых материалов, историко-логический анализ и выводы из него, анализ литературных источников для обобщения особенностей вопросов, дающих возможность для теоретического мышления);

- эмпирические методы (проведение анкетирования учащихся и их анализ, обобщение; наблюдение за применением в учебном процессе учащимися собственного опыта по ситуации в окружающей среде; констатирующий, обучающий и контрольный эксперименты по проверке эффективности биологического образования по критериям и показателям овладения личностью качеством знаний, количественный и качественный анализ и обобщение их результатов. Поиск с их помощью доступности отобранного материала для содержания, условий развития понятий и личностных качеств, а также их корреляционных зависимостей).

- измерение (шкала наименований, ранговая шкала, интервальная шкала и рядовая ранговая шкала) педагогических явлений.

Исследование начато со знакомства с обновленным содержанием обучения, учебной программой по биологии, разработанной на основе государственного стандарта среднего общего образования в республике.

Согласно теме, проанализированы педагогические, психологические, дидактические и методические источники научной литературы. Кроме этого, ознакомлены со школьным передовым педагогическим опытом, проведено сравнение, анализ ряда вопросов, связанных с организацией учебного процесса.

Проанализированы средства обучения биологии, используемые до сих пор, разработаны дидактические средства, соответствующие новому содержанию. Уточнены требования к видам средств обучения биологии.

Разработаны система дидактических средств, используемых в учебном процессе по биологии 6 класса, и методика ее применения.

В конце проверена педагогическая эффективность разработанной системы и методики ее применения. Уточнены основные теоретические положения исследования.

Например, в беседе с учителем биологии обсуждены следующие вопросы:

- а) изменения, введенные в содержание изучаемого материала;
- б) соответствующие содержанию средства и их применение;
- в) методика работы с комплексом средств обучения.

Нами сделана попытка в процессе наблюдения за уроками биологии в 6 классе при проведении беседы с учителями и учениками уточнить следующее:

1. Виды, типы средств обучения и их количество.
2. Соответствие видов средств обучения и некоторых предметов методике обучения.
3. Вопросы, связанные со средствами обучения при подготовке к уроку.
4. Качество знаний учащихся.

После окончания каждой главы обновленного содержания в целях проверки качества знаний проводились контрольные работы. В результате качество знаний учащихся оказалось неудовлетворительным. Причиной этому стало то, что во многих школах уроки биологии ограничиваются рассказом учителя, проводится объяснение только по учебнику и показа цветных таблиц, и для учащихся обучение стало однобоким и носило скучный характер.

Откуда возникает скучный урок? Если не будет организована мотивационная деятельность урока, или учащиеся будут сидеть на уроке без действия, то их интерес к уроку понижается, учеба начинает надоедать.

Поэтому в целях устранения таких недостатков в качестве педагогических условий применения системы средств обучения, во-первых, введение в систему развития

биологических понятий путем применения средств, во-вторых, основание на закономерность познания соответствия средств при внедрении их в учебный процесс [7], нами создана система средств обучения биологии, разработаны способы применения современных технологий обучения при использовании этой системы. Материалы экспериментальной проверки подтвердили оптимальность данной системы и ее влияние на эффективность обучения.

Контрольные работы, проведенные в экспериментальной проверке, включали материалы всего определенного раздела или главы, составлены по трем уровням сложности и состояли из соответствующих вопросов и заданий, письменных карточек. Ответы учащихся на них состояли не просто из определений, а потребовали умений применять теоретические знания в выполнении практических работ. Для измерения уровня освоения материала использованы результаты письменных проверочных работ и устных вопросов-ответов, это проводилось в конце каждой главы.

В ходе исследования эффективности разработанной нами системы средств обучения в контрольных классах проводились обычные уроки, а в экспериментальных классах проводились уроки с использованием предложенной нами системы. Например, понятие «клетка» после указанной главы, углубленно изучалось при проведении темы «ткани», и далее закреплялось, когда проводились уроки о внутренних органах растений. Значит, по каждой главе сравнивалась динамика освоения учащимися знаний в двух классах (контрольном и экспериментальном). Наблюдалось, что в экспериментальных классах качество знаний учащихся по истечении времени повышалось.

Как повлияло на повышение качества знаний учащихся проведение уроков с использованием системы средств обучения на различном уровне согласованности нами проверено путем беседы с ними и проведения анкетирования, результаты анализа следующие.

В экспериментальном классе при проведении темы «Листья и жизнедеятельность растений» сначала останавливались на вопросах: какую роль играет лист в жизнедеятельности растения, каково значение листьев для растений, затем обсуждались темы: листья с черешком и без черешка; разнообразие форм листьев; типы жилкования листа – дуговое, параллельное, сетчатое (или перистое), пальчатое. Листорасположение мутовчатое, очередное, розеточное или супротивное.

Так как указанный урок был уроком формирования морфологических понятий, ученики сами заметили и наблюдали вышеуказанные понятия напрямую в натуральных объектах (различных видах высушенных листьев; комнатных растений герани и традесканции). Учитель в это время не полностью рассказывал весь урок, а только направлял учащихся: «внимательно рассмотрите лист в ваших руках, что вы заметили? Схоже ли строение всех листьев?» На эти вопросы учителя ученик 6 класса Дастан К. ответил: «форма листа похожа на сердечко, на его лицевой стороне видны различные линии. На обратной стороне листа они видны отчетливее». Айжан М. начертила рисунок: «линии листьев этого растения проходят вдоль по длине, здесь они переплетены». Учитель дополнил ответы учеников: «значит, типы жилкования листа бывают следующие: дуговое, параллельное, сетчатое (или перистое), пальчатое».

Объединив количественные значения по всем заданным вопросам, мы разделили их на две категории: *правильные и неполные ответы*. Кроме этого, были моменты, когда ученики совсем не смогли ответить на поставленные вопросы. Соотношение количества неотвеченных вопросов и количества правильных ответов характеризует *полноту* знаний учащихся, а соотношение количества неправильных ответов и количества правильных ответов – *правильность* знаний (анализ урока дан на примере 6 «а» и 6 «б» классов общеобразовательной школы № 23 имени К. Чекирова Аксыйского района Кыргызской Республики).

Через результаты контрольных работ по заданиям, оцененным в баллах, можно охарактеризовать качественное соотношение ответов учащихся экспериментальных и контрольных классов. *Результаты* (обсуждались на заседании учителей школ) оказались следующими:

1. В результате того, что учитель на уроке умело, оптимально и комплексно использовал средства обучения, а также учащиеся работали с дидактическими карточками, выполняли лабораторно-практические работы, углубляли теоретические знания, зна-

ния учащихся экспериментальных классов по теме были намного выше. Они могли определять органы, ткани растений, рассказать о строении их клетки и происходящих в них процессах.

А учащиеся контрольных классов не смогли точно разграничить части органов растений. Не смогли доказать, что растение – это целостный организм.

2. Многие ученики экспериментальных классов показали исследовательские, творческие качества, сумев точно и логически упорядоченно выполнить данные задания. Учащиеся контрольных классов ограничивались репродуктивными вопросами, т.е. воспроизводили рассказанное учителем, у них не наблюдается самостоятельный поиск, в их ответах встречается ряд ошибок и неточностей.

Каждая контрольная работа обобщена на основе количественных и качественных критериев (полнота, правильность, скорость и прочность ответа) по оцениванию образовательных достижений учащихся, предложенных Е.А. Галкиной [8].

В итоге баллы, собранные учащимися контрольных и экспериментальных классов, распределены следующим образом: количество учащихся набравших от 0,2 до 0,4 балла внесли в репродуктивный уровень, 0,5–0,8 балла – в продуктивный уровень, а 0,9–3 балла – в творческий уровень. Полученные значения перевели в проценты. Результаты знаний учащихся по уровневым показателям представлены в таблице.

Полученные поуровневые показатели изображены в следующей гистограмме (рисунок).

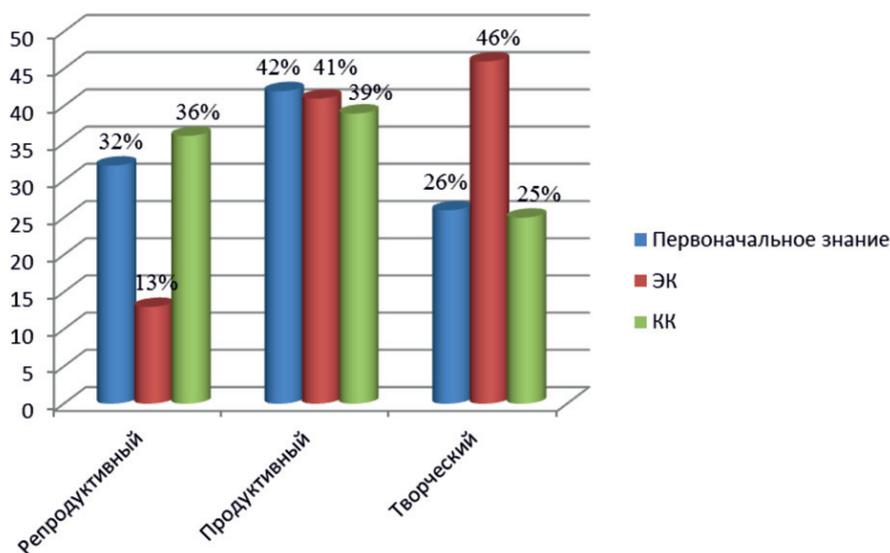
Выводы

По рисунку видно, что творческий уровень учащихся экспериментального класса по сравнению с уровнем контрольного класса на 20% выше, а репродуктивный уровень – на 23% ниже.

Соответствие разработанной системы средств обучения и эффективности методических рекомендаций апробированы путем обучающего эксперимента. Результаты педагогического эксперимента подтвердили эффективность разработанной системы дидактических средств по биологии.

Результаты знаний учащихся по уровневым показателям

| Группы | Уровни | | |
|-----------------------|----------------|--------------|------------|
| | Репродуктивный | Продуктивный | Творческий |
| Первоначальное знание | 32% | 42% | 26% |
| ЭК (154 учащихся) | 13% | 41% | 46% |
| КК (155 учащихся) | 36% | 39% | 25% |



Гистограмма по уровневым показателям

Таким образом, можно сказать, что способы, методические условия и соответствия применения системы дидактических средств обучения биологии оказывают положительное влияние на повышение знаний по биологии учащихся 6 класса. Значит, конструктивное отношение к средствам обучения биологии при развитии биологических понятий даёт хорошие результаты. Поэтому учителя школ и гимназий разработанные нами систему средств обучения и предложенные методические условия могут применять в своих работах.

Список литературы

1. Мухашева М.Ж. Технология использования средств обучения для курса методики преподавания биологии в педагогическом вузе: дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2016. 225 с.

2. Маурина И.Я. О содержании и построении таблиц в учебнике и фонде демонстрационных пособий // Проблемы школьного учебника. 1976. Вып. 4. С. 159–172.

3. Сапарбаева У.Ч. Виды средств обучения биологии и их функционально-дидактические возможности // Известия ВУЗов Кыргызстана Бишкек, 2017. № 5. С. 100–103 (на кырг. яз.).

4. Субанова М., Сатубаева А. Методическое пособие для учителей биологов. Технологии обучения. Разработки уроков. Бишкек, 2012. 64 с. (на кырг. яз.).

5. Субанова М. Научно-методические основы развития технологии и содержания биологического образования в средней школе: монография. Бишкек, 2009. 204 с. (на кырг. яз.).

6. Ботбаева М.М. Ботаника. Систематика растений. Б.: Айат, 2009. 2 ч. 390 с. (на кырг. яз.).

7. Дмитриева М.В. Совершенствование методики использования иллюстративного материала школьного учебника как средства развития биологических понятий: автореф. дис. ... канд. наук. Москва, 2008. 24 с.

8. Галкина Е.А. Критерии оценивания учебных достижений // Биология в школе. 2006. № 7. С. 18–21.

УДК 377.3:908

**СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ЯРАНСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ТЕХНИКУМА: СОВЕТСКИЙ ПЕРИОД****Чибаков А.С., Кравченко Т.А.***КОГПОАУ «Яранский технологический техникум», Яранск, e-mail: chas375@yandex.ru*

В статье рассматриваются основные события за период советских лет в истории провинциального профессионального учебного заведения, возникшего в числе первых на территории Вятской губернии. Освещаются довоенные годы, когда внедрялся курс трактороведения, а основная задача заключалась в подготовке рабочих кадров для механизированного сельского хозяйства. Приводятся сведения очевидцев учебного процесса 1930-х и 1960-х гг. о годах учебы и значимости полученного в учреждении образования. Называются перемены в судьбе образовательной организации в годы Великой Отечественной войны. Излагаются факты из жизни Героя Советского Союза А.Д. Ваганова, имя которого было присвоено Яранскому училищу Указом Президиума Верховного Совета РСФСР. Упоминается подготовка специалистов для освоения целинных и залежных земель. Затрагивается развитие учебно-материальной и хозяйственно-технической базы учебного заведения в 1960–1980-е гг. В заключении выделены основные ступени становления образовательной организации в 1917–1991 гг. и отмечена цикличность исторических перемен в советском профтехобразовании каждые 10 лет при повышении требований к качеству подготовки рабочих и служащих. Работа является второй частью в цикле из трех публикаций, в которых авторы обращаются к истории своей образовательной организации.

Ключевые слова: история профессионального образования, образование в Вятской губернии и Кировской области, учебно-производственная мастерская, фабрично-заводское обучение, профессионально-техническая школа, училище механизации, профессионально-техническое училище

**PAGE HISTORY OF YARANSK TECHNOLOGICAL COLLEGE:
THE SOVIET PERIOD****Chibakov A.S., Kravchenko T.A.***Yaransk Technological College, Yaransk, e-mail: chas375@yandex.ru*

The article deals with the main events during the Soviet years in the history of the provincial vocational school, which arose among the first in the territory of the Vyatka province. The pre-war years highlights, when the course of tractor was introduced, and the main task was to train workers for mechanized agriculture. Information of eyewitnesses of the educational process of the 30s and 60s of the last century testifies to the years of study and the importance of the education received in the institution. Changes in the fate of the educational organization during the Great Patriotic War are called in the article. Facts from the life of the Hero of the Soviet Union A.D. Vaganov set out. His name was given to Yaransk school by decree of the Presidium of the Supreme Soviet of the RSFSR. Training of specialists for the development of virgin and fallow lands Mentioned. Development of educational, material, economic, and technical base of an educational institution in the 60-80s of the XX century. In conclusion, the main stages of formation of the educational organization in 1917-1991 are highlighted and the cyclical nature of historical changes is noted in the Soviet vocational education every 10 years with increasing requirements for the quality of training of workers and employees. The work is the second part in a cycle of three publications in which the authors refer to the history of their educational organization.

Keywords: history of professional education, education in Vyatka province and Kirov region, training and production workshop, factory training, technical school, school of mechanization, vocational school

В первой нашей статье из цикла публикаций об истории Яранского технологического техникума рассматривается дореволюционный период, анализируются факты и сведения, связанные с событиями, начиная с подготовки к открытию ремесленной школы и заканчивая кануном революции 1917 г. в России. Важные выводы, сформулированные нами, заключаются в том, что Яранскому земству в начале 1970-х гг. удалось принять дальновидные решения и реализовать значимые действия, позволившие создать ремесленную школу, одну из первых на вятской земле, и обеспечить ее содержание. Все это отвечало насущным социально-экономическим запросам своего времени и интересам населения, способ-

ствовало культурному росту, развитию купечества, экономики и региона в целом.

На рубеже XIX и XX вв. Вятская губерния вышла на третье место в России по степени развития кустарных ремесел, а Яранский уезд стал первым в губернии по числу мастеров-кустарей в относительном выражении. За три десятилетия функционирования школы доля ремесленников увеличилась в 15–17 раз при том, что определенная часть подготовленных мастеров покинула малую родину и трудилась на предприятиях крупных промышленных центров. В это же время яранские купцы вышли с торговлей на рынки Нижнего Новгорода, Казани, Костромы, Вятки, других российских и зарубежных городов [1, с. 439].

В настоящей статье обратимся к материалам, которые касаются истории учреждения в советские годы. Данный период охватывает наибольший промежуток времени в судьбе учебного заведения и богат на события.

Цель исследования: изучение фактов истории Яранского технологического техникума с 1917 по 1991 г. с выделением основных ступеней становления учебного заведения и установлением цикличности исторических перемен в советском профессионально-техническом образовании.

Материалы и методы исследования

Информация по истории Яранского технологического техникума и краеведению, а также о деятельности органов образования Вятской губернии и Кировской области составила материал исследования. Источниками исторических фактов и сведений стали фонды районного и областного архивов, научная литература, воспоминания современников, документы и фотографии, сохранившиеся в краеведческом музее и образовательном учреждении, ресурсы сети Интернет. Библиографический список состоит из 15 пунктов.

Способами достижения цели явились беседы с очевидцами, качественный и количественный анализ материала, периодизация, нарративный, историко-генетический, сравнительный, топологический и структурный методы историко-педагогического исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ научной и учебной литературы по истории отечественного профессионального образования с 1917 по 1991 г. позволяет обнаружить сходство и некоторые различия в подходах исследователей к периодизации эпохи советских лет [2–5]. Учеными выделяется 4 или 5 периодов продолжительностью от 5 до 20 лет. По нашему мнению, переход от общих обзоров к освещению истории отдельной образовательной организации целесообразно осуществить, сосредоточившись на рассмотрении фактического материала в хронологическом порядке, чтобы осмыслить события прошлого, установить причинно-следственные связи и определить основные ступени становления учебного заведения.

Сведений о Яранской ремесленной школе в период Февральской и Октябрьской революций и годы гражданской войны сохранилось крайне мало. Известно, что изменившаяся политическая и экономическая ситуация в стране отразилась и на

деятельности учреждения. Реформа профессионального образования планировалась Временным правительством и была утверждена в мае 1917 г. Но преобразования начались с приходом к власти партии коммунистов-большевиков. Уже 9 ноября 1917 г., на другой день Великого Октября и Второго Всероссийского съезда Советов, Декрет Всероссийского Центрального Исполкома и Совнаркома РСФСР учредил Государственную комиссию по народному просвещению. В ее отдел по профобразованию вошли профессиональные школы всех форм собственности.

После ликвидации института земства и принятия Совнаркомом РСФСР декрета «О передаче в ведение Народного Комиссариата Просвещения учебных и образовательных учреждений и заведений всех ведомств» в 1918 г. училища, гимназии и школы Яранского уезда перешли в подчинение Вятского губернского отдела народного образования. Внутри отдела была выделана подструктура профессионально-технического образования (Губпрофобр). Яранская учебно-производственная мастерская, преемница ремесленной школы, была включена в его ведение, сохранив основные направления обучения ремеслам.

Постановления Совнаркома 1918 и 1919 гг. объявили широкое развитие профессионального образования на политехнической основе. Дети из бедных семей обеспечивались питанием, одеждой и учебной литературой за государственный счет.

В 1919 г. управление профессиональными учебными заведениями сосредоточилось в Главном комитете профтехобразования при Наркомпросе РСФСР. В тот же год коллегия Комиссариата утвердила систему профессионального технического образования в стране. Выпускники школ первой ступени (примерно 13 лет) могли поступать в любые типы низших профессиональных школ с 4-годичным обучением. Первый и второй класс таких заведений были общеобразовательными. А в третьем и четвертом классах учащиеся осваивали специальные дисциплины и проходили производственное обучение.

В июле 1920 г. был издан Декрет Совнаркома РСФСР «Об учебной профессионально-технической повинности». Он обязал всех рабочих в возрасте от 18 (в иных случаях с 14) до 40 лет учиться для ликвидации технической безграмотности. В стране началось зарождение фабрично-заводского ученичества (ФЗУ).

В отчете Вятского ГубОНО за сентябрь 1920 г. – февраль 1921 г. отмечалось, что профтехшкол в губернии до революции было 11, а спустя 3 года после

нее в Губпрофобр входило 36 заведений, в том числе 8 школ-заводов, школ-ферм и школ-мастерских. Общее количество обучающихся составляло 4500 человек, а обучающихся – 240 [6, с. 3–4]. По архивным данным, с ноября 1917 по октябрь 1923 г. в Яранской учебно-производственной мастерской было подготовлено около 300 кузнецов и слесарей [7].

Стремительное становление новой системы образования повлекло преобразование 1 октября 1923 г. учебной мастерской в Яранскую профессионально-техническую школу. Тогда к заведению отошло здание по улице Никольской (ныне улица Ленина, 11), где разместился главный корпус. А в здании по улице Басурманской (ныне улица Гоголя, 35) осталась учебная мастерская. Школа приступила к подготовке квалифицированных рабочих слесарно-механического дела. Порядок поступления и срок обучения не изменились. По сохранившимся сведениям, в конце 1923 г. в четырех группах Яранской профтехшколы обучались 80 учащихся [8]. А 1 ноября 1923 г. было отмечено 50-летие учебного заведения.

Данные за 1926 г. свидетельствуют о том, что школа готовила механиков и помощников механиков, монтеров, мотористов и помощников машинистов. Заведение имело слесарно-токарную, лудильно-никелировочную, кузнечную, чугунно-литейную, столярную мастерские [9], которые находились на улице Смоленской (ныне улица Труда) и внутри квартала.

В 1929 г. Пленум ЦК партии принял решение о передаче школ ФЗУ в ведение нар-

коматов и ведомств. А Яранская профессионально-техническая школа приступила к реализации программы трактороведения. Новый курс назывался «Трактор уч. Нижегородского края».

В 1933 г. указом Управления сельского хозяйства Горьковского края (с июля 1929 г. по декабрь 1934 г. Вятская губерния входила в его состав) учебное заведение было реорганизовано в «Яранскую школу тракторных механиков Горьковского краевого земельного отдела» с 2-годовичным сроком переобучения (рис. 1). Необходимость изменений объяснялась созданием сети машинно-тракторных станций (МТС), для которых требовались технические специалисты и руководители. А Яранская школа имела лучшее материальное оснащение на территории огромного края, располагала техникой отечественного и американского производства и отличалась высоким качеством подготовки кадров.

С 1935 г. школа механиков перешла к Кировскому краевому земельному отделу (с 1937 г. – Кировскому областному земельному отделу), а в 1939 г. сменила название на «Яранскую школу тракторных бригадиров Кировского ОблЗО».

Следует сказать, что первый (1928–1932 гг.) и второй (1933–1937 гг.) пятилетние планы развития народного хозяйства СССР ставили задачи всеобщего образования в объеме семилетки. Предусматривалось увеличение количества учащихся всех типов заведений, не считая дошкольных, с 24,2 млн человек в 1932 г. до 36 млн человек в 1936 г.



Рис. 1. Выпуск Яранской школы тракторных механиков Горьковского краевого земельного отдела. Группы А, Б, В. (1934 г.)

Трудностей в то время было немало. Но, вопреки им, жизнь в Яранской учебном заведении протекала достаточно активно. В архиве техникума сохранились воспоминания М.Н. Залешина, обучавшегося в первой половине 1930-х гг. Он пишет о том, что в школе учились только парни. Занятия проходили в старом здании по улице Басурманской. Для практических занятий выдавались комбинезоны. Питались бесплатно 3 раза в день в столовой, находившейся в здании мастерских. Общежитие располагалось по улице Ильинской (ныне улица Тургенева). В комнатах проживали 5 или 6 человек. Воспитателей и дежурных не было. Учащиеся отличались самостоятельностью и организованностью.

В учебном расписании стояли обычно 4 ч занятий по предметам и 3 ч практического обучения в мастерских. Изучали математику, русский язык, физику, химию, черчение и специальные дисциплины. Практику проходили по кузнечному, слесарному, токарному делу и ремонту сельхозмашин. Учились 6 дней в неделю.

В записях отмечается, что преподаватели и мастера-наставники относились к учащимся доброжелательно и были отзывчивы. С особой теплотой М.Н. Залешин вспоминает Кибардина Дмитрия Мокеевича, заведующего производственным обучением, Гордеева Александра Федоровича, преподавателя черчения, Якимова Петра Николаевича, преподавателя математики, Береснева Павла Осиповича, мастера обучения слесарному делу.

Школа давала прочные знания по общеобразовательным и техническим дисциплинам, что позволяло выпускникам поступать в индустриальные институты. Современник называет имена братьев Кикериных, Михаила и Николая, ставших инженерами, а старший притом защитил степень доктора технических наук; Я. Дербенева, получившего инженерное образование и назначение на должность главного конструктора завода на Урале.

Автор воспоминаний сообщает о тесных связях профессионально-технической школы с педагогическим техникумом, находившимся в здании школы-интерната, и сельскохозяйственным техникумом в местечке Знаменка (пригород Яранска). Регулярно проводились концерты и совместные вечера. В Доме культуры устраивались политические турниры. Каждое учебное заведение представляла команда из 15–20 человек. Задавались вопросы на актуальные международные темы, а жюри оценивало ответы команд. В зале собирались многочисленные болельщики. Мест на всех жела-

ющих не хватало. Интерес был таким, что зрители глаз не могли отвести от происходящего на сцене. Дом культуры служил также местом проведения массовых мероприятий в выходные и праздничные дни. И, как свидетельствует очевидец, всегда поддерживался идеальный порядок.

Создание при профтехшколе школы тракторных механиков привело к переводу в нее многих учащихся. Лучшим из них пришлось сокращать срок обучения. Как пишет М.Н. Залешин, в 1935 г. 7 человек, в том числе он, были досрочно направлены главными инженерами в МТС.

В дальнейшем инженер М.Н. Залешин окончил Челябинский институт механизации сельского хозяйства. Но, как замечает, учиться и перенимать опыт приходилось всю жизнь. Трудовой путь он завершил в должности директора станции с общим стажем 54 года. По словам ветерана, профессионально-техническая школа и школа тракторных механиков дали ему главное – путевку в жизнь, а яркие моменты юности, связанные с периодом обучения, сохранились в памяти навсегда. Свои записи автор датировал 15 мая 1988 г. в возрасте 77 лет.

Тем временем в стране происходило сокращение школ ФЗУ, активно развивавшихся в 1920-е гг. Если в 1920/21 учебном году их было 43 с контингентом 2 тыс. человек, а в 1931/32 г., соответственно, 3970 и 975 тыс., то в 1938/39 г. – только 1535 и 242,4 тыс. [10]. Рабочие кадры все чаще готовили непосредственно на производстве.

Таким образом, период с 1917 по 1940 г. многие историки считают отдельным этапом развития отечественного профессионального образования. Его отличают: а) рост числа учащихся всех уровней образования с 1914 по 1937 г. в 3,5 раза; б) повышение грамотности населения с 43% в 1917 г. до 87,4% в 1939 г.; в) массовость подготовки кадров, только в 1936–1939 гг. курсами техминимума и рабочих квалификаций было охвачено 15 млн человек. Вместе с тем факты свидетельствуют о том, что новая система профтехобразования в 1917–1920 гг. зарождалась, с 1920-х гг. начала готовить рабочих механического труда, с первой пятилетки – трактористов, затем тракторных механиков и бригадиров. При этом трактор был основным энергетическим средством в сельскохозяйственном производстве. А в селах Кировской области в конце 1930-х гг. проживало 65,6% населения.

Очередной этап в развитии профессиональных учебных заведений связан с Указом Президиума Верховного Совета СССР от 2 октября 1940 г. «О государственных

трудовых резервах СССР». С этой даты официально началась история профессионально-технического образования в нашей стране. Предполагалось ежегодно мобилизовать на профессиональное обучение от 800 тыс. до 1 млн молодых людей. Расходы на подготовку государство брало на себя. А выпускники были обязаны не менее 4 лет трудиться на госпредприятиях. Вместо ФЗУ появились школы фабрично-заводского обучения (ФЗО) с 6-месячной подготовкой кадров по наиболее востребованным профессиям. Яранская школа тракторных бригадиров не стала исключением, и курсы ФЗО были открыты на ее базе. По имеющимся сведениям, с октября 1923 г. по июнь 1941 г. образовательной организацией для предприятий региона было подготовлено около 3,2 тыс. квалифицированных рабочих и специалистов.

Июнь 1941 г. В стране объявлена всеобщая и полная мобилизация мужчин призывного возраста. В июле Государственный Комитет Обороны СССР принял решение о переключении деятельности учебных заведений трудовых резервов на выполнение трудовых заказов. Яранская школа начала готовить механизаторов и бригадиров из женской части населения. А тракторы того времени не имели кабин, оснащались жестко закрепленными металлическими сиденьями и колесами со стальными грунтозацепами. Кроме того, технику нужно было их самостоятельно обслуживать и при необходимости ремонтировать. Но, несмотря на всю тяжесть лихолетья, через два года после начала Великой Отечественной войны численность женщин в бригадах МТС доходила до 80 % и более.

Режим военного времени отдавал приоритет массовым профессиям. Подготовка шла по ускоренным программам. Теоретическое обучение сокращалось до минимума. Согласно Приказу по Кировскому областному земельному отделу, вышедшему в первые месяцы войны, Яранская школа тракторных бригадиров объединялась с Котельничской автошколой. Организация получила название «Яранская школа механизации» и приступила к подготовке шоферов 3-го класса. Контингент обучающихся резко увеличился. Ежегодно разными профессиями овладевали 1200–1300 человек. Учебный процесс протекал в две смены.

Выпускники военных лет с учебной скамьи отправлялись на фронт или поступали на предприятия, выполнявшие оборонный заказ. Одним из них, проходившим обучение в школе ФЗО № 25 города Яранска с июня по декабрь 1941 г. и получившим

квалификацию столяра 4-го разряда, был Александр Дмитриевич Ваганов. Его именем заведение гордится по праву.

По окончании школы ФЗО А.Д. Ваганов трудился на Вятско-Полянском машиностроительном заводе. В октябре 1942 г. он был призван в Рабоче-Крестьянскую Красную Армию. Прошел курсы пулеметчиков. В должности командира пулеметного расчета воевал на Воронежском и Центральном фронтах. Участвовал в Курской битве и Орловской операции. За форсирование реки Днепр и проявленные при этом мужество и самоотверженность Указом Президиума Верховного Совета СССР от 17 октября 1943 г. старшему сержанту А.Д. Ваганову было присвоено звание Героя Советского Союза. В кровопролитных сражениях под Киевом в декабре 1943 г. Александр Дмитриевич Ваганов пропал без вести.

Итак, третий пятилетний план развития народного хозяйства (1938–1942 гг.) сорвала война. Система профессионального образования превратилась в часть огромной машины, работавшей на оборону страны. Принятие решений часто было связано с административным принуждением, чтобы вовремя скорректировать направления подготовки, скомплектовать учебные группы, назначить сроки и пересмотреть содержание обучения. Но учреждения трудовых резервов с 1941 по 1945 г. готовили по данным Г.А. Ткачевой [11, с. 47] 2 млн 460 тыс., а по данным Н.А. Выйкина [12, с. 64] 2 млн 475 тыс. квалифицированных рабочих. Около 800 из них стали Героями Советского Союза. Производство промышленной продукции к концу войны в 3 раза превысило довоенный уровень. Ценой героических усилий и самопожертвования на фронте и в тылу великий народ вынес суровое испытание.

Май 1945 г. Победа! Партия и правительство ставят задачи восстановления разрушенного хозяйства. Школа механизации не осталась в стороне от происходящих событий. Вчерашние фронтовики приступили к созидательному труду. Много мирных лет в учебном заведении трудились участники Великой Отечественной войны В.И. Багаев, В.В. Киселев, А.А. Лобанов, М.Ф. Насакин, В.Т. Хориков, А.А. Целищев.

Четвертый пятилетний план (1946–1950 гг.) предусматривал подготовить 4,5 млн рабочих кадров. Системе трудовых резервов необходимо было практически удвоить показатели приема и выпуска обучающихся. Для решения актуальной задачи в сентябре 1946 г. вышло Постановление Совета Министров СССР «О мерах по улучшению подготовки трудовых резервов

и увеличению количества рабочих, подготавливаемых в ремесленных, железнодорожных училищах и школах ФЗО». Документ включал перечень востребованных профессий, определял сроки обучения, устанавливал возраст учащихся. В том же году создано Министерство трудовых резервов (МТР), которое пришло на смену Главному управлению трудовых резервов и Комитету по учету и распределению рабочей силы.

Уже в первые два года пятилетки сеть учреждений трудовых резервов страны увеличилась с 2,5 до 4,2 тыс. В них принимали подростков 13–15 лет после окончания трех классов начальной школы. За 3 года учебы в учреждении им предстояло пройти программу 4 и 5 классов образовательной школы и получить рабочую квалификацию 4–5 разряда.

В Кировской области с 1940 по 1948 г. подготовлено более 93 тыс. рабочих. Почти 30,5 тыс. из них направлены в другие регионы СССР. Но в 1949 г. в областной системе трудовых резервов произошли существенные изменения. Из 47 школ ФЗО с числом учащихся 7295 человек осталось только 33 заведения с общей численностью 5847 обучающихся [13, с. 153].

Несмотря на то, что в заключительные годы намечился некоторый спад, четвертую пятилетку отличает общий рост подготовки рабочих кадров. Всего за 5 послевоенных лет школами и училищами трудовых резервов страны выпущено 3,4 млн рабочих.

В конце 1940-х гг. в структуре МТР СССР были созданы территориальные Управления. Кировскую область в 1948 г. отнесли к северным и западным экономическим районам.

Одно из главных заданий пятой (1951–1955 гг.) и шестой (1956–1960 гг.) пятилеток состояло в строительстве учебных корпусов для учреждений, осуществляющих подготовку рабочих. Финансовые расходы государственного бюджета РСФСР на организации профтехобразования за десятилетие выросли с 54,9 млн до 416,4 млн руб., то есть в 7,6 раза.

В 1952–1953 гг. заведения профтехобразования Кировской области полностью отошли к региональной структуре трудовых резервов. Свое 80-летие школа механизации отметила с новым названием – Яранское училище механизации сельского хозяйства № 19 Кировского областного Управления трудовых резервов. Подготовка востребованных колхозами и местными предприятиями бригадиров, механиков, трактористов, комбайнеров, шоферов, рабочих-ремонтников, электромонтеров, льнотеребилщиков продолжалась.

Закон «О преобразовании министерств СССР» в марте 1953 г. повлек реорганизацию МТР СССР в Главное управление профессионального образования с включением в состав Министерства культуры СССР. Спустя ровно год Постановление Совмина СССР переводило новую структуру из Минкульта в свое прямое подчинение с переименованием в Главное управление трудовых резервов при Совмине СССР. Следующие 5 лет его статус не менялся.

После снижения показателей в 1949–1954 гг. план подготовки рабочих на 1954/55 учебный год по стране был увеличен на треть. Кировская область в это время была переведена в Управление территорий Урала, Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии. Количество заведений трудовых резервов в области за 1954 г. увеличилось с 29 до 37, а контингент обучающихся вырос с 4826 до 9194 человек.



Рис. 2. Группа учащихся Яранского училища механизации, направленных на уборку урожая целинных и залежных земель (1955 г.)

Яранское училище механизации в начале 1950-х гг. обновило учебное оборудование и технику. Внедрялись новые программы подготовки. Совершенствовались методы обучения и воспитания. Вместо инструкторов был утвержден штат мастеров производственного обучения. Их обязанности заключались в проведении практических занятий и работе с учебными группами вместе с классными руководителями. В 1955 г. училище подготовило 90 квалифицированных кадров для освоения целинных и залежных земель (рис. 2).

При всем этом за годы пятой пятилетки в стране выпущено только 2,3 млн рабочих. Причины снижения связаны с низкой рождаемостью в годы войны и расширением кадровой подготовки на производственных предприятиях. В этой связи особое значение приобрел Указ Президиума Верховного Совета «Об отмене призыва (мобилизации) молодежи в ремесленных училищах и железнодорожных училищах», вышедший в марте 1955 г. и постановивший свободное

поступление в учебные заведения на основе личных заявлений.

Итоги шестой пятилетки оказались позитивнее результатов пятой пятилетки. Снижение количества подготовленных квалифицированных рабочих в первой половине 1950-х гг. удалось стабилизировать во второй половине десятилетия. Но назрели противоречия вокруг самой системы трудовых резервов. В 1959 г. Главное управления трудовых резервов Совмина СССР было преобразовано в Государственный комитет Совмина СССР по профессионально-техническому образованию. В общем и целом, к началу 1960-х гг. система подготовки рабочих кадров реализовывала и реагировала на запросы советской экономики.

В период семилетки (1959–1965 гг.) и восьмой пятилетки (1966–1970 гг.) расходы на подготовку кадров в СССР существенно увеличились. Причем, как и в прошлое десятилетие, наибольший рост произошел в системе профтехобразования. В 1970 г. государственные ассигнования на ее развитие по РСФСР достигли 736 млн руб., что в 1,8 раза больше, чем в 1960 г. Как следствие, учебных организаций стало больше в 1,3 раза, обучающихся в них – в 1,9 раза, а принимаемых – в 2,2 раза и количество их превысило 1 млн 100 тыс. человек.

Постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР «Об улучшении руководства профессионально-техническим образованием в СССР» в июле 1959 г. запущен процесс реорганизации учреждений трудовых резервов в профессионально-технические училища. Учебные заведения переводились в подчинение Совминов союзных республик. На них возлагались планирование, финансирование и снабжение, организация

приема, обеспечение процесса подготовки и распределение рабочих по совнархозам.

В стране началось создание типовых училищ – городских и сельских, дневных и вечерних. Базовым уровнем образования стала 8-летняя школа. Приказом Кировского областного управления профтехобразования № 125 от 18 мая 1963 г. Яранское училище механизации преобразовано в «Яранское сельское профессионально-техническое училище № 10».

Об учебе в 1960-х гг. в стенах учебного заведения вспоминает выпускник курсов механизаторов 1967 г. А.В. Зверев. Директором училища в то время был А.А. Целищев. Обучение проходило в корпусах, расположенных на улицах Ленина и Гоголя. Выдавалась спецодежда для практического обучения. Учеба заканчивалась в разное время, но обязательным было ежедневное построение на общей линейке перед началом и по завершению занятий. Их проводили на территории двора училища. На линейках дежурный мастер проверял явку и ставил учащихся на питание. Завтраком, обедом и ужином кормили в небольшой деревянной столовой рядом с главным корпусом. Молодежи училось очень много, и не только из Яранска, ближних сел и деревень, но и из других районов области. Кроме юношей в училище стали поступать девушки. Хотя их количество еще долго оставалось незначительным. Для молодых людей проводились мероприятия в Клубе механизаторов. На танцевальных вечерах играл духовой оркестр. А.В. Зверев, как и М.Н. Залешин, отмечает, что в училище получил качественную подготовку с опытом работы на разных видах машин. Поэтому выбор трудовой деятельности остался за сельским хозяйством.



Рис. 3. Торжественное открытие памятника Герою Советского Союза А.Д. Ваганову (9 мая 1971 г.). Памятник в наши дни

Указом Президиума Верховного Совета РСФСР в августе 1965 г. Яранскому СПТУ № 10 присвоено имя Героя Советского Союза Александра Дмитриевича Ваганова. Событием для учебного заведения и города стало открытие 9 мая 1971 г. памятника А.Д. Ваганову (рис. 3). Статую отлили в Ленинграде по проекту скульптора Э.Р. Озоля. Необходимые средства заработали обучающиеся и сотрудники училища. На торжественной церемонии присутствовала мать солдата Прасковья Михайловна и сестра Антонина Дмитриевна. Право открыть памятник было предоставлено отличникам учебы Виталию Созонову и Валентине Бусыгиной вместе со старейшим работником заведения Н.П. Смирновым [14].

Традиционным стало возложение сотрудниками учреждения в День Победы венка к памятнику А.Д. Ваганова, почитание ратного и трудового подвига советского народа минутой молчания. В музее образовательной организации размещен стенд, посвященный Александру Дмитриевичу. На протяжении многих лет до недавнего времени в училище и техникуме трудилась племянница Героя Советского Союза, Т.А. Кислицина.

В целом к концу восьмой пятилетки, спустя четверть века после окончания Великой Отечественной войны, система профессионально-технического образования СССР, будучи под пристальным вниманием государства, превратилась в крупную и слаженную структуру подготовки квалифицированных кадров для промышленности, сельского хозяйства и сферы услуг. В 1970 г. сеть включала 3257 учебных заведений, в которых обучалось 1 млн 406 тыс. человек. Но масштабы экономики требовали дальнейшего наращивания показателей подготовки рабочих среди молодежи. Кроме того, нуждалось в пересмотре содержания образования. Новые рубежи были определены в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему улучшению подготовки квалифицированных рабочих кадров в учебных заведениях системы профессионально-технического образования» в 1969 г. Документ предусматривал создание средних профтехучилищ, в которых учащиеся могли получать среднее общее образование и овладевать профессией.

На период девятой (1971–1975 гг.) и десятой (1976–1980 гг.) пятилеток приходится время интенсивного развития системы профессионально-технического образования в стране. Расходы госбюджета по РСФСР на подготовку рабочих кадров возрастают до 1 млрд 154 млн руб. в 1975 г. и до

1 млрд 373 млн руб. в 1980 г. В относительном выражении финансовые вложения в систему за 10 лет увеличились на 86,5%. Кроме государственных ассигнований, привлекались средства регионов и базовых предприятий.

Значительные изменения произошли в Яранском сельском профтехучилище. Новое 3-этажное здание с просторными кабинетами в 1973 г. присоединилось к учебному корпусу на улице Ленина. Позднее к нему примкнул пристрой со столовой на 120 мест, актовым залом на 180 мест, спортзалом площадью 400 м², тренажерным залом и лабораторией кондитеров.

В 1976 г. построен 2-этажный корпус на улице Северной. На следующий год рядом возведено 3-этажное общежитие (теперь здание межрайонной ИФНС России № 5 по Кировской области). В 1979 г. начались занятия в новом лабораторном корпусе по изучению автотракторной техники и сельскохозяйственных машин.

Перемены затронули направления и содержание подготовки. Училище стало готовить универсальных рабочих: тракторист-машинист широкого профиля и водитель автомобиля с квалификацией слесаря; электромонтер с правом управления автомобилем; портной женской одежды с умениями производить раскрой и ремонт; повар предприятий общественного питания. Новый уровень развития учебного заведения был достигнут созданием и переоснащением аудиторий, лабораторий и мастерских, использованием современных дидактических материалов, методической работой с инженерно-педагогическим составом.

В нескольких километрах от города в д. Кадаево развивалось учебное хозяйство с пахотной площадью около 700 га и свинофермой. Совместный труд с полеводцами и животноводами, мастерами производственного обучения и преподавателями способствовал формированию у обучающихся опыта хозяйственных работ, умений управлять техникой и пользоваться технологическим оборудованием. Учебное заведение располагало большим машинным парком: 48 колесных и гусеничных тракторов, 15 самоходных комбайнов, 94 прицепных и навесных машины и орудия, 30 грузовых и легковых автомобилей. Хозяйство в значительной степени обеспечивало столовую училища продуктами питания.

Приказом Кировского областного управления профтехобразования № 122 от 20 июля 1976 г. «О преобразовании сельских профессионально-технических училищ области в средние сельские профессионально-технические училища» учебное

заведение изменило статус и наименование на «Среднее сельское профессионально-техническое училище № 10 имени Героя Советского Союза А.Д. Ваганова». С этого времени обучающиеся стали осваивать курс общего среднего образования, а после окончания имели возможность поступать в вузы.

Следует констатировать, что к началу 1980-х гг. в СССР сформировалась и эффективно работала система профессионального образования рабочих и специалистов, которая готовила кадры для всех отраслей народного хозяйства [3, с. 185]. Количество учебных заведений профтехобразования по стране к 1980 г. возросло до 4045, а обучающихся – до 1 млн 947 тыс. Иными словами, рост за 10 лет по первому показателю составил 24%, а по второму – 38,5%. И процесс совершенствования продолжался. В 1978 г. на базе Государственного Комитета Совмина СССР был образован Государственный Комитет СССР по профессионально-техническому образованию.

В годы одиннадцатой (1981–1985 гг.) и двенадцатой (1986–1990 гг.) пятилеток, наряду с количественными, происходят качественные изменения в системе профессионально-технического образования СССР. Расходы на подготовку рабочих продолжают расти, хотя и в меньших размерах. В 1985 г. из государственного бюджета РСФСР на функционирование и развитие образовательных организаций системы выделено 1 млрд 424 млн руб., что на 3,7% больше, чем в 1980 г. Максимальное количество – 4419 учреждений профессионально-технического образования с общей численностью 2 млн 223 тыс. обучающихся – в Советском Союзе исторически зафиксировано в 1987 г. Число направлений профессиональной подготовки рабочих превышало 1000.

Постановление Верховного Совета СССР «Об основных направлениях реформы общеобразовательной и профессиональной школы» в апреле 1984 г. № 13-ХІ предусматривало новую структуру образования; удвоение численности и удельного веса выпускников 9-х классов, поступающих в профтехучилища; повышенное внимание общеобразовательной подготовке; увеличение капиталовложений на развитие сети средних профессионально-технических училищ.

Выполнение директив в Яранском училище происходило на основе новых педагогических технологий, актуализации программ обучения, использования компьютеров и т.д. Заведение первым в районе установило комплекты учебных электронно-вычислительных машин. Курс информатики осваивался с использованием ЭВМ БК-0010. Обучаю-

щиеся проходили производственную практику на Горьковском и Ульяновском автомобильном заводах. Сложилась партнерские отношения с крупными предприятиями, ставшими базовыми, – передовыми колхозами и совхозами, районным потребительским обществом, швейной фабрикой, предприятием электросетей, птицефабрикой, механическим заводом и др.

Переименования организации в последнее десятилетие советского периода продолжились. На основании Приказа Государственного Комитета РСФСР по профессионально-техническому образованию от 4 сентября 1984 г. № 213 Кировским областным управлением профтехобразования 24 сентября того же года издан Приказ № 430 о реорганизации профтехучилищ и приведении их к одному типу с новой нумерацией. Учебное заведение в Яранске стало средним профессиональным техническим училищем № 40. Позднее, в 1989 г., – профтехучилищем № 40. При этом имя А.Д. Ваганова в названии сохранялось.

По итогам одиннадцатой пятилетки число учреждений профессионально-технического образования в стране увеличилось на 151 и достигло 4196, а численность обучающихся возросла на 40 тыс. и составила 1 млн 987 тыс. А главным результатом двенадцатой пятилетки стало количество подготовленных системой квалифицированных рабочих кадров – 6 млн 802 тыс. человек! Более 93% из них имели общее среднее образование.

Но устранить накопившиеся противоречия, придать импульс развитию и модернизировать отечественное образование, последней советской школьной реформе не удалось. Причина заключалась в том, что идеологические принципы намеченных преобразований в условиях государственной перестройки не оказались востребованными. Многие положения реформы потеряли актуальность [15, с. 194]. Более того, Указом Президиума Верховного Совета СССР в марте 1988 г. Государственный Комитет СССР по профтехобразованию был упразднен в связи с созданием Госкомитета СССР по народному образованию. Отлаженная десятилетиями система теряла устойчивость и начала разрушаться.

Обобщая перечисленные факты и сведения, необходимо признать, что за годы социализма в Яранском профессиональном учебном заведении создавалась необходимая для подготовки квалифицированных кадров материально-техническая база, которая и в настоящее время позволяет решать задачи профессионального образования. Наиболее благоприятными стали 1970-е

и 1980-е гг., когда неустанная забота государства о трудовом воспитании и профессиональном становлении молодого поколения, а также усилия директоров – Анатолия Алексеевича Целищева, Александра Филипповича Кротова, Анатолия Никитьевича Баранова – обеспечивали стремительное наращивание учебно-производственного потенциала училища.

К советскому времени относится и строительство 5-этажного общежития училища на 440 мест с благоустроенными комнатами, кухнями и душевыми. Ввод здания в эксплуатацию состоялся в 1993 г. Возводилось в тот период и жилье для сотрудников учебного заведения. К сожалению, оказались нереализованными планы строительства нового учебного корпуса.

Заключение

С 1917 по 1991 г. Яранская профессиональная образовательная организация пережила многочисленные преобразования:

- 1) учебно-производственная мастерская (1918 г.);
- 2) профессионально-техническая школа (1923 г.);
- 3) школа тракторных механиков (1933 г.) и бригадиров (1939 г.);
- 4) школа механизации (1941 г.);
- 5) училище механизации (1953 г.);
- 6) профессионально-техническое училище (1963 г.);
- 7) среднее сельское профтехучилище (1976 г.);
- 8) среднее профессионально-техническое училище (1984 г.).

Каждый раз со сменой статуса, как показано, были связаны наиболее важные события в истории учреждения с предшествующим славным прошлым и устремляющимися в будущее целями. Поэтому имеет смысл считать названные даты основными ступенями становления учебного заведения в течение рассматриваемого времени.

Вместе с тем наблюдается цикличность исторических перемен в советской системе профессионально-технического образования. Плановая экономика предопределила, а последовательность стратегических задач пятилеток закрепила, каждые 10 лет с 1920 г. количественно-качественные переходы между циклами к очередным фазам развития системы подготовки кадров рабочих и служащих в соответствии с проводимой политикой государства при общей тенденции повышения требований к содержанию и качеству образования.

1920-е гг. Ликвидация технической безграмотности. Учебная профтехническая повинность. Политехнизация и широкая под-

готовка рабочих машинного производства в системе ФЗУ.

1930-е гг. Реализация первых пятилетних планов. Всеобщее образование в объеме семилетки. Подготовка кадрового ресурса для индустриализации и подъема сельского хозяйства страны.

1940-е гг. Создание и развитие государственных трудовых резервов. Трудовая мобилизация и подготовка кадров для обеспечения обороны и последующего восстановления хозяйства.

1950-е гг. Преодоление демографического кризиса и стабилизация контингента. Гуманизация профессионального определения молодежи. Реорганизация системы трудовых резервов.

1960-е гг. Становление системы управления профтехобразованием в союзных республиках. Типизация и интенсивное расширение сети заведений. Переход на базу 8-летней школы.

1970-е гг. Модернизация технического оснащения учебных заведений. Привлечение финансовых средств регионов и предприятий. Внедрение общего среднего образования.

1980-е гг. Обновление содержания образования с ориентацией на высокотехнологичное производство и сервис. Повышение требований к уровню приобретаемой подготовки.

Таким образом, наряду с доступностью и бесплатностью неоспоримым достижением социализма в сфере образования стало создание и функционирование гибкой и эффективной государственной системы подготовки рабочих и служащих при высоком уровне материально-технического развития учебных заведений страны.

В завершающей статье из цикла публикаций по истории Яранского технологического техникума будет охвачен период после распада Советского Союза по настоящее время.

Список литературы

1. Кравченко Т.А., Чибиков А.С. Страницы истории Яранского технологического техникума: дореволюционный период // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12–2. С. 436–441.
2. История профессионального образования в России. М.: Ассоциация «Профессионального образования», 2003. 672 с.
3. Белозерцев Е.П., Гонеев А.Д., Пашков А.Г. и др. Педагогика профессионального образования: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / Под ред. В.А. Сластенина. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 368 с.
4. Скоробогатов А.В., Иуков Е.А. История становления и развития профессионального образования в России (XVIII–XX вв.) // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2017. № 2 (26). С. 181–185.
5. Становление и развитие системы профессионального образования в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: http://nto.immpu.sgu.ru/sites/default/files/3/_56958.pdf (дата обращения: 15.11.2018).

6. Отчет Вятского Губернского Отдела Народного Образования (за время с 1 сентября 1920 г. по 15 февраля 1921 г.) [Электронный ресурс]. URL: <ftp://ftp.herzenlib.ru:3333/002014860.pdf> (дата обращения: 12.11.2018).
7. История техникума [Электронный ресурс]. URL: <https://yagtt.com/o-tekhnikume/istoriya-tekhnikuma.html> (дата обращения: 10.11.2018).
8. ГАКО. Отчет о ходе работы Яранской профтехшколы с 1 октября 1923 года по 1 января 1924 года. Составлен зав. школой Ростовцевым. Ф. 1137, оп. 1, д. 1310, л. 65–66.
9. ГАКО. Устав Яранской профтехшколы. Ф. 1137, оп. 1, д. 1797, л. 116–118 об.
10. Захаровский Л.В. Советская система профтехобразования и процесс мобилизационной модернизации в СССР // Научный диалог. 2015. № 5 (41). С. 48–76.
11. Ткачева Г.А. Подготовка кадров для промышленности и транспорта (1941–1945 гг.) // Россия и АТР. 2006. № 4. С. 44–57.
12. Выйкин Н.А. Исторический опыт регулирования советским государством развития системы начального профессионального образования в 1940–1990-х годах // Вестник Чувашияского университета. 2017. № 4. С. 62–71.
13. Чернышева Н.В. Мобилизация молодежи Кировской области в систему трудовых резервов (1940–1955 гг.) // История: факты и символы. 2018. № 3 (16). С. 151–159.
14. Колчина М.П. Александр Дмитриевич Ваганов (1924–1943) [Электронный ресурс]. URL: http://yaransk-biblioteka.ru/aleksandr_dmitrievich_vaganov/ (дата обращения: 12.11.2018).
15. Овчинников А.В. О реформе советской школы 1984 г. // Пространство и время. 2014. № 4 (18). С. 190–194.

УДК 37.012

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИИ ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

¹Шевченко И.А., ¹Соткина С.А., ¹Ниязбаева Е.А., ¹Зимовец Е.Г., ²Бикмаева А.В.

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина»,
Нижегород, e-mail: irina-dzr52@mail.ru;

²Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ,
Дзержинский филиал, Дзержинск

В статье рассмотрена актуальная проблема формирования коэволюционных ценностей, где опережающую роль выполняет система образования. В качестве приоритетного направления в современных условиях выступает дополнительное геоэкологическое образование, которое выполняет опережающую и консолидирующую функции в достижении устойчивого развития. Обосновано, что особую значимость в геоэкологическом образовании приобретает экологическое ландшафтоведение. Система мировоззренческих идей этого направления ландшафтоведения служит основой развития коэволюционных ценностей. В статье рассматриваются такие вопросы, как особенности экологизации прикладного ландшафтоведения в системе дополнительного геоэкологического образования, становление коэволюционных мировоззренческих ориентаций на основе знаний по экологии городского ландшафта г. Дзержинска, формирование у учащихся экологического стиля мышления, признание универсальной ценности и самоценности природного комплекса городского ландшафта, ответственности за сохранение природных основ жизни. Городской ландшафт г. Дзержинска в образовании рассматривается как эколого-географическое образовательное пространство, как пространство возможностей самопознания, самореализации личности. В статье раскрыта актуальность ведения кружковой деятельности и ее ландшафтная направленность, которая объясняется рядом педагогических проблем, на решение которых направлено его содержание и технологии. В данной статье мы рассмотрели особенности реализации ландшафтного обучения в дополнительном геоэкологическом образовании в достижении географической культуры на примере разработанной нами авторской программы культурно-экологического кружка «Экология городского ландшафта». Установлено, что во внеурочной деятельности в самой школе или в учреждении дополнительного образования ученики могут углубить и расширить эти знания через различные виды практической краеведческой деятельности. Материалы статьи представляют практическую ценность, направленную на поддержку и развитие дополнительного геоэкологического образования.

Ключевые слова: городской ландшафт, экология, коэволюционные ценности, кружок, дополнительное геоэкологическое образование

THE STUDY OF THE ECOLOGY OF THE URBAN LANDSCAPE IN THE ADDITIONAL ECOLOGICAL EDUCATION

¹Shevchenko I.A., ¹Sotkina S.A., ¹Niazbaeva E.A., ¹Zimovets E.G., ²Bikmaeva A.V.

¹Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after K. Minin,
Nizhny Novgorod, e-mail: irina-dzr52@mail.ru;

²Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Branch, Dzerzhinsk

The article deals with the actual problem of the formation of co-revolutionary values, where the leading role is played by the education system. The priority direction in modern conditions is the additional geo-ecological education which carries out the advancing and consolidating functions in achievement of sustainable development. It is proved that the special importance in geoecological education, acquires ecological landscape studies. The system of worldview ideas of this direction of landscape studies serves as the basis for the development of co-revolutionary values. The article deals with such issues as the features of greening applied landscape science in the system of additional geo-ecological education, the formation of co-evolutionary worldview orientations based on knowledge of the ecology of the urban landscape of Dzerzhinsk, the formation of students' ecological style of thinking, the recognition of the universal value and self-value of the natural complex of the urban landscape, responsibility for the preservation of the natural foundations of life. Urban landscape of the city Dzerzhinsk in education is considered as an ecological and geographical educational space, as a space of opportunities for self-knowledge, self-realization of the individual. The article reveals the relevance of the introduction of circle activities and its landscape orientation, which is explained by a number of pedagogical problems, the solution of which is aimed at its content and technology. In this article we have considered the features of the implementation of landscape education in additional geo-ecological education in the achievement of geographical culture on the example of the author's program of cultural and ecological circle «Ecology of urban landscape». It is established that in extracurricular activities in the school itself or in the institution of additional education, students can deepen and expand this knowledge through various types of practical local history activities. The materials of the article are of practical value, aimed at supporting and developing additional geo-ecological education.

Keywords: urban landscape, ecology, coevolutionary values, circle, additional geo-ecological education

Современные процессы модернизации российского образования связаны с его ориентацией на духовно-нравственное воспитание личности, становление ее экологи-

ческой ответственности. В дополнительном геоэкологическом образовании уникальным культурологическим, экологическим, гуманистическим потенциалом в становлении

духовности и нравственности обладает ландшафтный компонент. В системе дополнительного геоэкологического образования особое место приобретает экологизация прикладного ландшафтоведения, связанная с изучением экологии городского ландшафта, в частности города Дзержинска Нижегородской области [1]. Гуманистический потенциал городского ландшафта проявляется в осознании учащимися себя как части природы и социума, в выполнении различных социально значимых ролей в гражданском обществе на данном этапе исторического развития. Культурологический потенциал городского ландшафта в рамках школьной географии связан с самоидентификацией учащихся в геокультурном пространстве на основе означивания объектов наследия и осознания их материальной и духовной ценности (личной, национальной) во взаимосвязи поколений, во временном развитии в прошлом, настоящем и будущем. При этом объекты городского ландшафта, означенные и эмоционально «присвоенные» учащимися, становятся внутренним ориентиром их нравственных и патриотических поступков в реальной жизни, выполняют нравственно-регулирующее значение.

Цель исследования: рассмотреть особенности изучения городского ландшафта в рамках экологизации школьной географии в системе дополнительного геоэкологического образования, формирование у учащихся экологического стиля мышления, признание универсальной ценности и самоценности природного комплекса городского ландшафта, ответственности за сохранение природных основ жизни. Изучение городского ландшафта в рамках экологизации школьной географии предполагает включение в содержание реальных геоэкологических проблем ландшафта г. Дзержинска, что обеспечивает мотивацию учащихся и означает духовно-нравственные символы географической среды. Данные подходы предполагают создание ситуаций духовно-нравственного выбора, выявление учащимися экологических проблем, связанных с сохранением городского ландшафта, а также развитие опыта принятия решений и готовности к осуществлению осознанной деятельности. Важным условием изучения экологии городского ландшафта в дополнительном геоэкологическом образовании является образовательная программа кружка «Экология городского ландшафта», разработанная авторами статьи [2].

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели и в соответствии с выдвинутыми положе-

ниями использовались методы, связанные с развитием аффективной и волевой сфер, а также субъектного отношения, в частности метод экологической эмпатии (сопереживания), экологической идентификации, экологической рефлексии, методы и формы обучения, позволяющие вызвать эмоциональное состояние, сопереживание, методы описания, направленные соединить эмоциональное восприятие с приемами умственной деятельности, методы экологических ожиданий, экологической заботы, практические методы [3]: использование высказываний известных людей о пейзажах нашего городского ландшафта (Н. Сафронов, Н. Шальнов), использование фоторабот (Н. Карпов), из личного архива учащихся и известных дзержинских фотохудожников (С. Лобанов) эмоциональный рассказ учителя, включение фрагментов высокохудожественных произведений прозы и поэзии («Наш славный Дзержинск»), показ слайдов, кино- и видеоматериалов, наиболее полно определяющих образ городского ландшафта, посещение городского парка, дендрария Ильешевича, использование звукозаписей, «голосов» природы, экскурсии по городу виртуальные и реальные, апелляция к собственным впечатлениям, эвристическая беседа, что необходимо для панорамности городского ландшафта Дзержинска в пространственном и временном плане [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Программа авторского кружка «Экология городского ландшафта» рассчитана на 2 года, которая ориентирована на учащихся 8–9 классов. В процессе изучения предполагается взаимосвязь теоретических, практических и коммуникативных видов деятельности. «Экология городского ландшафта» является интегрированной программой, сочетая в себе такие направления ее изучения, как географическое, экологическое, краеведческое, историческое, биологическое [5]. Цель программы – формирование географической и экологической культуры учащихся при изучении экологии городского ландшафта. Задачи программы: углубление знаний учащихся о городском ландшафте, их осознание; развитие продуктивной самостоятельности при решении экологических проблем городского ландшафта; формирование ценностного отношения к городскому ландшафту [6].

Особую роль в формировании геоэкологической культуры учащихся играют коммуникативные технологии. В кружковой деятельности нами активно используются

модульные и кейс-технологии. Покажем на указанных ниже примерах использование геоэкологического модуля и решение кейс-задач при изучении особенностей городского ландшафта г. Дзержинска [7].

Геоэкологический модуль на основе проектной технологии «Памятники культурного наследия в городском ландшафте г. Дзержинска вчера и сегодня» (апробированный при участии учителя И.С. Обуховой). Структура модуля:

1. *Лекция «Культурное наследие городского ландшафта г. Дзержинска. Что ты знаешь о нем?»*. План лекции: Блок 1. Архитектура и строительство г. Дзержинска. Структура современного города. Классификация памятников культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска. Ключевые понятия: архитектура, городской ландшафт г. Дзержинска, классическая формула архитектуры, функции и специализация города, памятник культурного наследия. Блок 2. Памятники культурного наследия в городе. Воздействие внешней среды на памятники культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска. Воздействие человека на памятники культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска. Ключевые понятия: факторы воздействия, виды воздействия, ветровая абразия, кислотные осадки, антропогенная деятельность, уровень антропогенной нагрузки.

2. *Семинар «История городского ландшафта г. Дзержинска в памятниках культурного наследия»*. Цель: Знакомство с историей города, памятниками культуры, особенностями градостроительства. Темы сообщений для семинара: «Дзержинск в глазах краеведов», «Этапы становления городского ландшафта г. Дзержинска», «Памятники культуры городского ландшафта г. Дзержинска: история их создания и современное состояние». Почвы как «зеркало» городского ландшафта: да или нет? Этапы подготовки и проведения семинара. 1. *Подготовительный этап*. Особенности: Деление на группы, подготовка сообщений, распечатка фотографий, отражающих исторический и современный облик города. Доклады могут оформляться как в виде презентаций, так и в виде творческих проектов на ватмане. План презентации (доклада): Название памятника культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска. Категория. История создания. Исторический вид памятника. Современное состояние памятника. Проблемы. 2. *Рабочий этап*. Особенности: Выступление участников группы с докладами о памятниках городского ландшафта г. Дзержинска, их историческом и современном состоянии, состав-

ление маршрута для экскурсии. На основе докладов учащиеся обсуждают, заполняют таблицу, и составляют в зависимости от интересов. 3. *Подведение итогов*. Особенности: Утверждение маршрута по улицам городского ландшафта г. Дзержинска для экскурсии. При составлении маршрута учитываются интересы учащихся.

3. *Экскурсия по городу: «Сокровища городского ландшафта г. Дзержинска»*. Цель: Знакомство с современным состоянием памятников культурного наследия, выявление факторов воздействия, оценка степени воздействия внешней среды на памятники культурного наследия городского ландшафта. Деятельность учащихся во время экскурсии: Подготовка фото. Заполнение маршрутного листа с указанием видов воздействия факторов внешней среды, современного состояния городского ландшафта г. Дзержинска. Деятельность учащихся после экскурсии: Составление картотеки «Памятники культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска».

4. *Практическая работа «Сохраним культурное наследие городского ландшафта г. Дзержинска»*. Цель: Изучение способов сохранения памятников культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска, способов реставрации, современное законодательство в области сохранения культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска. Этапы: Изучение статей о способах сохранения памятников городского ландшафта г. Дзержинска. Просмотр фильмов о современных способах реставрации памятников. Приведение примеров действия законов в городе. Разработка собственного плана действий по сохранению памятников культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска. В итоге учащиеся создают авторский проект: «Мой вклад в сохранение памятников культуры городского ландшафта г. Дзержинска», при создании проекта прослеживаются следующие этапы.

1. *Ценностно-ориентационный этап*. Деятельность учителя: мотивация к разработке, раскрытие значимости составления электронной карты «Памятники городского ландшафта г. Дзержинска», плана по сохранению памятников культурного наследия в виде электронного приложения. Деятельность учащихся: осознание мотива деятельности, значимости проектной работы. 2. *Конструктивный этап*. Деятельность учителя: объединение учащихся в группы, проведение консультаций, подготовка плана работы. Деятельность учащихся: включение в проектную деятельность, систематизация накопленной информации, поиск дополнительных сведений. 3. *Оценочно-*

рефлексивный этап. Деятельность учителя: Стимулирование учащихся к самоанализу, консультирование. Деятельность учащихся: самооценка деятельности. Оформление электронной карты городского ландшафта г. Дзержинска, с указанием категории, основных исторических сведений, местоположения, проблем, а также составление электронного приложения, отражающего способы сохранения культурного наследия городского ландшафта г. Дзержинска.

4. Презентативный этап. Деятельность учителя: организация обсуждения проекта, самооценки учащихся. Деятельность учащихся: защита проекта, самооценка собственной деятельности.

Для достижения поставленной цели нами активно используются кейс-технологии при изучении городского ландшафта г. Дзержинска.

Тема кейса: «Экологические проблемы городского ландшафта г. Дзержинска» (апробированный учителем И.С. Обуховой).

Цель: Создание условий для формирования представлений об экологических проблемах городского ландшафта г. Дзержинска и путях их решения.

Планируемые результаты: *Предметные:* научатся анализировать источники географической информации в виде статей, рассмотрят основные экологические проблемы городского ландшафта г. Дзержинска, возникшие в результате развития химической промышленности, познакомятся с основными видами природоохранной деятельности на территории городского ландшафта. *Метапредметные:* владея устной речью, смогут выдвигать версии решения экологических проблем городского ландшафта г. Дзержинска, формулировать гипотезы, строить рассуждения на основе синтеза и анализа полученной информации. *Личностные:* обучающиеся осознают ценность умения вести диалог на основе взаимного уважения, научатся отстаивать свою позицию по отношению к городскому ландшафту г. Дзержинска, сформируют потребность в самовыражении и самореализации.

Средства обучения: публикации в местных СМИ, статьи из Интернет-ресурсов

Этапы работы над кейсом

1. Этап – организационный. На данном этапе происходит знакомство с источниками информации в виде статей из Интернет-ресурсов, местных СМИ, в которых отражены экологические проблемы городского ландшафта г. Дзержинска, история возникновения экологических проблем городского ландшафта, причины, высказаны мнения экологов о современной экологической ситуации, о проектах в сфере экологии город-

ского ландшафта г. Дзержинска. Материалы кейса: 1. Проект «Открой Дзержинск заново» (статья о проведении исследований РГО об экологической ситуации городского ландшафта г. Дзержинска и необходимости изменения сознания молодежи путем вовлечения в проекты по сохранению и улучшению окружающей среды) 2. Завод им. Я.М. Свердлова «План, победы, снова цели» (В статье описана история завода, деятельность на современном этапе, природоохранная и экологическая деятельность предприятия и влияние на особенности городского ландшафта г. Дзержинска) 3. «Дзержинск и экологи. История о том, чем занимаются экологические организации, а чем нет». (В статье говорится о наследии, оставшемся от советских времен в виде хранилищ симозина в районе завода им. Я.М. Свердлова, «Белого моря», «Черной дыры», несанкционированных свалок и их влияние на особенности городского ландшафта г. Дзержинска). Описана деятельность экологической организации «Дронт») 4. «Экологии дали год» (Статья о направлениях в природоохранной деятельности г. Дзержинска) 5. «Экономической основой города являются предприятия химической промышленности» (Статья о том, что экономика города строится на предприятиях химической промышленности и о дальнейшем развитии промышленности в данном направлении и их влияние на особенности городского ландшафта г. Дзержинска).

2. Этап операционный. На данном этапе предполагается самостоятельная работа учащихся, анализ представленной информации. Данный этап предполагает деление учащихся на 4 группы, в зависимости от тематики статей. Группа 1. «Историки». Деятельность учащихся: Анализируют интервью с директором В. Рыбиным о современном состоянии завода им. Я.М. Свердлова. Задания учащимся: 1. Изучить историю завода, деятельность завода в разные исторические периоды. 2. Изучить особенности развития предприятия в современный период. Анализ деятельности (открытие новых производств, природоохранная деятельность, экологическая политика). 3. Вклад завода в оздоровление граждан и забота о благополучии горожан. Какие культурно-исторические объекты г. Дзержинска тебе известны? [7].

2. «Журналисты». Деятельность учащихся: Анализ статьи «Открой Дзержинск заново» Задания учащимся: 1. Изучить материалы статьи и проанализировать экологическую ситуацию в Дзержинске на основе исследований РГО. 2. Рассмотреть деятельность депутатов по улучшению экологиче-

ской обстановки средствами формирования экологической культуры у молодежи. Внедрение молодежных проектов. Перечислите, какие культурные городские ландшафты вам известны. Отметьте на карте города данные участки.

3. «Экологи». Деятельность учащихся: Анализ статьи «Дзержинск и экологи. История о том, чем не занимаются экологические организации, а могли бы». Задания учащимся: 1. Выявить экологические проблемы, возникшие в Дзержинске в результате работы промышленных предприятий в советское время и на современном этапе. 2. Заполнить таблицу «Горячие точки Дзержинска» с подробным описанием экологического состояния объектов. 3. Проанализировать результативность экологического центра «Дронт» на территории города, сделать выводы.

4. «Картографы». Деятельность учащихся: Составление картосхемы, на которой обозначены экологически неблагоприятные районы городского ландшафта Дзержинска и Володарского района, а также социальные и природные объекты, находящиеся вблизи, для дальнейшего изучения влияния загрязнений на здоровье человека и окружающую среду в целом. 1. Найти на карте крупные промышленные предприятия города, экологически неблагоприятные территории (несанкционированные свалки, хранилища химических отходов «Белое море», «Черная дыра»). Задания учащимся: 1. Составить картосхему «Горячие точки городского ландшафта Дзержинска» с указанием конкретных экологически неблагоприятных объектов и социальных объектов, находящихся вблизи. В разделе «Окультуривание и особенности ухода за ближайшим окружением (на примере парка/водоема)» рассматриваются следующие вопросы по изучению экологии городского ландшафта: Выделение элементов ландшафта, необходимых при планировании и уходе за ландшафтом. Проверка запланированных изменений и их последствия в природе. Защита компонентов культурного ландшафта города от неблагоприятных условий. Основы ухода за ландшафтами парка (водоема). Уход за защитными насаждениями. Способы управления культурными ландшафтами. Ландшафтное оформление. Цветочное оформление. Уход за поврежденными деревьями. Проекты культурных городов будущего, их оценка с позиции повышения качества жизни. Можно организовать экскурсию на объекты природного и культурного наследия, в зависимости от расположения школы, в частности на естественные лесные массивы и участки леса на терри-

тории городского ландшафта Дзержинска и Володарского района как памятника. Возможен и другой вариант, а именно проведение ролевой игры: «Какие животные могут стать домашними» – школьники исполняют «роли» охраняемых видов животных и рассказывают о значении их в природе и жизни человека, обосновывает необходимость их сохранения. В итоге выполняется творческая работа «Ландшафты города: взгляд в будущее» (создание и защита авторских проектов) [8].

3. *Этап – рефлексивно-презентативный.* На данном этапе учащиеся обобщают информацию, делают выводы, предлагают возможные пути решения экологических проблем городского ландшафта. Заполняют таблицу: «Экологические проблемы городского ландшафта Дзержинска – взгляд школьника» из трех колонок: 1. «Горячие точки городского ландшафта Дзержинска и Володарского района» на карте» 2. Деятельность по улучшению экологической обстановки городского ландшафта 3. Наш вклад в решение экологических проблем на территории городского ландшафта. Какие меры по охране атмосферы городского ландшафта мы можете предложить? Предполагается решение проблем на основе уже имеющихся знаний у учащихся о путях решения экологических проблем (дерево решения экологических проблем), за счет привлечения общественности, СМИ к сохранению и улучшению состояния среды в городском ландшафте. Возможные пути решения: ликвидация несанкционированных свалок, озеленение городского ландшафта, проведение акций в школах и детских садах, учреждениях дополнительного образования [9].

Выводы

Проведенный нами анализ позволил выявить особенности дополнительного геоэкологического образования детей в развитии культуры обучающихся. Актуальность ведения кружка и его ландшафтная направленность объясняется рядом педагогических проблем, на решение которых направлено его содержание и технологии: фрагментарность и неосознанность природоохранных мероприятий; деструктивность многих городских ландшафтов, которые выступают как часть образовательной среды – культурный ландшафт оздоровляет, а акультурный разрушает личность. Результативно-оценочными показателями этапов процесса воспитания духовно-нравственных качеств, учащихся при изучении городских ландшафтов в соответствии с целевыми установками явля-

ются: развитие нравственного отношения и геоэкологической активности (коммуникативной, творческой и др.) по отношению к объектам природного и культурного наследия [10]. Исходя из вышеизложенного, дополнительное геоэкологическое образование обладает большим потенциалом в формировании культуры, учащихся при изучении городского ландшафта.

Список литературы

1. Жуковская И.Е. Формирование опыта творческой деятельности учащихся при изучении экологии городского ландшафта в условиях дополнительного географического образования: методическое пособие. Н. Новгород: Типография «Поволжье», 2006. 75 с.
2. Шевченко И.А. Методика изучения городского ландшафта в начальном курсе географии на основе культурно-экологического подхода: дис. ... канд. пед. наук. Нижний Новгород, 2004. 245 с.
3. Шевченко И.А., Бикмаева А.В., Ямашкина О.Н., Лощилова А.А. Средовой подход в проектировании учебного занятия по формированию экологической ответственности средствами географии // *Современные наукоемкие технологии*. 2017. № 1. С. 159–162.
4. Шевченко И.А., Кутасова Е.В. Особенности проектно-модульного обучения в дополнительном географическом образовании в контексте культуры природопользования // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/article/view?id=19853> (дата обращения: 14.12.2018).
5. Экологическое краеведение: сборник кейсов для учащихся / Под ред. Н.Ф. Винокуровой, Н.Н. Демидовой. Н. Новгород: ООО «Исток», 2012. 80 с.
6. Теория и методика геоэкологического образования: учеб. пособие. Часть II / Под ред. Н.Ф. Винокуровой, Н.В. Мартиловой. Н. Новгород: НГПУ им К. Минина, 2014. 252 с.
7. Пухова А.Г., Беляева Т.К., Толкунова С.Г. Влияние социально зависимых заболеваний на демографическую ситуацию Нижегородской области // *Вестник Мининского университета*. 2015. № 1 (9). С. 26 [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/27> (дата обращения: 14.12.2018).
8. Мануйлов Ю.С. Средовой подход в воспитании. Н. Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии государственной службы, 2002. 157 с.
9. Беляева Т.К., Пухова А.Г., Таможняя Е.А., Толкунова С.Г. Развитие творческого мышления будущих учителей географии в процессе самостоятельной исследовательской деятельности // *Современные проблемы науки и образования*. 2016. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=24206> (дата обращения: 14.12.2018).
10. Культура природопользования: научные и образовательные аспекты / Под ред. Н.Ф. Винокуровой. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2014. 164 с.