

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

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

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

Подписано в печать – 15.03.2019

Дата выхода номера – 15.04.2019

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. 13,25

Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2019/3

Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ДИНАМИКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАТРАТ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕГИОНА (ПО МАТЕРИАЛАМ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН ЗА 2010–2016 ГГ.)	
<i>Адамадзиев К.Р., Ахмедов А.С.</i>	7
ОБРАБОТКА ФОТО- И ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОГРАММЕ LABVIEW	
<i>Акулов М.С., Гладких С.А., Ланкина М.Ю., Бакланов А.Н.</i>	12
ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ	
<i>Алисултанова Э.Д., Моисеенко Н.А., Дукаев М.Ш.</i>	18
ВЕБ-САЙТ И ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ	
<i>Бийбосунов Б.И., Курманбек уулу Т., Бексултанов Ж.Т.</i>	25
ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПЕЧИ ПЕРВИЧНОГО РИФОРМИНГА ЗАВОДА ПРОИЗВОДСТВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ	
<i>Вафин Д.Б.</i>	31
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРИМЕТРА ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА	
<i>Истомин А.Л., Бадеников А.В., Истомина А.А.</i>	38
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ	
<i>Карпов А.В.</i>	43
ПРОБЛЕМЫ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА	
<i>Лебедева Е.А.</i>	48
СИНТЕЗ НЕПРЕДЕЛЬНОГО АЦЕТИЛЕНОВОГО СПИРТА – ДИМЕТИЛДИГЕКСИЛБУТИНДИОЛА	
<i>Меркулов В.В., Алмазов А.И., Мантлер С.Н., Жуманазарова Г.М.</i>	54
ТЕРМОДИНАМИКА АДсорбЦИИ ИОНОВ КАДМИЯ НА КАОЛИНЕ	
<i>Пимнева Л.А., Искакова А.И.</i>	60
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНЫМИ СОРБЕНТАМИ	
<i>Полещук И.Н., Пинигина И.А., Созыкина Е.С.</i>	65
ВЫВОД РАСЧЁТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ	
<i>Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Питухин Е.А.</i>	70
КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Степанова М.Л., Маркелов Н.А., Гафаров М.Ш., Мейланова М.Н., Васильева М.Н., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г.</i>	77

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

ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ВИД ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ И СРЕДСТВО АКТИВИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ	
<i>Аксенова Л.Н., Хасанова М.Л., Руднев В.В., Дмитриев М.С.</i>	83
ПСИХИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ В СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ	
<i>Андрущишин И.Ф., Сивохин И.П., Бабушкин Г.Д., Денисенко Ю.П., Гераськин А.А.</i>	88
МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА	
<i>Боровиков И.Г., Вивчарь Р.М., Волков Н.А., Пачин А.В.</i>	93
КРИТЕРИИ И УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	
<i>Ильмушкин Г.М., Нечаева Н.Ю.</i>	100

CONTENTS

Technical sciences (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

MODELING AND ASSESSMENT OF INTERRELATIONS IN THE DYNAMICS OF COST INDICATORS IN AGRICULTURE OF THE REGION (BASED ON THE MATERIALS OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN FOR 2010–2016)	
<i>Adamadziev K.R., Akhmedov A.S.</i>	7
PROCESSING PHOTOS AND VIDEOS BY USING NEURAL NETWORKS IN THE LABVIEW PROGRAM	
<i>Akulov M.S., Gladkikh S.A., Lankina M.Yu., Baklanov A.N.</i>	12
PROGRAM MODULE OF AUTOMATION RATING CONTROL OF EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS	
<i>Alisultanova E.D., Moiseenko N.A., Dukaev M.Sh.</i>	18
WEB SITE AND INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS AND FORECAST OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN KYRGYZ REPUBLIC	
<i>Biybosunov B.I., Kurmanbek uulu T., Beksultanov Zh.T.</i>	25
THERMAL MODE OF THE PRIMARY REFORMING FUNNEL OF AMMONIA SELETER PRODUCTION PLANT	
<i>Vafin D.B.</i>	31
THE OPTIMAL MATHEMATICAL MODEL OF DETERMINING STRUCTURE OF THE PERIMETER PROTECTION SYSTEM OF A PROTECTED OBJECT	
<i>Istomin A.L., Badenikov A.V., Istomina A.A.</i>	38
TO THE ISSUE OF INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MATERIALS CUTTING	
<i>Karpov A.V.</i>	43
PROBLEMS OF BURNING FUEL MIXTURES OF VARIABLE COMPOSITION	
<i>Lebedeva E.A.</i>	48
SYNTHESIS OF UNSATURATED ACETYLENIC ALCOHOL – DIMETHYL DIHEXYL BUTYNEDIOL	
<i>Merkulov V.V., Almazov A.I., Mantler S.N., Zhumanazarova G.M.</i>	54
THERMODYNAMICS OF CADMIUM IONS ADSORPTION ON KAOLIN	
<i>Pimneva L.A., Iskakova A.I.</i>	60
EXTRACTING IONS OF IRON (III) FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY NATURAL SORBENTS	
<i>Poleshchuk I.N., Pinigina I.A., Sazykina E.S.</i>	65
DERIVATION OF CALCULATED DEPENDENCIES TO DETERMINE THE SPEED AND TIME OF MOVEMENT OF LOG TRUCKS BASED ON CARS WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION	
<i>Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Pitukhin E.A.</i>	70
COMPLEX USE OF NEPHELINE SLUDGE IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS	
<i>Stepanova M.L., Markelov N.A., Gafarov M.Sh., Meylanova M.N., Vasileva M.N., Nikiforova E.M., Eromasov R.G.</i>	77

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

GAMING TECHNOLOGY AS A TYPE OF PROBLEM-BASED LEARNING AND A MEANS OF REVITALIZING STUDENTS	
<i>Aksenova L.N., Khasanova M.L., Rudnev V.V., Dmitriev M.S.</i>	83
ANALYSIS OF THE MENTAL STATE IN THE COMPETITIVE ACTIVITY WEIGHTLIFTERS	
<i>Andruschishin I.F., Sivokhin I.P., Babushkin G.D., Denisenko Yu.P., Geraskin A.A.</i>	88
THE METHOD OF USING TRAINING TOOLS LEARNING TECHNICAL PERSONNEL	
<i>Borovikov I.G., Vivchar R.M., Volkov N.A., Pachin A.V.</i>	93
CRITERIA AND LEVELS OF FORMATION OF ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL COMPETENCE OF FUTURE EXPERTS IN THE NUCLEAR INDUSTRY	
<i>Ilmushkin G.M., Nechaeva N.Yu.</i>	100

УДК 311.172(470.67)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ДИНАМИКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАТРАТ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕГИОНА (ПО МАТЕРИАЛАМ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН ЗА 2010–2016 ГГ.)**Адамадзиев К.Р., Ахмедов А.С.***ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Махачкала, e-mail: adamadziev@mail.ru*

Целью исследования является построение уравнений рядов динамики и оценка на их основе тенденций показателей затрат в сельском хозяйстве региона и анализ их параметров и характеристик. Для достижения поставленной цели решен ряд задач: сформировано исходное информационное обеспечение показателей затрат в сельском хозяйстве Республики Дагестан за 2010–2016 гг.; построены различные виды уравнений рядов динамики, характеризующие тенденции взаимосвязей между показателями затрат в сельском хозяйстве региона; разработан модельно-компьютерный инструментарий, обеспечивающий автоматизацию всех расчетов и процедур обработки информации; создана совокупность аналитических таблиц и сформулированы выводы. Проверены на приемлемость различные виды уравнений регрессии, построенных для сельского хозяйства в целом, для растениеводства и животноводства. На основе анализа статистических характеристик доказана приемлемость различных видов уравнений регрессии для выявления, описания и анализа тенденций в динамике экономических показателей сельского хозяйства и в динамике взаимосвязей между ними. Выявлена и дана оценка параметров для каждой пары показателей и для двухфакторных взаимосвязей в сельском хозяйстве с применением различных методов. Проведен графический анализ. Обоснована предпочтительность уравнений линейного и степенного видов по экономическому смыслу их параметров по сравнению с другими видами уравнений регрессии. Проведен анализ ряда важных экономических показателей, таких как предельные эффекты и коэффициенты эластичности, определенных на основе уравнений парной регрессии, выражающих зависимость суммарных затрат в сельском хозяйстве РД от материальных затрат и от затрат на оплату труда по данным за 2010–2016 гг. Для двухфакторных уравнений регрессии определен и проанализирован ряд дополнительных характеристик, в частности изокванты и предельные нормы взаимозаменяемости показателей-факторов.

Ключевые слова: сельское хозяйство, производственные затраты, анализ, корреляция, ряды динамики, тенденция, уравнение, показатель-фактор, модель, параметры, статистические характеристики, предельный эффект, коэффициент эластичности

MODELING AND ASSESSMENT OF INTERRELATIONS IN THE DYNAMICS OF COST INDICATORS IN AGRICULTURE OF THE REGION (BASED ON THE MATERIALS OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN FOR 2010–2016)**Adamadziev K.R., Akhmedov A.S.***State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Dagestan State University», Makhachkala, e-mail: adamadziev@mail.ru*

The aim of the study is to construct the equations of the dynamics series for estimating the trends in the costs in agriculture in the region and analyzing their parameters and characteristics. To achieve this goal, a number of tasks have been solved: initial information support has been formed cost indicators in agriculture of the Republic Dagestan for 2010–2016; different types of equations dynamics series are constructed that characterize the trends of interrelations between costs in agriculture in the region; The model-computer toolkit providing automation of all calculations and procedures of information processing is developed; A set of analytical tables has been created and conclusions have been formulated. Various types of regression equations, constructed for agriculture as a whole, for crop and livestock production, have been tested for acceptability. Based on the analysis of statistical characteristics, it is proved that various types of regression equations are acceptable for identifying, describing and analyzing trends in the dynamics of economic indicators of agriculture and in the dynamics of relationships between them. Identified and evaluated parameters for each pair of indicators and for two-factor relationships in agriculture using various methods. Graphical analysis conducted. The preference is given to the the linear and power-law equations by the economic meaning of their parameters as compared with other types of regression equations. A number of important economic indicators were analyzed, such as marginal effects and elasticity coefficients, determined on the basis of the equations of the pair regression, expressing the dependence of the total costs in the RD agriculture on material costs and on labor costs according to the data for 2010–2016. For two-factor regression equations, a number of additional characteristics have been determined and analyzed, in particular, isoquants and limit norms of interchangeability of indicators-factors.

Keywords: agriculture, production costs, analysis, correlation, dynamics series, trend, equation, indicator-factor, model, options, statistical characteristics, limiting effect, elasticity coefficient

В соответствии с принятой Правительством Российской Федерации в 2017 г. Программой «Цифровая экономика Российской Федерации» (на 2018–2024 гг.) ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности

должны стать данные в цифровой форме. Определяющую роль в трансформации экономики в цифровую призваны сыграть два ключевых направления: а) исследования и разработки, б) кадры и образование. Основной целью направления «исследования

и разработки» является создание системы поддержки поисковых, прикладных исследований в области цифровой экономики, обеспечивающей технологическую независимость и конкурентоспособность на глобальном уровне [1; 2].

Цель настоящего исследования: показать особенности и методы перевода на цифровую основу задач по выявлению, описанию и оценке тенденций в динамике взаимосвязей экономических показателей на примере сельского хозяйства региона. Для достижения поставленной цели решен ряд задач: сформированы таблицы с исходными данными показателей затрат в сельском хозяйстве Республики Дагестан за 2010–2016 гг.; разработан модельно-компьютерный инструментарий, реализующий системный подход, а также позволяющий автоматизировать все расчеты и процедуры обработки информации; построены уравнения рядов динамики, выражающие тенденции в динамике взаимосвязей между показателями; сформулированы выводы.

Данные в цифровой форме означают для экономических объектов, прежде всего, данные существующих учетно-отчетных документов, переведённые на компьютерную основу. Путем обработки учетно-отчетных данных создавать документы с аналитическими данными. Для этого применяется арсенал методов, созданный многими поколениями ученых и специалистов. Их принято классифицировать по различным признакам. Нами, например, они разделены на две группы: традиционные (основывающиеся на простых арифметических действиях и ручных расчетах) и новые (основывающиеся на высшей математике и компьютерных технологиях обработки данных). В настоящем исследовании применены в основном методы математического и компьютерного моделирования.

Показатели экономических объектов связаны друг с другом прямо или косвенно, образуя их системы. Выявить, описать и проанализировать эти связи является очень важной и в то же время сложной задачей экономической науки и практики. Главная сложность обусловлена стохастическим (или корреляционно-регрессионным) характером этих связей, означающим, что исследователю неизвестны ни степень, ни вид (характер) этих связей. Поэтому для выявления, описания и оценки связей возникает необходимость выполнения множества расчетов, часть из которых сама по себе не представляет ценности. Взаимосвязи и зависимости между различными показателями могут быть выявлены и оценены только с применением системного подхода,

предусматривающий применения различных методик, методов, моделей и компьютерных инструментариев. Одни из экономических показателей являются зависимыми от одного, двух и более других, которые выступают как независимые показатели-факторы. Данные двух, трёх и более показателей для совокупности однотипных объектов называются пространственными данными, а математические модели, выражающие стохастические или корреляционные взаимосвязи между показателями для совокупности объектов, – уравнениями регрессии. Корреляционно взаимосвязанными могут быть два, три и более показателя одного и того же экономического объекта за ряд последовательных временных периодов. Такие данные называются рядами динамики, а математические модели, построенные на их основе, – уравнениями рядов динамики, выражающими тенденции во взаимосвязях [3; 4].

Настоящее исследование посвящено выявлению тенденций в динамике взаимосвязей между показателями затрат в сельском хозяйстве Республики Дагестан по данным за 2010–2016 гг. путем построения уравнений рядов динамики. При этом в качестве зависимых рассматриваются объемы всех затрат (в целом по сельскому хозяйству Республики Дагестан, в растениеводстве и животноводстве, тыс. руб.), а в качестве показателей-факторов – объемы материальных затрат и затрат на оплату труда (тыс. руб.).

Выявление и оценка взаимосвязей нами проведены для каждой пары показателей и для двухфакторных взаимосвязей. Примененный нами графический метод анализа показал, что, во-первых, зависимость всех затрат от материальных затрат во всех трех случаях одинаково четко выражена и имеет вид весьма близкий к линейному; во-вторых, корреляция в динамике зависимости всех затрат от затрат на оплату труда также имеет место, но ее вид заметно отличается.

Графический метод не позволяет однозначно утверждать о наличии и виде тенденций. Поэтому на приемлемость нами проверены различные виды уравнений. Для этого создана табл. 1.

По данным строк Y_t и MZ_t можно построить уравнения, выражающие тенденции линейного и показательного видов; по данным первых трех строк – уравнение параболического вида; по данным строк Y_t и $1/MZ_t$ – уравнение гиперболического вида и по данным строк $\lg Y_t$ и $\lg MZ_t$ – уравнение степенного вида.

По данным табл. 1 можно построить уравнения парной регрессии, выражающие

тенденции с помощью «мастера функций» из MS Excel, используя две статистические функции «ЛИНЕЙН» и «ЛГРФПРИБЛ»: по второй функции – уравнение показательного вида, а по первой – остальные четыре.

Чтобы построить уравнения для зависимости всех затрат от затрат на оплату труда (Y_t и ZP_t), нет необходимости повторить выполнение всех процедур, описанных нами при построении уравнения для зависимости Y_t от MZ_t . Для этого достаточно скопировать все таблицы, созданные для Y_t от MZ_t , и заменить в копиях этих таблиц данные строк MZ_t данными ZP_t . При этом данные всех расчетных строк автоматически пересчитываются.

Совокупность всех таблиц, созданных в MS Excel для построения уравнений регрессии, выражающих тенденции зависимостей Y_t от MZ_t и от ZP_t для сельского хозяйства в целом, можно рассматривать как компьютерную модель. Скопировав ее и заменив данные строк Y_t , MZ_t , ZP_t (в целом для сельского хозяйства) данными Y_t , MZ_t , ZP_t для растениеводства и животноводства, можно автоматически выполнить все расчеты, связанные с построением уравнений тенденций для растениеводства и животноводства. В табл. 2 приведены величины параметров и четырех статистических характеристик для уравнений рядов динамики линейного и степенного видов.

Таблица 1

Форма представления исходных данных для построения пяти видов уравнений, выражающих тенденции зависимости всех затрат Y_t от материальных затрат MZ_t

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Y_t , тыс. руб.	2573482	2956637	4031568	5023805	6703202	6955147	8203048
MZ_t , тыс. руб.	1329714	1651363	2670491	3233244	4514970	4619850	5434889
MZ_t^2	1,768E + 12	2,727E + 12	7,132E + 12	1,045E + 13	2,038E + 13	2,134E + 13	2,954E + 13
$1/MZ_t$	0,00000075	0,00000061	0,00000037	0,00000031	0,00000022	0,00000022	0,00000018
$\lg Y_t$	6,1238	6,2178	6,4266	6,5096	6,6547	6,6646	6,7352
$\lg MZ_t$	6,4105	6,4708	6,6055	6,7010	6,8263	6,8423	6,9140

Таблица 2

Величины параметров и статистических характеристик уравнений рядов динамики линейного и степенного видов, выражающих зависимость суммарных затрат в сельском хозяйстве РД от материальных затрат и от затрат на оплату труда по данным за 2010–2016 г. в целом по сельскому хозяйству, по растениеводству и по животноводству

	Сельское хозяйство		Растениеводство		Животноводство	
	всего от матер.	всего от опл. труда	всего от матер.	всего от опл. труда	всего от матер.	всего от опл. труда
	Y_t от MZ_t	Y_t от ZP_t	Y_t от MZ_t	Y_t от ZP_t	Y_t от MZ_t	Y_t от ZP_t
линейн						
b	626981,4	-7338798,2	527243,6	2139964,1	125835,1	-1989937,2
m	1,3668	17,2980	1,3265	0,8566	1,3119	15,7817
sey	150764,1	1538352,0	82120,4	965165,5	93891,4	339892,0
r2	0,9959	0,5726	0,9928	0,0020	0,9934	0,9137
F	1213,0	6,7	687,1	0,0	753,9	52,9
A, %	2,90	29,55	3,30	38,81	3,96	14,34
степен						
b	22,506	2,393E-07	73,903	4,375E + 06	6,252	6,216E-06
m	0,8229	2,2710	0,7349	-0,0482	0,8955	2,1239
sey	0,0204	0,1626	0,0241	0,1763	0,0190	0,0855
R	0,9907	0,4121	0,9814	0,0002	0,9941	0,8797
F	535,2	3,5	263,7	0,0	836,3	36,5
A, %	0,30	2,42	0,38	2,76	0,30	1,34

Из шести уравнений, данные по которым приведены в табл. 2, по всем статистическим характеристикам однозначно приемлемой следует считать зависимость всех затрат в растениеводстве РД от затрат на оплату труда ($r^2 = 0$; $F = 0$; $A = 38,8\%$); во всех случаях степень зависимости всех затрат (Y_t) от материальных (MZ_t) выше, чем от затрат на оплату труда (ZP_t); степень рассматриваемых зависимостей в животноводстве выше, чем в растениеводстве. Согласно четырём статистическим характеристикам (sey , r^2 , F , A) оба вида уравнений, выражающие зависимость всех затрат в сельском хозяйстве РД от материальных затрат в динамике за семь лет, следует считать приемлемыми для описания тенденций. Это вполне объяснимо; зависимости в экономике не могут однозначно считаться прямыми и/или кривыми линиями. Приемлемость разных видов уравнений для описания тенденций следует рассматривать как факт положительный; каждое уравнение позволяет получить информацию, дополняющую полученную по другим уравнением.

По статистическим характеристикам, рассчитанным нами, можно сформулировать два важных вывода о предпочтительности видов уравнений:

– по степени приемлемости (по величине r^2) уравнения, выражающие зависимости, можно расположить в следующей последовательности:

а) для сельского хозяйства в целом: для Y_t от MZ_t линейный – степенной – показательный; для Y_t от ZP_t линейный – показательный – степенной;

б) для растениеводства: для Y_t от MZ_t линейный – показательный – степенной;

в) для животноводства: для Y_t от MZ_t степенной – линейный – показательный; для Y_t от ZP_t линейный – степенной – показательный;

– по величинам средней ошибки аппроксимации (A , %) приемлемыми можно считать уравнения, выражающие зависимость Y_t от MZ_t во всех трех сферах (сельское хозяйство в целом, растениеводство, животноводство), а выражающие зависимость Y_t от ZP_t – только в животноводстве.

Получить новую аналитическую информацию для оценки связей, зависимостей и тенденций можно и по каждому из уравнений, определив на их основе и проанализировав величины двух новых показателей: (а) предельного эффекта и (б) коэффициента эластичности, которые рассчитываются по формулам

$$а) dY/dMZ_t; dY/dZP_t;$$

$$б) E_{Y_t} = (dY_t / dMZ_t) * (MZ_t / Y_t);$$

$$E_{Y_t} = (dY_t / dZP_t) * (ZP_t / Y_t).$$

Предельные эффекты и коэффициенты эластичности – новая ценная информация, характеризующая динамическую тенденцию. Предельный эффект – это величина (в тыс. руб.), на которую может возрасти Y_t , если MZ_t (или ZP_t) увеличится на 1 тыс. руб.; коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов возрастет Y_t , если величина MZ_t (или ZP_t) увеличится на 1 %. В соответствии с предельным эффектом, определяемым по линейному уравнению, при увеличении материальных затрат в сельское хозяйство (MZ_t) на 1 тыс. руб. все затраты в сельское хозяйство РД в целом увеличатся на 1,3668 тыс. руб. А вот в соответствии с уравнениями степенного вида при увеличении MZ_t на 1 тыс. руб. неизвестно, на какую величину увеличивается Y_t (она увеличивается на переменную величину, выраженную формулой).

При прочих равных условиях уравнениям линейного и степенного видов отдадут предпочтение, поскольку параметр (m) при показателе-факторе имеет экономический смысл. Параметр (m) при показателе-факторе в уравнении линейного вида равен предельному эффекту показателя-фактора, а в уравнениях степенного вида – коэффициенту эластичности показателя-фактора. Предельный эффект показывает абсолютный рост зависимого показателя при увеличении показателя-фактора на одну абсолютную единицу, а коэффициент эластичности показывает величину роста зависимого показателя в процентах при увеличении фактора на 1 %.

Величины предельных эффектов и коэффициентов эластичности для построенных нами уравнений рядов динамики линейного и степенного видов приведены в табл. 3. Поскольку показатели Y_t , MZ_t , ZP_t выражают объемы затрат, то рост предельного эффекта не является фактом положительным; наоборот, меньший рост предельного эффекта в нашем случае означает снижение затрат. Следовательно, согласно табл. 3 как материальные (MZ_t), так и затраты на оплату труда (ZP_t) в животноводстве более эффективны, чем в растениеводстве и сельском хозяйстве в целом. Коэффициент эластичности материальных затрат в животноводстве выше, чем в растениеводстве и в целом по сельскому хозяйству; но эластичность затрат на оплату – ниже. При исследовании связей, зависимостей и тенденций в экономике наряду с парными или однофакторными уравнениями регрессии принято строить и двух-трех и более факторные (многофакторные) уравнения, которые считаются более важными и ценными с точки зрения возможности получения новой информации.

Таблица 3

Величины предельных эффектов и коэффициентов эластичности, рассчитанные по уравнениям рядов динамики линейного и степенного видов, выражающих зависимость суммарных затрат в сельском хозяйстве РД от материальных затрат и от затрат на оплату труда по данным за 2010–2016 гг.

	Y_t от MZ_t	Y_t от ZP_t
	предельный эффект	
сельское хозяйство	1,37	17,3
растениеводство	1,33	–
животноводство	1,31	15,8
	коэффициент эластичности	
сельское хозяйство	0,82	2,27
растениеводство	0,73	–
животноводство	0,89	2,12

Поэтому наряду с однофакторными уравнениями $Y_t = f(MZ_t)$ и $Y_t = f(ZP_t)$ нами построены двухфакторные уравнения $Y_t = f(MZ_t, ZP_t)$. Уравнения линейного и степенного видов более приемлемы. Поэтому проанализируем параметры только этих уравнений.

Многофакторные уравнения в отличие от однофакторных позволяют рассчитывать и анализировать ряд дополнительных показателей. К ним относятся в первую очередь изокванты и предельные нормы взаимозаменяемости показателей-факторов [4; 5]. Изокванта – это уравнение, с помощью которого можно определить множество значений показателей-факторов, при которых результативный показатель принимает одно и то же значение. В нашем случае изокванты – это совокупности пар значений материальных затрат и затрат на оплату труда, при которой все затраты в каждой из трёх сфер (сельском хозяйстве в целом – Y_t , в растениеводстве – YR_t и животноводстве – YJ_t) принимают одни и те же значения ($Y_t = \text{const}$; $YR_t = \text{const}$; $YJ_t = \text{const}$). Чтобы построить изокванту, результативный показатель считается заданным и один из показателей-факторов выражается через другие.

Ниже приведены формулы изоквант для построенных нами двухфакторных уравнений: для уравнений линейного (а) и степенного (б) видов:

$$\begin{aligned} \text{а) } MZ_t &= (Y + 402482)/1,2902 - 1,3744 * ZP_t; \\ MZR_t &= (YR_t - 54773)/1,3294 - 1,0724 * ZPR_t; \\ MZJ_t &= (YJ_t - 385140)/1,0576 - 3,2356 * ZPJ_t; \\ \text{б) } MZ_t &= [Y / (0,3656 * ZP_t^{0,3590})]^{1,2911}; \\ MZR_t &= [YR_t / (0,3022 * ZPR_t^{0,4112})]^{1,3360}; \\ MZJ_t &= [YJ_t / (0,3275 * ZPJ_t^{0,4002})]^{1,3315}. \end{aligned}$$

Предельные нормы показателей-факторов представляют собой величины каждого

из показателей-факторов, которые требуются, чтобы заменить одну единицу каждого из других. Они определяются как частные производные по уравнениям изоквант. Рассчитанные нами предельные нормы взаимозаменяемости материальных затрат и затрат на оплату труда в сельском хозяйстве (а), растениеводстве (б) и животноводстве (в) РД приведены ниже:

$$\begin{aligned} \text{а) } \partial MZ_t / \partial ZP_t &= 1,7733/1,2902 = 1,3744; \\ \text{б) } \partial MZR_t / \partial ZPR_t &= 1,4257/1,3294 = 1,0724; \\ \text{в) } \partial MZJ_t / \partial ZPJ_t &= 3,4240/1,0576 = 3,2375. \end{aligned}$$

В случае линейных уравнений рядов динамики предельные нормы взаимозаменяемости представляют собой численные величины, равные относительным параметрам (m_1, m_2) при показателях-факторах, которые определяются путем деления параметра при каждом показателе-факторе на каждый из остальных, и наоборот.

Заключение

Главным результатом проведённого исследования является модельно-компьютерный инструментальный (или компьютерная модель), предназначенный для построения пяти видов одно- и двухфакторных уравнений рядов динамики, апробированный по данным величин трех показателей затрат в сельском хозяйстве в целом, растениеводстве и животноводстве Республики Дагестан за 7 лет (2010–2016 гг.). Модельно-компьютерный инструментальный состоит из трех модулей: первый и второй – для построения одно- и двухфакторных уравнений рядов динамики соответственно, третий – для одновременного построения одно- и двухфакторных уравнений рядов динамики. Модельный инструментальный можно применить:

- а) для любого региона;
- б) для любого сельскохозяйственного предприятия;
- в) по данным за любой интервал времени от пяти и более лет.

Список литературы

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/> (дата обращения: 12.01.2019).
2. Маркова В.Д. Цифровая экономика: учебник. М.: ИНФРА-М, 2019. 186 с. DOI: 10.12737/textbook_5a97ed07408159.98683294.
3. Адамдзиев К.Р. Отношения, зависимости и динамические тенденции показателей России, ЮФО и Республики Дагестан: статистико-эконометрическая оценка // Сегодня и завтра российской экономики. Научно-анал. сборник. Спец. выпуск, 2009. С. 30–40.
4. Эконометрика: учебник / Под ред. И.И. Елисевой. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2005. 576 с.
5. Математическая экономика и экономическая информатика: материалы научных чтений, посвященных 75-летию со дня рождения выдающегося экономиста-математика, доктора экономических наук, профессора Кардаша Виктора Алексеевича (10.10.1935 г. – 12.05.2010 г.) (г. Кисловодск, 10–12 октября 2010 г.). Ростовский государственный экономический университет (РИНХ). Ростов-н/Д., 2011. 616 с.

УДК 004.932:004.032.26

ОБРАБОТКА ФОТО- И ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОГРАММЕ LABVIEW

Акулов М.С., Гладких С.А., Ланкина М.Ю., Бакланов А.Н.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: maksim.akulov.1996@mail.ru

Объектом исследования является аппаратно-программный комплекс, метод детектирования и распознавания видеоизображений и фотоизображений. Целью работы является исследование задач интеллектуального распознавания фотоизображений и реализация данной системы распознавания образов. В процессе исследования проводился аналитический обзор алгоритмов распознавания, рассмотрены и изучены существующие методы детектирования, выявлены общие принципы построения систем распознавания изображений и образов. Предложено устройство распознавания изображений и образов на базе аппаратной части National Instruments (использовалась плата ввода-вывода NI USB-6009) и программной части в LabView (использовались элементы встроенного модуля интеллектуальной обработки данных LV IMAQ), основанные на применении нейросетевого подхода. Разработанный аппаратно-программный комплекс распознавания изображений и образов позволяет достичь точности распознавания до 80%, что было успешно подтверждено на тестовых образцах фотоизображений. В результате научного исследования и применения предложенного алгоритма распознавания удалось решить задачу, достигнув приемлемой точности. Областью применения разработанного алгоритма являются аппаратно-программные системы для идентификации совпадений образов и данных на фотографических и видеоизображениях с данными имеющихся баз, а также для статистического учета либо дальнейшего анализа информации.

Ключевые слова: распознавание образов, нейросети, интеллектуальные системы, идентификация

PROCESSING PHOTOS AND VIDEOS BY USING NEURAL NETWORKS IN THE LABVIEW PROGRAM

Akulov M.S., Gladkikh S.A., Lankina M.Yu., Baklanov A.N.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)», Novocherkassk, e-mail: maksim.akulov.1996@mail.ru

The object of the research is a hardware-software complex and a method for detecting and recognizing video images and photographs. The aim of the work is to study the problem of optical image recognition and the implementation of the pattern recognition system. In the course of the research, an analytical review of the recognition algorithms was carried out, existing detection methods were examined and studied, and the general principles for constructing image and image recognition systems were identified. A device for recognizing images and images based on the National Instruments hardware (using the NI USB-6009 I/O board) and software in LabView (using the elements of the integrated LV IMAQ intelligent data processing module) based on the neural network approach was proposed. The developed hardware-software complex for image and image recognition allows to achieve recognition accuracy of up to 80%, which was successfully confirmed on test samples of photo images. As a result of the study and application of the proposed algorithm, it was possible to solve the problem of recognizing images and images, achieving acceptable accuracy. The scope of the developed algorithm is hardware-software systems whose tasks are related to the input, search and identification of images and data on photographic and video images, for statistical accounting or further analysis of information.

Keywords: pattern recognition, neural networks, intelligent systems, identification

Распознавание образов – неотъемлемая составляющая современного цифровизированного общества. Развитие информационных технологий немыслимо без использования интеллектуальных систем распознавания, будь то космическая промышленность либо простейшие системы видео- и фотофиксации. Общий алгоритм распознавания фото- и видеоизображений состоит из основных шагов: захват кадра; предобработка; локализация выбранного объекта; распознавание объекта (рис. 1).

На первом шаге необходимо разделить видеопоследовательность на отдельные кадры для постобработки. На втором шаге предварительной обработки происходит

коррекция контрастности искомого изображения, устранение размытия, бинаризация. На третьем шаге производят детектирование объекта и определение его координат. Обнаружение объекта является одним из вариантов распознавания, а также при этом решается задача кластеризации или классификации, где один класс (кластер) – «объект», второй – «нет». На заключительном шаге полученную область необходимо отнести к одному из заданного множества классов.

Таким образом, целью данной работы является исследование задачи распознавания видео- и фотоизображений и реализация системы распознавания образов в виде готового устройства.

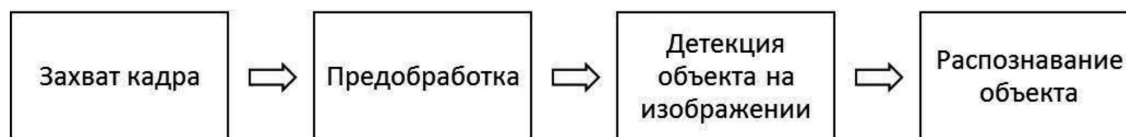


Рис. 1. Алгоритм распознавания образов

Обзор и анализ существующих методов распознавания образов

Обобщив и проанализировав данные о существующих методах распознавания образов, можно выделить основные методы для решения поставленной задачи:

1. Методы с использованием шаблонов.

В настоящее время довольно распространенным методом, основанным на использовании шаблонов, является метод, применяющий вычисления коэффициента корреляции между двумя исходными матрицами. Этот метод довольно широко распространен в различных сферах благодаря простоте реализации. Однако при распознавании физических объектов шаблонный метод характеризуется большой вычислительной сложностью. Связано это с необходимостью масштабирования распознаваемого изображения [1, 2].

2. Методы на основе контурных моделей.

Достаточно известным методом распознавания контуров объекта является метод пространственного дифференцирования, заключающийся в оценке скорости изменения контрастности в каждой точке исследуемого изображения. Если контрастность изменяется с высокой скоростью, то искомая точка находится на границе двух областей разной контрастности, то есть принадлежит контуру. Преимуществами данного подхода является невысокая вычислительная сложность. В качестве недостатков можно выделить сильное влияние качества изображения на результат распознавания [3].

3. Методы, основанные на применении нейронных сетей.

В отличие от вышеприведенных методов, нейронные сети предлагают свой подход к решению задач распознавания образов. Синапсы в нейронных сетях оптимизируются различными методами в процессе обучения. Также при обучении нейронных сетей происходит выявление ключевых признаков, определение их значимости и построение корреляционных взаимосвязей между ними. Обученная нейронная сеть действует на основании данных, полученных в процессе обучения, что приводит к достаточно высокой обобщающей способ-

ности при анализе неизвестных образов [4]. В качестве недостатка нейросетевых методов можно выделить тот факт, что при обучении на неудачной выборке результат может сильно отличаться от желаемого.

Данный подход выбран в дальнейшем для решения поставленной задачи. Несмотря на недостатки, при правильном обучении нейронной сети данный метод является достаточно эффективным, что было доказано авторами статьи.

4. Метод Виолы-Джонса.

Данный метод довольно часто применяется для поиска объектов на изображении в реальном времени и обладает низкой вероятностью ложного обнаружения.

Он основан на следующих подходах [2]:

1) используется интегральное представление образа;

2) анализируются признаки Хаара;

3) производится выбор наиболее значимых признаков для анализируемого объекта.

Несмотря на все преимущества, данный метод имеет ряд недостатков, наиболее важным из которых является сильная зависимость от обучающей выборки.

5. Метод k ближайших соседей.

Метод k – ближайших соседей заключается в том, что исследуемый объект присваивается тому или иному классу, наиболее используемому среди соседей данного объекта. Соседи выбираются, исходя из множества элементов с известными классами. Зная значения k , как наиболее важного параметра, определяется наиболее многочисленный класс из имеющихся. Все элементы имеют заданное количество размерностей (атрибутов). Предполагается, что имеется определенный набор элементов с заранее известной классификацией [1].

Преимуществом данного метода является простота реализации. Среди недостатков этого метода выделяют то, что он способен работать только с конечным массивом объектов. При добавлении новых объектов требуется выполнять все расчеты заново в полном объеме на новом наборе данных.

6. Простое невзвешенное голосование.

При использовании данного подхода в первую очередь необходимо узнать, сколько будет голосов при определении того или

иного класса. Далее необходимо определить записи, имеющие это право голоса, а также расстояние от них до новой точки. Затем можно приступить к самому методу простого невзвешенного голосования. Расстояние от каждой записи при голосовании не играет роли, все имеют равные права в определении класса. Запись отдает предпочтение тому классу, к которому она принадлежит [2].

Недостатками такого метода является не только то, что он способен работать только с конечным массивом объектов, как метод k ближайших соседей, но и сложность классификации при равном количестве голосов. Эту проблему решает взвешенное голосование.

7. Взвешенное голосование.

При использовании данного подхода учитывается расстояние до новой записи. Чем меньше расстояние, тем больший вклад вносит тот или иной голос. Класс, набравший наибольшее количество голосов, присуждается новой записи. Совершенно очевидно, что при $k = 1$ новой записи присваивается класс самого ближайшего соседа [2].

Но и этот метод может работать только с конечным массивом объектов и имеющимся количеством классов.

Вышеприведенные методы и способы распознавания изображений и образов имеют различные преимущества и недостатки. Однако чаще всего можно выделить три основные части функционирования данных подходов (рис. 2) [1]:

1. Преобразование исходного изображения в его упрощенный вид для постобработки (включает в себя предобработку или различные преобразования, к примеру отражение, сжатие или поворот объекта).

2. Выявление значимых признаков (к примеру, находятся главные компоненты, либо ключевые точки).

3. Этап классификации основывается на причислении объекта к тому или иному классу и может представлять собой нейронную сеть, сложную математическую модель, главнокомпонентную модель либо различные Марковские модели и т.д.

Разработка устройства распознавания образов для управления контрольно-пропускным пунктом

На рис. 3 представлена структурная схема предлагаемого аппаратно-программного комплекса, реализующего управление автоматическим поручнем с электромагнитным приводом на контрольно-пропускном пункте, путем распознавания фотоизображения. Алгоритм

работы аппаратно-программного комплекса следующий. С помощью камеры измеряются биометрические параметры, которые поступают на вход микропроцессорного блока, преобразующего с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) аналоговую информацию с камеры в цифровую для работы с микроконтроллером. Информация о биометрических параметрах с микропроцессорного контроллера поступает через интерфейс *USB* в персональный компьютер (ПК). Далее информация о биометрических данных в ПК подается на блок сравнения, где сравнивается с образцами из базы данных. Программное обеспечение в ПК вырабатывает сигнал о результате сканирования и передает его в микроконтроллер. С микроконтроллера сигнал передается на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Аналоговый сигнал с ЦАП поступает на усилитель, где преобразуется до уровня, необходимого для работы с электромагнитным реле. На контрольно-пропускном пункте расположен поручень, механически связанный с реле, который исключает возможность прохода лиц, не зафиксированных в базе данных. На автоматизированном рабочем месте оператора (АРМО) находится блок ручного управления (БРУ) и дисплей, на котором отображаются коды ошибок [3].

Программная часть интеллектуальной системы состоит из трех важных этапов: обнаружение (детектирование) лиц; регистрация (кодирование для дальнейшего быстрого поиска лиц в базе); классификация (идентификация) лиц.

Этапы выполняются последовательно. Полученные с помощью аппаратной части интеллектуальной системы, изображения лиц поступают на этап регистрации, которая производит анализ изображений лиц по базе, а в ответ выдает «кандидатов», наиболее похожих на текущее изображение. Затем на этапе классификации обрабатываются изображения лиц найденных «кандидатов» с целью их более точного распознавания.

Этап детектирования лица выявляет лицо человека на черно-белых либо цветных фотоизображениях во фронтальных проекциях и определяет координаты описанных прямоугольников для всех выявленных лиц. Система отслеживания лиц человека позволяет хранить в системе информацию (последовательность кадров, содержащих изображения лиц в различных ракурсах и с различной мимикой) до тех пор, пока человек не выйдет из зоны наблюдения или не отвернется от камеры.



Рис. 2. Обобщенная схема методов распознавания образов и изображений

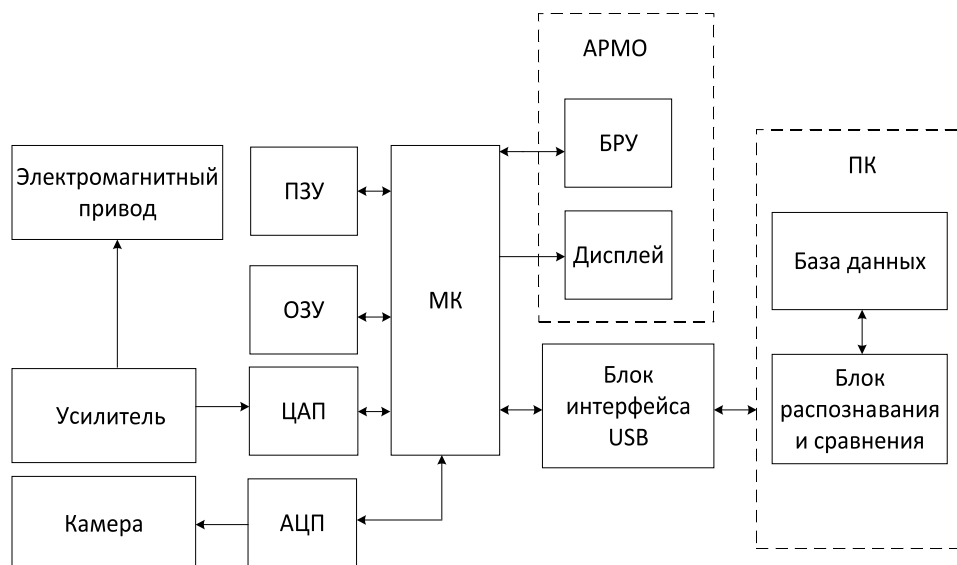


Рис. 3. Функциональная схема устройства

Программная часть состоит из блоков, реализованных в графическом языке программирования LabVIEW (рис. 4 и 5) [5]. Данные модули описывают процессы сканирования образа (рис. 5) и сравнения его с имеющимися в базе (рис. 4).

Анализ различных методов распознавания данных позволил выявить проблемы, существующие в данной области, и выявить области применения различных методов, их достоинства и недостатки в применении к решению различных задач.

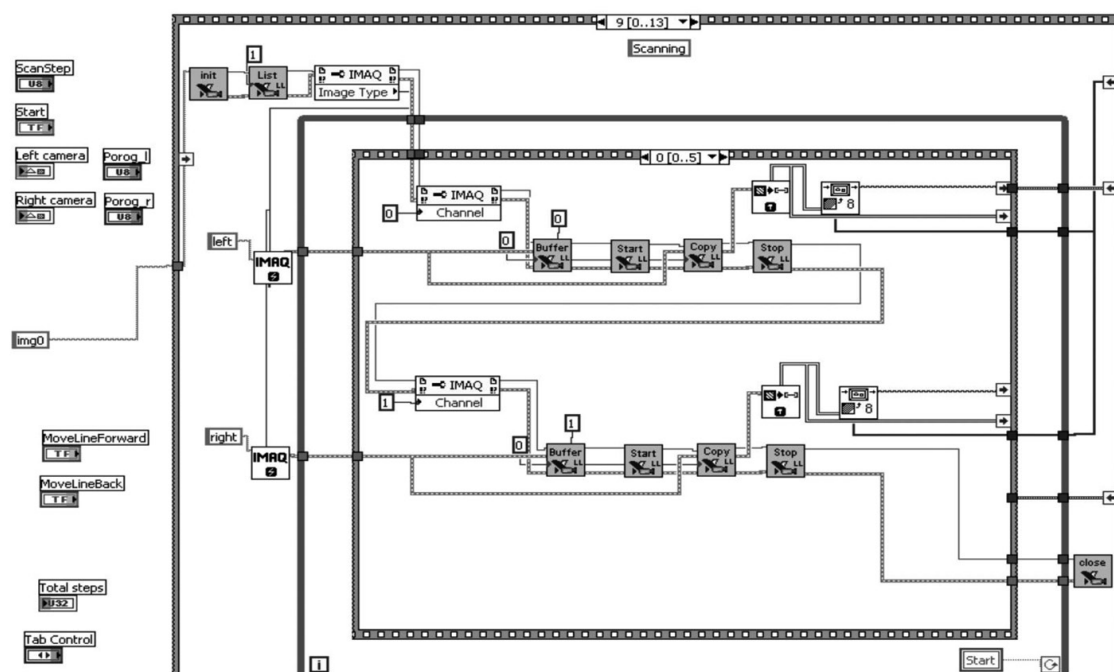


Рис. 4. Фрагмент диаграммы, реализующий процесс сканирования

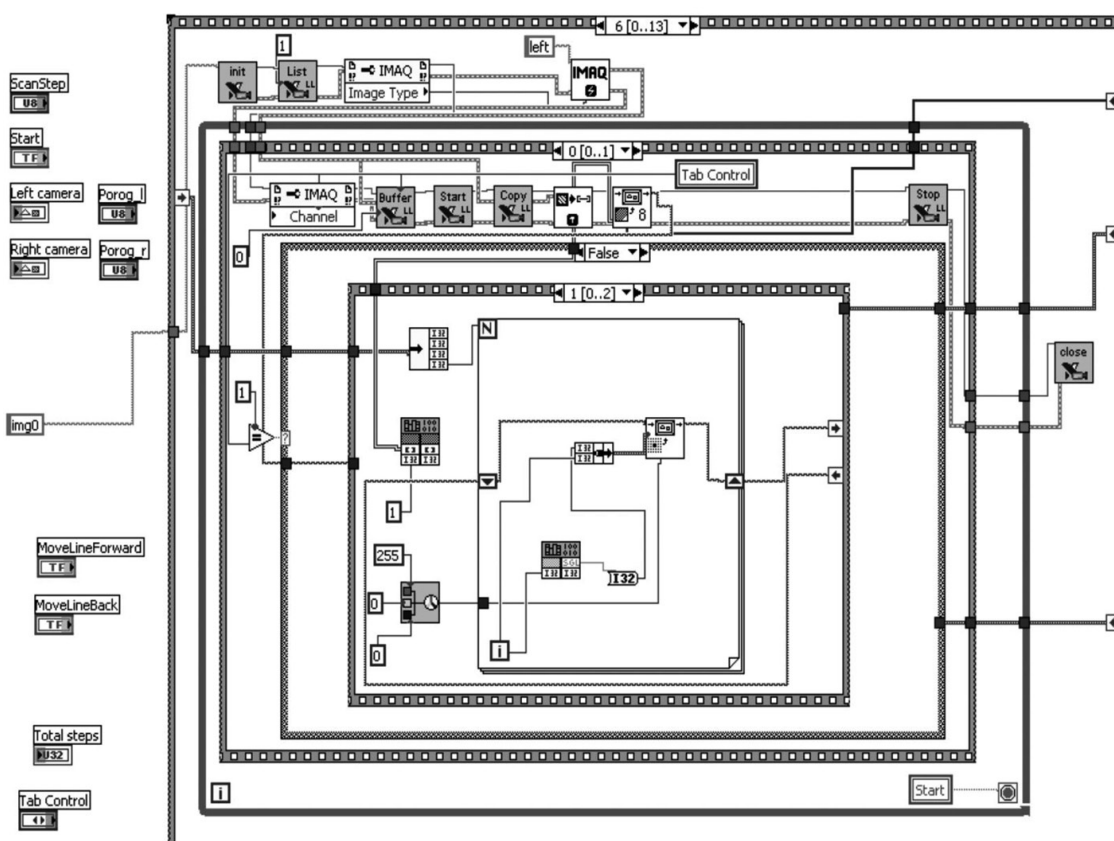


Рис. 5. Фрагмент диаграммы, реализующий процесс поиска

Выводы

Рассмотрены основные методы, на которых строятся системы распознавания данных. В качестве основного метода выбран нейросетевой подход. Разработанный аппаратно-программный комплекс распознавания изображений и образов для управления контрольно-пропускным пунктом позволяет достичь точности распознавания до 80%. Результаты были получены на тестовых образцах фотоизображений.

Список литературы

1. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие. СПб.: Политехника, 2009. 548 с.
2. Квасников В.П., Дзюбаненко А.В. Улучшение визуального качества цифрового изображения путем поэлементного преобразования // Авиационно-космическая техника и технология. 2009. № 8. С. 200–204.
3. Горелик А.Г., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа, 1984. 208 с.
4. Багрова И.А., Грицай А.А., Сорокин С.В., Пономарев С.А., Сытник Д.А. Выбор признаков для распознавания печатных кириллических символов // Вестник Тверского государственного университета. 2010. № 28. С. 59–73.
5. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК Пресс, 2009. 464 с.

УДК 004.6:004.75

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Алисултанова Э.Д., Моисеенко Н.А., Дукаев М.Ш.

*Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, e-mail: esmira59@mail.ru*

В повышении эффективности качества профессионального образования особую роль играют автоматизированные системы управления образовательным учреждением, процесса обучения и рейтингового контроля учебных достижений студентов. Данная статья посвящена анализу действующих информационных систем управления качеством среднего профессионального образования и описанию предлагаемой разработки автоматизированной рейтинговой системы, имеющей дополнительный функционал для анализа полученных результатов. Предлагаемый подход имеет функциональные особенности встроенного в информационную систему модуля, который позволяет автоматически переводить оценки, полученные студентом, в итоговый рейтинг и формировать аналитические отчеты различного формата. Программный модуль формирует как индивидуальный рейтинг студента в группе, так и рейтинговые позиции по специальности своего обучения, на курсе и определяет место в общем рейтинге учебного заведения. Выбор программного инструментария и средств, на основе которых реализовано программное решение, осуществлялся с учетом поставленных целей и особенностей каждого из рассматриваемых средств программирования. Применение автоматизированных рейтинговых систем оценивания знаний студентов средних профессиональных учреждений способствует повышению мотивации к обучению и результативности, что непосредственно влияет на качество подготовки компетентного специалиста среднего звена.

Ключевые слова: информационная система, информационные технологии, балльно-рейтинговая система, рейтинг студента, ER-модель, языки программирования

PROGRAM MODULE OF AUTOMATION RATING CONTROL OF EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS

Alisultanova E.D., Moiseenko N.A., Dukaev M.Sh.

*Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov,
Grozny, e-mail: esmira59@mail.ru*

In increase of efficiency of quality of professional education the special role is played by automated control systems for educational institution, process of training and rating control of educational achievements of students. This article is devoted to the analysis of the operating information management systems by quality of secondary professional education and to the description of the offered development of the automated rating system having additional functionality for the analysis of the received results. The offered approach has functional features of the module which is built in information system which allows to transfer automatically the estimates received by the student to a total rating and to form analytical reports of various format. The program module forms both an individual rating of the student in group, and rating positions as the training, on a course and defines a place in the general rating of educational institution. The choice of program tools and means on the basis of which software solution is realized, was carried out taking into account goals and features of each of the considered means of programming. Use of the automated rating systems of estimation of knowledge of students of average professional establishments promotes increase of motivation to training and productivity that directly influences quality of training of the competent expert of an average link.

Keywords: information system, information technologies, mark and rating system, student's rating, ER model, programming languages

Бурное и стремительное развитие информационных технологий в корне изменило взгляды, жизнь и информационное пространство человека. И трудно уже представить, как мы обходились без наших смартфонов, повседневных программ на телефонах, персональных компьютеров, которые выполняют всю рутинную работу, и т.д. Информационные технологии уже используются практически во всех сферах нашей жизни: в медицине, машиностроении, производстве продуктов, в образовании и т.п. Использование информационных и коммуникационных технологий является основой повышения качества образования в учеб-

ных заведениях как среднего, так и профессионального уровня [1].

Вопрос качества образования в настоящее время приобрёл особую актуальность в связи с поиском эффективных механизмов устойчивого инновационного развития системы образования. Применение современных информационных технологий в образовании имеет много аспектов. Информационные технологии предлагают новые и абсолютно иные возможности образовательного процесса. К основным возможностям можно отнести использование: визуальных и мультимедийных методических пособий, информационных технологий

в деятельности образовательного учреждения, информационных технологий для контроля и оценки знаний студентов.

Использование электронных методических пособий, учебных фильмов, электронных учебников, а также подача материала с графическими презентациями, без сомнений, повышает активную познавательную деятельность студента. Особую роль в эффективности повышения качества образования играют технологии внедрения в процесс обучения автоматизированных систем рейтингового контроля, а также программных приложений по управлению образовательным учреждением [2].

Так как данная статья посвящена описанию разработки модуля автоматизированной рейтинговой системы, то особое внимание здесь уделено некоторым аспектам использования в образовательных учреждениях рейтинговых систем контроля и оценки знаний студентов. Наличие таких систем обеспечивают прозрачность оценки знаний студентов и желание конкурировать с однокурсниками, что имеет прямое влияние на его мотивацию к учебе.

Значимая доля использования информационных технологий в образовании приходится на управление деятельностью образовательного учреждения. При этом имеется в виду контроль, управление и анализ работы компьютерных классов, цифровых стендов, лекционных аудиторий с презентационным и компьютерным оборудованием, которые имеют возможность воспроизводить в ходе учебного процесса данные с разных цифровых носителей, также управлением различных систем документооборота в учреждении.

Особую значимость представляет собой в современных условиях цифрового образовательного пространства и использование в образовательных учреждениях автоматизированных рейтинговых систем контроля и оценки знаний студентов. В связи с этим многие авторы посвятили свои научные исследования теме внедрения рейтинговых систем в образовательный процесс (Н.Г. Баженова, А.И. Голубева, Л.С. Гринкруг, С.И. Денисенко, Н.Е. Перевошикова, Б.Е. Фишман). Важно, что рейтинговая система оценивания позволяет использовать традиционные оценочные технологии, которые могут быть в нее успешно включены с некоторой трансформацией баллов в «привычные» системы оценок [3]. Следует отметить тот факт, что современные оценочные рейтинговые системы уже давно используются не только за рубежом, но и в российской системе образования, большей частью при

подготовке специалистов на базе уровня высшего образования. Уже два десятилетия во многих вузах России успешно применяют рейтинговые системы [4].

С точки зрения разработчика автоматизированных информационных систем рейтингового контроля, программное обеспечение управлением качества общеобразовательного, среднего профессионального и высшего профессионального образования имеет существенные отличия из-за специфики организации учебного процесса и требований федеральных образовательных стандартов. При этом следует отметить, что мало исследованы разработки рейтингового контроля знаний обучающихся в средних специальных учебных заведениях (СПО) и их влияние на качество подготовки специалистов среднего звена, компетентность и востребованность которых на рынке труда из года в год возрастает.

Для решения этой проблемы в данной статье предлагается разработка программного модуля балльно-рейтинговой системы с несколько иным подходом, который позволял бы автоматизировать формирование различного вида итогового рейтинга обучающегося на основе результатов учебных достижений в течение учебного семестра. Студент может иметь индивидуальный рейтинг в группе и иметь определенные рейтинговые позиции по специальности своего обучения, на курсе или позиционировать в общем рейтинге учебного заведения.

Материалы и методы исследования

Балльно-рейтинговая система (БРС), которая была разработана сотрудниками Грозненского государственного нефтяного технического университета (ГГНТУ) в 2013 г. для учета и контроля успеваемости, была внедрена в систему управления учебным процессом ГГНТУ [5]. В связи с необходимостью внедрения модуля учета посещаемости и формирования аналитических отчетов система претерпела в новой версии существенные изменения 2017 г. [6]. Основное меню системы БРС, действующей в настоящее время в ГГНТУ, представлено на рис. 1.

БРС ГГНТУ реализована на языке программирования C# и размещена на хостинг-сервере. Эта система является кроссплатформенной, так как разработана как веб-приложение и доступ к ней имеется через строку запроса любого браузера. Режим доступа для преподавателя осуществляется через авторизацию с вводом логина и пароля, которые объявляются участникам учебного процесса администратором БРС.

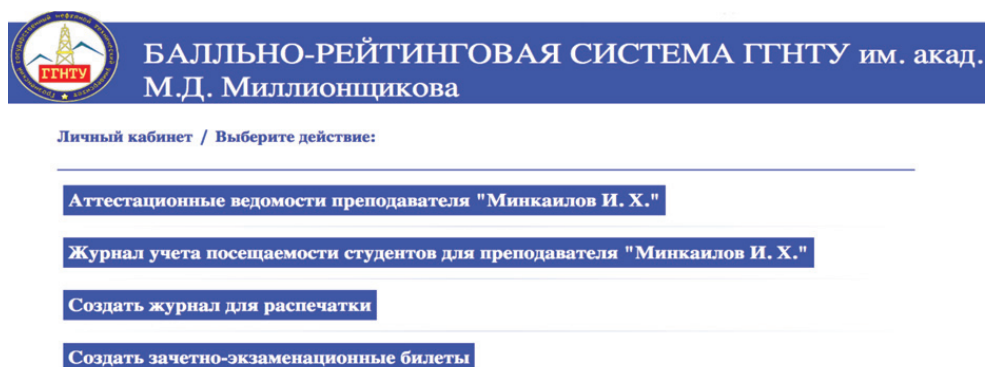


Рис. 1. Основное меню системы БРС

Перейти к журналу

Сохранить ведомость

АТТЕСТАЦИОННАЯ ВЕДОМОСТЬ

В весеннем (6) семестре 2018/2019 учебного года факультета Институт прикладных информационных технологий

группы БИС-16п по дисциплине «Системы информационной безопасности» (Экзамен)

		1-ая аттестация			2-я аттестация				Досдача (до 20 баллов)
		Посещаем.	Текущая атт.	Рубежная атт.	Посещаем.	Текущая атт.	Рубежная атт.	Самост. работа	
		Баллы (0-5)	Баллы (0-15)	Баллы (0-20)	Баллы (0-10)	Баллы (0-15)	Баллы (0-20)	Баллы (0-15)	
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Асхабов Хамзат Мусостович	5	0	0	0	0	0	0	0
2	Ахигов Магомед-Эмин Саид-Магомедович	5	0	0	0	0	0	0	0
3	Ахматханов Хамзат Хож-Ахмедович	5	0	0	0	0	0	0	0
4	Бушуев Турпал-Али Зелимхаевич	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Галаев Рамзан Русланович	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Паскушев Энвер Тимерханович	5	0	0	0	0	0	0	0
7	Салгирев Аюб Адамович	5	0	0	0	0	0	0	0
8	Товсултанов Мохмад Биладович	5	0	0	0	0	0	0	0
9	Хамзатов Ахмед Магомедович	5	0	0	0	0	0	0	0
10	Хатуев Мансур Сайд-Сели	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Ведомость преподавателя для ввода баллов

В личном кабинете преподавателя в БРС доступны следующие функционалы:

1. Аттестационные ведомости преподавателя – компонента системы, которая позволяет вводить оценочные баллы студентов по текущему, рубежному и итоговому контролям знаний.

2. Журнал учета посещаемости студентов – компонента системы позволяющая ежедневно отмечать присутствующих и отсутствующих студентов по группам.

3. Создание аттестационных и зачетно-экзаменационных билетов по вводу списков вопросов и заданий.

4. Создание аналитических отчетов рейтингов обучающихся по задаваемым параметрам – учебные группы, курсы, учебные дисциплины, направления подготовки и т.д.

На рис. 2 представлена форма ввода баллов преподавателем в пределах одной группы. Баллы за посещаемость формиру-

ются системой автоматически, основываясь на итогах заполнения преподавателем электронного журнала посещения занятий.

На основе набранных баллов студентов каждой группы система имеет возможность ранжирования по рейтингу за определенный промежуток времени (месяц, семестр, учебный год).

В используемой системе ГГНТУ регламентируется разграничение доступа пользователей, каждый из которых имеет свои определенные права и функции: Администратор, Преподаватель, Студент (пользователь). Обычный пользователь в этой системе наделен правами просмотра, а преподаватель – просмотра и ввода баллов. Особые права наложены на администратора, и ему доступны такие функции, как:

- просмотр журналов групп;
- просмотр аналитических материалов по успеваемости студентов;

- просмотр аналитических материалов по заполняемости преподавателями учебных журналов;
- просмотр, ввод, изменение, удаление сведений о студентах;
- просмотр и редактирование данных по авторизации;
- доступ и редактирование баз данных;
- вывод итоговых результатов рейтинга в систему объявлений для студентов;
- экспорт аттестационных и зачетно-экзамениционных ведомостей.

В проектировании информационных систем на сегодняшний день используются различные диаграммы. Выбор того или иного вида диаграмм в проекте зависит от сложности реализации программного проекта и разнообразия возможных подходов [7]. В разрабатываемом программном модуле логическая модель будет представлена ER-моделью (модель «сущность – связь»). На основе сущностей, обозначенных атрибутов и установленных связей на рис. 3 приведена ER-модель.

На следующем этапе проектирования была поставлена и решена задача – преобразовать ER-модель в формат реляционной модели. Для решения данной задачи потребовалось выполнить ряд последующих действий:

1. Поставить каждой сущности ER-модели в соответствие отношение реляционной модели.

2. В каждое отношение, соответствующее подчиненной сущности, добавляется набор атрибутов, соответствующий ключу основной сущности.

3. При обязательном характере связи у атрибутов, соответствующих внешнему ключу, устанавливается свойство отсутствия неопределенных значений.

Уже на уровне ER-модели был проведен процесс ее нормализации таким образом, чтобы модель удовлетворяла условиям третьей нормальной формы.

На основе вышеприведенной ER-диаграммы «Сущность – связь» с учетом особенностей разрабатываемого модуля была построена реляционная модель рейтинговой системы результатов учебных достижений студентов среднего профессионального образования (рис. 4).

На стадии, когда уже описана общая концепция и логика будущего программного обеспечения, требовалось решить проблему выбора программного инструментария и средств, на основе которых будет реализован проект. Как видно из рис. 4, для реализации поставленной задачи была определена архитектура, где используется сервер на хостинге и клиентская часть. Выбранный нами подход к использованию веб-приложений обосновывался следующими условиями:

- веб-приложения более универсальны и практичны для конечного пользователя;

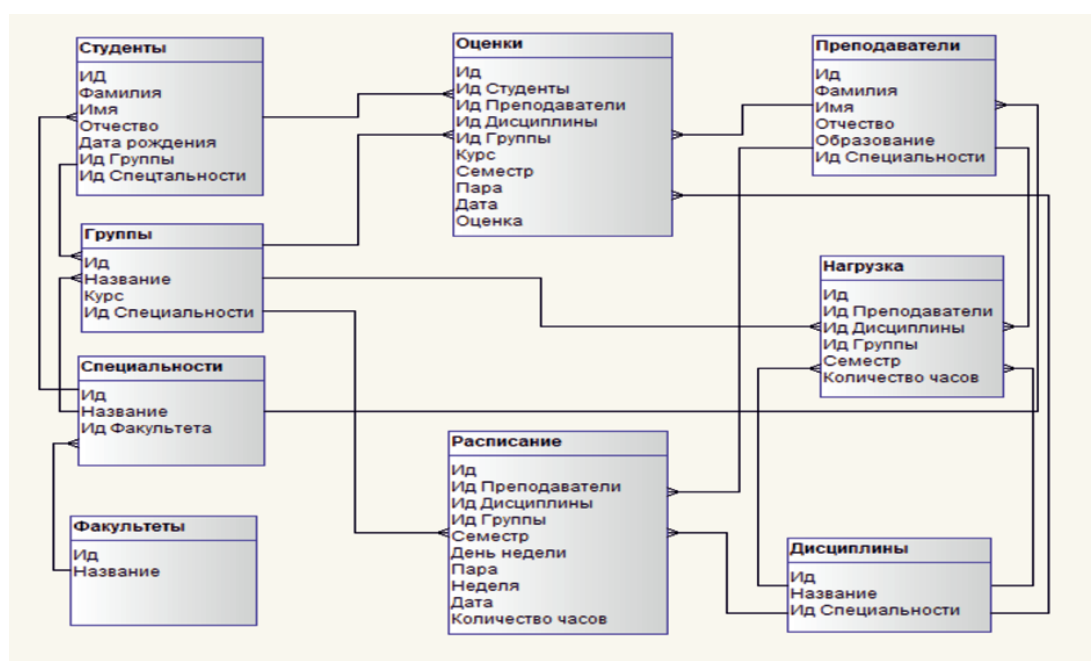


Рис. 3. ER-диаграмма «Сущность – связь» рейтинговой системы

– универсальность организации хранения данных;

– обновление не требует особых затрат.

Современное веб-программирование не просто среда разработки, где есть один язык, а это комплекс языков программирования, каждый из которых отвечает за ту или иную задачу. На текущий момент можно выделить несколько наиболее востребованных языков web-программирования, таких как JavaScript, Python, PHP, Ruby, HTML, CSS [8].

При выборе языка программирования ориентировались на поставленные цели с учетом особенностей каждого из рассматриваемых средств программирования. На основе проведенного анализа за основу разработки был взят комплекс языков программирования: PHP и JavaScript, а также HTML

и CSS. Языки Python и Ruby требуют больших временных затрат на изучение и предназначены в основном для более крупных проектов. Наиболее оптимальная версия системы управления базами данных для разрабатываемого модуля информационной системы БРС – MySQL [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Программное решение разрабатываемого модуля формировалось по принципу многопользовательской архитектуры. База данных программного модуля располагалась на хостинг-сервере, доступ к которому осуществлялся через веб-приложение.

Древовидная структура клиентского интерфейса приведена на рис. 5.

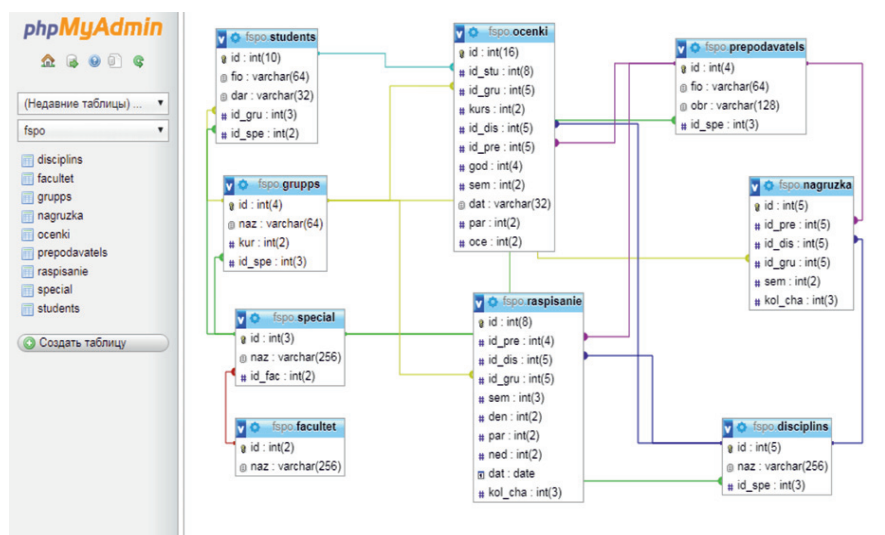


Рис. 4. Реляционная модель рейтинговой системы

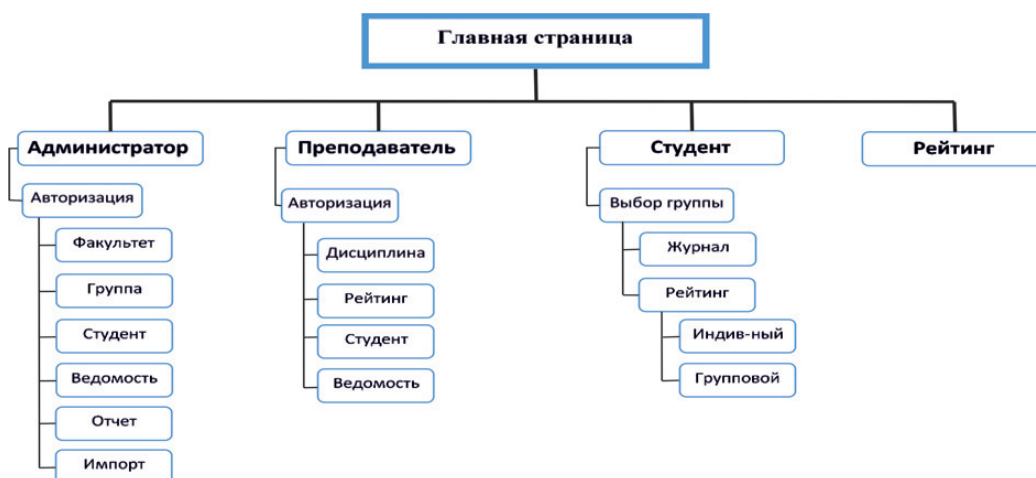


Рис. 5. Древовидная структура клиентского интерфейса

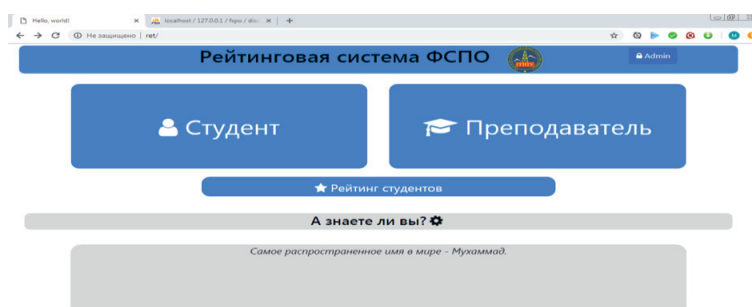


Рис. 6. Главная страница рейтинговой системы

№	Студент	1.02.18	4.02.18	7.02.18	10.02.18	13.02.18	16.02.18	19.02.18	22.02.18	25.02.18	28.02.18	1st	2st	R
1	Ибаев Хасан Хаважевич	5	9	10	7	6	9	7	6	10	10	7	7	790
2	Исмаев Вади Петрович	9	5	9	10	9	5	8	10	8	5	9	9	780
3	Исмаев Магомед Хаважевич	10	7	10	7	8	8	5	5	7	10	7	7	770
4	Исмаев Кукуй Хаважевич	8	6	5	9	10	10	5	6	8	7	10	10	740
5	Исмаев Лема Петрович	7	10	10	7	8	5	9	7	7	10	6	6	800
6	Исмаев Рамазан Виситович	10	6	9	5	8	6	5	9	8	6	9	9	720
7	Исмаев Рахим Русланович	6	6	10	7	10	10	9	10	10	5	9	9	830
8	Исмаев Рахим Русланович	9	10	9	6	5	6	6	8	7	6	8	8	720
9	Исмаева Мадина Усмановна	6	7	6	10	7	6	5	7	6	6	10	10	660
10	Исмаева Мадина Усмановна	5	9	10	10	5	5	8	7	7	6	7	7	720
11	Исмаев Хусейн Хаважевич	7	7	8	9	10	10	10	7	10	7	10	10	850
12	Исмаев Ахмед Петрович	5	8	10	5	7	10	10	9	7	10	10	10	810

Рис. 7. Ведомость преподавателя для ввода баллов

При выборе хостинг-сервера были учтены все требования разработанного модуля рейтинговой системы: поддержка PHP, поддержка MySQL, высокая скорость, стабильная работа и не менее 10 гб объема хранения данных.

На рис. 6 представлена главная страница рейтинговой системы учета учебных достижений студентов уровня среднего специального образования в ГГНТУ.

Главная страница модуля рейтинговой системы не содержит излишней громоздкой информации и имеет «дружественный» интерфейс с оптимальным набором активных кнопок для реализации необходимых переходов. Также стоит отметить блок из рубрики «А знаете ли вы?», который в режиме автоматической прокрутки знакомит пользователей с интересными фактами из профессиональной области обучающихся.

Далее приведен рисунок, на котором показана основная форма преподавателя, предназначенная для ввода баллов как текущей, так и аттестационной учебной деятельности студентов по отдельной дисциплине «Информатика» (рис. 7).

Выводы

При исследовании данной темы авторами проведен анализ современных подходов к формированию рейтинговых систем учебных достижений обучающихся в целях эффективного управления контроля знаниями студентов. Разработанные концептуальная и математическая модели данных позволили выполнить обоснованный выбор архитектуры программного обеспечения, среды программирования, которые дали возможность успешно реализовать и внедрить в систему образования СПО в ГГНТУ программное решение рейтингового контроля знаний студентов с учетом требований федеральных образовательных стандартов.

В предлагаемую балльно-рейтинговую систему встроен функционал, который позволяет графически отображать интерактивный режим рейтинга студентов. Применение возможностей современных веб-технологий для создания дополнительных аналитических и графических функций представления итоговых рейтинговых

результатов является основным преимуществом рассматриваемой разработки.

Применение новых автоматизированных рейтинговых систем оценивания знаний студентов средних профессиональных учреждений способствует повышению мотивации к обучению и результативности, что непосредственно влияет на качество подготовки компетентного специалиста среднего звена.

Список литературы

1. Рапацевич Е.В. Инновации в образовании: роль информационно-технологической среды // Успехи современного естествознания. 2013. № 10. С. 86–88.
2. Сазонов Б.А. Балльно-рейтинговые системы оценивания знаний и обеспечение качества учебного процесса // Высшее образование в России. 2012. № 6. С. 28–40.
3. Карнаухова М.В. Диверсификация мировой системы оценивания качества образования на рубеже XX–XXI столетий. Ульяновск: УлГУ, 2006. 422 с.
4. Стариченко Б.И. Балльно-рейтинговая система оценивания учебной деятельности студентов: вопросы моделирования // Педагогическое образование в России 2017. № 6. С. 205–215.
5. Хасухаджиев А.С.-А., Алисултанова Э.Д., Дадашова А.С. Автоматизированная балльно-рейтинговая система оценки учебной деятельности студентов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2017613705. 30.01.2017 г.
6. Алисултанова Э.Д., Моисеенко Н.А., Дадашова А.С., Дубаев А.А. Автоматизированная система балльно-рейтинговой системы учета достижений студентов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2014661188. 30.05.2014 г.
7. Ипатова Э.Р., Ипатов Ю.В. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем. М.: Флинта, 2016. 256 с.
8. Брейер. М. Автоматизация проектирования вычислительных систем. Языки, моделирование и базы данных. М.: Мир, 2015. 463 с.
9. Бенкен Е. PHP, MySQL, XML. Программирование для Интернета. М.: БХВ-Петербург, 2008. 352 с.

УДК 004:681.5(575.2)

ВЕБ-САЙТ И ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Бийбосунов Б.И., Курманбек уулу Т., Бексултанов Ж.Т.

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

Природно-климатические и геолого-географические условия Кыргызской Республики отличаются тем, что большую часть территории Кыргызстана занимают горы. В силу особенностей горно-геологического и тектонического строения горного рельефа практически вся территория республики подвержена экзогенным геологическим процессам (ЭГП), таким как оползни, селевые потоки, снежные лавины, обвалы, землетрясения. Наибольшей катастрофичностью проявления среди других экзогенных геологических процессов отличаются оползни и сели. В рамках данной статьи изложены результаты исследования с применением компьютерной техники и математического моделирования применительно к гидродинамическим процессам, которые определяют такие природные катастрофы, как оползни и сели, распространенные на территории Кыргызской Республики. Предлагается специализированный веб-сайт, который содержит результаты научных исследований, посвященных природно-техногенным катастрофам и экзогенным геологическим процессам (ЭГП). В качестве основных систем управления базами данных (СУБД) были использованы следующие системы: MS Access, My SQL и PostgreSQL. Таким образом, основными средствами разработки компьютерных программ и вычислительных процедур выступают Delphi, Python, Visual Basic, Java и JavaScript. Для проектирования и создания сайта применялись веб-технологии и следующие программные средства: Python, JavaScript, PHP и HTML.

Ключевые слова: веб-сайт, информационная система, математическое моделирование, оползни, сели

WEB SITE AND INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS AND FORECAST OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN KYRGYZ REPUBLIC

'Biybosunov B.I., Kurmanbek uulu T., Beksultanov Zh.T.

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

Natural-climatic and geological-geographical conditions of the Kyrgyz Republic differ because of the territory of Kyrgyzstan, which is occupied by mountains. Due to the peculiarities of the geological and tectonic structure of the mountainous terrain, almost the entire territory of the Republic is subject to exogenous geological processes (EGP), such as landslides, mudflows, avalanches, landslides, earthquakes. The most catastrophic manifestations among other exogenous geological processes are landslides and mudflows. This article presents the results of research using computer technology and mathematical modeling in relation to hydrodynamic processes that determine such natural disasters as landslides and mudflows common in the territory of the Kyrgyz Republic. A specialized website is proposed, which contains the results of scientific research on natural and man-made disasters and exogenous geological processes (EGP). The following systems were used as the main database management systems (DBMS): MS Access, My SQL and PostgreSQL. Thus, the main means of developing computer programs and computational procedures are Delphi, Python, Visual Basic, Java and JavaScript. Web technologies and the following software tools were used to design and create the site: Python, JavaScript, PHP and HTML.

Keywords: website, information system, mathematical modeling, landslides, mudflows

Кыргызская Республика (КР) – государство, в котором из-за его географического месторасположения происходят многочисленные стихийные бедствия. Серьезные геологические, климатические, техногенные вызовы и проблемы глобального изменения климата негативно влияют на население и экономику страны в целом. Население и инфраструктура чувствительны к риску природных катаклизмов и катастроф [1]. Природно-климатические и геолого-географические условия Кыргызской Республики отличаются тем, что большую часть территории Кыргызстана занимают горы. В силу особенностей горно-геологического и тектонического строения горного рельефа практически вся территория республики подвержена экзогенным геологическим процессам

(ЭГП), таким как оползни, селевые потоки, снежные лавины, обвалы, землетрясения. Наибольшей катастрофичностью проявления среди других экзогенных геологических процессов отличаются оползни и сели. Оползни и сели представляют собой один из самых распространенных видов природных катастрофических явлений, которые вызывают колоссальные разрушения на больших территориях, приводят к огромным человеческим жертвам, причиняют большой ущерб экономике и природной среде. Сели и оползни имеют широкое распространение на всей территории Кыргызстана, и особенно в южных регионах: Ошской, Джалал-Абадской и Баткенской областях.

Практически ежегодно из-за природно-техногенных катастроф Кыргызстан несет

большие материальные потери. Многолетний горький опыт показывает, что эти природные катастрофические процессы причиняют огромный экономический ущерб народному хозяйству, вызывают гибель людей, наносят значительный урон социально-экономической инфраструктуре и экологии.

В связи с развитием народного хозяйства республики большое значение приобретает проблема рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Для дальнейшего социально-экономического развития необходимо промышленно-хозяйственное освоение горных районов, создание соответствующей инфраструктуры горных регионов, развитие коммуникаций и т.д. В результате для Кыргызстана, как горной экосистемы, проблема изучения природно-техногенных катастроф выдвигается в ряд важных народнохозяйственных и научно-технических задач. Согласно данным Министерства чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики «на территории Кыргызской Республики насчитывается более 5000 активных оползней. В различной степени оползневым процессам подвержено 600 населенных пунктов. До 10 тысяч жилых домов расположены в потенциально опасных зонах. Всего по республике процессы подтопления развиты на площади 3200 кв. км, подвержены угрозам 344 населенных пункта».

Также к природным чрезвычайным ситуациям относятся опасные метеорологические явления (ливневые осадки, град, сильные ветры, снегопады и заморозки, засуха и т.д.), эрозия берегов, просадки в лессовых и глинистых грунтах, обвалы, камнепады и другие.

В рамках данной статьи изложены результаты исследования с применением компьютерной техники, математического моделирования и математических методов применительно к гидродинамическим процессам, которые определяют такие природные катастрофы, как оползни и сели, распространенные на территории КР, и особенно вблизи народнохозяйственных объектов и населенных пунктов.

В данной работе предлагается специализированный веб-сайт, который содержит результаты научных исследований, посвященных природно-техногенным катастрофам, экзогенным геологическим процессам (ЭГП), возможным прорывным турбулентным течениям, представляющим угрозу гидротехническим сооружениям и другим народнохозяйственным и техническим объектам, коммуникациям и др.

На рис. 1 показана главная страница веб-сайта, для проектирования и разработ-

ки которого использовался современный программный инструментарий. В качестве основных языков программирования, которые реализуют математические модели, численные методы и алгоритмы, применяемые в наших научных исследованиях, используются языки объектно-ориентированного программирования (ООП).

Материалы и методы исследования

Таким образом, основными средствами разработки компьютерных программ и вычислительных процедур выступают Delphi, Python, Visual Basic, Java и JavaScript [2, 3]. Для проектирования и создания сайта применялись веб-технологии и следующие программные средства: Python, JavaScript, PHP и HTML.

В качестве основных систем управления базами данных (СУБД) были использованы следующие системы: MS Access, My SQL и PostgreSQL [4, 5].

На верхней панели сайта расположено основное меню, которое содержит следующие рубрики: «Главная», «ЭГП в КР», «Моделирование ЭГП», «Прогнозные модели», «Информационные системы и базы данных».

На правой боковой панели сайта расположены следующие рубрики:

- «Кафедра прикладной информатики», содержит информацию о кафедре «Прикладная информатика» КГУ им. И. Арабаева, которая выпускает бакалавров по специальности «Прикладная информатика», «Информатика и вычислительная техника», «Информационные системы и технологии», «Информатика», а также магистров по специальности «Прикладная информатика» и «Информационные технологии»;

- «Состав кафедры», содержит информацию о профессорско-преподавательском составе кафедры;

- «Научная работа», содержит информацию о научно-исследовательской деятельности кафедры, основных научных направлениях и выполняемых НИР, грантовых проектах и т.д.

- «Научные связи», приведены соглашения о научно-исследовательском сотрудничестве кафедры с отечественными и зарубежными вузами и НИУ;

- «Диссертационный совет», содержит информацию об открытом при КГУ им. И. Арабаева Диссертационном докторском совете на базе кафедры «Прикладная информатика» [6].

Рассмотрим рубрику «Экзогенные геологические процессы в КР». В данном разделе приведены основные ЭГП, типы природных и техногенных катастроф на территории нашей страны (рис. 2).

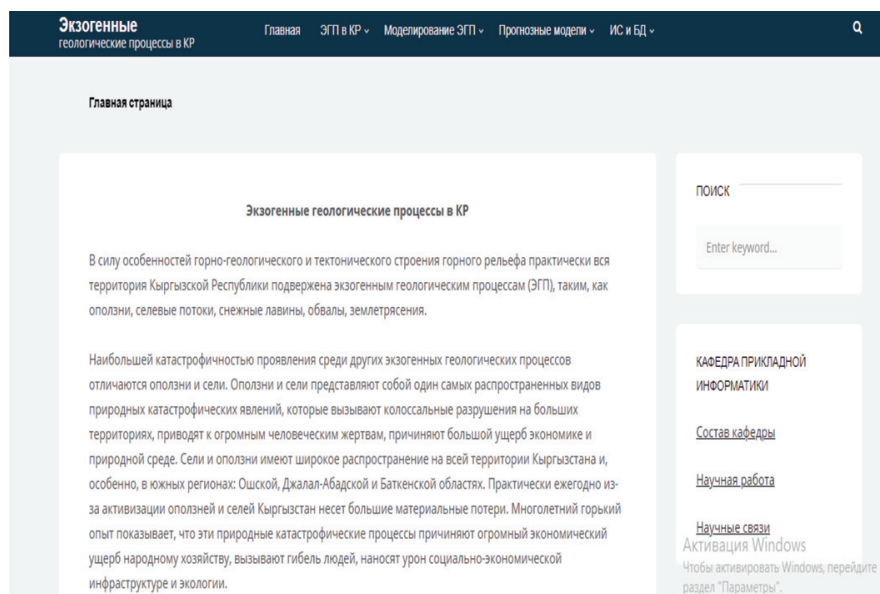


Рис. 1. Главная страница веб-сайта

Экзогенные геологические процессы в КР

Оползни и сели, как основные виды экзогенных геологических процессов, имеют практически повсеместное распространение на территории Кыргызстана, которая на 90 % состоит из горных массивов Тянь-Шаня. Активизация селевых и оползневых процессов, зачастую носящих катастрофический характер, причиняет большой ущерб населенным пунктам, инженерно-техническим коммуникациям, экономике страны, а также сопровождается человеческими жертвами. В этой связи актуальной задачей является мониторинг ЭГП с применением современного научного инструментария.

А.И. Шеко отмечает в своих работах, что в ходе проведения сложных и многообразных геолого-инженерных работ выявляются основные геологические условия, рельеф, климатические условия и другие факторы формирования и развития оползней и селей, изучаются склоны и участки проявления оползней и селей, проводится типизация оползней и селей, их классификация, исследуются их основные закономерности и др. [7]. Все факторы, которые являются причинами возникновения, зарождения, развития и активизации ЭГП, делятся на три большие группы: постоянные, медленно изменяющиеся и быстро изменяющиеся.

Постоянными факторами являются геологическое строение и рельеф местности. «Они определяют генетические особенности ЭГП, а также интенсивность их проявления. Эти факторы являются необходимым

условием формирования экзогенно-геологических процессов и считаются неизменными» [8].

Ко второй группе факторов относятся современные тектонические движения, климатические характеристики местности, гидрогеологические условия, растительность и другие.

Факторы третьей группы включают в себя: метеорологические, гидрологические, а также сейсмические и техногенные процессы. Данная группа факторов составляет основу временного прогноза изучаемых процессов, а совокупность факторов первой и второй группы является основой пространственного прогноза ЭГП [8].

Моделирование ЭГП

В данном разделе приведены математические модели для исследуемых ЭГП, а также различные начально-краевые задачи для гидродинамических процессов и течений в различных средах.

При этом рассмотрены следующие большие классы научных задач:

- моделирование оползневых процессов с применением приближенно-аналитических методов решения;

- численные математические модели оползневых течений на основе вычислительных методов прикладной математики и вычислительной гидродинамики;

- моделирование селевых процессов с применением приближенно-аналитических методов решения;

– модели для катастрофических селевых течений на основе численных методов и вычислительных алгоритмов;

– разработка моделей для природно-техногенных катастроф на основе численных методов и алгоритмов.

Прогнозные модели

Данный раздел исследований посвящен вопросам прогнозирования природных катастроф на территории республики на основе теории корреляционно-регрессионного и факторного анализа. На сайте создана рубрика «Прогнозные модели». Следующий важный момент заключается в построении достоверных прогнозных моделей, учитывающих максимально возможное число основных факторов и их приоритетность. Наконец, на достоверность предлагаемых прогнозов влияет точность методов вычислений. Правильность наших прогнозных моделей покажет только практика.

Результаты исследования и их обсуждение

Показано, что гидродинамические процессы, фильтрация жидкости (грунтовые и подземные воды) и инфильтрация жидкости (атмосферные осадки, поверхностный сток, снеготаяние и т.д.) в оползневых и селеопасных горных склонах выступают одними из основных факторов возникновения, формирования и активизации ЭГП в нашей республике.

Как известно, важной практической задачей является определение вероятной

линии скольжения оползней. С этой целью формулируется и решается задача фильтрации жидкости в неоднородно-анизотропном грунте в виде уравнения в частных производных второго порядка с граничными условиями типа Дирихле и Неймана на неизвестной границе – линии скольжения оползней. Для решения этой полуобратной краевой задачи применяется известный численный метод конечных элементов в двухмерной и трехмерной постановке с итерационной процедурой для нахождения неизвестной границы – линии или плоскости скольжения.

Аналогичные начально-краевые задачи и модели формулируются и решаются для процессов инфильтрации жидкости в оползневых и селевых горных склонах.

На основе решения краевых задач фильтрации и инфильтрации жидкости ставится задача по определению устойчивости склонов против оползания с учетом основных физических сил и нагрузок, действующих на оползневой склон.

После потери устойчивости оползневого склона под действием совокупности основных факторов происходит активизация оползней и для оползней – течений и селевых грязекаменных потоков разработаны модели двухфазных нестационарных течений с начально-краевыми условиями типа Коши, Дирихле и Неймана и смешанными условиями с применением теории «мелкой воды» и теории турбулентных течений. Для решения этих нелинейных моделей применяется численный метод крупных частиц.

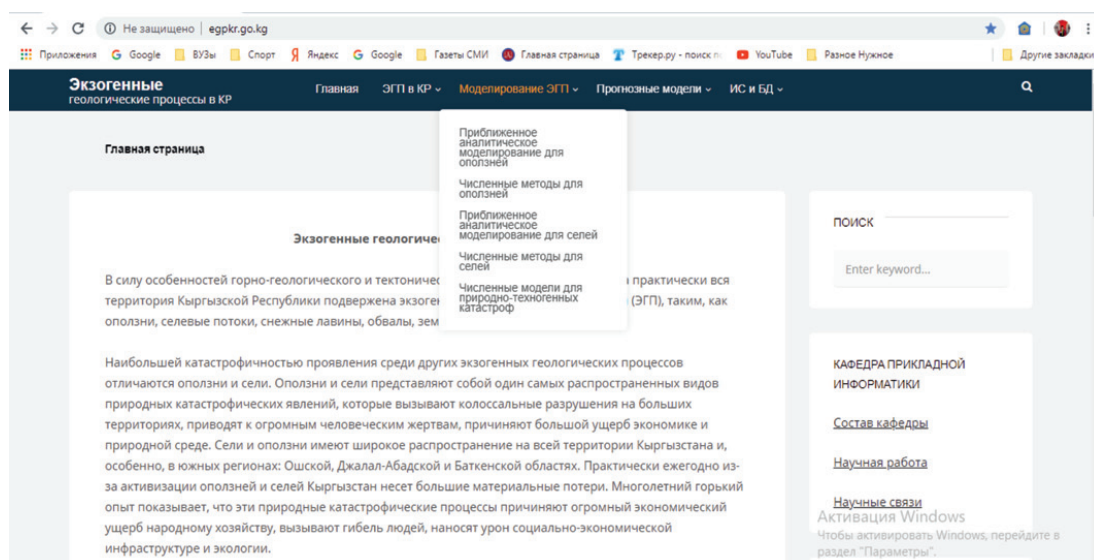


Рис. 2. ЭГП и их моделирование

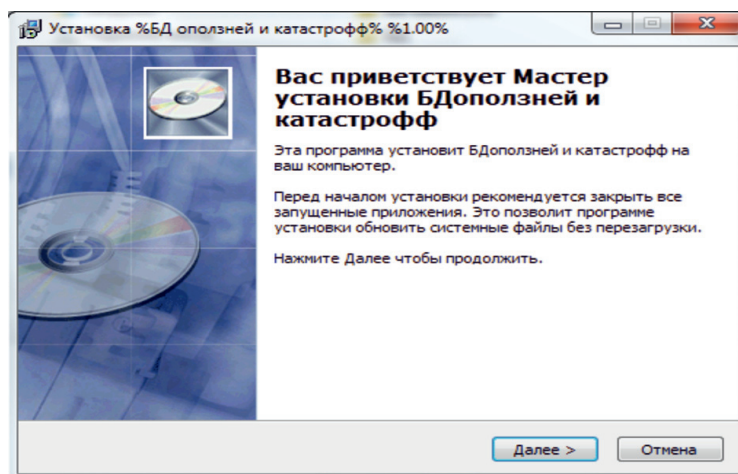


Рис. 3. Окно установки и запуска ИС

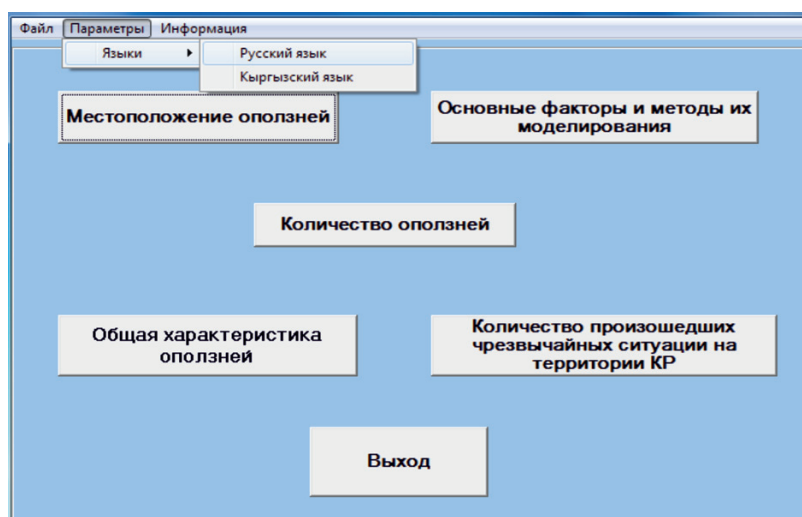


Рис. 4. Главное меню ИС

Для прогнозирования ЭГП предложены линейные и нелинейные прогнозные модели на основе теории и методов регрессии и факторного анализа. Временные ряды активизации оползней и селей и других основных факторов строятся на основе данных наблюдений Министерства чрезвычайных ситуаций и Кыргызской гидрометеослужбы (данные по годам, кварталам, месяцам и по оползневым и селеопасным районам и участкам).

Разработана информационная система для ЭГП на территории республики, база данных которой содержит необходимую информацию, применяемую для моделирования и прогноза ЭГП. На рис. 3 и 4 показаны окно установки и запуска ИС и главное меню.

Заключение

Современный уровень научных исследований предполагает и обязывает разработку и применение новых информационных технологий. В связи с этим в данной работе была сформулирована цель по применению математического моделирования и информационных технологий для исследования и прогнозирования ЭГП на территории Кыргызстана. Для реализации поставленной цели предложены гидродинамические модели и численные методы их решения. Разработана информационная система для оползневых и селевых процессов и других типов ЭГП, распространенных на территории КР. Предложены прогнозные модели и на их основе краткосрочные

и среднесрочные (на 1–3 года) прогнозы активизации ЭГП на территории КР. Таким образом, основная задача на сегодняшний день заключается в постоянном наполнении, обновлении и модернизации сайта, информационной системы и базы данных соответствующим информационным материалом, достоверными статистическими сведениями, данными наблюдений за формированием, развитием и активизацией катастрофических ЭГП на территории КР.

Список литературы

1. Постановление Правительства КР от 29 января 2018 года № 58 «О Концепции комплексной защиты населения и территории Кыргызской Республики от чрезвычайных ситуаций на 2018–2030 годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gov.kg/wp-content/uploads/2018/02/Prilozhenie6.rar> (дата обращения: 18.01.2019).
2. Зибиров В.В. Visual Basic 2010 на примерах. БХВ-Петербург, 2010. 338 с.
3. Мэтиз Э. Изучаем Python. СПб.: Питер, 2017. 496 с.
4. Крейн Д., Паскарелло Э., Джеймс Д. MySQL. Справочник по языку. MySQL Press, 2010. 432 с.
5. Бийбосунов Б.И., Бийбосунова С.К. Краткий курс ИКТ: учебное пособие для студентов вузов. Бишкек: КГУ им. Арабаева, 2010. 115 с.
6. Экзогенные геологические процессы в КР [Электронный ресурс]. URL: <http://egpkr.go.kg/#> (дата обращения: 21.01.2019).
7. Изучение режима оползневых процессов / Под ред. А.И. Шеко. М.: Изд. Недра, 1982. 412 с.
8. Гулакян К.А., Кюнтцель В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Изд. Наука, 1977. 212 с.

УДК 66.013.7:665:536.3

**ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПЕЧИ ПЕРВИЧНОГО РИФОРМИНГА ЗАВОДА
ПРОИЗВОДСТВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ****Вафин Д.Б.**

*Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Казанский
национальный исследовательский технологический университет», Нижнекамск,
e-mail: vafdanil@yandex.ru*

С помощью пакета прикладных программ, реализующих дифференциальный метод теплового расчета топок, впервые рассчитаны поля температуры в камере радиации и распределения тепловых потоков вдоль трубчатых реакторов в печи первичного риформинга для получения водорода завода по производству аммиачной селитры. Показана упрощенная схема камеры радиации печи. Горизонтальные настенные горелки установлены на одинаковых расстояниях друг от друга в шести горизонтальных рядах по обеим стенкам камеры радиации. Дается краткое описание математической модели взаимосвязанных процессов горения, турбулентного течения дымовых газов, лучисто-конвективного теплообмена, происходящих в топочной камере. Затронуты вопросы численного решения системы дифференциальных уравнений. Задача решается в двухмерной постановке. Продукты сгорания природного газа в воздухе, выходящие из сопел 360 горелок, создают сложные поля температуры и скоростей течения в камере радиации печи. Это противоречит предположению о равномерном температурном поле в топке. Тепловые потоки к реакционным трубам формируются за счет излучения дымовых газов, частиц сажи и раскаленных футерованных поверхностей стен топочной камеры. Для вычисления лучистых потоков применена спектральная модель широкой полосы, учитывающая излучение углекислого газа и водяного пара. Приведены графики изменения температуры внутренней поверхности футерованных боковых стен печи и наружных поверхностей реакционных труб. Достоверность расчетных значений температуры дымовых газов на перевале печи, наружной стенки труб реактора у входа и выхода из камеры радиации подтверждены экспериментальными данными. Даются рекомендации по обеспечению нормального теплового режима камеры радиации.

Ключевые слова: трубчатая печь, реакционные трубы, настенные горелки, горение, излучение, турбулентность

**THERMAL MODE OF THE PRIMARY REFORMING FUNNEL
OF AMMONIA SELETTER PRODUCTION PLANT****Vafin D.B.**

*Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology (branch) of «Kazan State Research Technological
University», Nizhnekamsk, e-mail: vafdanil@yandex.ru*

Using the application package that implements the differential method of thermal calculation of the furnaces, the temperature fields in the radiation chamber and the distribution of heat fluxes along the tubular reactors in the primary reforming furnace were first calculated to produce hydrogen for the ammonium nitrate production plant. A simplified diagram of the furnace radiation chamber is shown. Horizontal wall burners are installed at equal distances from each other in six horizontal rows along both walls of the radiation chamber. A brief description of the mathematical model of interconnected combustion processes, turbulent flow of flue gases, and radiative-convective heat exchange occurring in the combustion chamber is given. The issues of the numerical solution of the system of differential equations. The problem is solved in a two-dimensional formulation. The products of natural gas combustion in the air, coming out of the nozzles of the 360 burners, create complex fields of temperature and flow rates in the furnace radiation chamber. This contradicts the assumption of a uniform temperature field in the furnace. Heat flows to the reaction tubes are formed by the radiation of flue gases, soot particles, and hot lined surfaces of the walls of the combustion chamber. The spectral model of a wide band, taking into account the emission of carbon dioxide and water vapor, was used to calculate radiant fluxes. Graphs of changes in the temperature of the inner surface of the lined side walls of the furnace and the outer surfaces of the reaction tubes are given. The reliability of the calculated values of the flue gas temperature at the furnace pass, the outer wall of the reactor tubes at the entrance and exit of the radiation chamber is confirmed by experimental data. Recommendations are made to ensure the normal thermal conditions of the radiation chamber.

Keywords: tube furnace, reaction tubes, wall burners, combustion, radiation, turbulence

Аммиачная селитра производится за счет нейтрализации азотной кислоты аммиаком в газообразной фазе с последующей кристаллизацией продукта. Тепловой эффект реакции нейтрализации $\text{HNO}_3(\text{ж.}) + \text{NH}_3(\text{г.}) \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$ составляет 148,47 кДж/г×моль. Для синтеза аммиака используется водород. На заводе «Аммоний» водород получают паровой конверсией природного газа в трубчатых печах.

Смесь природного газа и водяного пара нагревается в реакционных трубах, которые находятся в камере радиации трубчатой печи и воспринимают теплоту от продуктов сгорания углеводородного топлива и раскаленных стен печи. Процесс ведется под давлением 3,2 МПа в зависимости от требуемого состава смеси газов при температуре на выходе не более 832 °С. Затем конвертируемый газ из трубчатой печи по-

стует в шахтный реактор на вторичную паровоздушную конверсию. Процессы внутри трубчатых реакторов проводятся на никелевых катализаторах.

До сих пор при проектировании трубчатых печей используются интегральные методы расчета, когда считается, что продукты сгорания во всем объеме камеры радиации имеют одинаковую температуру и футерованные боковые стены камеры также нагреваются равномерно. Нами разработан дифференциальный метод расчета тепло- и массообмена в топочных устройствах, основанный на совместном численном решении кинетического уравнения переноса энергии излучением и уравнений радиационной газовой динамики, записанных в дифференциальной форме [1]. Программный комплекс, реализующий данный метод, в частности, в [2, 3] использовался для численного анализа теплового и аэродинамического режима в камере радиации трубчатой печи с акустическими горелками, расположенными в три яруса на боковых стенах. Основы дифференциального метода были предложены Патанкармом и Сполдингом [4]. В настоящее время есть коммерческие универсальные вычислительные пакеты, например ANSYS FLUENT, CFX, FlowVision и др. Используются отечественные пакеты программ VP2/3, σ -Flow, FLOREAN [5], которые позволяют рассчитывать пространственные течения с учетом горения разнообразного топлива и сложный теплообмен. В [6] описывается зональный метод теплового расчета трубчатых печей, который требует предварительного задания заранее не известных так называемых коэффициентов турбулентного обмена между отдельными зонами. Анализ современных публикаций, посвященных переносу энергии излучением, имеется в [7]. До сих пор для теплового расчета топочных устройств и котельных агрегатов используются и интегральные методы [8]. В отличие от упомянутых работ наш метод позволяет рассчитать локальные параметры в объеме топки, и для учета спектра излучения продуктов сгорания в нашем пакете прикладных программ применяется метод широких полос.

Конвертированный газ для исследуемой печи должен выходить из реакционных труб печи первичного риформинга с температурой не более 832 °С. При проектировании печи расчеты проведены из предположения, что установленные горелки обеспечат равномерное поле температуры в объеме камеры радиации печи на уровне 1200 °С и равномерное распределение тепловых потоков по поверхности трубчатого экрана.

Целью данной работы является с помощью пакета прикладных программ, реализую-

ющих дифференциальный метод теплового расчета топок, определение действительного поля температуры в камере радиации печи и распределения тепловых потоков, чтобы проверить правомерность предварительных предположений и определить наиболее опасные с точки зрения перегрева участки стенки труб реактора.

Материалы и методы исследования

Печь первичного риформинга является основным аппаратом на стадии подготовки газа и предназначена для получения конвертированного газа методом паровой каталитической конверсии углеводородов природного газа. Печь первичного риформинга состоит из двух футерованных обогреваемых камер радиации с принудительной тягой от дымососа.

В камерах радиации печи первичного риформинга расположено 288 шт. реакционных труб с никельсодержащим катализатором R-67R-7H/R-67-7H (общее количество 47,9 м³). Реакционные трубы установлены на специальных подвесках в радиантную зону печи первичного риформинга. Обе радиантные камеры соединены общим газоходом дымовых газов.

Камеры радиации оборудованы настенными горизонтальными горелками (720 шт. в двух камерах) без принудительной подачи воздуха. Для более мягких условий разогрева печи риформинга при пуске проектом предусмотрена установка двух типов горелок различной мощности. Горелки типа Walard WA4 с мощностью 266 Вт расположены в первом ярусе горелок (120 шт.: 30 шт. на одной боковой стене). Горелки типа Walard WA5 с мощностью 530 Вт расположены в остальных пяти ярусах.

На рис. 1 показано поперечное сечение одной камеры радиации печи.

Как видно из рисунка, камера радиации практически симметрична относительно трубчатых реакторов. Вследствие этого расчеты можно проводить только для половины камеры. Глубина камеры составляет 13 м. Таким образом, ширина секции камеры радиации 1 м намного меньше, чем высота (13,6 м) и глубина камеры радиации, что позволяет рассматривать задачу сложного тепло- и массообмена в двухмерной постановке.

Горелки установлены на одинаковых расстояниях друг от друга в шести горизонтальных рядах по обеим стенкам каждой из камер печи первичного риформинга. Предполагается, что такое расположение горелок обеспечит равномерное распределение тепла по высоте реакционных труб. Каждая реакционная труба имеет внутренний диаметр 127,6 мм и длину 13000 мм, материал реакционных труб – 25Cr35NiNbTi.

Сжигание топливного газа, состоящего в основном из метана, в горелках печи первичного риформинга производится при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,1$, который через регистры самой горелки засасывается из атмосферы.

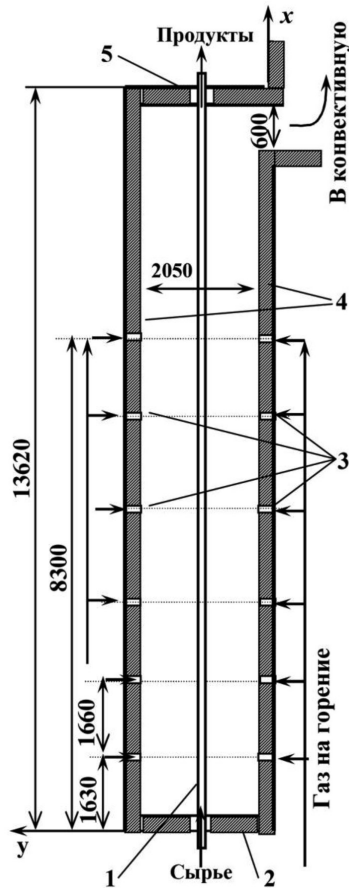


Рис. 1. Сечение камеры радиации:
1 – реакционные трубы; 2 – под;
3 – горелки; 4 – боковые стены; 5 – свод

Перепад давления печи первичного риформинга не более 0,33 МПа контролируется в центральном пункте управления (ЦПУ) по прибору 1-PDIAH-12036. Максимальное значение перепада давления печи 0,35 МПа сигнализируется в ЦПУ.

Часть тепла, получаемого при сжигании топливного газа в горелках, передается реакционным трубам печи первичного риформинга. Остальная часть тепла (за исключением потерь тепла через стенки) отводится из камер сжигания с дымовыми газами в конвекционную зону печи первичного риформинга и используется для нагрева технологических потоков. Для этой цели в дымоходе размещены змеевики различного назначения.

Температура дымовых газов на выходе из каждой камеры радиантной зоны печи первичного риформинга (вход в зону конвекции) должна быть не более 1060 °С, измеряется по 1-TIAH-12025A и 1-TIAH-12025B. Предусмотрена сигнализация в ЦПУ высокой температуры 1075 °С дымовых газов.

Разрежение на выходе из каждой камеры радиантной зоны печи первичного риформинга замеряется вакуумметрами 1-PG-12020A,B по месту и составляет от минус 40 до минус 100 Па (от минус 4,0 до минус 10 мм вод. ст.).

Математическая модель сложного тепло- и массообмена в камере радиации печи включает уравнение энергии (1), двухмерных уравнений переноса излучения в приближении метода дискретных ординат (2), турбулентного движения газовой смеси (представлено в векторной форме) (3), двухпараметрической k - ϵ модели турбулентности (4), неразрывности и состояния газов (5), конвективно-диффузионного уравнения переноса компонентов топлива и воздуха (6):

$$\frac{D}{Dt} \left(U + \frac{\rho \bar{u}^2}{2} \right) = \text{div} \mathbf{q}_k + \text{div} \mathbf{q}_k + \text{div} \mathbf{q}_p + \text{div} \mathbf{q}_{\text{хим}}. \quad (1)$$

$$\mu_m \frac{\partial I_m^k}{\partial x} + \xi_m \frac{\partial I_m^k}{\partial y} = \alpha_k \int_{\lambda_{k-1}}^{\lambda_k} I_{b\lambda} d\lambda - (\alpha_k + \beta_k) I_m^k + \frac{\beta_k}{4\pi} \sum_{m'=1}^{N_o} w_{m'} \Phi_{m'm} I_{m'}^k, \quad (2)$$

$$\rho(\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} = -\nabla p - [\nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\tau}}^{(l)}] - [\nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\tau}}^{(T)}] + \bar{f}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v \phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi, \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0, p = \frac{\rho}{\mu_{\text{см}}} RT, \quad (5)$$

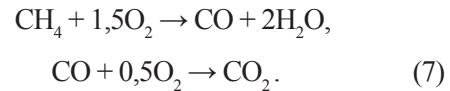
$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u m_r) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v m_r) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_r \frac{\partial m_r}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_r \frac{\partial m_r}{\partial y} \right) + S_r. \quad (6)$$

Здесь $\mathbf{q}_k, \mathbf{q}_k, \mathbf{q}_p, \mathbf{q}_{хим}$ – векторы плотности конвективного, кондуктивного и радиационного потоков энергии и связанного с реакциями горения топлива (аборта сил внешнего давления включена в $\mathbf{q}_k$; I_m^k – спектральная интенсивность излучения вдоль ограниченного числа направлений $S_m \{m=1, N_o\}$, эти направления задаются набором угловых координат $\{\mu_m, \xi_m\}$; $I_{bk}(T)$ – спектральная интенсивность излучения черного тела при температуре T ; α_k, β_k – осредненные спектральные коэффициенты поглощения и рассеяния; w_m – весовые коэффициенты [1]; u, v – компоненты скорости $\mathbf{u}$ продуктов сгорания вдоль осей x и y ; $\bar{\tau}^{(l)}$ – тензор вязких напряжений; $\bar{\tau}^{(T)}$ – тензор напряжений Рейнольдса; ρ – плотность продуктов сгорания; p – давление; $\mu_{см}$ – молярная масса смеси газов; R – универсальная газовая постоянная; $\mu_{эф} = \mu + \mu_t$ – эффективная вязкость (входит в уравнение (3)); коэффициенты турбулентной вязкости и теплопроводности вычисляются по формулам $\mu_t = c_f \rho k^2 / \epsilon$, $\lambda_t = c_\mu \mu / Pr_t$, где Pr_t – турбулентное число Прандтля; $f_1 = -\rho g(1 - \beta(T - T_\infty))$ – массовая сила, где $\beta = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T}$ – коэффициент объемного расширения, g – ускорение свободного падения, $T_\infty = 290$ К – температура, принимаемая за начало отсчета при учете архимедовых сил; $\phi = \{k, \epsilon\}$; k, ϵ – кинетическая энергия турбулентных пульсаций и скорость ее диссипации; S_ϕ – источниковый член [9]; $\Gamma_\phi = \mu + \mu_t / \sigma_\phi$ – коэффициент переноса в (4); $m_r, m_{ок}$ – массовые концентрации горючего и воздуха; $S_r = 0,53 \rho g_r^{1/2} \epsilon / k$ – скорость химической реакции, определяемая по модели «обрыва вихрей» [10], $g_r = 2,27 \frac{\mu_t k}{\rho \epsilon} \left(\frac{\partial m_r}{\partial y} \right)^2$ – среднеквадратичная пульсационная составляющая горючего; $\Gamma_r = \mu / \sigma_r$ – коэффициент переноса в (6), где σ_r – число Шмидта. Значения констант k – ϵ модели и выражения для f_μ взяты согласно рекомендациям [9].

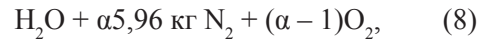
Уравнению вида (6) удовлетворяет также $m_{ок}$. Источниковый член уравнения для

массовой концентрации окислителя определяется соотношением $S_{ок} = S_r A$, где A – стехиометрическое количество воздуха для сгорания 1 кг горючего ($\Gamma_r = \Gamma_{ок}$).

Определение спектральных коэффициентов поглощения газов рассчитывается исходя из распределения мольных долей H_2O , CO_2 и CO в объеме камеры радиации. Для их определения использовали модель горения метана в две стадии:



В данной работе предполагается полное сгорание метана с образованием в конечных продуктах CO_2 и H_2O , N_2 , O_2 :



где α – коэффициент избытка воздуха.

Вычисление излучения продуктов сгорания проводилось с использованием спектральной модели широкой полосы, которая учитывает полосы 1,5; 2,7; 6,3; 10 мкм спектра излучения водяного пара и 2,7; 4,3; 15 мкм у двуокиси углерода. Уравнение переноса излучения (2) решается для каждой полосы отдельно, и лучистые потоки определяются суммированием по спектральным полосам.

Уравнениям задаются граничные условия, которые подробно рассмотрены в [1, 2]. Методы получения дискретных аналогов уравнений математической модели и методы их численного решения приведены в [1].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 показаны изотермы продуктов сгорания в поперечном сечении половины одной камеры радиации печи, проходящей через оси горелок в средней части камеры, полученные расчетным путем, и система координат. Для удобства расположения изображение представлено повернутым на 90°.

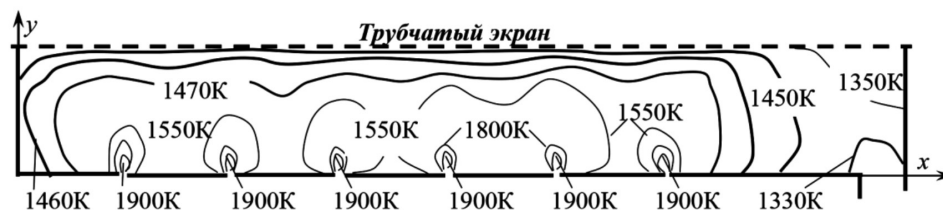


Рис. 2. Поле температуры на половине камеры радиации печи и система координат

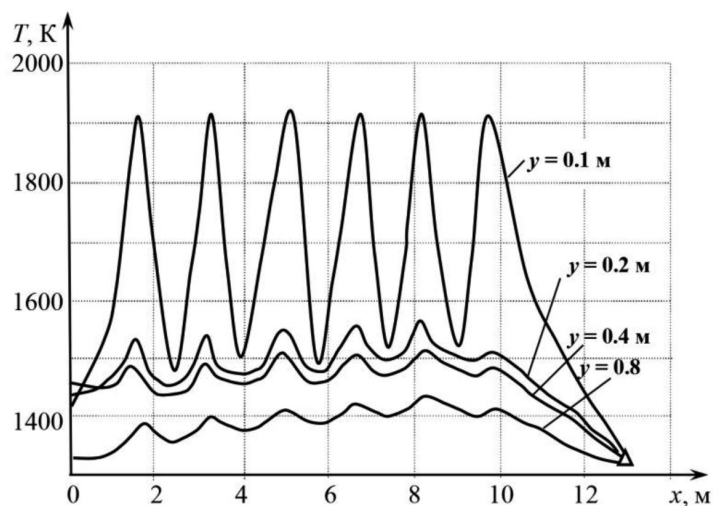


Рис. 3. Изменение температуры продуктов сгорания по высоте камеры радиации x на разных расстояниях y от боковой стенки: Δ — опытное значение на перевале

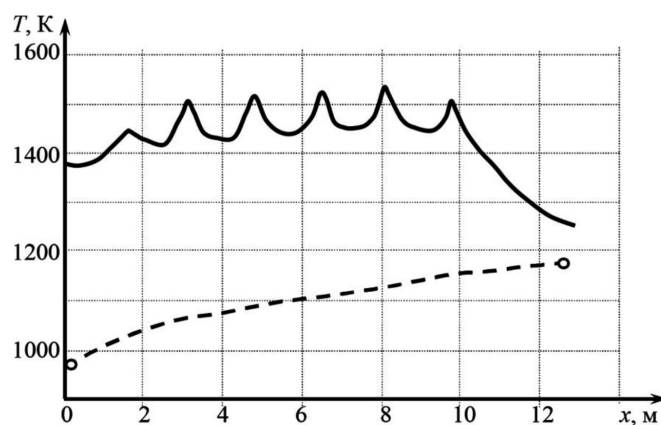


Рис. 4. Изменение внутренней поверхности боковой поверхности футеровки (сплошная линия) и наружной поверхности реакционных труб $\bigcirc$ (— опытные данные)

На рис. 3 представлен график изменения температуры продуктов сгорания по высоте камеры радиации x на разных расстояниях y от боковой футерованной стены, где расположены ярусы горелок (рис. 1 и 2). Там же показано и опытное значение температуры дымовых газов на перевале.

На рис. 4 показано изменение температуры внутренней поверхности футеровки боковой стенки камеры радиации и наружной стенки реакционной трубы по высоте камеры, полученные расчетом по нашей программе, а также опытные значения температуры наружной стенки труб на входе и выходе из камеры радиации, которые удовлетворительно согласуются с опытными данными.

Как было отмечено выше, проектные тепловые расчеты выполнены из предположения одинаковой температуры дымовых газов во всей камере радиации 1200°C (1473 K) по интегральному методу. Как видно из рис. 3 и 4, действительное поле температуры получается весьма неоднородным. Предполагаемый уровень температуры получается только ближе к трубчатому экрану. В то же время на перевале (переход в конвекционную секцию) температура газов соответствует проектному значению.

На рис. 5 показаны графики изменения поверхностных плотностей суммарных тепловых потоков по высоте камере радиации печи.

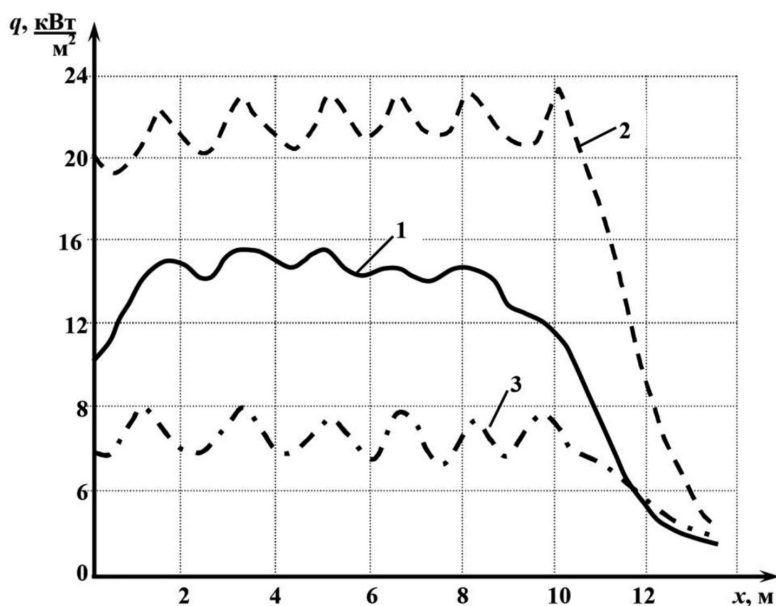


Рис. 5. Поверхностные плотности тепловых потоков по высоте камеры радиации: 1) плотности тепловых потоков вдоль реакционных труб; 2) плотности лучистых потоков, падающих к боковой стенке; 3) плотности тепловых потоков, исходящих от боковой стенки к реакционным трубам

Температура дымовых газов не более 1060 °С в общем дымоходе печи первичного риформинга (выход из камеры радиации) контролируется в центральном пульте управления (ЦПУ) по прибору 1-ТІАН-12026 с сигнализацией максимальной температуры 1075 °С. При достижении минимальной температуры дымовых газов по 1-TNLL-12026 равной 1015 °С в ЦПУ срабатывает аварийная сигнализация. Как видно из рис. 3, расчетные и опытные значения температуры дымовых газов хорошо согласуются в пределах изменения температуры при нормальном режиме эксплуатации печи.

Конвертированный газ выходит из реакционных труб печи первичного риформинга с температурой не более 832 °С и поступает в горячие выходные коллекторы печи первичного риформинга в количестве 6 шт. Температура на выходе из каждого горячего выходного коллектора замеряется по приборам 1-ТІАН-12033А,В,С,Д,Е,Ф с сигнализацией максимальной температуры выходящего конвертированного газа равной 843 °С.

Конвертированный газ после горячих выходных коллекторов печи первичного риформинга поступает в футерованный передаточный коллектор и далее направляется для окончательной конверсии метана в реакторе вторичного риформинга.

Как показывают наши расчеты, равномерного распределения теплоты по высоте

реакционных труб не получается. Основная часть реакционным трубам передается за счет излучения продуктов сгорания, а часть от нагретых футерованных поверхностей стен (в основном боковых). Но лучистые потоки от боковых стен полностью достигают реакционных труб только в окнах спектральной прозрачности газов, а в других спектральных диапазонах они вновь поглощаются и переизлучаются продуктами сгорания.

Выводы

1. Программный комплекс, реализующий дифференциальный метод теплового расчета топок, позволяет рассчитать локальные значения температур и скоростей продуктов сгорания, а также ограничивающих поверхностей при расположении настенных горелок в 6 ярусов на боковых стенах камеры радиации трубчатой печи первичного риформинга.

2. Расчетные значения температуры дымовых газов на перевале печи, наружной стенки трубчатых труб у входа и выхода из камеры радиации хорошо согласуются с опытными данными. При получении конвертированного газа для синтеза аммиака, метанола рабочая температура стенок материала реакционных труб должна составить не более 901 °С. Температура замеряется переносным пирометром. Как видно из наших расчетов, максимальная температура

получается на выходе из камеры радиации и при нормальном режиме эксплуатации печи не превышает допустимого значения. Превышение допустимой температуры стенок труб ведет к сокращению их срока службы.

3. Даже при использовании большого количества настенных горелок обеспечить равномерное поле температуры в топочной камере и равномерное распределение тепловых потоков вдоль реакционных труб не удастся. Однако даже в этом случае обеспечивается передача необходимого количества теплоты к реакционным трубам для проведения паровой конверсии углеводородов и получения необходимой температуры реакционной смеси на выходе из реакционных труб.

4. Как показывают расчеты, максимумы температуры и тепловых потоков располагаются на уровне расположения ярусов горелок. Поэтому, чтобы не допустить местного перегрева труб, необходимо контролировать равномерный расход топливного газа на отдельные ярусы горелок и следить за режимом горения. Правильное пламя горелки должно иметь синий цвет с желтым (соломенным) кончиком. В случае если пламя желтое, горение происходит не полностью и требуется подавать больше воздуха через регистры для сгорания. Избыток воздуха придаст пламени горелки ясный синий цвет без желтого кончика.

Список литературы

1. Вафин Д.Б. Сложный теплообмен: радиационный теплообмен в энергетических установках. Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 251 с.
2. Vafin D.B., Sadykov A.V. Thermal calculation for a furnace with three-tiered near-wall burners. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2016. Vol. 23. No. 2. P. 281–288. DOI: 10.1134/S0869864316020153.
3. Вафин Д.Б., Садыкова Д.А. Применение дифференциального метода теплового расчета для трубчатых печей с акустическими горелками // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9–11. С. 2375–2380.
4. Pai B.R., Michelfelder S., Spalding D.B. Prediction of furnace heat transfer with a three-dimensional mathematical model. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1978. V. 21. № 5. P. 571–580.
5. Аскарова А.С., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекмухамет А., Бекетаева М.Т., Габитова З.Х. Вычислительный метод исследования горения твердого топлива в камерах сгорания ТЭЦ // *Теплофизика высоких температур*. 2015. Т. 53. № 5. С. 792–802. DOI: 10.7868/S004036441504002X.
6. Кулешов О.Ю., Седелкин В.М. Методика численного расчета сопряженного теплообмена в технологических трубчатых печах в рамках зонального подхода // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. 2011. № 5–6. С. 47–54.
7. Tencer J.T. *Error Analysis for Radiation Transport / Dissertation doctor of Philosophy*. The University of Texas at Austin, 2013. 142 p.
8. Сабитов М.А., Ведерникова Ю.А., Спасибов В.М. Анализ тепловых процессов в котлоагрегате путем имитационного моделирования // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 10. С. 109–112.
9. Волков К.Н. Сравнение низкорейнгольдсовых моделей турбулентности с данными прямого численного моделирования течения в канале // *Теплофизика и аэромеханика*. 2005. Т. 12. №3. С. 365–378.
10. Spalding D.B. *Mixing and Chemical Reaction in Steady Confined Turbulent Flames / 13 th International Symposium of combustion*: The Combustion Institute, Pittsburgh, 1970. P. 649–657.

УДК 519.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРИМЕТРА ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА

Истомин А.Л., Бадеников А.В., Истомина А.А.

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», Ангарск,
e-mail: a.l.istomin@mail.ru

Приведены математические модели задачи нахождения оптимальной структуры системы физической защиты периметра охраняемого объекта топливно-энергетического комплекса с помощью физических барьеров. В качестве критерия эффективности системы защиты периметра объекта принято время, затраченное нарушителем на преодоление физических барьеров. В первой модели находится такое количество физических барьеров различного типа на каждом рубеже охраны периметра объекта, при котором время преодоления физических барьеров периметра объекта внешним нарушителем достигает максимума. Модель второй задачи позволяет найти такую структуру системы защиты периметра объекта, при которой время преодоления нарушителем физических барьеров системы защиты не меньше заданного значения, а суммарная стоимость физических барьеров системы защиты периметра достигает минимального значения. Расчетными по моделям являются: время преодоления физических барьеров внешним нарушителем; оптимальная структура физических барьеров на каждом рубеже охраны периметра объекта; стоимость системы физических барьеров. Обе задачи сформулированы как задачи линейного программирования и могут быть решены симплексным методом линейного программирования. Приведены примеры решения задач с подробным выводом уравнений моделей оптимизационных задач и анализом полученного решения.

Ключевые слова: система физической защиты, защита периметра объекта, модель системы физической защиты, защита топливно-энергетических объектов

THE OPTIMAL MATHEMATICAL MODEL OF DETERMINING STRUCTURE OF THE PERIMETER PROTECTION SYSTEM OF A PROTECTED OBJECT

Istomin A.L., Badenikov A.V., Istomina A.A.

Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: a.l.istomin@mail.ru

Mathematical models of the problem of finding the optimal structure of the system of physical protection of the perimeter of the protected object of the fuel and energy complex with the help of physical barriers are presented. As a criterion for the effectiveness of the perimeter protection system of the object, the time spent by the offender to overcome physical barriers is taken. In the first model there is a number of physical barriers of different types at each boundary of the perimeter of the object, in which the time to overcome the physical barriers of the perimeter of the object by an external offender reaches a maximum. The model of the second problem allows us to find the structure of the perimeter protection system of the object, in which the time to overcome the physical barriers of the intruder protection system is not less than the specified value, and the total cost of the physical barriers of the perimeter protection system reaches a minimum value. The calculated models are: the time of overcoming physical barriers by an external violator; the optimal structure of physical barriers at each boundary of the perimeter of the object; the cost of the system of physical barriers. Both problems are formulated as linear programming problems and can be solved by simplex method of linear programming. Examples of solving problems with detailed derivation of equations of optimization problem models and analysis of the obtained solution are given.

Keywords: system of physical protection, perimeter protection of object, model of system of physical protection, protection of fuel and energy objects

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса», одним из требований является обязанность субъектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) на стадиях проектирования и строительства объектов ТЭК предусматривать обязательное моделирование систем защиты будущих объектов в целях противодействия противоправным действиям, в том числе террористическим актам или покушениям на его совершение, угрожающие их безопасному функционированию. В результате моделирования должна быть предложена эффективная структура системы физической защиты (СФЗ), включающая инженерно-тех-

нические средства защиты и обнаружения несанкционированных действий, оптимальное количество постов и маршрутов охраны, требуемый штат охраны и его дислокация [1–3]. Проблемам проектирования систем физической защиты посвящены ряд работ [4, 5], однако вопросы эффективной защиты периметра территории охраняемых объектов в них отражены недостаточно.

Объекты ТЭК относятся к категории критической важности и повышенной опасности, имеют большие территории, которые должны быть защищены от доступа посторонних лиц и проникновения нарушителей с целью совершения хищения имущества или террористических актов. Поэтому од-

ной из задач при проектировании СФЗ объектов ТЭК является эффективная защита периметров охраняемых объектов.

Защита периметра объекта – комплексная задача, для эффективного решения которой важно оптимальное сочетание физических барьеров (механических препятствий) – пассивного ограждения, затрудняющего и замедляющего проникновение нарушителя с техническими средствами обнаружения, обеспечивающими наиболее раннее установление попытки или факта преодоления периметра. В работе исследуется система защиты периметра объекта от внешнего нарушителя с помощью инженерно-технических средств защиты или физических барьеров (ФБ) с целью максимально замедлить движение нарушителя к цели. В этой связи в качестве критерия эффективности системы защиты периметра объекта принято время, затраченное нарушителем на преодоление физических барьеров. Математические модели задачи нахождения оптимальной структуры системы физической защиты сформулированы как задачи линейного программирования.

Математические модели задачи

Практически все физические барьеры сертифицированы по времени их преодоления. Следовательно, задача нахождения оптимального варианта защиты объектов физических барьерами может быть сформулирована в виде, представленном ниже.

Модель 1. Пусть для защиты периметра объекта требуется организовать m рубежей защиты. Имеются n видов физических барьеров.

Обозначим через x_{ij} количество ФБ i -го вида на j -м рубеже, а через τ_{ij} – время преодоления i -го вида барьера на j -м рубеже внешним нарушителем.

Тогда суммарное время преодоления физической защиты внешним нарушителем определяется как

$$T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \tau_{ij}. \quad (1)$$

Если затраты на сооружение (установку) одной единицы i -го вида барьера на j -м рубеже равны s_{ij} , то стоимость всех физических барьеров защищающих периметр объекта определяется как $\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij}$. Поскольку построение СФЗ осуществляется в условиях ограниченных средств, то справедливо неравенство

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij} \leq S. \quad (2)$$

Ограничениями в этой задаче могут быть требования, чтобы количество барьеров i -го вида на j -м рубеже было не меньше заданного значения N_{ij} :

$$x_{ij} \geq N_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Кроме того, при построении ФБ могут существовать условия по комплектованию ФБ разных видов, например, если устанавливается внешнее предупредительное ограждение, оно обязательно дополняется капитальным ограждением с козырьком из армированной колючей ленты (АКЛ) или противоподкопным заглублением и т.п.

Эти условия могут быть представлены в виде

$$x_{ij} / x_{kj} \geq v_{ik}^j, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \\ i \neq k, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

или после несложных преобразований в виде

$$x_{ij} - v_{ik}^j x_{kj} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \\ i \neq k, \quad j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Очевидно, что число ФБ разных видов не может быть отрицательной величиной

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Таким образом, задача нахождения наилучшей структуры инженерно-технических средств защиты периметра объекта заключается в следующем: необходимо найти такие значения x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, при которых достигает максимума функция

$$T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \tau_{ij} \rightarrow \max \quad (7)$$

и выполняются следующие ограничения

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij} \leq S, \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq N_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (9)$$

$$x_{ij} - v_{ik}^j x_{kj} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \\ i \neq k, \quad j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Требуется найти такие значения x_{ij} , удовлетворяющие ограничениям (8)–(11), при которых функция (7) будет максимальной.

Характеристики заграждений

Вид	Наименование	Стоимость защиты 1-го рубежа, тыс. руб.	Стоимость защиты 2-го рубежа, тыс. руб.	Время преодоления, мин
1	Заграждение из сетки	1100	900	0,5
2	Заграждение из сетки с козырьком из АКЛ	1500	1550	2,3
3	Бетонное заграждение	2550	2400	0,8
4	Бетонное заграждение с козырьком из АКЛ	4200	2650	3,1
5	Бетонное заграждение с козырьком из АКЛ с противоподкопным заграждением	5150	4050	3,3

Математическая модель задачи (7)–(11) относится к задачам линейного программирования и может быть решена симплексным методом линейного программирования.

Пример 1. Для защиты периметра объекта имеются следующие виды инженерно-технических средств: заграждение из сетки сварной, заграждение из сетки сварной с козырьком из АКЛ, бетонное капитальное заграждение, бетонное капитальное заграждение с козырьком из АКЛ, бетонное капитальное заграждение с козырьком из АКЛ с противоподкопным заграждением.

К системе физической защиты предъявляется требование организации не менее двух рубежей защиты периметра объекта, с не менее чем двумя заграждениями на каждом рубеже.

В таблице показаны стоимость защиты рубежа из заграждений различных видов и время их преодоления проломом внешним нарушителем [5].

Требуется определить оптимальный вариант защиты периметра объекта физическими барьерами из условия, что суммарные затраты на их оборудование и установку не должны превышать 11 млн руб.

Составим математическую модель задачи.

Если x_{ij} – количество ФБ i -го вида на j -м рубеже, а τ_{ij} – время преодоления i -го вида барьера на j -м рубеже внешним нарушителем, то суммарное время преодоления физической защиты внешним нарушителем определяется как

$$T = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^5 x_{ij} \tau_{ij} \quad (12)$$

или

$$T = 0,5x_{11} + 2,3x_{21} + 0,8x_{31} + 3,1x_{41} + 3,3x_{51} + 0,5x_{12} + 2,3x_{22} + 0,8x_{32} + 3,1x_{42} + 3,3x_{52}. \quad (13)$$

Поскольку затраты на установку физических барьеров не должны быть больше заданных, запишем ограничение

$$+1100x_{11} + 1500x_{21} + 2550x_{31} + 4200x_{41} + 5150x_{51} + 900x_{12} + 1550x_{22} + 2400x_{32} + 2650x_{42} + 4050x_{52} \leq 11000. \quad (14)$$

В соответствии с требованиями к системе защиты на каждом рубеже должно быть не меньше двух заграждений.

Это условие для каждого рубежа можно записать в следующем виде:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} \geq 2, \quad (15)$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} \geq 2. \quad (16)$$

В связи с тем, что число ФБ разных видов не может быть отрицательной величиной,

$$x_{11} \geq 0, x_{21} \geq 0, x_{31} \geq 0, x_{41} \geq 0, x_{51} \geq 0,$$

$$x_{12} \geq 0, x_{22} \geq 0, x_{32} \geq 0, x_{42} \geq 0, x_{52} \geq 0. \quad (17)$$

Требуется найти такие значения x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, удовлетворяющие ограничениям (14)–(17), при которых функция (13) будет максимальной.

Оптимальное решение: $x_{11} = 0$; $x_{21} = 1$; $x_{31} = 0$; $x_{41} = 0$; $x_{51} = 0$; $x_{12} = 0$; $x_{22} = 1$; $x_{32} = 0$; $x_{42} = 2$; $x_{52} = 0$.

Таким образом, первый рубеж следует укрепить заграждениями из сетки с козырьком из АКЛ и бетонным заграждением с козырьком из АКЛ, а второй рубеж – двумя рядами бетонных заграждений с козырьком из АКЛ. При данном варианте защиты обеспечивается максимальное время преодоления нарушителем защиты периметра объекта, которое составляет 11,6 минут.

Модель 2. Во многих случаях требуется организовать защиту объекта при минимальных расходах на установку физических заграждений. В этих случаях критерием эффективности является общая сумма затрат

на систему защиты из физических барьеров, а ограничением является время преодоления нарушителем физических барьеров, которое не должно быть меньше заданного.

Если x_{ij} – количество ФБ i -го вида на j -м рубеже, то стоимость всех физических барьеров, защищающих периметр объекта, определяется как

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij}, \quad (18)$$

где s_{ij} – затраты на сооружение (установку) одной единицы i -го вида барьера на j -м рубеже.

Если τ_{ij} – время преодоления i -го вида барьера на j -м рубеже внешним нарушителем, тогда суммарное время преодоления физической защиты внешним нарушителем определяется как

$$T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \tau_{ij}. \quad (19)$$

Поскольку ожидаемое время преодоления нарушителем заграждений объекта должно быть не меньше заданного, запишем ограничение:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \tau_{ij} x_{ij} \geq T^{\text{зад}}. \quad (20)$$

Остальные ограничения остаются как в модели 1. Это и количество барьеров на каждом рубеже, и ограничения по комплектованию ФБ разных видов и т.д.

Тогда задача нахождения наилучшей структуры инженерно-технических средств защиты СФЗ заключается в следующем: необходимо найти такие значения x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, при которых достигает минимума функция

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (21)$$

и выполняются следующие ограничения

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \tau_{ij} x_{ij} \geq T^{\text{зад}}, \quad (22)$$

$$x_{ij} \geq N_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (23)$$

$$x_{ij} - v_{ik}^j x_{kj} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad i \neq k, \quad j = \overline{1, m}, \quad (24)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (25)$$

Требуется найти такие значения x_{ij} , удовлетворяющие ограничениям (22)–(25), при которых функция (21) будет минимальной.

Пример 2. На основании данных из примера 1 решим задачу нахождения оптимальной структуры СФЗ периметра объекта, при которой затраты на систему минимальны. Будем искать вариант защиты, при котором время преодоления рубежей защиты нарушителем будет не меньше 10 минут.

Остаются ограничения на то, что в системе защиты два рубежа и не менее двух барьеров на каждом рубеже.

Запишем выражение для критерия оптимальности:

$$1100x_{11} + 1500x_{21} + 2550x_{31} + 4200x_{41} + 5150x_{51} + 900x_{12} + 1550x_{22} + 2400x_{32} + 2650x_{42} + 4050x_{52} \rightarrow \min. \quad (26)$$

Поскольку время на преодоление рубежей защиты должно быть не меньше 10 минут, запишем ограничение

$$0,5x_{11} + 2,3x_{21} + 0,8x_{31} + 3,1x_{41} + 3,3x_{51} + 0,5x_{12} + 2,3x_{22} + 0,8x_{32} + 3,1x_{42} + 3,3x_{52} \geq 10. \quad (27)$$

Условия того, что на каждом рубеже должно быть не меньше двух барьеров, записываются в виде

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} \geq 2, \quad (28)$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} \geq 2. \quad (29)$$

В связи с тем, что число ФБ разных видов не может быть отрицательной величиной,

$$x_{11} \geq 0, x_{21} \geq 0, x_{31} \geq 0, x_{41} \geq 0, x_{51} \geq 0,$$

$$x_{12} \geq 0, x_{22} \geq 0, x_{32} \geq 0, x_{42} \geq 0, x_{52} \geq 0. \quad (30)$$

Требуется найти такие значения x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, удовлетворяющих, ограничениям (27)–(30), при которых функция (26) будет минимальной.

Оптимальное решение: $x_{11} = 0$; $x_{21} = 2,34$; $x_{31} = 0$; $x_{41} = 0$; $x_{51} = 0$; $x_{12} = 0$; $x_{22} = 2$; $x_{32} = 0$; $x_{42} = 0$; $x_{52} = 0$. Поскольку значение ограждений не может быть дробным, округлим решение до ближайшего целого значения.

Таким образом, и первый, и второй рубежи следует укрепить двумя заграждениями из сетки с козырьком из АКЛ.

При данном варианте защиты время преодоления заграждений нарушителем составит 9,2 минут, а стоимость заграждений – 6 млн 100 тыс. руб.

Видно, что не выполняется требование, согласно которому время преодоления защиты должно быть не меньше

10 минут. Округлим решение $x_{21} = 2,34$ до значения 3. Это значит, что первый рубеж укрепляется тремя, а второй рубеж – двумя заграждениями из сетки с козырьком из АКЛ. В этом случае, время преодоления заграждений нарушителем составит 11,5 минут, а стоимость заграждений – 7 млн 600 тыс. руб.

В целом решение показывает, что за значительно меньшие средства можно обеспечить сходную по показателю эффективности систему защиты. Так, в примере 2 мы нашли оптимальный вариант защиты, при котором время преодоления защиты нарушителем максимально. Оно составило 11,6 минут. Стоимость системы защиты для этого варианта составила 11 млн руб.

В то же время система стоимостью в 7 млн руб. 600 тыс. руб. позволила обеспечить время преодоления 11,5 минут, но ее стоимость на 3 млн 400 тыс. руб. меньше. Фактор стоимости может оказаться решающим, а сэкономленные средства можно направить на средства обнаружения и нейтрализации нарушителя.

Заключение

Представленные математические модели позволяют оценить эффективность СФЗ периметра охраняемого объекта и могут быть использованы для исследования эффективности проектируемой СФЗ. Расчетными по модели являются: время преодоления физических барьеров внешним нарушителем первого типа; оптимальная структура физических барьеров; стоимость системы физических барьеров.

Список литературы

1. Федеральный закон Российской Федерации от 12 февраля 2016 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12188188> (дата обращения: 12.01.2019).
2. Методические указания ОАО «НК «Роснефть» «Оборудование объектов компании инженерно-техническими средствами охраны» ПЗ-11.01 М-0003 версия 2.00. М., 2014. 114 с.
3. Степанов Б.П., Годовых А.В. Основы проектирования систем физической защиты ядерных объектов. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 118 с.
4. Истомин А.Л., Бадеников А.В. Определение оптимальной структуры системы физической защиты охраняемых объектов ТЭК // Экономика и менеджмент систем управления. 2018. Т. 27. № 1. С. 72–78.
5. Белоусов Е.Ф., Гордин Г.Т., Ульянов В.Ф. Основы систем безопасности объектов. Пенза: Изд-во ПГУ, 2000. 98 с.

УДК 621.91.01

**К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ****Карпов А.В.***Муromский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, e-mail: krash75@mail.ru*

Предметом рассмотрения статьи являются технологические процессы обработки заготовок режущими инструментами в условиях машиностроительных предприятий. По уровню энергозатрат, приходящихся на единицу выпускаемой продукции или тонну снятой стружки, российское машиностроение продолжает оставаться одним из самых затратных среди промышленно развитых стран мира. Повышение эффективности расходования энергетических ресурсов на стадии обработки резанием является важной задачей, стоящей перед отечественной наукой и производством. Её решение должно начинаться с создания научно обоснованных методов и средств установления энергетически экономичных условий осуществления обработки при выполнении каждой технологической операции, технологического перехода, рабочего хода. Для количественной оценки энергетической эффективности рабочего хода предложен показатель, представляющий собой «энергетический КПД» процесса резания и определяемый отношением удельной энергоёмкости конструкционного материала, подвергаемого резанию, к удельной энергоёмкости стружкообразования. Удельная энергоёмкость материала характеризует его обрабатываемость резанием и должна определяться с учётом физических и механических свойств, вида напряжений в срезаемом слое, типа стружки, цели технологического воздействия (предварительное, окончательное). Удельную энергоёмкость стружкообразования предлагается определять как отношение мощности в зоне резания к производительности процесса. В зависимости от геометрических и кинематических закономерностей, присущих конкретному виду обработки, предложены типовые схемы циклического изменения мощности резания в пределах времени рабочего хода. Предложенный показатель энергетической эффективности может выступать в роли физического критерия оптимизации процессов обработки резанием на иерархических уровнях «технологическая операция», «технологический переход», «рабочий ход». С учётом системы ограничений он позволяет устанавливать энергетически экономичные условия осуществления обработки: вид инструментального материала, геометрию режущего лезвия инструмента, значения режимов резания и других управляемых технологических факторов.

Ключевые слова: конструкционные материалы, обработка материалов резанием, металлорежущие инструменты, технологические факторы, режимы резания, мощность, энергетические затраты, энергетическая эффективность резания, удельная энергоёмкость стружкообразования

**TO THE ISSUE OF INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL
PROCESSES OF MATERIALS CUTTING****Karpov A.V.***The Murom Institute (branch) of the Federal state budgetary educational institution of higher education
«The Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs»,
Murom, e-mail: krash75@mail.ru*

The subject of the article is the technological processes of processing of blanks with cutting tools in the conditions of machine-building plants. According to the level of energy consumption per unit of output or ton of removed chips, Russian engineering continues to be one of the most expensive among the industrialized countries of the world. Improving the efficiency of energy consumption at the cutting stage is an important task facing the domestic science and industry. Its solution should begin with the creation of science-based methods and means of establishing energy-efficient conditions for cutting during each technological operation, technological transition, operating stroke. To quantify the energy efficiency of the working stroke we proposed indicator, which is an «energy efficiency» of the cutting process and determined by the ratio of the specific energy consumption of the structural material to be cut, to the specific energy intensity of chip formation. The specific energy consumption of the material characterizes its machinability by cutting and should be determined taking into account the physical and mechanical properties, the type of stresses in the cut layer, the type of chip, the purpose of the technological procedure (preliminary, final). The specific energy intensity of chip formation is proposed to be defined as the ratio of power in the cutting zone to the cutting process productivity. Depending on the geometric and cinematic patterns inherent in a particular type of processing, the typical schemes of cyclic changes in cutting power within the operating stroke time are proposed. The proposed indicator of energy efficiency can act as a physical criterion for optimizing the processes of cutting at «technological operation», «technological transition», «operating stroke» hierarchical levels. Taking into account the system of restrictions, it allows to set energy-efficient processing conditions: the type of tool material, the geometry of the cutting blade of the tool, the values of cutting parameters and other controlled technological factors.

Keywords: structural materials, material cutting, metal-cutting tools, technological factors, cutting parameters, power, energy consumption, energy efficiency of cutting, specific energy intensity of chip formation

Несмотря на всё большее распространение экологических и ресурсосберегающих технологий в обрабатывающих отраслях промышленности, российское машиностроение, по различным эксперт-

ным оценкам, продолжает оставаться одним из наиболее затратных по уровню материалоемкости и энергоёмкости среди индустриально развитых стран Европы, Азии, Америки.

Среди формообразующих методов обработки конструкционных материалов значительная доля принадлежит резанию, на которое приходится до 60–75% трудоёмкости изготовления деталей при всех типах производства – от единичного до крупносерийного. К достоинствам обработки резанием относятся её универсальность и гибкость: возможность получать поверхности разнообразных форм, размеров и качества с использованием широкой гаммы металлорежущего оборудования с ЧПУ и стандартизованного восстанавливаемого инструмента без длительных и дорогостоящих переналадок технологической системы.

В среднем на образование тонны стружки российскими предприятиями затрачивается 400–650 кВт·ч электроэнергии, вследствие чего энергетический фактор существенно влияет на себестоимость продукции и конкурентоспособность отечественного машиностроительного комплекса. Вместе с тем в практической деятельности технологических служб большинства предприятий при разработке и нормировании технологических процессов условие эффективного расходования энергетических ресурсов либо не рассматривается вовсе, либо учитывается опосредованно – через такие показатели, как максимум производительности, наименьшие приведённые затраты, наибольшая стойкость инструмента и т.п. Однако в современных условиях экономические показатели производства подвержены частым конъюнктурным изменениям, зависят от сложившихся условий их расчёта на конкретном предприятии, что вряд ли позволит использовать их для создания обоснованных методик оптимизации действующих производств в части экономии ресурсов. Для этого необходимы иные, физически обоснованные показатели. Например, в Германии, Швеции, Японии многие десятилетия используют энергетические критерии совершенства процессов обработки металлов: удельную энергоёмкость (величину энергозатрат на единицу снятой стружки) и удельную энергоэффективность (съём стружки на единицу мощности) [1].

В настоящее время российские предприятия, вне всяких сомнений, обладают глубоким и далеко не полностью реализованным потенциалом повышения энергетической эффективности применяемых и вновь разрабатываемых технологий обработки металлов резанием. Реализация этого потенциала представляет собой комплексную научную проблему, которую целесообразно разделить на две взаимосвязанные части:

– снижение энергозатрат в зоне резания за счёт применения энергетически эконо-

мичных условий осуществления каждого элемента технологического процесса: технологической операции, технологического перехода, рабочего хода;

– снижение энергозатрат в элементах и звеньях привода конкретной единицы металлорежущего оборудования.

Величина работы, совершаемой лезвием режущего инструмента при стружкообразовании и определяемой закономерностями деформации и разрушения материала срезаемого слоя, прямо влияет на уровень энергии в трансмиссии станка и устанавливает, в конечном счёте, суммарное количество энергозатрат, потребляемых единицей металлорежущего оборудования в течение основного времени технологического перехода или рабочего хода. Поэтому первоочередной задачей, входящей в комплексную проблему рационального энергопотребления технологических систем обработки резанием, является создание научно обоснованных методов и средств минимизации энергозатрат непосредственно в зоне резания. Обоснованию подходов к решению этой задачи, представляющей интерес для специалистов в теории и практике обработки резанием, посвящена настоящая статья.

Цель исследования: разработка и анализ показателей, позволяющих оценивать энергетическую эффективность стружкообразования при различных технологических процессах обработки резанием и устанавливать экономичные условия осуществления технологической операции, технологического перехода, рабочего хода, соответствующие минимуму удельных энергозатрат в зоне резания.

Материалы и методы исследования

Показатель энергетической эффективности стружкообразования

Условие повышения энергетической эффективности в зоне резания запишем в виде

$$K = \frac{\Delta w}{e} \rightarrow 1, \quad (1)$$

где K – безразмерный показатель энергетической эффективности («энергетический КПД») применительно к рабочему ходу инструмента; Δw – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала («полезная» энергетическая составляющая); e – удельная энергоёмкость стружкообразования (общая энергетическая составляющая). Показатель K , представленный в виде отношения (1), позволяет сопоставить количество энергозатрат, необходимых для образования единичного объёма стружки,

с общим уровнем энергии, приходящейся на единицу объёма срезаемого слоя при тех или иных технологических условиях обработки. Показатель K может использоваться в качестве критерия оптимизации управляемых технологических условий обработки, к важнейшим из которых относятся назначаемые (или выбираемые из множества имеющихся вариантов) факторы режущего инструмента (инструментальный материал, форма, конструкция и геометрия лезвия, число зубьев и т.п.), а также элементы режима резания (глубина резания, подача, скорость резания).

*Оценка удельной энергоёмкости
обрабатываемого материала
в условиях резания*

Резание можно рассматривать не только как процесс сугубо технологического воздействия на заготовку, но и как самостоятельный вид испытания и нагружения конструкционного материала контрольным – режущим лезвием. Любой вид нагружения и испытания материала требует количественной оценки затрачиваемой на это энергии. Например, диаграммы «напряжение – деформация», полученные в условиях растяжения, сжатия, кручения, сдвига, изгиба и т.д., свидетельствуют в том числе о величине удельной энергоёмкости материала при перечисленных видах испытаний, количественно определяемой значением площади под соответствующей кривой. Если считать резание процессом глубокой пластической деформации и разрушения сплошности материала [1], то удельную энергоёмкость последнего Δw можно представить как предельное приращение внутренней энергии единичного объёма до разрушения, т.е. как разность между критическим $[u]$ и начальным u_0 значениями внутренней энергии:

$$\Delta w = [u] - u_0. \quad (2)$$

Разрушение начинается при накоплении деформируемыми объёмами срезаемого слоя энергии предельной величины $[u]$, лимитируемой прочностными характеристиками материала при сдвиге, сжатии, отрыве [2]. Такая трактовка показателя удельной энергоёмкости Δw позволяет рассматривать его в качестве технологического свойства, характеризующего способность материала подвергаться резанию [3].

В зависимости от преобладающего вида деформации и разрушения (вязкое, квазивязкое, хрупкое) достижение локальными объёмами материала предельного уровня внутренней энергии $[u]$ при резании происходит либо за счёт достижения критической

величины пластической деформации, либо путём развития трещины.

Определение величины Δw на предварительных стадиях технологического процесса (черновая обработка) можно осуществлять в зависимости от типа отделяющейся стружки, поскольку тип стружки обусловлен механизмом и интенсивностью протекания пластической деформации материала при внедрении режущего клина. Установить род и величину преобладающих напряжений, вызывающих стружкообразование в срезаемом слое, рассчитать их работу можно по форме и размерам стружки. Стружкообразование происходит либо по механизму сдвига, вызываемому касательными напряжениями в плоскостях сдвига, либо по механизму отрыва, вызываемому действием нормальных напряжений. Удельную энергоёмкость Δw при образовании стружек сдвига (элементная, суставчатая, сливная) примем равной удельной работе деформации $e_{\text{деф}}$, определяемой произведением касательных напряжений τ на величину относительного сдвига ε [4]:

$$\Delta w = [u] - [u_0] = e_{\text{деф}} = \tau_p \cdot \varepsilon \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \approx \frac{1,5 \sigma_b}{1 - 1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right), \quad (3)$$

где σ_b – известные механические характеристики материала; T_0 – начальная температура; T_s – температура плавления [3, 4].

Нормальные напряжения отрыва ответственны за образование стружки надлома в условиях хрупкого разрушения материалов высокой твёрдости. Удельную энергоёмкость Δw в этом случае считаем равной наибольшей удельной работе этих напряжений:

$$\Delta w = e_{\text{деф}} = \int_0^{\varepsilon_p} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \approx \frac{1}{2} \cdot \sigma_b \cdot \delta = \frac{\sigma_b^2}{2 \cdot E}, \quad (4)$$

где δ – относительное удлинение при растяжении; E – модуль упругости I рода.

Разрушение может быть рассмотрено и с теплофизических позиций: объём материала разрушается, если поглощённая им энергия равна удельной теплоте плавления H_T :

$$\Delta w = [u] - u_0 = H_T =$$

$$= \int_{T_0}^{T_s} (C_p \rho) dT \approx C_p \rho (T_s - T_0), \quad (5)$$

где C_p – удельная теплоёмкость; ρ – плотность. Такая трактовка удельной энергоёмкости материала Δw при резании имеет смысл в случае вязкого разрушения, проявляющегося в возникновении сливной стружки и переходной зоны пластического

контакта между стружкой и передней поверхностью лезвия. Расчёт удельной энергоёмкости материала Δw через теплофизические свойства был апробирован нами для высокоскоростных методов окончательной (чистовой) лезвийной обработки, а также для операций шлифования.

Оценка удельной энергоёмкости стружкообразования

Удельная энергоёмкость стружкообразования e , составляющая знаменатель предложенного нами показателя энергетической эффективности K (выражение (1)), представляет собой удельную работу резания, т.е. работу, совершаемую режущим инструментом заданного типа и геометрии по превращению в стружку единичного объёма материала заготовки. Применительно к отдельно взятому технологическому переходу или рабочему ходу величина e зависит как от управляемых (заданных), так и управляемых (оптимизируемых) технологических факторов. К числу первых относятся вид и физико-механические свойства обрабатываемого материала, вид и состояние поверхностного слоя заготовки, размеры заготовки и непосредственно метод обработки, реализуемый в условиях рассматриваемого технологического перехода или рабочего хода, с присущими ему геометрическими и кинематическими закономерностями (точение, сверление, фрезерование и т.д.). Важнейшим достоинством показателя e является его устойчивая функциональная зависимость от большого количества управляемых технологических факторов – в первую очередь параметров режущего инструмента и элементов режима резания, обоснованный выбор, назначение или расчёт которых есть ключевая задача технологической подготовки производства новых изделий и совершенствования действующих технологических процессов.

В работе [5] нами проанализированы достоинства и недостатки показателя удельной энергоёмкости как критерия оптимизации управляемых технологических факторов. В известных работах, посвящённых оптимизации процесса резания по этому критерию, величину удельной энергоёмкости обычно определяют в виде [1]:

$$e = \frac{A_{\text{рез}}}{V} = \frac{N}{\Pi}, \quad (6)$$

где $A_{\text{рез}}$ – работа резания; V – объём стружки; N – мощность; Π – производительность (объём стружки, снятой за минуту). Мощность резания N в течение основного времени технологического перехода или рабочего хода T_o в существующих исследованиях

обычно полагается постоянной ($N = \text{const}$), что в практике механической обработки встречается редко (так называемое «стационарное резание»). Вследствие геометрических и кинематических особенностей формообразования детали при конкретном методе обработки мощность, развиваемая в зоне резания, не остаётся постоянной, а изменяется однократно или циклически по той или иной закономерности. Большинство применяемых в машиностроении методов и приёмов обработки резанием можно отнести к одной из четырёх типовых схем однократного или периодического изменения мощности N в пределах времени T_o . Подробно эти типовые схемы рассмотрены и проанализированы в [5].

Если в течение основного времени T_o мощность резания изменяется по одной из типовых схем несколько раз (циклически), то применительно к одному полному циклу её изменения введём понятие цикловой работы резания $A_{\text{ц}}$, численно равной площади под кривой графика «мощность – время» $N = N(T)$, соответствующей данной типовой схеме:

$$A_{\text{ц}} = \int_0^{T_{\text{ц}}} N(T) dT = k_N \cdot N_{\text{max}} \cdot T_{\text{ц}} = \frac{k_N \cdot N_{\text{max}} \cdot T_o}{n_{\text{ц}}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время одного полного цикла изменения мощности резания в пределах основного времени T_o ; $n_{\text{ц}} = T_o / T_{\text{ц}}$ – количество циклов изменения мощности резания в пределах времени T_o ; k_N – коэффициент аппроксимации типовой схемы изменения мощности резания $N = N(T)$, позволяющий рассчитать площадь под её кривой с использованием характерных значений ординаты N_{max} (максимальное значение мощности резания за цикл её изменения) и абсциссы $T_{\text{ц}}$. Таким образом, для расчёта удельной энергоёмкости процесса резания e вместо отношения (6), справедливого лишь для стационарного режима стружкообразования ($N = \text{const}$), следует применять более общее выражение:

$$e = \frac{A_{\text{рез}}}{V} = \frac{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}}{V} = \frac{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{T_{\text{ц}}} N(T) dT}{V} = \frac{n_{\text{ц}} \cdot k_N \cdot N_{\text{max}} \cdot T_{\text{ц}}}{V} = \frac{k_N \cdot N_{\text{max}}}{\Pi}. \quad (8)$$

Учёт фактора и конкретной закономерности изменения мощности резания во

времени позволяет значительно повысить точность определения величины удельной энергоёмкости стружкообразования e при различных методах обработки широкого спектра конструкционных машиностроительных материалов.

Результаты исследования и их обсуждение

С учётом фактора закономерного циклического изменения мощности резания в течение основного времени технологического перехода или рабочего хода условие повышения энергетической эффективности в зоне резания (1) приобретает вид

$$K = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}} = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{T_{\text{ц}}} N(T) dT} \rightarrow 1. \quad (9)$$

Дальнейшее математическое преобразование выражения (9) применительно к наиболее распространённым методам обработки (точению, сверлению, фрезерованию и т.д.) влечёт необходимость определения значения мощности резания N через известные показатели свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрические параметры лезвия инструмента и режимы резания [6]. В результате получаются целевые функции общего вида $K \rightarrow 1$, аргументами которых являются управляемые (оптимизируемые) факторы конкретного метода обработки, реализуемого на данной технологической операции, технологическом переходе или рабочем ходе. Условию $K \rightarrow 1$ способствует увеличение производительности стружкообразования Π , поэтому показатель K соответствует важному экономическому критерию эффективности обработки – наименьшему штучному времени. В отличие от последнего, показатель K характеризует не только производительность стружкообразования, но и необходимые для этого энергетические затраты.

Выводы

1. Для решения комплексной проблемы рационального расходования энергетических ресурсов при осуществлении технологических процессов обработки резанием сформулирован и рассмотрен показатель энергетической эффективности стружкообразования, который может выступать в качестве критерия оптимизации управляемых условий обработки на иерархических уровнях: «технологическая операция», «технологический переход», «рабочий ход».
2. Показатель энергетической эффективности стружкообразования представляет собой отношение удельной энергоёмкости обрабатываемого материала к удельной работе инструмента в зоне резания.
3. Удельная энергоёмкость конструкционного материала может быть определена либо как плотность работы преобладающего рода напряжений в срезаемом слое, ответственных за образование соответствующего типа стружки, либо как энтальпия плавления.
4. Для корректного определения величины удельной энергоёмкости стружкообразования следует обязательно учитывать закономерное циклическое изменение мощности резания в течение основного времени технологического перехода или рабочего хода.

Список литературы

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. 640 с.
2. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. Минск: Вышэйша шк., 1990. 512 с.
3. Карпов А.В. Ускоренный метод определения обрабатываемости конструкционных материалов с использованием показателя удельной работы резания // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 11–2. С. 183–187.
4. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. М.: Машиностроение, 2012. 304 с.
5. Карпов А.В. К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твёрдых тел // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 37–49.
6. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Издание 6-е, перераб. и доп. // Под ред. А.М. Дальского. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 1574 с.

УДК 620.9:662.6

ПРОБЛЕМЫ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

Лебедева Е.А.

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»,
Н. Новгород, e-mail: evgelebedeva@mail.ru*

Рассмотрены проблемы использования сбросных газов нефтехимического комплекса в составе топливных смесей. Проанализированы основные технологические процессы нефтепереработки с позиции выделения отходов. Проведено численное исследование характеристик смеси традиционного топлива со сбросными газами в различных соотношениях. Показано, что при расчете теплотехнических характеристик исследуемых смесей по нормативному методу наблюдаются существенные различия в показателях в зависимости от содержания добавляемых отходов. С другой стороны, обобщенные характеристики рассматриваемых топливных смесей, полученные с использованием методики М.Б. Равича, практически не претерпевают изменений. Сопоставлены эксплуатационные характеристики основного топлива и топливных смесей. Отмечено, что высокое содержание водорода в смеси топливного и отдувочного газов обуславливает существенное расширение пределов воспламенения и приводит к росту скорости распространения пламени при сжигании по сравнению с традиционным видом топлива – природным газом. Приведены результаты математического моделирования размеров и формы факела. Выявлены возможные причины нарушений топливного процесса при использовании смесей основного топлива и сбросных газов. Доказана необходимость корректировки методики М.Б. Равича и рассмотрены дополнения к ней в части создания новых расчетных таблиц для обработки результатов теплотехнических испытаний при сжигании топливных смесей. Проанализированы проблемы сжигания смесей основного топлива и сбросных газов нефтехимического комплекса и разработаны рекомендации по устойчивому сжиганию топливных смесей переменного состава. Показана экономическая и экологическая эффективность использования горючих отходов с целью замещения основного органического топлива.

Ключевые слова: технология нефтепереработки, отходы, топливные смеси, характеристики, моделирование факела, эффективность сжигания

PROBLEMS OF BURNING FUEL MIXTURES OF VARIABLE COMPOSITION

Lebedeva E.A.

Federal state budgetary educational institution of higher education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering», N. Novgorod, e-mail: evgelebedeva@mail.ru

The problems of the use of waste gases of petrochemical complex in the composition of fuel mixtures are considered. The main technological processes of oil refining from the point of waste disposal are analyzed. A numerical study of the characteristics of the mixture of traditional fuel with waste gases in different ratios. It is shown that when calculating the thermal characteristics of the studied mixtures by the normative method, there are significant differences in the indicators depending on the content of the added waste. On the other hand, the generalized characteristics of the fuel mixtures obtained with the use of the method of M.B. Ravych practically do not change. The operational characteristics of the main fuel and top-shower mixtures are compared. It is noted that the high hydrogen content in the mixture of fuel and blow-off gases causes a significant expansion of the ignition limits and leads to an increase in the rate of flame propagation during combustion compared to the traditional fuel type – natural gas. The results of mathematical modeling of the size and shape of the torch are presented. Identified the possible reasons of violations fuel process using mixtures of primary fuel and discharge accumulated gases. The necessity of correction of the method of Ravych and considered additions to the new calculation tables for the processing of the results of thermal tests in the combustion of fuel mixtures. The problems of combustion of mixtures of the main fuel and waste gases of the petrochemical complex are analyzed and recommendations for sustainable combustion of fuel mixtures of variable composition are developed. Economic and ecological efficiency of use of combustible wastes for the purpose of substitution of the main organic fuel is shown.

Keywords: technology of oil refining, waste, fuel mixture, characteristics, modeling of the torch, the combustion efficiency

Одним из направлений «Энергетической стратегии России на период до 2035 г.» является применение новых видов топлива, включая смеси традиционного топлива с отходами технологических процессов. Использование смеси традиционного топлива и производственных отходов, ранее сбрасываемых в атмосферу, позволит существенно сэкономить ресурсы органического топлива и защитить окружающую среду от

загрязнения. С другой стороны, полученная топливная смесь значительно отличается от традиционного топлива, и ее качественное сжигание становится проблемным.

Цель исследования: выявить проблемы и рассмотреть возможность качественного использования сбросных газов нефтехимического комплекса в составе топливной смеси на примере технологий ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

Материалы и методы исследования

Проанализируем основные технологические процессы нефтехимического комплекса: производство водорода из углеводородного сырья методом парового риформинга и получение высококачественных бензинов и ароматических углеводородов методом каталитического риформинга с позиции выделения горючих отходов [1, 2].

Эндотермические реакции парового риформинга проходят на никелевом катализаторе при высоких температурах. Однако полученный водород содержит примеси: метан, оксид углерода, диоксид углерода и азот. Очистка водорода от примесей осуществляется методом короткоциклового адсорбции (КЦА). Газообразные примеси, выделенные из адсорбента, поступают в атмосферу в виде «отдувочного газа» (далее – отдувочный газ). В качестве примера приведен состав отдувочного газа (табл. 1), сбрасываемого из блока КЦА предприятия ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

Высококачественные бензины и ароматические углеводороды получают методом каталитического риформинга. При этом углеводородное сырье смешивается с циркулирующим водородсодержащим газом. Далее реакционная смесь нагревается в теплообменнике и печи и поступает в газовый сепаратор высокого давления с выделением водородсодержащего газа (состав, табл. 2). Водородсодержащий газ частично применяется в технологическом процессе, но в основном выводится в атмосферу. При этом его зачастую сжигают в газовых факелах, загрязняя атмосферу и выбрасывая газы с высоким энергетическим потенциалом.

Анализ сбросных газов приведенных выше технологий нефтехимического комплекса (табл. 1 и 2) показывает, что состав отходов зависит от стадии технологических процессов и отличается существенной нестабильностью. Очевидно, что решение проблемы эффективного использования топливных смесей с включением сбросных газов невозможно без проведения дополнительных исследований.

Компонентный состав отдувочного газа блока КЦА

Таблица 1

№ п/п	Компонентный состав, %				Теплота сгорания Q_1^f , МДж/м ³
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	
1	2	3	4	5	6
1	50	1,9	44,2	3,9	7,038
2	45,1	3,1	48,9	2,9	6,306
3	32,22	3,25	59,21	5,32	5,796
4	31,2	2,9	60,8	5,1	5,563

Компонентный состав сбросного водородсодержащего газа

Таблица 2

№ п/п	Компонент	Сбросной водородсодержащий газ			
		C1	C2	C3	C4
	1	2	3	4	5
1	Водород H_2^d	92,3	80,0	60,0	40,0
2	Метан CH_4^d	2,2	6,0	15,4	20,0
3	Этан $C_2H_6^d$	2,6	4,0	7,5	10,0
4	Пропан $C_3H_8^d$	1,9	3,0	8,2	10,0
5	Бутан $C_4H_{10}^d$	0,8	3,5	6,0	10,0
6	Пентан $C_5H_{12}^d$	0,2	3,5	2,9	10,0

Для достижения цели исследований поставлены следующие задачи: вариантный расчет теплотехнических и эксплуатационных характеристик топливных смесей с различным содержанием технологических отходов; моделирование формы факела при сжигании забалластированной топливной смеси; дополнение методики М.Б. Равича в части создания новых расчетных таблиц для обработки результатов режимно-наладочных испытаний котлов и печей; разработка рекомендаций по устойчивому сжиганию забалластированных топливных смесей; экономическая и экологическая оценка технологии использования сбросных газов в виде добавки к основному топливу.

В качестве основных видов топлива в проведенных исследованиях использовались: традиционное топливо – природный газ и так называемый «топливный» газ – нефтезаводской газ [3], состоящий из смеси углеводородных и водородных фракций.

Сопоставлены различные методики расчета процессов горения и теплотехнических характеристик топлива и продуктов сгорания. Ввиду переменного состава смесей предложено, кроме теплотехнических характеристик, рассчитанных по нормативному методу, использовать обобщенные характеристики топливных смесей, определенные по методике М.Б. Равича [4], в том числе: максимальное теплосодержание 1 м³ сухих продуктов сгорания; соотношение удельных объемов сухих и влажных продуктов полного сгорания, а также удельных объемов воздуха на горение и сухих продуктов сгорания.

С целью определения устойчивости горения топливных смесей сопоставлены пределы воспламенения и скорость распространения пламени применительно к новому и традиционным видам топлива. Исследования формы факела при сжигании проведены (под руководством автора) путем моделирования процессов горения смеси топливного и отдувочного газов. Выбор топливной смеси обусловлен наличием в отдувочном газе большого количества негорючего компонента – CO₂, существенно влияющего на форму факела. Построение геометрических характеристик фронта пламени производилось с использованием табулированных функций для смеси с разным соотношением топливного и отдувочного газов [5].

Приведенная длина затопленного осесимметричного факела топливной смеси определялась по формуле

$$\sqrt{\xi_1} = \left\{ 4 \ln \left[1 - \left(\sqrt{\beta^2 + 1} - \beta \right)^2 \right] \right\}^{-1/2}, \quad (1)$$

где β – стехиометрический комплекс.

Стехиометрический комплекс β рассчитывался в зависимости от параметров топливной смеси:

$$\beta = \Omega \frac{c_{a0}}{c_{60}} \sqrt{\omega_1} \frac{\omega_{11} + 1}{2\omega_{11}}, \quad (2)$$

где

$$\omega_{11} = \frac{T_\phi}{T_\infty}, \omega_1 = \frac{T_\phi}{T_0}, \quad (3)$$

Ω – стехиометрический коэффициент; c_{a0} – концентрация топлива в смеси с балластом; c_{60} – концентрация воздуха в смеси; T_0 – температура топлива, подаваемого в горелку; T_∞ – температура воздуха на горение; T_ϕ – теоретическая температура горения.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчета теплотехнических характеристик топливных смесей с различным соотношением природного и водородсодержащего газов, топливного и отдувочного газов в исследуемой смеси привели к следующим выводам. Такие характеристики, как удельные объемы воздуха на горение и удельные объемы продуктов сгорания, рассчитанные по нормативному методу, имеют существенные различия в показателях в зависимости от содержания добавляемых отходов. С другой стороны, обобщенные характеристики рассматриваемых топливных смесей, полученные с использованием методики М.Б. Равича, обладают очень узким диапазоном изменения относительных значений – практически не изменяются применительно к смеси природного и водородсодержащего газов и незначительно изменяются при использовании смеси отдувочного и топливного газов. На рис. 1 сопоставлены традиционные и обобщенные теплотехнические характеристики топливной смеси природного и водородсодержащего газов в зависимости от доли водородсодержащего газа в смеси.

Поэтому, на наш взгляд, применение теплотехнических расчетов по методике М.Б. Равича представляет несомненный интерес, тем более что данная методика широко используется в процессе наладки и эксплуатации котлов и печей, в том числе при определении КПД на основе обобщенных характеристик продуктов сгорания.

Однако в процессе исследований топливной смеси отдувочного и топливного газов, отличающейся существенной забалластированностью негорючими веществами, выявлено, что некоторые обобщенные характеристики продуктов сгорания, такие как

максимальное теплосодержание 1 м^3 сухих продуктов сгорания, P (кДж/м^3) и B – отношение удельных объемов сухих и влажных продуктов сгорания, не являются постоянными. С другой стороны, именно эти величины входят в формулы, используемые в действующей методике теплотехнических испытаний топливосжигающего оборудования для определения таких важных показателей эффективности использования топлива, как потери теплоты с уходящими газами (q_3) и от химической неполноты сгорания (q_3). Следовательно, результат расчета КПД по методике обратного баланса на основе результатов инструментальных замеров становится некорректным, приводит к погрешности.

Разработано дополнение методики М.Б. Равича в части создания новых расчетных таблиц для обработки результатов режимно-наладочных испытаний котлов

и печей, использующих исследуемые виды топливных смесей. Ниже представлен фрагмент одной из разработанных таблиц (табл. 3).

Исследование эксплуатационных характеристик топливных смесей показало, что существенное добавление отходов к природному газу при отсутствии специальных мероприятий неизбежно приведет к неустойчивости процесса горения и возможному срыву пламени по следующей причине. Высокое содержание водорода в отдувочном газе обуславливает существенное расширение пределов воспламенения и приводит к росту скорости распространения пламени. Анализ расчетных данных (рис. 2) свидетельствует о превышении скорости распространения пламени отдувочного газа (состав проб, табл. 1) в 2,5–4,8 раза по сравнению с природным газом.

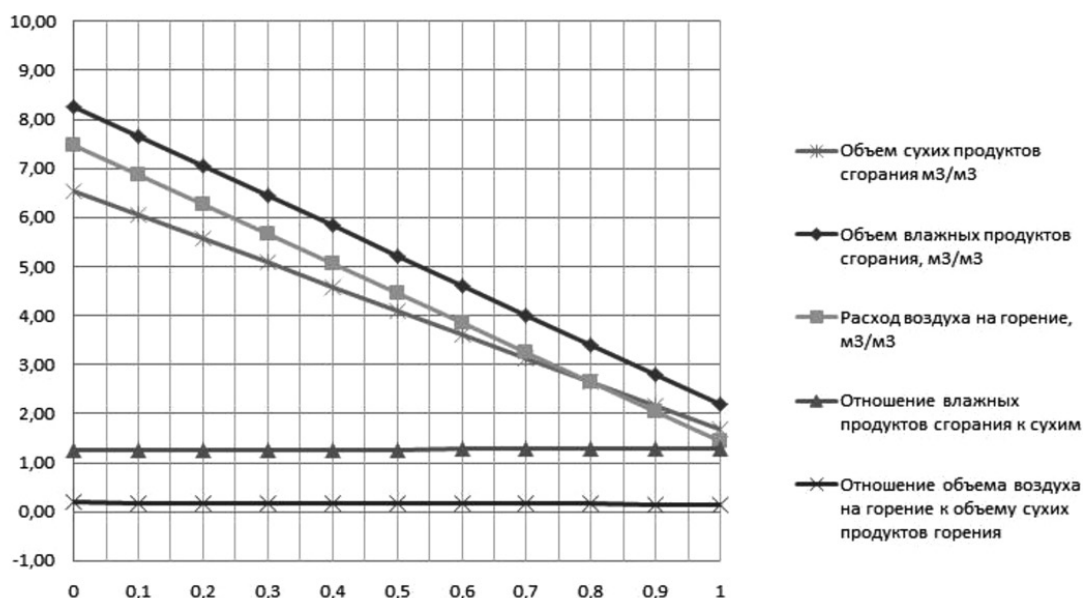


Рис. 1. Зависимость традиционных и обобщенных характеристик исследуемой топливной смеси от доли сбросного водородсодержащего газа в смеси

Таблица 3

Состав и теплотехнические характеристики продуктов полного сгорания смеси топливного и сбросного газов в соотношении 0,7:0,3

Содержание, %				Коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания, h	Коэффициент избытка воздуха, α	Калориметрическая температура горения $t_{\text{кал}}, ^\circ\text{C}$
CO_2	RO_2	O_2	N_2			
13,4	13,4	0,0	86,6	1,00	1	1832,6
13,1	13,1	0,5	86,4	1,02	1,02	1807,2
13,0	13,0	0,7	86,3	1,03	1,03	1794,8
12,7	12,7	1,1	86,2	1,05	1,05	1770,5

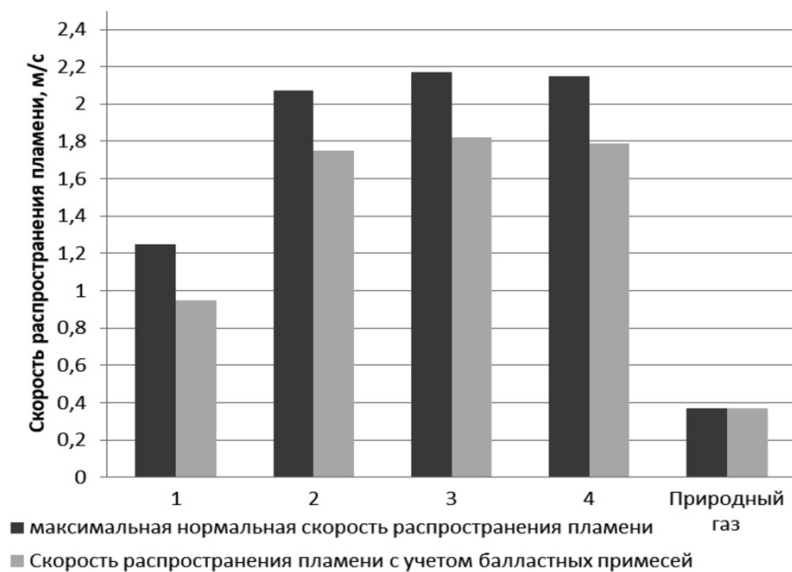


Рис. 2. Скорость распространения пламени

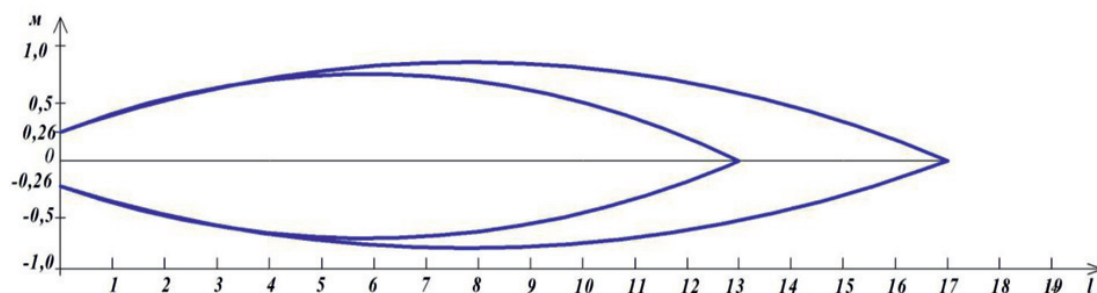


Рис. 3. Сравнительный анализ формы факелов топливного и отдувочного газов

Следовательно, если топочное устройство переводится, например, с природного газа на его смесь с отдувочным, необходимо существенное увеличение скорости подачи топливо-воздушной смеси во избежание проскока пламени в газовую горелку.

Еще более проблемным представляется качественное сжигание забалластированной смеси топливного и отдувочного газов. Анализируя состав различных проб отдувочного газа (табл. 1), следует отметить высокое содержание негорючего углекислого газа – CO_2 . Наличие балласта приведет к изменению объема факела и безусловно повлияет на его размещение в топочной камере. Для сравнения на рис. 3 представлены форма и размеры факелов топливного и отдувочного газов, полученные путем моделирования процесса их сжигания [5]. Возрастание объема факела отдувочного газа по сравнению с топливным, несомненно,

вызовет химическую неполноту сгорания при сжигании их смеси, вследствие возможного касания факелом поверхностей нагрева топочной камеры.

Таким образом, для решения проблемы эффективного использования топливных смесей переменного состава, содержащих отходы нефтепереработки, необходим комплекс технологических решений по повышению устойчивости горения и обеспечению полноты сгорания.

Для надежного воспламенения топливной смеси и стабилизации пламени предлагается установка специальных огнеупорных насадок на выходе из горелки. Возможны также аэродинамические методы стабилизации факела. Особую роль в обеспечении устойчивого горения и полного дожигания имеют огнеупорные дожигательные устройства, размещаемые в различных частях топочных камер.

Применительно к промышленным печам нефтеперерабатывающей промышленности – это стены радиантной камеры печи, которые становятся «излучающей поверхностью» и обеспечивают дожигание неостывших компонентов смеси вблизи раскаленных огнеупоров.

Полноты сжигания забалластированных топливных смесей в промышленных котлах можно достигнуть за счет установки специальных дожигательных устройств на выходе из топочной камеры, разработанных кафедрой ТГС ННГАСУ (Е.А. Лебедева). Разработки защищены патентом [№ 2293254], представлены на 58-м Всемирном салоне инноваций, научных исследований и новых технологий «Брюссель-иннова-2009» и награждены золотой медалью.

Проанализированы экономические преимущества применения топливных смесей. Использование горючих газообразных отходов нефтехимического комплекса в качестве топлива или части топлива в топливных смесях позволяет в значительной степени экономить энергоресурсы. Рассмотрим в качестве примера экономию традиционного топлива – природного газа – при сжигании отдувочного газа блока КЦА в печи парового риформинга ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез». В печи сжигается 10000 м³/ч отдувочного газа с теплотой сгорания в среднем 12 МДж/м³. Количество полученной теплоты с учетом КПД печи составляет 63 638 МДж/ч. Расход природного газа с теплотой сгорания 36,12 МДж/м³, необходимый для получения этого количества теплоты, составит 1980 м³/ч. Годовая экономия природного газа в связи с использованием отдувочного газа при круглогодичной работе технологической установки составит 17 344,8 тыс. м³/год.

Рассмотрим экологическую эффективность использования топливных смесей. Например, если не утилизировать отдувоч-

ный газ блока КЦА, содержащий от 1,9 до 3,3 % оксида углерода (СО), то выброс в атмосферу только от одной технологии нефтеперерабатывающего предприятия ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» превысит 3500 т оксида углерода в год.

Заключение

В процессе проведенных исследований выявлены проблемы сжигания топливных смесей, содержащих горючие отходы нефтехимической промышленности, в топках промышленных печей и котлов и предложены технические решения по стабилизации процесса горения и обеспечению полноты сгорания. Установлена экономическая и экологическая целесообразность использования промышленных отходов нефтехимического комплекса при соблюдении предложенных технологических решений.

Список литературы

1. Полетаева О.Ю., Мухаметзянов И.З., Илолов А., Латыпова Д.Ж., Бородин А.В., Каримов Э.Х., Мовсумзаде Э.М. Основные направления повышения производства топлива из углеводородного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2015. № 2. С. 3–10.
2. Умашев У.Б., Тюрин А.А., Удалова Е.А. Особенности развития процесса каталитического риформинга в России // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16. № 4. С. 184–186.
3. Верниковская М.В., Снытников П.В., Кириллов В.А., Собянин В.А. Технологические и экономические преимущества переработки попутных нефтяных газов на нефтепромыслах в метано-водородную газовую смесь для питания энергоустановок // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2012. № 11. С. 7–12.
4. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. Теплотехнические расчеты по обобщенным константам продуктов горения. 5-е изд., доп. М.: Наука, 1966. 415 с.
5. Лебедева Е.А., Гордеев Б.А., Зимняков П.С. Численное исследование фронта пламени топливных смесей с использованием отбросных газов нефтехимического комплекса // Приволжский научный журнал. 2015. № 4. С. 75–82.

УДК 547.362

**СИНТЕЗ НЕПРЕДЕЛЬНОГО АЦЕТИЛЕНОВОГО
СПИРТА – ДИМЕТИЛДИГЕКСИЛБУТИНДИОЛА****¹Меркулов В.В., ¹Алмазов А.И., ^{1,2}Мантлер С.Н., ¹Жуманазарова Г.М.**¹*РГП «Карагандинский государственный индустриальный университет»,
Темиртау, e-mail: smart-61@mail.ru;*²*АО «Международный научно-производственный холдинг «Фитохимия»,
Караганда, e-mail: svetik7tsvetik7@mail.ru*

Ацетилен как высокореакционноспособное соединение по-прежнему остается одним из важных исходных соединений в органическом синтезе. Разработку на основе ацетилена новых методов синтеза науко- емких химических продуктов для передовых технологий, медицины и сельского хозяйства можно считать актуальной задачей, особенно если принять во внимание нарастающий дефицит нефти. В данном исследовании осуществлен синтез в лабораторных условиях на основе реакции Фаворского мономера 7,10-диметил- гексадек-8-ин-7,10-диола, который образуется при взаимодействии ацетилена с октаном-2 в среде бензола в присутствии порошкового КОН. Полученное функциональное производное ацетилена является симме- тричным соединением, содержит в своей структуре длинные углеводородные радикалы, две гидроксильные группы и тройную связь и может быть использовано при производстве широкого ассортимента продуктов. В работе приведены некоторые современные способы получения ацетиленовых диолов; описана методика предлагаемого синтеза; продукт получен в виде аморфного порошка светло-желтого цвета, его молекуляр- ная структура идентифицирована одномерным методом ¹H и ¹³C ЯМР-спектроскопии. Наблюдения за ходом эксперимента свидетельствуют о достаточной интенсивности предлагаемого метода синтеза, его простоте и безопасности, а также легкости выделения целевого продукта из реакционной смеси.

Ключевые слова: синтез диолов, непредельные спирты, ацетилен, реакция Фаворского, ЯМР-спектроскопия

**SYNTHESIS OF UNSATURATED ACETYLENIC
ALCOHOL – DIMETHYL DIHEXYL BUTYNEDIOL****¹Merkulov V.V., ¹Almazov A.I., ^{1,2}Mantler S.N., ¹Zhumanazarova G.M.**¹*Karaganda State Industrial University, Temirtau, e-mail: smart-61@mail.ru;*²*JSC «International research and production holding «Phytochemistry»,
Karaganda, e-mail: svetik7tsvetik7@mail.ru*

Acetylene as a highly reactive compound still remains one of the important starting compounds in organic synthesis. The development of acetylene-based new methods in synthesis of high-tech chemical products for advanced technologies, medicine and agriculture can be considered as an actual task, especially if we take into account the growing oil shortage. In this study, laboratory synthesis monomer 7,10-dimethyl-hexadec-8-yn-7,10- diol has been carried out based on Favorskii reaction. The product is formed by the interaction of acetylene with octanone-2 in benzene in the presence of powdered KOH. The obtained functional derivative of acetylene is a symmetrical compound, contains in its molecular structure long hydrocarbon radicals, two hydroxyl groups and a triple bond, and so can be used in the manufacture of a wide range products. The paper presents some modern methods of obtaining acetylenic diols; the synthesis method is described; the product has been obtained in the form of a light yellow amorphous powder, and its molecular structure was identified by one-dimensional ¹H and ¹³C NMR spectroscopy. Observations on the experiment course indicate a sufficient intensity of this synthesis method, its simplicity and safety, as well as ease of the target product isolation from the reaction mixture.

Keywords: synthesis of diols, unsaturated alcohols, acetylene, Favorskii reaction, NMR spectroscopy

Молекула ацетилена является универ- сальным «строительным блоком» в синте- зе органических продуктов. Долгое время он занимал лидирующую позицию среди основного химического сырья и находился практически вне конкуренции, так как аце- тилен и его производные, как высокореак- ционноспособные соединения, в большей степени, чем этилен, отвечают тенденциям развития химической промышленности, ориентированной на разработку науко- емких химических продуктов для современ- ных технологий, сельского хозяйства и ме- дицины [1]. Нестабильная ситуация на рынке нефти, наличие больших залежей

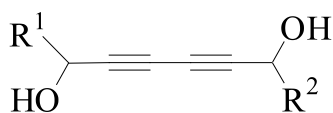
каменного угля в Центральном Казахстане и карбидного производства на АО «Темир- тауский электрометаллургический комби- нат» (Карагандинская область, г. Темиртау) создает объективные предпосылки к актив- ному использованию ацетилена для целей тонкого органического синтеза. При этом в недалеком будущем может сложиться конъюнктура, при которой ацетилен в каче- стве сырья для химической промышленно- сти станет вновь более выгодным экономи- чески, чем этилен.

Среди синтезируемых на основе аце- тилена веществ наиболее значимы этанол и ацетиленовые спирты, уксусный альде-

гид и уксусная кислота, полиакрилонитрил и поливинилхлорид, различные каучуки (дивинильный, хлоропреновый и изопреновый), среди биологически активных веществ – витамин А и стероидные гормоны. Различные производные ацетилена имеют все большую перспективу применения для целей тонкого органического синтеза. Ацетиленовые спирты, в особенности гликоли, вызывают особый интерес. Уже сейчас имеются предпосылки для разработки на их основе производств душистых, лекарственных и фотоактивных веществ, мономеров в синтезе полимеров и флотореагентов, специальных полимерных материалов, а также пластификаторов и модификаторов для них,

антикоррозионных средств защиты оборудования, модификаторов моторных топлив и эмульгаторов [1, 2].

Разработка методов синтеза ацетиленовых диолов является актуальным направлением исследований и в настоящее время. Так, в работе [3] сообщается о пятишаговом синтезе диацетиленовых диолов на основе коммерчески доступного 1,4-бис(триметилсилил)бута-1,3-диина и различных альдегидов. По результатам оценки биологической активности и безопасности ряда полученных ими производных установлено, что соединения *1a*, *1b* и *1c* являются перспективными для *in vivo* изучения их как средств профилактики рака.



1a $R^1 = \text{CH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$; $R^2 = \text{H}$

1b $R^1 = \text{CH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$; $R^2 = \text{CH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$

1c $R^1 = \text{CH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$; $R^2 = \text{cyclohexyl}$

Авторами работы [4] описан синтез 1,4-диолов в мягких условиях на основе терминальных ацетиленов **2** путем активации С-Н связи с получением металацетиленида. Первый этап синтеза протекает в присутствии Zn (II), триэтиламина и N-метилэфедрина (оптически активного аминспирта). Полученный *in situ* металацетиленид в реакции присоединения по С=О и С=N связям образует соответствующие 1,4-диолы **3** (схема 1).

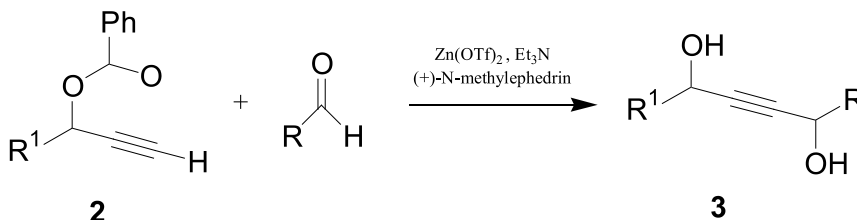


Схема 1. Синтез 1,4-диолов на основе терминальных ацетиленов

В работе [5] приведен эффективный хемоселективный способ получения алкиндиолов путем прямого депротонирования пропаргиловых спиртов **4** *n*-бутиллитием (схема 2). Образующиеся соли **5** в присутствии эквимолярных количеств CeCl_3 взаимодействуют с карбонильными соединениями и дают пропаргиловые диолы **6** с высокими выходами (даже в случае использования карбонильных соединений с низкой реакционной способностью).

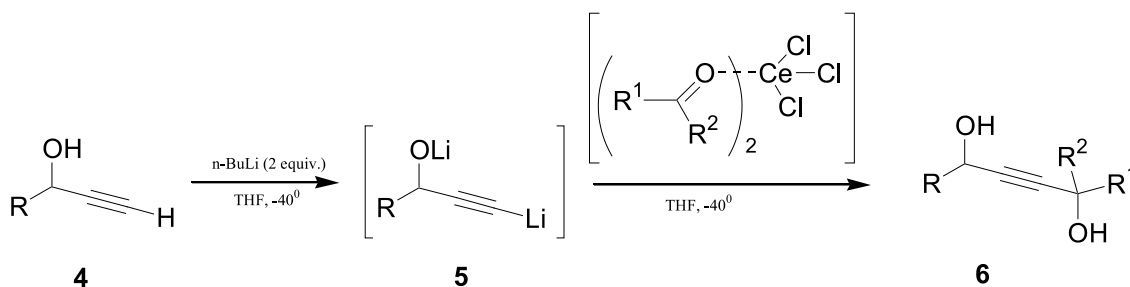


Схема 2. Синтез алкиндиолов прямым депротонированием пропаргиловых спиртов

Получение ацетиленовых спиртов по технологиям Фаворского и Реппе (прямой конденсацией алициклических кетонов и некоторых альдегидов с монозамещенными ацетиленами) в присутствии оснований остается одним из наиболее простых методов [1, 6]. 2-метил-4-фенилбутан-3-ол-2 – первый продукт данной технологии, полученный одностадийно и с количественным выходом путем конденсации ацетона с фенилацетиленом в присутствии порошкового едкого калия. В дальнейшем данную технологию распространили на другие монозамещенные ацетилены и сам ацетилен. Процесс проводят при значительном избытке ацетилена (вместо которого может быть применен и карбид кальция в присутствии КОН) в среде различных органических растворителей или их смесей (диизопропиловом или метилтретбутиловом эфире, смеси ацетальдегида с дибутилацеталем или метилаля с диоксаном; тетрагидрофуране и т.п.) [6].

В свете вышеизложенного, целью данного исследования стал синтез по классической реакции Фаворского перспективного функционального производного ацетилена – диметилдигексилбутиндиола. Данное соединение представляет практический интерес, так как является симметричным производным, содержит в своей структуре одновременно две гидроксильные группы, тройную связь и углеводородный радикал с длинной углеродной цепью, что дает возможность использовать его для получения полимеров, эмульгаторов и флотореагентов с заданными характеристиками. Среди перечисленного наиболее актуальным, на наш взгляд, представляется применение производных данного соединения в процессе флотации при обогащении медных и серебряных руд, поскольку в Казахстане нет собственного производства флотореагентов, и данный вид продукции закупается потребителями за рубежом.

Материалы и методы исследования

Для проведения синтеза использовали ацетилен, получаемый из карбида кальция, октанон-2 (метилгексилкетон), порошок КОН и бензол (в качестве растворителя). Для осушки использовали прокаленный поташ, для перекристаллизации применяли четыреххлористый углерод.

Синтез проводили в трехгорлой колбе объемом 500 мл с обратным холодильником, капельной воронкой и мешалкой, аналогичной представленной в работе [7]. Ацетилен осушали и очищали от примесей, пропуская через склянку Тищенко, заполненную концентрированной H_2SO_4 . Конец обратного холодильника установки также был соединен с ней для защиты системы от попадания вла-

ги и обеспечения возможности визуального наблюдения за поглощением ацетилена.

Для определения структуры нового ацетиленового спирта использовалась ЯМР-спектроскопия высокого разрешения, которая является одним из самых информативных методов исследования структуры и превращений молекул, межмолекулярных взаимодействий и количественного анализа веществ. Анализ выполнялся в лаборатории инженерного профиля ЯМР-спектроскопии Кокшетауского государственного университета им. Ш. Уалиханова на приборе JNM-ECA 400 (Jeol, Япония, рабочая частота 400 МГц). Модельные спектры 1H и ^{13}C ЯМР соединений построены с помощью программы ACDLab ChemSketchWindow. Температуры плавления определяли с помощью прибора OptiMelt.

В колбу помещали 80 г порошка едкого калия, наливали 300 мл бензола (растворителя) и добавляли 25 г метилгексилкетона. Через реакционную смесь пропускают очищенный ацетилен в течение 2 ч при постоянном перемешивании. Температуру среды поддерживают на уровне 13–15 °С, охлаждая водопроводной водой. После окончания реакции смесь оставляют на ночь. Гидролиз осуществляют, прибавляя дистиллированную воду из капельной воронки (70–80 мл). Затем бензольный слой отделяют, а водный экстрагируют тремя порциями бензола по 30 мл. Органический слой и вытяжки от экстракции водного слоя объединяют, промывают водой (20 мл), 20%-ной уксусной кислотой (20 мл), снова водой (20 мл), после чего сушат прокаленным поташом. Бензол отгоняют на ротационном испарителе. Продукт реакции – диметилдигексилбутиндиол, остается в колбе в виде кристаллов. Перекристаллизацию осуществляют из четыреххлористого углерода. Практический выход составляет 60–70%.

Диметилдигексилбутиндиол, синтезированный по данному способу, представляет собой аморфный порошок светло-желтого цвета с температурой плавления 85 °С, хорошо растворимый в хлороформе.

Результаты исследования и их обсуждение

Предполагаемый механизм реакции получения диметилдигексилбутиндиола по классической реакции Фаворского при взаимодействии ацетилена с метилгексилкетонem в присутствии порошкового КОН (схема 3) включает образование ацетиленида, который присоединяется к карбонильному соединению с образованием *in situ* промежуточного продукта – алкоголята ацетиленового спирта, при гидролизе которого с выходом 60–70% образуется целевой продукт – ацетиленовый спирт диметилдигексилбутиндиол.

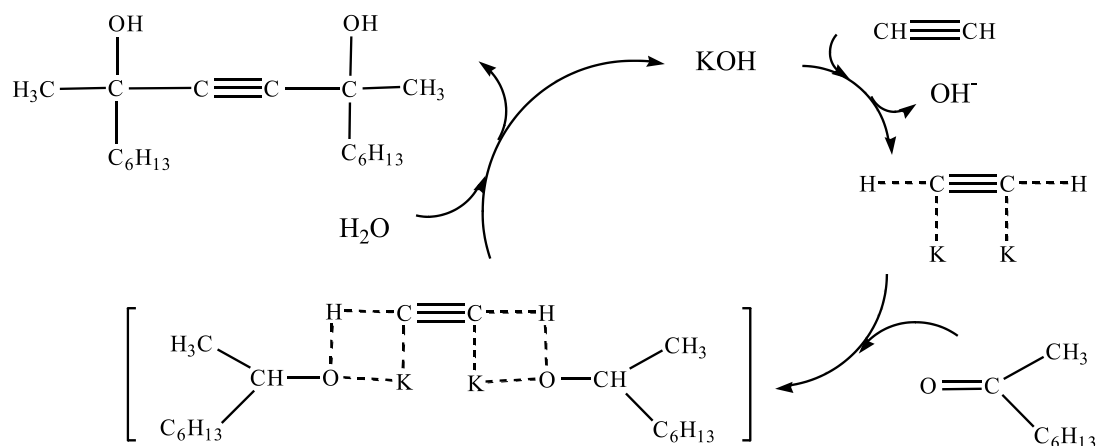
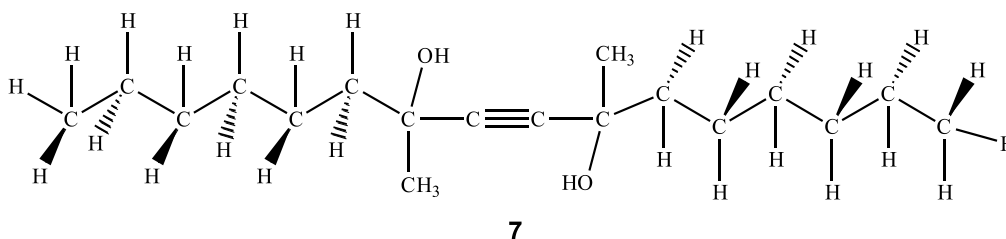


Схема 3. Предполагаемый механизм реакции взаимодействия ацетилена с метилгексилкетон

Для идентификации и подтверждения предполагаемой структуры синтезированного соединения 7 были сняты ^1H и ^{13}C ЯМР-спектры в дейтерированном хлороформе и спектр HMQC. Полученные результаты представлены на рис. 1–3 и в таблице.



В протонном спектре синтезированного соединения наиболее сильнополюный сигнал (триплет, 0,85 м.д.) интенсивностью 6Н принадлежит протонам метильных групп двух гексильных заместителей. Мультиплетные сигналы с химическими сдвигами 1,27; 1,42 и 1,59 м.д. можно отнести к протонам метиленовых групп алкильного радикала. Для протонов метильных заместителей характерно резонирование при 1,42 м.д.

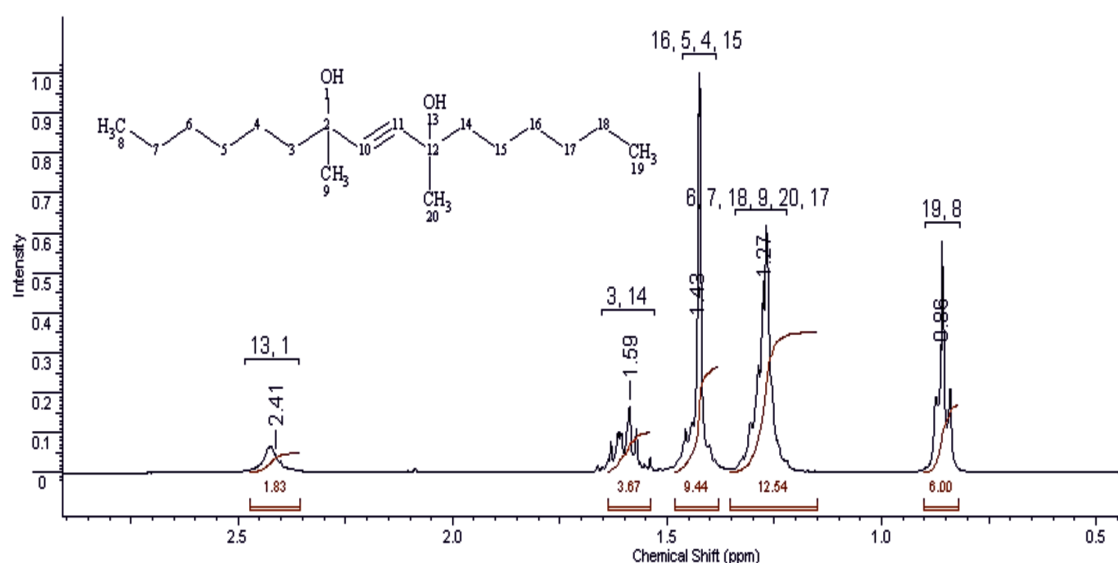


Рис. 1. Спектр ^1H ЯМР диметилдигексилбутиндиола (400 МГц, CDCl_3)

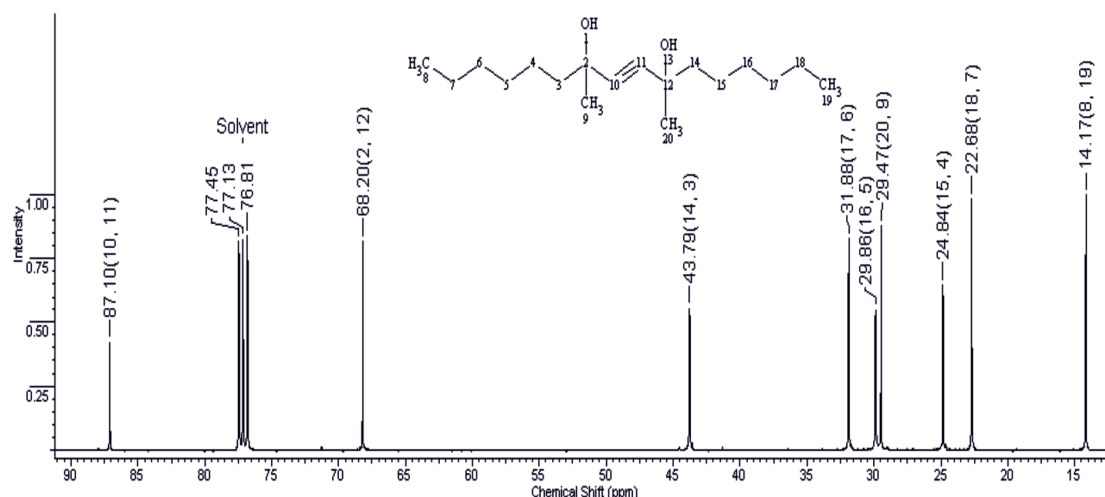


Рис. 2. Спектр ^{13}C ЯМР диметилдигексилбутиндиола (400 МГц, CDCl_3)

В ^{13}C спектре соединения 7 углеродные атомы гексильных радикалов, расположенные симметрично, резонируют при 14,13 (2CH_3), 22,67 (2CH_2), 24,81 (2CH_2), 29,65 (2CH_2), 31,87 (2CH_2) и 43,77 м.д. (2CH_2). Атомы С-9 и С-20 метильных радикалов дают сигналы при 29,46 м.д. Под влиянием гидроксильных групп и кратной связи четвертичные атомы С-10 и С-11 в соединении дают сигнал в более слабом поле (68,20 и 87,15 м.д. соответственно).

Таким образом, на основании данных ^1H и ^{13}C ЯМР-спектроскопии синтезированного соединения доказано, что структура этого экспериментального образца полностью соответствует диметилдигексилбутиндиолу (7,10-диметил-гексадек-8-ин-7,10-диолу).

Данные спектров ^1H и ^{13}C ЯМР диметилдигексилбутиндиола

Данные ^1H спектра ЯМР					Данные ^{13}C спектра ЯМР				
№	Атом	Химический сдвиг (ppm)			№	Атом	Химический сдвиг (ppm)		
		эксп.	расч.	разница			эксп.	расч.	разница
1	3	[1,53...1,65]	—	—	1	19	14,17	14,07	+0,10
2	14	[1,53...1,65]	—	—	2	8	14,17	14,07	+0,10
3	1	[2,36...2,48]	—	—	3	18	22,63	22,46	+0,23
4	13	[2,36...2,48]	—	—	4	7	22,63	22,46	+0,23
5	8	[0,82...0,90]	0,877	-0,019	5	15	24,34	24,50	+0,34
6	19	[0,82...0,90]	0,877	-0,019	6	4	24,34	24,50	+0,34
7	6	[1,22...1,34]	1,276	+0,006	7	20	29,47	29,60	-0,13
8	17	[1,22...1,34]	1,276	+0,006	8	9	29,47	29,60	-0,13
9	7	[1,22...1,34]	1,333	-0,050	9	16	29,86	30,42	-0,56
10	18	[1,22...1,34]	1,333	-0,050	10	5	29,86	30,42	-0,56
11	9	[1,22...1,34]	1,356	-0,076	11	17	31,88	31,60	+0,28
12	20	[1,22...1,34]	1,356	-0,076	12	6	31,88	31,60	+0,28
13	4	[1,39...1,46]	1,389	+0,036	13	14	43,79	43,96	-0,17
14	15	[1,39...1,46]	1,389	+0,036	14	3	43,79	43,96	-0,17
15	5	[1,39...1,46]	1,518	-0,092	15	12	68,20	65,64	+2,56
16	15	[1,39...1,46]	1,518	-0,092	16	2	68,20	65,64	+2,56
					17	10	87,10	87,29	-0,19
					18	11	87,10	87,29	-0,19

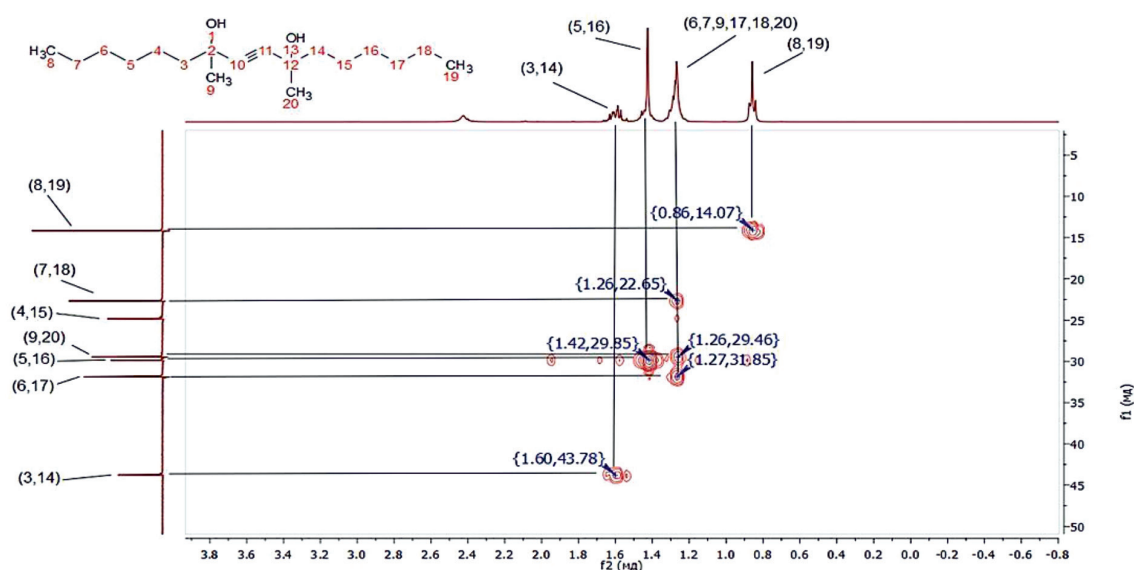


Рис. 3. Спектр ^2D НМРС диметилдигексилбутиндиола

Выводы

В результате проведенных исследований получено соединение, обладающее рядом уникальных свойств ввиду наличия в его структуре функциональных групп и тройной связи. Такая структура дает возможность получать на его основе производные с широким спектром применения. Ацетиленовые диолы в целом и диметилдигексилбутиндиол в частности предполагают высокую вероятность успешности их использования при флотации цветных руд, получении модификаторов и пластификаторов для пластмасс, а также наноструктурированных пленок, полимеров с заданными свойствами и противоопухолевых лекарственных средств.

Преимущества использованного метода синтеза диметилдигексилбутиндиола перед другими технологиями заключается в его безопасности, экономичности и более высокой интенсивности процесса. Так, синтез осуществляется при практически комнатной температуре, ацетилен используется при атмосферном давлении, целевой продукт легко отделить простой отгон-

кой растворителя, не образуются вредные выбросы и отходы.

Список литературы

1. Гусарова Н.К., Михалева А.И., Шмидт Е.Ю., Малькина Е.Г. Химия ацетилена: Новые главы. Новосибирск: Наука, 2013. 368 с.
2. Алмазов А.И., Арбузов В.А. 3,6-диметил-3,6-дигидрокси-октин-8 // Инновационный патент РК № 29740. Патентообладатель РГП «Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова». Оpubл. 15.04.2015. Бюл. № 4.
3. Lee C.-Y., Yun J.H., Kang K., Nho C.-W., Shin D. Identification of dialkyl diacetylene diols with potent cancer chemopreventive activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2015. № 25. P. 4020–4023.
4. Diez R.S., Adger B., Carreira E.M. Efficient asymmetric synthesis of 1-alk-2-yne-1,4-diols. *Tetrahedron*. 2002. № 58. P. 8341–8344.
5. Princival J.L., Ferreira J.G. CeCl_3 -mediated addition of acetylenic bis-lithium salts to aldehydes and ketones: An efficient route to bis-substituted alkyne diols. *Tetrahedron Letters*. 2017. № 58. P. 3525–3528.
6. G. Thelen. Process for the manufacture of alkyne diols by reaction of ketones with acetylene. Patent US № 4960959. Assignee Huels Aktiengesellschaft. Date of patent 02.10.1990.
7. Меркулов В.В., Алмазов А.И., Мантлер С.Н. Перспективный метод синтеза диметилдиэтилбутиндиола // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 18–22.

УДК 544.723

ТЕРМОДИНАМИКА АДСОРБЦИИ ИОНОВ КАДМИЯ НА КАОЛИНЕ**Пимнева Л.А., Искакова А.И.***Тюменский индустриальный университет, Тюмень, e-mail: l.pimneva@mail.ru*

Природные и сточные воды в своем составе содержат опасные и токсичные тяжелые металлы. Природные адсорбенты на основе глин нашли широкое применение для очистки водных систем. В настоящей работе исследован процесс адсорбции ионов кадмия на природном каолине. Исследована структура алюмосиликатного адсорбента (природного каолина), методом сканирующей электронной микроскопии установлен количественный состав основных оксидов каолина. Исследована адсорбция ионов кадмия от концентрации их в растворе и температур процесса в статических условиях. Емкость каолина по ионам кадмия составляет 0,88 ммоль/мл при температуре 25 °С. Адсорбционное равновесие изучали методом переменных концентраций. Полученные изотермы сорбции были описаны с применением теорий Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина. Значения коэффициентов корреляции показывают, что модель Ленгмюра описывает экспериментальные данные лучше, чем модель Фрейндлиха и модель Темкина. Из полученных изотерм определены предельные значения адсорбционной емкости природного каолина по ионам кадмия, ммоль/г: 1,21 (25 °С); 1,25 (45 °С); 1,29 (60 °С). Определены термодинамические параметры адсорбции ионов кадмия на каолините. Показана возможность применения природного сорбента для очистки природных и сточных вод.

Ключевые слова: адсорбция, каолин, ионы кадмия, адсорбционная емкость, изотермы адсорбции**THERMODYNAMICS OF CADMIUM IONS ADSORPTION ON KAOLIN****Pimneva L.A., Iskakova A.I.***Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: l.pimneva@mail.ru*

Natural and waste water in its composition contain dangerous and toxic heavy metals. Natural adsorbents based on clays are widely used for purification of water systems. In this paper, the adsorption process of cadmium ions on natural kaolin is investigated. The structure of aluminosilicate adsorbent (natural kaolin) was investigated, the quantitative composition of the main kaolin oxides was determined by scanning electron microscopy. Adsorption of cadmium ions from their concentration in solution and process temperatures under static conditions was investigated. The capacity of kaolin by cadmium ions is 0.88 mmol / ml at a temperature of 25 °C. Adsorption equilibrium was studied by the method of variable concentrations. The obtained sorption isotherms were described using Langmuir, Freundlich, and Temkin theories. The limiting values of the adsorption capacity of natural kaolin for cadmium ions, mmol / g were determined from the obtained isotherms: 1,21 (25 °C); 1,25 (45 °C); 1,29 (60 °C). Thermodynamic parameters of adsorption of cadmium ions on kaolinite are determined. The possibility of using a natural sorbent for the purification of natural and waste waters is shown.

Keywords: adsorption, kaolin, cadmium ions, adsorption capacity, adsorption isotherms

В последние годы стали уделять большое внимание вопросам загрязнения окружающей среды отходами производства [1]. Интенсивный рост промышленности приводит к увеличению и отходов производств, которые требуют их переработки. В отходы попадают и ценные компоненты, являющиеся сырьем в различных технологиях [2]. Как правило, природные и производственные воды содержат тяжелые металлы, обладающие высокой токсичностью [3]. Эффективно решить такую проблему возможно с использованием сорбционных технологий [4–6]. Наиболее широкое применение в качестве адсорбентов нашли природные глины. Глины в зависимости от химического состава оксидов металлов обладают разной сорбционной способностью, поэтому важно исследовать их сорбционную способность. Для решения технологических задач по извлечению, концентрированию редких и цветных металлов необходимы сведения по термодинамике.

Исследование адсорбции ионов тяжелых металлов, термодинамические расчеты позволяют определить максимальную рабо-

чую емкость адсорбентов и механизм взаимодействия ионов металлов с адсорбентом.

Поиск новых недорогих сорбентов с высокой сорбционной способностью и разработка сорбционной технологии по извлечению ионов тяжелых металлов из водных систем ведется Тюменским индустриальным университетом [7–9].

Данная работа посвящена оценке адсорбционных и термодинамических свойств каолина по отношению к ионам кадмия, необходимых для проектирования сорбционных установок.

Выбор данного металла связан с его высокой токсичностью. Растворимые соединения кадмия в воде оказывают раздражающее действие на кожу, а при попадании внутрь организма могут вызывать отравление. Кроме этого токсичность кадмия объясняется его сродством с молекулами нуклеиновых кислот. При его присоединения к молекулам ДНК происходит нарушение их функциональности [10]. Извлечение ионов кадмия из природных вод является актуальной задачей.

Материалы и методы исследования

В качестве адсорбента был использован природный каолин. Сканирующим электронным микроскопическим методом был установлен количественный состав основных оксидов, входящих в состав каолина, приведенный в табл. 1.

Таким образом, по содержанию оксида алюминия, согласно ГОСТ 9169-75, глина относится к высокоосновным. Фазовый состав представлен свободным кварцем, каолинитом (96%), гидрослюдами (2%).

Для изучения адсорбционных и термодинамических характеристик на каолине использовали модельные растворы нитрата кадмия. Эксперимент проводили при температурах 25, 45, 60 °С. Используя метод переменных концентраций, в статических условиях получали изотермы сорбции. Навеску каолина 1 г заливали 50 мл растворами нитрата кадмия концентрациями от 0,02 до 0,15 ммоль/мл. После установления равновесия (7 суток) определяли остаточное содержание Cd^{2+} комплексонометрическим титрованием по методике [11].

Статическую адсорбционную емкость каолина вычисляли по формуле

$$\Gamma = \frac{C_0 - C_p}{m} \cdot V, \quad (1)$$

где C_0 и C_p – исходная и равновесная концентрации ионов кадмия в растворе, ммоль/мл; m – навеска каолина, г; V – объем раствора, мл.

Результаты исследования и их обсуждение

Для расчета термодинамических параметров адсорбции ионов Cd^{2+} были получены изотермы сорбции (рис. 1). Проанализировав полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод, что адсорбционная емкость поглощения ионов кадмия увеличивается с ростом содержания их в исходном растворе. Влияние concentra-

ции Cd^{2+} в большей степени влияет в области низких значений, где величина адсорбции прямо пропорциональна концентрации Cd^{2+} . Затем идет постепенное насыщение поверхности адсорбента.

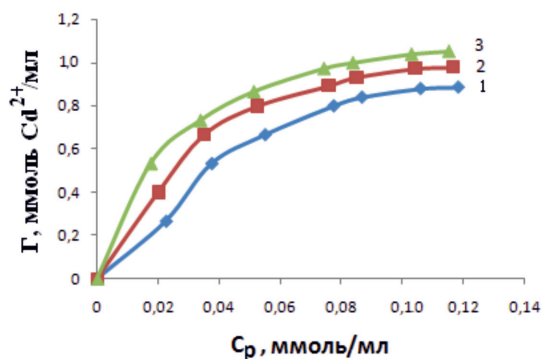


Рис. 1. Изотермы сорбции ионов Cd^{2+} на каолине при температурах, °С: 25°, 45°, 60°

Для объяснения экспериментальных данных использовали уравнения изотерм Ленгмюра (2), Фрейндлиха (3), Темкина (4) в линейной форме (рис. 2):

$$\frac{C_p}{\Gamma} = \frac{C_p}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot k_L}, \quad (2)$$

$$\ln \Gamma = \ln k_F + \frac{1}{n} \cdot \ln C_p, \quad (3)$$

$$\Gamma = \frac{1}{\infty} \cdot \ln k_T + \frac{1}{\infty} \cdot \ln C_p, \quad (4)$$

где Γ_{∞} – предельная адсорбция монослоя (ммоль/г), C_p – равновесная концентрация ионов металла (ммоль/мл), k_L – концентрационная константа адсорбционного равновесия, мл/ммоль; k_F и n – константы Фрейндлиха; k_T и ∞ – константы Темкина.

Линейная обработка изотерм адсорбции ионов кадмия из водных растворов на каолине представлена в табл. 2.

Таблица 1

Содержание оксидов в составе каолина

Содержание	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	Fe_2O_3	TiO_2	Cd
Состав каолина до сорбции								
% мас.	49,22	46,87	0,13	0,42	0,86	1,21	0,97	–
Число молей	0,82	0,46	0,002	0,0045	0,015	0,0076	0,012	
Состав каолина после сорбции								
% мас.	48,44	45,81	0,10	0,37	0,66	1,12	0,94	0,94
Число молей	0,81	0,45	0,0016	0,004	0,012	0,007	0,012	0,008

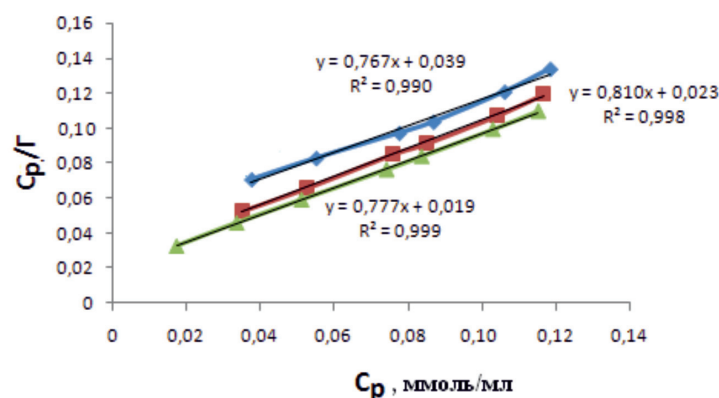


Рис. 2. Изотермы адсорбции ионов кадмия по линейному уравнению Ленгмюра

Таблица 2

Обработка изотерм адсорбции ионов кадмия по моделям

Т, К	Ленгмюра			Фрейндлиха			Темкина		
	Γ_{∞} , ммоль г	k_L , мл ммоль	R^2	$\ln k_F$	$1/n$	R^2	$\ln k_T$	$1/\alpha$	R^2
298	1,21	19,66	0,990	1,481	0,691	0,914	4,62	0,375	0,978
318	1,25	34,82	0,998	1,107	0,485	0,922	5,89	0,325	0,972
333	1,29	40,84	0,999	0,881	0,361	0,973	6,00	0,281	0,992

Значения коэффициентов корреляции показывают, что модель Ленгмюра описывает экспериментальные данные лучше, чем модель Фрейндлиха и модель Темкина. На рис. 2 показано, что экспериментальные данные хорошо укладываются на прямых линиях. Графическим методом были определены значения Γ_{∞} и k_L . Результаты расчета подтверждают, что предельная адсорбция Γ_{∞} ионов кадмия на каолине составляет 1,21 ммоль/г. Константа адсорбционного равновесия k_L имеет значение 19,66 мл/ммоль (298 К).

Определив экспериментально емкость моно слоя Γ_{∞} , можем рассчитать удельную поверхность адсорбента по уравнению

$$S_{уд} = \Gamma_{\infty} \cdot N_A \cdot S_0, \quad (5)$$

где S_0 – площадь, занимаемая одним адсорбированным ионом, м²; N_A – число Авогадро, ммоль⁻¹.

Для расчета удельной поверхности использовали значение гидратированного радиуса иона кадмия, равного 4,26 А. Удельная поверхность для каолина составляет 408 м²/г.

Различные значения величины адсорбции при изменении температуры позволяют определить значения термодинамических характеристик адсорбции: энтальпии (ΔH), энтропии (ΔS) и энергии Гиббса (ΔG).

Для расчета ΔH использовали в интегральном виде уравнения изостеры. Метод расчета теплоты адсорбции основан на применении уравнения Клаузиуса – Клапейрона [12].

$$\frac{\Delta \ln CH}{\Delta \left(\frac{1}{T} \right)} = - \frac{\Delta}{R} \text{ при } \Gamma = \text{const}, \quad (6)$$

где C – равновесная концентрация, ммоль/мл; T – температура, К; ΔH – изостерическая дифференциальная теплота адсорбции, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К.

На рис. 3 представлены изостеры адсорбции ионов Cd^{2+} на каолине. По углу наклона изостер определили тепловой эффект процесса адсорбции.

Результаты расчета приведены на рис. 4, они показывают, что с увеличением величины адсорбции ионов кадмия на каолине начинает возрастать ΔH .

В области малых концентраций ионы кадмия адсорбируются на самых активных местах поверхности каолина, что сопровождается увеличением энтальпии. По мере заполнения активных центров остаются менее активные центры, заполнение которых сопровождается уменьшением энтальпии.

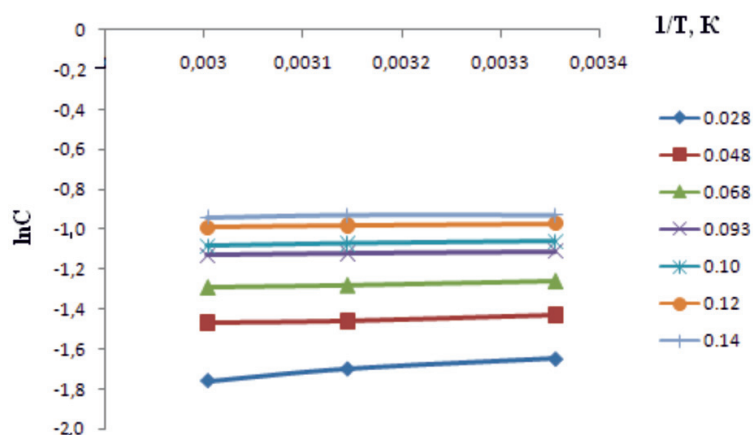


Рис. 3. Изостеры адсорбции ионов Cd^{2+} на природном адсорбенте каолине

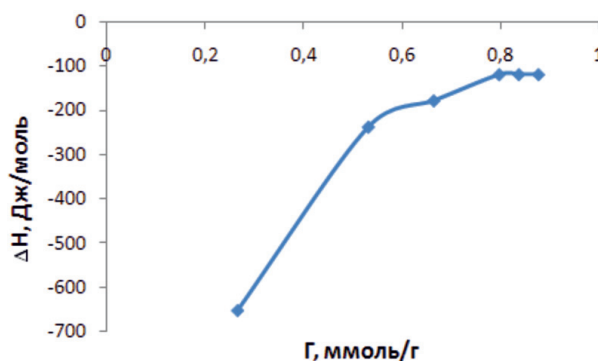


Рис. 4. Изменение энтальпии адсорбции ионов Cd^{2+} от величины сорбции на каолине

Энергию Гиббса ΔG и ΔH определяли в соответствии с уравнениями [13]:

$$\Delta G = -R \cdot T \cdot \ln k_L, \quad (7)$$

$$\ln k_L = -\Delta H_T / RT + \text{const}, \quad (8)$$

где ΔG – энергия Гиббса, Дж/моль; R – молярная газовая постоянная, Дж/моль·К; T – температура, К; k_L – константа равновесия. По рассчитанным значениям ΔG и ΔH определили значения ΔS из уравнения

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S. \quad (9)$$

Результаты расчета термодинамических параметров адсорбции приведены в табл. 3.

На основе анализа полученных значений термодинамических параметров можно констатировать, что для всех изотерм адсорбции ΔH имеет отрицательные значения, характерные для экзотермического процесса.

Величина значения ΔH подтверждает физическую адсорбцию ионов кадмия на природном каолине. В первую очередь на самых активных местах поверхности ка-

олина, характеризующихся наибольшей величиной адсорбционного поля, адсорбируются ионы кадмия. После заполнения самых активных мест адсорбционной поверхности, происходит заполнение менее активных центров, а также начинает проявляться полислойная адсорбция за счет образования связи «металл – металл» [14]. Это приводит к снижению теплового эффекта адсорбции.

Литературные данные [15] по отрицательным значениям $T\Delta S$ при адсорбции на твердых адсорбентах, характеризуют процесс упорядочения ионов адсорбтива на поверхности адсорбента. В свою очередь, глинистые минералы представляют собой коллоидные системы со слоистой структурой, в таких системах значения $T\Delta S > 0$.

Значения энергии Гиббса (ΔG) свидетельствуют, что процесс адсорбции протекает за счет устойчивого закрепления ионов кадмия на поверхности каолина и характеризует самопроизвольное протекание адсорбции ионов [15].

Таблица 3

Термодинамические параметры адсорбции кадмия на каолине

Температура, К	Γ_{∞} , ммоль/г	ΔG , кДж/моль	ΔH , кДж/моль	$T\Delta S$, Дж/моль·К
298	1,21	-7,38	-0,65	6,73
318	1,25	-9,38		8,73
333	1,29	-10,27		9,62

Заключение

Таким образом, значения коэффициентов корреляции подтверждают, что модель Ленгмюра описывает экспериментальные данные лучше, чем модель Фрейндлиха и модель Темкина, что свидетельствует об образовании мономолекулярного сорбционного слоя при адсорбции.

Термодинамические параметры, полученные в ходе исследования, важны при использовании сорбционной технологии очистки водных систем от ионов кадмия с использованием природного каолина.

Список литературы

1. Лупандина Н.С., Свергузова Ж.А. Очистка сточных вод от тяжелых металлов как фактор повышения экологической безопасности // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 4. С. 19–22.
2. Гарипова С.А. Очистка сточных вод гальванического производства от тяжелых металлов // Экология производства. 2011. № 10. С. 66–69.
3. Климов Е.С., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 201 с.
4. Хурамшина И.З., Никифоров А.Ф., Липунов И.Н. и др. Сорбционное извлечение меди (II) из водных растворов природными минеральными сорбентами на основе опал-кristобалитовых пород // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. Вып. 2. С. 338–344.
5. Марков В.Ф., Иканина Е.В., Маскаева Л.Н. Исследование ионообменных свойств композиционного сорбента на основе катионита КУ-2х8 и гидроксида железа (III) по отношению к ионам меди (II) // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. Вып. 6. С. 830–839.
6. Каныгина О.Н., Четверикова А.Г., Стрекаловская А.Д. и др. К вопросу о сорбционной очистке воды монтмориллонит содержащей глиной // Вестник ОГУ. 2014. № 9. С. 160–163.
7. Пимнева Л.А., Андреев О.В. Модифицированные формы каолинита для извлечения ионов меди из природных и сточных вод // Фундаментальные исследования. 2018. № 5. С. 13–17.
8. Пимнева Л.А. Исследование ионов кобальта (II) каолинитом // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 7. С. 61–65.
9. Lyudmila Pimneva Absorption of copper ions of natural montmorillonite clay. MATEC Web of Conferences 106. 03008 (2017). DOI: 10.1051/mateconf/201710603008.
10. Общая химия. Химия биогенных элементов: учебник / Под ред. Ю.А. Ершова. М.: Высшая школа, 2002. 360 с.
11. Основы аналитической химии. Практическое руководство: учебное пособие для вузов / Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высшая школа, 2001. 160 с.
12. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1999. 470 с.
13. Фролов Ю.Г. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1982. 400 с.
14. Свиридов А.В., Юрченко В.В., Свиридов В.В. и др. Сорбция катионов меди и никеля на слоистых алюмосиликатах // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 1. С. 78–86.
15. Березин И.В., Мартинек К. Основы физической химии ферментативного катализа. М.: «Высшая школа», 1977. 280 с.
16. Пимнева Л.А., Казанцева А.В. Исследование адсорбции ионов марганца (II) природным каолинитом // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12–1. С. 57–61.

УДК 544.72:546.72

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНЫМИ СОРБЕНТАМИ

Полещук И.Н., Пинигина И.А., Созыкина Е.С.

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

В данной работе объектами исследования явились природные сорбенты: каолинит и монтмориллонит. Цель работы: исследование сорбционных свойств природных сорбентов – монтмориллонита и каолинита по отношению к ионам железа (III). В ходе работы проведено исследование процесса адсорбции ионов железа (III) из модельных растворов с концентрациями от 0,04 моль/л до 0,2 моль/л на природных сорбентах при температурах 298; 318 и 333 К в статических условиях. Начальную и равновесную концентрацию ионов железа (III) в растворах определяли комплексонометрическим титрованием. В работе приведены расчетные и экспериментальные значения величин pH в исходных растворах до сорбции и в растворах после сорбции. Получены количественные характеристики процесса сорбции катионов железа. Рассчитаны предельные значения сорбции катионов железа (III) на исследованных сорбентах. На основе вычисленных величин адсорбции для ионов железа были построены адсорбционные изотермы Ленгмюра, которые характеризуют сорбционные свойства исследуемых сорбентов и описывают характер сорбции катионов исследуемого металла. Изотермы адсорбции были обработаны с помощью уравнения Ленгмюра, а затем графически определены постоянные величины адсорбционной изотермы Ленгмюра (T_{∞} и K). Полученные результаты указывают, что каолинит имеет большее число активных центров и обладает большим сродством по отношению к ионам железа. Проведенные исследования позволяют рекомендовать природные сорбенты каолинит и монтмориллонит для очистки водных растворов от ионов железа (III).

Ключевые слова: природные сорбенты, изотермы сорбции, статические условия, ионы железа (III), водородный показатель, параметры сорбционного процесса

EXTRACTING IONS OF IRON (III) FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY NATURAL SORBENTS

Poleshchuk I.N., Pinigina I.A., Sazykina E.S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University», Tyumen, e-mail: poleschukin@tyuiu.ru

In this work, the objects of study were natural sorbents: kaolinite and montmorillonite. Objective: to study the sorption properties of natural sorbents – montmorillonite and kaolinite with respect to iron (III) ions. In the course of the work, the process of adsorption of iron (III) ions from model solutions with concentrations from 0.04 mol / l to 0.2 mol / l on natural sorbents at temperatures of 298, 318 and 333 K under static conditions was studied. The initial and equilibrium concentration of iron (III) ions in solutions was determined by complexometric titration. The paper presents the calculated and experimental pH values in the initial solutions before sorption and in solutions after sorption. The quantitative characteristics of the process of sorption of iron cations are obtained. The limiting values of the sorption of iron (III) cations on the sorbents studied were calculated. On the basis of the calculated values of adsorption for iron ions, Langmuir adsorption isotherms were constructed, which characterize the sorption properties of the sorbents under study and describe the nature of sorption of the metal cations. The adsorption isotherms were processed using the Langmuir equation, and then the constant values of the Langmuir adsorption isotherm (T_{∞} and K) were graphically determined. The results indicate that kaolinite has a greater number of active sites and has a greater affinity for iron ions. The conducted studies allow us to recommend natural sorbents kaolinite and montmorillonite for the purification of aqueous solutions from iron (III) ions.

Keywords: natural sorbents, sorption isotherms, static conditions, iron (III) ions, hydrogen index, parameters of the sorption process

Железо – жизненно важный для организма человека микроэлемент, который участвует в процессах кроветворения, дыхания, окислительно-восстановительных реакциях и иммунобиологических процессах. В организме взрослого человека железа содержится примерно 4 грамма, более половины (около 2,5 г) приходится на гемоглобин. Суточная потребность организма в этом микроэлементе составляет от 10 до 30 мг. Однако избыточное содержание железа может создавать питательную среду для роста вредных микроорганизмов и клеток злокачественных опухолей, осложняет протекание болезней Паркинсона и Альцгеймера. Этот элемент способен накапливаться до токсических концентраций в органах и тка-

нях, включая печень, суставы, эндокринные железы и сердце [1].

Излишнее количество железа, поступающее извне в организм человека – это повышенный уровень этого микроэлемента в питьевой воде. По санитарным нормам России концентрация железа в воде для хозяйственно-бытовых нужд не должна превышать 0,3 мг/л [2]. Наличие избыточного количества железа можно определить и на вкус. При концентрации железа 1–1,5 мг/л вода имеет неприятный металлический привкус, желтовато-бурую окраску и повышенную мутность. Такая вода приводит в нерабочее состояние бытовую технику, систему отопления и нагревания воды, вызывает развитие железобактерий, отложе-

ние осадка в трубах и их засорение. Таким образом, удаление избыточного железа из воды (обезжелезивание), понижение его концентрации до норм ПДК является одной из насущных задач водоподготовки.

Одним из перспективных и эффективных методов является сорбционный. Для очистки воды от железа используются как природные сорбенты, так и синтетические. В настоящее время широко изучаются сорбционные свойства различных природных сорбентов [3–5]. Такие сорбенты, как правило, имеют невысокую стоимость, являются легкодоступными и возможно исключение стадии регенерации.

В Тюменской области имеются большие залежи природных сорбентов разного химического и минералогического состава. Поэтому исследование сорбционных свойств местных сорбентов является актуальным.

На кафедре общей и специальной химии Тюменского индустриального университета ведется исследовательская работа по изучению сорбционных свойств природных сорбентов к тяжелым металлам [6–8].

Цель исследования: в настоящей работе исследовались сорбционные свойства природных сорбентов – монтмориллонита и каолинита по отношению к ионам железа (III).

Материалы и методы исследования

Исследуемые сорбенты измельчали и использовали фракцию с размером зерен 1–2 мм. Исходный раствор с приближенной концентрацией 1 моль/л готовили растворением навески $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (квалификация «х.ч.») в бидистиллированной воде, а затем уточняли ее комплексонометрическим титрованием стандартным раствором ЭДТА в присутствии салициловой кислоты в качестве индикатора в среде ацетатного буфера [9]. Растворы меньшей концентрации получали разбавлением исходного раствора. Эксперимент проводили при температурах 298; 318 и 333 К. Исследуемый сорбент массой 1 г заливали 50 мл модельного раствора и оставляли до установления равновесия на 5 дней. Затем сорбент от раствора отделяли через плотный фильтр «синяя лента», анализировали остаточное содержание ионов железа и измеряли pH на иономере И-130. На основе результатов, полученных

после титрования, рассчитывали величину сорбции и строили изотерму сорбции Ленгмюра в координатах «сорбция, ммоль/г – равновесная концентрация исследуемого катиона, ммоль/мл». Опыты проводили при трехкратном повторении. Относительные отклонения составили 0,7–8,5 %.

Природный каолинит – основной компонент многих глин. Он формируется при выветривании мелких частиц полевых шпатов, кварца и других горных пород под воздействием кислотной среды. Структура каолинита – чешуйчатая, состоит из многочисленных слоев. Каждый структурный слой каолинита состоит из тетраэдров $\text{Si} - \text{O}_4$, имеющих три общих кислорода и связанных попарно через свободные вершины алюминием и гидроксидом. Из-за такой структуры химический состав каолинитов исключительно стабилен и изоморфные замещения практически отсутствуют. Монтмориллонит – глинистый минерал, относящийся к подклассу слоистых силикатов, группе смектитов. Структура монтмориллонита имеет вид симметрично сложенных пачек слоев. Благодаря присутствию изоморфных замещений, большой удельной поверхности (до 600–800 $\text{м}^2/\text{г}$) и сравнительно легкому проникновению ионов в межпакетное пространство минерал имеет большую емкость катионного обмена [10].

В табл. 1 представлен химический состав исследуемых сорбентов, полученный с помощью электронной микроскопии [11, 12].

Результаты исследования и их обсуждение

По изотерме сорбции можно получить сведения о сорбционных свойствах исследуемых сорбентов. Для построения изотермы рассчитывали количественную характеристику сорбционного процесса – удельную адсорбцию (Γ). Величину удельной адсорбции вычисляли по уравнению

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V_{\text{р-ра}}}{m_c},$$

где C_0 и C_p – исходная и равновесная концентрация ионов железа, ммоль/мл; V – объем модельного раствора, мл; m_c – масса исследуемого сорбента, г.

Таблица 1

Химический состав монтмориллонита и каолинита

Содержание	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	Fe_2O_3
Монтмориллонит						
М, % мас.	54,0	20,73	0,75	3,07	0,44	9,43
Каолинит						
М, % мас.	54,55	27,23	1,29	0,96	3,81	9,94

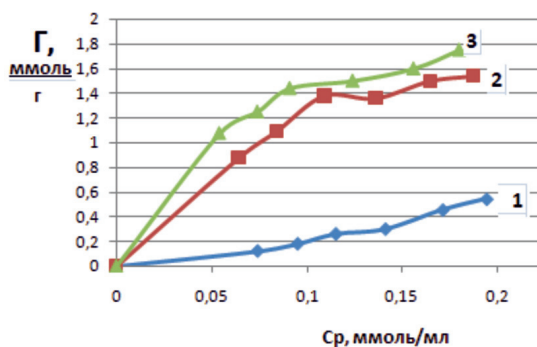


Рис. 1. Изотермы сорбции ионов железа из растворов хлорида железа (III) при различной температуре, К: 298 (1), 313 (2), 333 (3) на монтмориллоните

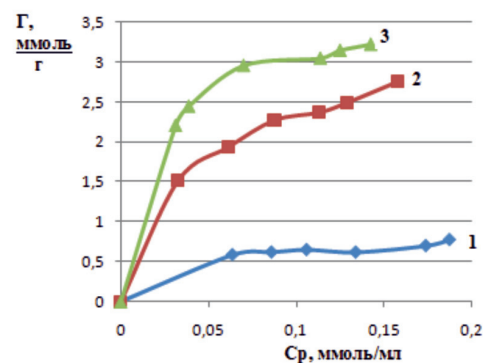
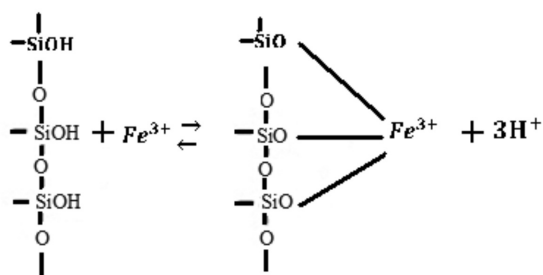


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов железа из растворов хлорида железа (III) при различной температуре, К: 298 (1), 313 (2), 333 (3) на каолините

Затем строили изотерму сорбции – графическую зависимость удельной адсорбции от равновесной концентрации ионов железа в модельных растворах. На рис. 1 представлены изотермы на монтмориллоните, на рис. 2 – на каолините.

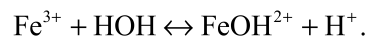
С увеличением концентрации ионов железа в исследуемых растворах и температуры удельная сорбция возрастает. Сорбционная емкость для каолинита составила 0,872 ммоль/г, для монтмориллонита – 0,598 ммоль/г. На приведенных изотермах в области равновесной концентрации 0,12 ммоль/мл (рис. 1), и в области концентрации 0,068 ммоль/мл (рис. 2) наблюдается перегиб, что говорит об изменении механизма сорбции. Можно предположить, что вначале сорбция ионов железа (III) происходит по ионообменному механизму. Такой процесс можно представить в виде схемы:



В дальнейшем сорбция ионов железа также протекает по ионообменному механизму, но на менее доступных активных центрах, расположенных на участках исследуемых сорбентов с более высокой степенью дисперсности.

В процессе сорбции концентрация ионов Fe^{3+} в растворе уменьшается, часть ио-

нов подвергается гидролизу по первой ступени, что можно представить уравнением



В результате гидролиза происходит непрерывное уменьшение величины водородного показателя (рН) среды. Величину рН можно рассчитать по формуле

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \lg K_B - \frac{1}{2} \lg C, \quad (1)$$

где K_B – константа диссоциации слабого основания, для $\text{Fe}(\text{OH})_3$, она равна $1,35 \cdot 10^{-12}$ [13]; C – концентрация гидролизующихся катионов железа, моль/л.

Зависимость расчетной величины рН от концентрации ионов железа представлена на рис. 3, а, из которого видно, что при уменьшении концентрации ионов железа рН в растворе увеличивается. Такая же зависимость наблюдалась и в эксперименте – рН измеряли в исходных растворах, и в растворах после установления равновесия. На рис. 3, б, представлена зависимость рН от концентрации ионов железа (III) на монтмориллоните. Для каолинита получены подобные зависимости.

Изотермы адсорбции обрабатывали с помощью уравнения Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{K \cdot C}{1 + K \cdot C} \quad (2)$$

или в линейной форме [14]:

$$\frac{C}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot K} + \frac{1}{\Gamma_{\infty}} \cdot C, \quad (3)$$

где Γ – сорбционная емкость сорбента, моль/г; Γ_{∞} – предельная сорбционная емкость монослоя, моль/г; K – константа сорбционного равновесия; C – равновесная концентрация ионов железа, моль/л.

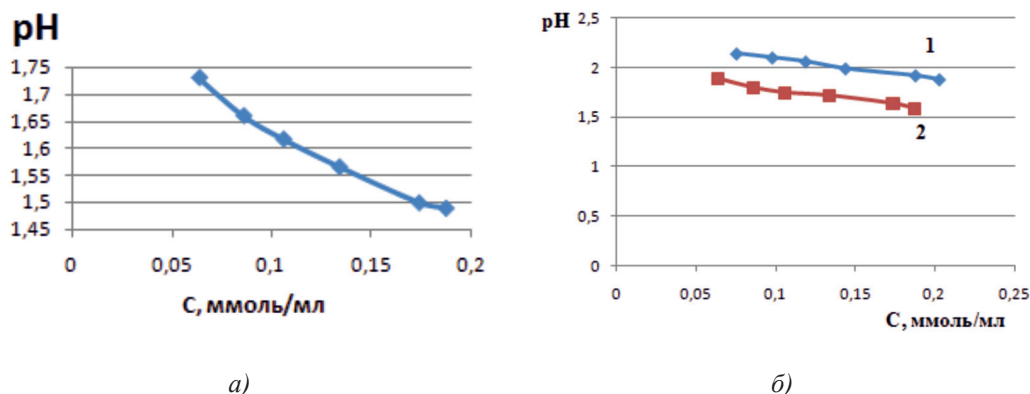


Рис. 3. Зависимость pH раствора хлорида железа от концентрации ионов железа (III): а) расчетные значения; б) экспериментальные значения в исходных растворах до сорбции (1) и в растворах после сорбции (2)

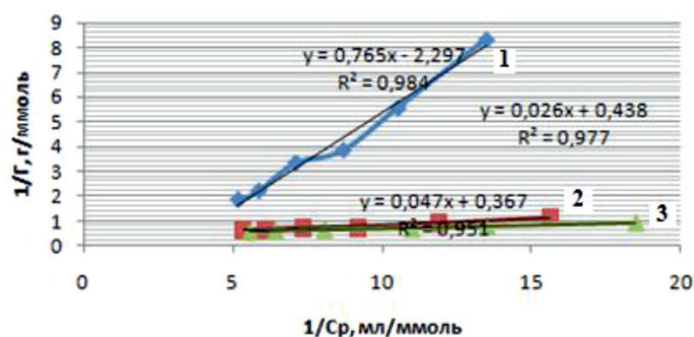


Рис. 4. Линейные изотермы Ленгмюра для сорбции ионов железа на монтмориллоните при различных температурах: 1 – 298 К, 2 – 318 К, 3 – 333 К

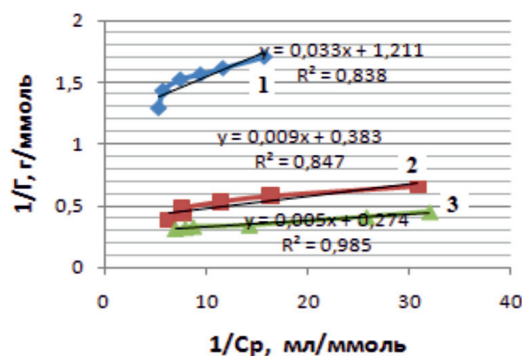


Рис. 5. Линейные изотермы Ленгмюра для сорбции ионов железа на каолините при различных температурах: 1 – 298 К, 2 – 318 К, 3 – 333 К

Полученные линейные изотермы для монтмориллонита (рис. 4) и для каолинита (рис. 5) позволяют графически определить постоянные параметры адсорбционной изотермы Ленгмюра (Γ_∞ и K). На оси ординат отсекается отрезок, равный $\frac{1}{\Gamma_\infty \cdot K}$, а тангенс угла наклона полученной прямой $\text{tg}\alpha = 1/\Gamma_\infty$ [15].

Рассчитанные значения постоянных величин уравнения Ленгмюра приведены в табл. 2.

Сравнивая величины параметров сорбционного процесса, представленные в табл. 2, видно, что каолинит обладает большим числом активных центров, чем монтмориллонит. Сродство к ионам железа проявляется у каолинита также в большей степени.

Таблица 2

Параметры сорбции ионов железа (III) на природных сорбентах при различных температурах

Температура, К	1 степень			2 степень		
	Γ_{∞} , ммоль/г	K, г/ммоль	R^2	Γ_{∞} , ммоль/г	K, г/ммоль	R^2
монтмориллонит						
298	19,31	54,33	0,984	2,85	6,84	0,992
318	11,28	32,13	0,977	1,86	3,54	0,924
333	3,46	0,59	0,951	0,72	3,25	0,961
каолинит						
298	21,13	65,23	0,838	4,76	51,62	0,986
318	12,56	41,72	0,847	3,25	32,03	0,964
333	6,34	1,61	0,985	4,25	12,24	0,955

Константа сорбционного взаимодействия (K) пропорциональна энергии взаимодействия молекул сорбтива с адсорбентом. Чем больше величина K, тем сильнее такое взаимодействие. Из представленных данных табл. 2 следует, что при увеличении температуры энергия взаимодействия молекул сорбтива с адсорбентом уменьшается.

Выводы

В результате проведенных исследований по извлечению ионов железа (III) из водных растворов в статических условиях выявлено, что природные сорбенты – каолинит и монтмориллонит – обладают сорбционными свойствами по отношению к ионам железа (III). Изотермы сорбции ионов железа (III) в широком интервале концентраций раствора $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ подчиняются уравнению Ленгмюра. Рассчитаны предельные значения сорбции катионов железа (III) на монтмориллоните и каолините, что позволяет предположить использование исследованных сорбентов для извлечения Fe^{3+} из водных растворов.

Список литературы

1. Добротворская С.Г. Анатомия и физиология основных систем и органов человека. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. 96 с.
2. ГОСТ 4011-72. Методы измерения массовой концентрации общего железа. В вед. 01.01.1974. Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР от 09.10.72. № 1855. 13 с.
3. Ватин Н.И., Чечевичкин В.Н. Применение цеолитов клиноптилолитового типа для очистки природных вод // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2. С. 81–88.
4. Иванова Е.С., Гавронская Ю.Ю., Пак В.Н. Структура и сорбционные свойства H-формы глины Луковского месторождения Псковской области // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т.14. Вып. 2. С. 254–259.
5. Зонхоева Э.Л., Санжанова С.С. Сорбция ионов молибдена (VI) на природных минеральных сорбентах // Журнал физической химии. 2017. Т. 91. № 11. С.1917–1923.
6. Полещук И.Н., Малышкина В.В. Сорбционная активность каолинита по отношению к ионам цинка // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 19. С. 272–274.
7. Pimneva L., Malyshkina E., Salnikova E. Regularities of sorption of cations of zinc and copper by natural sorbent. Procedia Engineering. 2016. no. 165. P. 279–283. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.784.
8. Пимнева Л.А., Лебедева А.А. Исследование сорбции ионов меди (II) природным сорбентом // Фундаментальные исследования. 2016. № 12. С. 329–333.
9. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.
10. Булах А.Г., Кривовчев В.Г., Золотарев А.А. Общая минералогия. М.: Академия, 2008. 416 с.
11. Pimneva L., Poleschuk I. Extraction of ions of zinc and copper by modified kaolinite forms. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 451 (2018) 012224. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012224.
12. Pimneva L. Absorption of copper ions of natural montmorillonite clay. MATEC Web of Conferences 106 (2017) 03008. DOI: 10.1051/mateconf/201710603008.
13. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1974. 454 с.
14. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. М.: Лань, 2010. 410 с.
15. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.

УДК 629.33:630.37

ВЫВОД РАСЧЁТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Питухин Е.А.

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

В настоящее время на транспортных операциях применяются автопоезда, оснащенные различными видами трансмиссии: механическими, электрическими, гидромеханическими, гидрообъемными и т.д. При этом, как показала практика, автопоезда эксплуатируются не только на дорогах общего пользования и лесовозных дорогах постоянного действия, но и на временных дорогах (усах), а также в сложных условиях эксплуатации, где применение автопоездов с гидромеханической трансмиссией предпочтительнее. В работе представлены зависимости для определения показателей движения лесовозных автопоездов на базе автомобилей с гидромеханической трансмиссией. Установлено, что расхождение в значении расчётной скорости движения в конце участка, определённой последовательным расчётом по элементарным участкам и сразу на всём заданном участке не превышает 0,3%, что вполне допустимо при практических расчётах. Отмечается, что при необходимости построения детального графика скорости движения расчёты следует вести по элементарным участкам, в остальных случаях целесообразно определять конечную скорость сразу на всём участке. Выведенные зависимости и методика расчетов позволяют определять показатели движения автопоездов с гидромеханической трансмиссией с учетом особенностей изменения тягового усилия от скорости движения. На основе предложенной методики и выведенных зависимостей предложен алгоритм и разрабатывается программа для моделирования движения автопоездов с таким видом трансмиссии.

Ключевые слова: гидромеханическая трансмиссия, лесовозные автопоезда, показатели движения, расчетные зависимости

DERIVATION OF CALCULATED DEPENDENCIES TO DETERMINE THE SPEED AND TIME OF MOVEMENT OF LOG TRUCKS BASED ON CARS WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION

Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Pitukhin E.A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Petrozavodsk State University»,
Petrozavodsk, e-mail: kuzalex@psu.karelia.ru

At present, transport operations involve using log trucks equipped with various types of transmissions: mechanical, electrical, hydromechanical, hydrostatic, etc. Herewith, as practice showed, log trucks are used not only on public roads and forest roads of permanent operation, but also on temporary roads (spur tracks), as well as in difficult operating conditions where the use of log trucks with hydromechanical transmission is preferable. The paper presents the dependencies for determining the motion indicators of log trucks based on cars with hydromechanical transmission. The authors of the paper determined the motion speed by sequential calculation for elementary sections and for the entire specified section. They found that the discrepancy in the value of the calculated motion speed at the end of the section does not exceed 0.3%, which is quite acceptable in practical calculations. The authors note that if it is necessary to build a detailed graph of motion speed, then calculations should be made for elementary sections, in other cases it is advisable to determine the terminal speed at once for the whole section. The derived dependencies and the calculation method allow determining the motion indicators of log trucks with hydromechanical transmission, taking into account the peculiarities of the change in tractive effort due to motion speed. On the basis of the proposed methodology and derived dependencies, the authors of the paper propose an algorithm and a program developed for simulating the movement of log trucks with this type of transmission.

Keywords: hydromechanical transmission, log trucks, motion indicators, calculated dependencies

Лесозаготовительными компаниями на транспортно-переместительных операциях используется целый спектр лесовозных автопоездов, оснащенных различными видами трансмиссии: механическими, электрическими, гидромеханическими, гидрообъемными и т.д. В тяжелых условиях работы на вывозке леса, когда автопоезда эксплуатируются не только на дорогах общего пользования и лесовозных дорогах постоянного действия, но и на временных дорогах (усах), а также в сложных условиях эксплуатации, например, на транспортных

работах при строительстве линий электропередач, трубопроводов и др., применение автопоездов с гидромеханической трансмиссией предпочтительнее [1, 2].

Ранее в России были разработаны опытные образцы автомобилей с гидромеханической трансмиссией типа НАМИ-076, а также на базе МАЗ-509А и ЗИЛ-131 [3]. В настоящее время Минским заводом колёсных тягачей (фирма VOLAT) выпускается автопоезд-плетевоз МЗКТ-741316+90011 (тягач МЗКТ-741310), оснащенный гидромеханической трансмиссией [4, 5].

Цель исследования: разработать алгоритм и методику расчета для определения скорости и времени движения лесовозных автопоездов на базе автомобилей с гидромеханической трансмиссией.

Материалы и методы исследования

Для определения показателей движения автомобилей (автопоездов) [6–8] с механической трансмиссией получены расчётные зависимости при условии аппроксимации кривой тяговой характеристики в рабочем диапазоне оборотов двигателя семейством кривых вида

$$a - bv^2, \quad (1)$$

количество которых равно числу передач [9, 10].

С использованием этих зависимостей разработаны алгоритмы и программы расчёта показателей движения лесовозных автопоездов [9, 10], которые использовались для решения различных технико-экономических задач на транспорте леса (в частности, для определения оптимальных маршрутов вывозки леса, а также в учебном процессе) и в системах автоматизированного проектирования лесовозных дорог с учётом транспортной составляющей. Проведенными исследованиями доказано, что новые методы тяговых расчётов обеспечивают более высокую точность и адекватность расчётов.

Анализ показал, что зависимость изменения тягового усилия от скорости движения у автомобилей (автопоездов) с гидромеханической трансмиссией принципиально отличается от той же зависимости для автомобилей (автопоездов) с механической трансмиссией. Аппроксимация тяговой характеристики автомобиля с гидромеханической трансмиссией зависимостью (1) приводит к значительным погрешностям.

Достаточная точность определения тягового усилия в зависимости от скорости движения достигается при аппроксимации его по формулам

$$F_T = a + C/v, \quad (2)$$

$$F_T = a + C/v^2, \quad (3)$$

трёхчленным полиномом

$$F_T = a + bv + cv^2 \quad (4)$$

и двухчленным полиномом вида

$$F_T = a - bv^{1/2}. \quad (5)$$

В зависимостях (2–5) a, b, c – эмпирические коэффициенты.

Результаты исследования и их обсуждение

Для примера в табл. 1 приведены значения тягового усилия в диапазоне допустимых скоростей для третьей передачи КПП для автопоезда на базе МАЗ-509Г при аппроксимации тягового усилия зависимостями (2) и (4). Среднее квадратичное отклонение не превышает 0,3%, что обеспечивает достаточную точность для практических расчётов.

В работах [9, 10] путём решения дифференциального уравнения движения получены расчётные зависимости для определения показателей движения автомобилей (автопоездов) с гидромеханической трансмиссией на прямолинейном в профиле участке при условии аппроксимации тягового усилия на каждой передаче зависимостями (2) и (3).

В случае использования для аппроксимации кривой тяговой характеристики гиперболы первой степени дифференциальные уравнения движения имеют следующий вид:

$$a + \frac{b}{v} = \delta \frac{G}{g} v \frac{dv}{dS} + wG \pm iG; \quad (6)$$

или

$$a + \frac{b}{v} = \delta \frac{G}{g} \frac{dv}{dt} + wG \pm iG, \quad (7)$$

где v – скорость автопоезда, м/с; δ – коэффициент учета инерции вращающихся масс; S – пройденное расстояние, м; w – коэффициент сопротивления движению; i – уклон.

Таблица 1

Аппроксимация кривой тяговой характеристики автопоезда на базе МАЗ-509 Г

$v, \text{ м/с}$	F_T при аппроксимации тягового усилия зависимостью $F_T = a + b/v$	F_T при аппроксимации тягового усилия зависимостью $F_T = a + bv + cv^2$
6,8	1041	1037
7,7	981,7	987,7
8,8	935,3	935,9
9,8	898,7	897,3
10,8	868,8	866,4
11,8	844,0	843,4
12,55	829,5	831,3

В случае использования для аппроксимации кривой тяговой характеристики гиперболы второй степени дифференциальные уравнения движения имеют вид

$$a + \frac{b}{v^2} = \delta \frac{G}{g} v \frac{dv}{ds} + wG \pm iG; \quad (8)$$

или

$$a + \frac{b}{v^2} = \delta \frac{G}{g} \frac{dv}{dt} + wG \pm iG. \quad (9)$$

При аппроксимации тягового усилия полиномом второй степени дифференциальное уравнение движения:

$$a + bv + cv^2 = \delta \frac{G}{g} v \frac{dv}{ds} + \omega G \pm iG. \quad (10)$$

В приведенных зависимостях δ – коэффициент учёта инерции вращающихся масс; ω – основное сопротивление движению (сопротивление качению); i – продольный

уклон; G – вес автопоезда, кгс; v – скорость движения, м/с; s – пройденный путь, м.

В табл. 2 в качестве примера приведены коэффициенты зависимостей, аппроксимирующих тяговую характеристику в виде $F_T = a + b/v$, коэффициенты учёта инерции вращающихся масс и допустимые по техническим характеристикам автопоезда скорости движения на передачах

Чтобы упростить расчетные зависимости, обозначим в формулах (6) и (7):

$$A = \frac{g}{G\delta} a - \frac{\omega g}{\delta} - \frac{ig}{\delta} = A' - K, \quad (11)$$

где

$$K = \frac{\omega g}{\delta} - \frac{ig}{\delta}, \quad B = \frac{bg}{G\delta}. \quad (12)$$

В случае аппроксимации тяговой характеристики на каждой передаче зависимостью $A + b/v$ решение уравнения получается в следующем виде:

$$S = \frac{1}{A^3} \left[\left(\frac{u_k^2}{2} - 2Bu_k + B^2 \ln(u_k) \right) - \left(\frac{u_0^2}{2} - 2Bu_0 + B^2 \ln(u_0) \right) \right], \quad (13)$$

$$t = \frac{1}{A^2} [(u_k - B \cdot \ln(u_k)) - (u_0 - B \cdot \ln(u_0))], \quad (14)$$

где $u_k = Av_k + B$, $u_0 = Av_0 + B$.

При аппроксимации гиперболой второй степени:

$$S = \frac{1}{4AB} (v^2 - v_k^2) - \frac{B^2}{2A^2} - \ln \left[\frac{A^2 + B}{Av_k^2 - B} \right], \quad (15)$$

$$\text{При } A < 0: t = \frac{1}{A} (v - v_k) - \frac{\sqrt{B}}{A^2} \left[\ln \left(\frac{\sqrt{|A|} v_0 + \sqrt{B}}{\sqrt{|A|} v_0 - \sqrt{B}} \right) - \ln \left(\frac{\sqrt{|A|} v_k + \sqrt{B}}{\sqrt{|A|} v_k - \sqrt{B}} \right) \right], \quad (16)$$

$$\text{При } A > 0: t = (v - v_k) + \frac{\sqrt{B}}{A\sqrt{A}} \left[\arctg \sqrt{\frac{B}{A}} \cdot \frac{1}{v} - \frac{1}{\sqrt{A}} \arctg \sqrt{\frac{B}{A}} \cdot \frac{1}{v_k} \right]. \quad (17)$$

Таблица 2

Данные для расчета показателей движения автопоезда на базе МА3-509Г+ГКБ8493-10

Показатели	I пер.	II пер.	III пер.	IV пер.
a	863,83	757,143	576,0	12
b	5170,212	4039,285	3161,2	5902,35
$v_{\min}$	1,25	3,5	6,8	11,55
$v_{\max}$	4,5	7,8	12,55	16,85
δ_{Γ}	1,7	1,25	1,048	1,032
δ_{Π}	2,7	1,61	1,11	1,08

Время разгона и замедления определяется по формуле (16), если $A < 0$, по формуле (17), если $A > 0$. Полученные уравнения дают возможность определить показатели неустановившегося движения автомобиля (автопоезда) на прямолинейных в профиле участках дороги.

С использованием зависимостей (13) и (14) можно аналитическим методом решать основные задачи тяговых расчетов. Обозначив

$$x = \frac{u^2}{2} - 2Bu + B^2 \ln(u), \quad (18)$$

$$y = u - B \cdot \ln(u) \quad (19)$$

получим

$$S = \frac{x_k - x_o}{A^3}, \quad (20)$$

$$t = \frac{y_k - y_o}{A^2}. \quad (21)$$

Решение основных четырех задач тяговых расчетов производится следующим образом:

1. Определение расстояния S , пройденного при разгоне или замедлении от начальной скорости v_0 до конечной v_k .

Здесь

$$u_0 = (Av_0 + B) \quad (22)$$

и

$$u_k = (Av_k + B), \quad (23)$$

$$x_0 = f(u_0) \text{ и } x_k = f(u_k),$$

$$S = \frac{x_k - x_0}{A^3}.$$

2. Расчет скорости v_k в конце участка длиной S при заданной начальной скорости движения. Для заданного уклона определяется величина $u_0 = (Av_0 + B)$; по формуле рассчитывается $x_0 = f(u_0)$. Вычисляется величина

$$x_k = f(u_k) = x_0 \pm SA^3. \quad (24)$$

При различных значениях v_k определяется $u = (Av_k + B)$ и $x_k = f(u)$ по формуле (18). Сравнивается значение x_k , определенное по формуле (18) и по формуле (24). Для заданной точности расчетов при необходимости производится интерполяция. За искомое значение v_k принимается значение, при котором выполняется условие равенства x_k , определенных по формуле (18) и (24).

3. Определение времени движения на участке при изменении скорости движения от v_0 до v_k . Так же как и при решении второй задачи, определяется u_{k0} и u_k . Определяются $y_0 = f(u_0)$ и $y_k = f(u_k)$, а также $t = \frac{y_k - y_0}{A^2}$.

4. Определение скорости движения, которой достигнет автопоезд за время t при заданной начальной скорости движения v_0 . Вычисляется величина $u_0 = (Av_0 + B)$ и $y_0 = f(u_0)$. Определяется

$$y_k = (tA^2 + y_0). \quad (25)$$

При различных значениях v_k определяется $u_k = (Av_k + B)$, затем сравниваются значения y_k , определенные по формуле (25) и формуле (19). Для достижения достаточной точности расчета при необходимости производится интерполяция. За искомое значение v_k принимается значение, при котором выполняется условие равенства y_k , определенных по формулам (21) и (25).

С использованием зависимостей (20) и (21) достаточно просто определяется расстояние, пройденное автомобилем (автопоездом) с гидромеханической трансмиссией при изменении скорости от v_0 до v_k и время движения на участке при изменении скорости в тех же пределах.

Определение же скорости v_k , которой автомобиль (автопоезд) с гидромеханической трансмиссией достигнет на определенном расстоянии s , v_k или за определенный промежуток времени t , затруднительно, так как для получения достаточно точных результатов требуется производить большой объем итеративных вычислений.

Кроме того, приведенные зависимости могут использоваться лишь при определении показателей движения на прямолинейных в профиле участках дороги. Для определения показателей движения на участках вертикальных кривых на основе решения дифференциального уравнения движения выведены зависимости, обеспечивающие достаточную точность расчетов при поэтапном решении.

Дифференциальное уравнение движения (26) можно представить в следующем виде:

$$G \cdot v \frac{dv}{dS} = T \pm kS, \quad (26)$$

где T – среднее или среднеинтегральное значение тягового усилия в заданном диапазоне скоростей $v_0 - v_k$, кгс; $C = \frac{G\delta}{g}$; $k = \frac{G}{R}$.

Среднее значение T в заданном диапазоне при аппроксимации тягового усилия зависимости $F = a + b/v$ определяется как средняя величина от значений $T = a + \frac{b}{v} - G\omega \pm Gi$ в начале, середине и в конце диапазона $v_0 - v_k$. Среднее интегральное значение определяется по формуле

$$T_{cu} = \frac{\int_{v_0}^{v_k} a - \frac{b}{v} - G\omega \pm Gi}{v_k - v_0} = \frac{av_k + \ln v_k \cdot b - av_0 - \ln v_0 \cdot b}{v_k - v_0}. \quad (27)$$

Таблица 3

Показатели движения автопоезда

Диапазон скоростей, м/с	v_p , м/с	T	ΔS , м	S, м	$i_0 + \omega$	$i_k + \omega$	Δt , сек	t, сек
7–8	8	998,75	22,08	22,08	–0,00	–0,80552	2,96	2,96
8–9	9	1113,88	22,71	44,79	–0,00552	–0,0112	2,674	5,634
9–10	10	1145,39	22,35	67,65	–0,0112	–0,01639	2,387	8,021
10–11	11	1349,13	23,41	91,06	–0,01639	–0,0227	2,23	10,251
11–11,38	11,48	1544,38	8,94	100	0,0227	0,8225	0,799	11,15

После интегрирования дифференциального уравнения движения (26) получаем зависимости для определения расстояния пройденного автопоездом при изменении скорости движения в диапазоне скоростей $v_0 - v_k$ и v_k при движении с начальной скоростью v_0 на расстоянии S.

$$S = \frac{-2T \pm \sqrt{(2T)^2 - 4k(v_k^2 - v_0^2)C}}{2k}, \quad (28)$$

$$v = \sqrt{\frac{2TS + kS^2}{c} + v_0^2}. \quad (29)$$

Для определения времени движения решается дифференциальное уравнение движения на участках вертикальных кривых в виде

$$C \cdot \frac{dv}{dt} = T - \frac{Gt^2 v_{cp}}{R}, \quad (30)$$

где v_{cp} – среднее значение скорости движения в диапазоне $v_0 - v_k$.

Решая уравнение (30), получаем формулу для определения времени движения

$$t = \frac{-T/C \pm \sqrt{(T/C)^2 - 4(v_0 - v_k) \rho \cdot v_{cp}}}{2\rho v_{cp}}. \quad (31)$$

Для расчетов и построения графика скоростей движения вычисленный диапазон скоростей движения на третьей передаче разбивается на интервалы в 1 м/с, для которых рассчитываются суммарные значения уклонов (i) и основного сопротивления движению, величины пройденного расстояния ΔS и время движения в заданных интервалах скоростей и суммарные расстояния и время движения. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

При определении показателей движения поэтапно (через заданные интервалы скорости) и сразу на всем заданном участке расхождения, суммарная погрешность не превышает 0,6%. То есть обеспечивается точность расчетов, достаточная для практических целей. Поэтому поэтапные расчеты

целесообразно производить лишь при необходимости построения детального графика скоростей, времени и режимов движения.

Расчет скорости и времени движения по данной схеме с использованием приведенных зависимостей не встречает затруднений, если в начальной точке выпуклой кривой $T > 0$, а в начальной точке вогнутой кривой $T < 0$, при выполнении этого условия в первом случае увеличение скорости движения, а во втором – снижение скорости будет происходить на всем протяжении вертикальной кривой.

При невыполнении этих условий на определенном расстоянии от начала расчетов вектор изменения скорости движения будет меняться на противоположный (на вертикальной выпуклой кривой v , снизившись до $\min$ значения в определенной точке, при дальнейшем движении будет возрастать, а на вертикальной вогнутой, достигнув макс значения, будет снижаться).

В точке экстремума первая производная dv/dS .

Следовательно

$$\left(\frac{2TS + kS^2}{C_1} + v_0^2 \right) = 0, \quad S = T/k. \quad (32)$$

Пример. Определить расстояние до точки экстремума скорости и экстремальное значение скорости при движении автопоезда на базе МА3-509Г с полной нагрузкой ($G = 30000$ кгс) на третьей передаче по вертикальной кривой радиусом – 2500, с начальной скоростью 8 м/с; $a = 576$, $b = 3181,2$, $i = -0,02$, $w = 0,02$, $c = 3204$; $k = \frac{30000}{2500} = 12$.

Так как на первом этапе расчетов конечное значение скорости v не задано, то определяем ориентировочное значение с использованием значения v_2 .

$$T = 576 + \frac{3181,2}{8} = 971,15;$$

$$S = 971,15 / 12 = 80,96 \text{ м};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 971,5 \cdot 80,96 - 12 \cdot 80,96^2 + 8^2}{3204}} = 9,41 \text{ м/с.}$$

На втором этапе расчетов определяются уточненные значения T , v и S .
Среднеинтегральное значение T рассчитано по формуле (27) = 939,9.

$$S = 939,9 / 12 = 78,325 \text{ м; } v = \sqrt{\frac{2 \cdot 939,9 \cdot 78,34 - (2 \cdot 78,325^2)^2}{3204}} = 9,326 \text{ м/с.}$$

Для оценки точности расчетов определим S и v с использованием результатов второго этапа расчетов: $T = 941,63$; $S = 941,62 / 17 = 78,47 \text{ м}$; $\Delta = 0,18$.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 941,63 \cdot 78,47 - 12 \cdot 78,47^2}{3204} + 8^2} = 9,331 \text{ м/с.}$$

Расхождение по расстоянию до точки экстремума составляет 0,19%, по скорости в точке экстремума 0,05%. Следовательно, для получения достаточно точных для практических целей результатов достаточно проводить расчеты в 2 этапа.

$$\text{При } \rho = \frac{9,81}{2 \cdot 1,041(-2500)} = -0,00182.$$

Время движения на участке:

$$t = \frac{-941,6 / 3204 \pm \sqrt{(941,61 / 3204)^2 - 4(8 - 9,331)(0,00187) \cdot 8,665}}{2(-0,00187) \cdot 8,665} = 9,13 \text{ с.}$$

Таблица 4

Определение расстояния до точки экстремума скорости

Диапазон скоростей, м/с	T , кгс	$i_0 + \omega$	$i_0 + \omega$	S_0 , м	S_{κ} , м	S_{γ} , м
8–8,5	959,7	0,000	0,00609	0	15,22	79,97
8,5–9	770,4	0,0609	0,0144	15,22	37,16	64,2
9–9,5	482,1	0,0144	–	–	–	–
9–9,34	492,1	–	–	37,16	78,17	41,01

Таким образом, при наличии в рассматриваемом диапазоне расстояний и скорости движения точки экстремума скорости следует по формуле (31) и (29) определить расстояние до точки экстремума и экстремальное значение скорости движения, а затем время движения по формуле (31). При необходимости построения детального графика скорости движения автопоезда скорость и время движения определяются поэтапно в промежуточных точках по схеме, приведенной при формировании табл. 4.

При поэтапном расчете, через небольшие интервалы скоростей можно получить более полные результаты. Поделив диапазон скоростей с интервалом 0,5 м/с, определяем по формуле (27) значения T , соответствующие им значения i . Затем по формуле (28) определяется расстояние, которое пройдет

автопоезд до достижения максимальной скорости в заданном интервале и по формуле (32) рассчитывается расстояние до точки экстремума.

Если расстояние до точки экстремума больше, чем расстояние, пройденное автопоездом в заданном интервале скоростей, то это означает, что экстремальное значение скорости при заданных условиях находится на большем расстоянии от начала движения. Расчеты следует продолжить для последующих заданных интервалов скоростей до выполнения условия $v_{\max}$ (максимальное в заданном диапазоне скоростей) $> v_{\text{эк}}$ (экстремальное значение скорости движения). Результаты расчета сведены в табл. 4.

В интервале скоростей 9–9,5 м/с при расчетном значении T определение расстояния S до точки, в которой достигается

максимальное значение скорости 9,5 м/с (по формуле (28)), не представляется возможным, так как подкоренные значения в формуле имеют отрицательную величину. Следовательно, v_0 находится в интервале 9–9,5 м/с. Расстояние до точки экстремума скорости от точки, где скорости имеют минимальное в заданном интервале значение 9 м/с, определяется по формуле (32) и равно 41,01 м/с, экстремальное значение скорости движения – 9,34 м/с. Расстояние от точки начала движения со скоростью 8 м/с до точки, где достигается экстремальное значение скорости движения 78,17 м/с.

Затем показатели движения определяются в оставшейся части вертикальной кривой за точкой экстремума.

Заключение

Выведенные зависимости и методика расчетов позволяют определять показатели движения автопоездов с гидромеханической трансмиссией с учетом особенностей изменения тягового усилия от скорости движения. На основе предложенной методики и выведенных зависимостей предложен алгоритм и разрабатывается программа для моделирования движения автопоездов с таким видом трансмиссии на ПЭВМ.

Список литературы

1. Тарасик В.П. Синтез алгоритма автоматического переключения передач автомобиля с гидромеханической

трансмиссией // Вестник Белорусско-Российского университета. 2013. № 1 (38). С. 46–58.

2. Нгуен Х.Т. Метод расчета тягово-скоростных характеристик автомобиля с гидромеханической трансмиссией на ЭВМ // Universum: технические науки. 2018. № 3 (48). С. 19–23.

3. Ставицкий А.И., Пин Г.Э. Применение ЭВМ для исследования движения автомобиля с гидромеханической трансмиссией на дорогах реального продольного профиля // Вопросы расчета, конструирования и исследования автомобильного транспорта. 1971. Вып. 4. С. 138–144.

4. Официальный сайт ОАО «Минский завод колесных тягачей». Тягач МЗКТ-741310 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mzkt.by/katalog/38/470> (дата обращения: 27.02.2019).

5. Официальный сайт ООО ТД «АТБ № 3». Спецпроекты МЗКТ-741316 [Электронный ресурс]. URL: <http://atb3.ru/catalog/spetsproekty/mzkt-741316/> (дата обращения: 27.02.2019).

6. Бурмистрова О.Н., Король С.А. Определение оптимальных скоростей движения лесовозных автопоездов из условия минимизации расхода топлива // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2013. № 1 (93). С. 25–27.

7. Ларионов В.Я., Камусин А.А., Левушкин Д.М. Расчет средних скоростей движения лесовозного автотранспорта // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. № S2. С. 138–142.

8. Макеев В.Н., Сушков С.И., Фурменко А.И., Солопанов М.С. Определение параметров, характеризующих движение лесовозных автопоездов по участку магистрали общего пользования // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 70–75.

9. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Пладов А.В. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация. СПб.: ПРОФИКС, 2008. 304 с.

10. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В. Функционально-технологический анализ параметров движения лесовозных автопоездов // Фундаментальные исследования. 2014. № 8–4. С. 833–836.

УДК 691.42:658.567.1

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА
В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Степанова М.Л., Маркелов Н.А., Гафаров М.Ш., Мейланова М.Н.,
Васильева М.Н., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kmp198@inbox.ru*

В статье представлены результаты исследования химического, минералогического и гранулометрического составов нефелинового шлама АО «РУСАЛ Ачинский глиноземный комбинат». Предложены пути утилизации нефелинового шлама в производстве фасадной керамической плитки и ячеистых бетонов. Исследованы процессы фазовых превращений и синтеза волластонита в структуре керамических материалов при спекании. Выявлены факторы, оказывающие основное влияние на формирование кристаллической фазы волластонита: молярное соотношение CaO/SiO_2 , гранулометрический состав сырьевых материалов, температура спекания и продолжительность изотермической выдержки, а также способ и давление формования. Установлены пределы изменения молярного соотношения CaO/SiO_2 (0,55–0,65) в керамических массах, обеспечивающие получение фасадных керамических материалов с высокой прочностью при изгибе (18–22,5 МПа) и водопоглощением менее 12%, характеризующихся значительным содержанием волластонита. Разработаны составы газобетона с добавлением от 10 до 50% мас. % нефелинового шлама. Установлено, что введение нефелинового шлама способствует повышению прочности газобетона. Максимальная прочность в 1,1 МПа получена в образцах, содержащих 50% нефелинового шлама. При этом плотность ячеистого бетона составляет 1,04 г/см³, что позволяет отнести его к классу бетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения.

Ключевые слова: нефелиновый шлам, белит, волластонит, спекание, водопоглощение, ячеистый бетон, твердение, плотность

**COMPLEX USE OF NEPHELINE SLUDGE IN THE PRODUCTION
OF BUILDING MATERIALS****Stepanova M.L., Markelov N.A., Gafarov M.Sh., Meylanova M.N.,
Vasileva M.N., Nikiforova E.M., Eromasov R.G.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kmp198@inbox.ru*

The article presents the results of a study of the chemical, mineralogical and granulometric composition of nepheline sludge from RUSAL JSC Achinsk Alumina Refinery. The ways of utilization of nepheline sludge in the production of facade tiles and cellular concrete are proposed. The processes of phase transformations and wollastonite synthesis in the structure of ceramic materials during sintering are investigated. The factors that have the main influence on the formation of the crystalline phase of wollastonite are revealed: the CaO/SiO_2 molar ratio, the granulometric composition of the raw materials, the sintering temperature and the isothermal holding time, as well as the method and pressure of molding. The limits of variation of the CaO/SiO_2 molar ratio (0.55–0.65) in ceramic masses, providing facade ceramic materials with high flexural strength (18–22.5 MPa) and water absorption of less than 12%, characterized by a significant content of wollastonite, are established. Developed compositions of aerated concrete containing from 10 to 50% of the mass. % nepheline sludge. It is established that the addition of nepheline sludge helps to increase the strength of aerated concrete. The maximum strength of 1.1 MPa was obtained in samples containing 50% nepheline sludge. At the same time, the density of cellular concrete is 1.04 g / cm³, which makes it possible to attribute it to the class of concrete for structural thermal insulation purposes.

Keywords: nepheline sludge, whites, wollastonite, sintering, water absorption, cellular concrete, hardening, density

В настоящее время современная строительная индустрия нуждается в дешевых и практичных материалах. Наиболее перспективным направлением снижения себестоимости строительных материалов и повышения их физико-механических показателей является замена традиционных сырьевых материалов на техногенные продукты.

Использование отходов не только позволяет найти новые источники сырьевых материалов, но и решить ряд экологических проблем.

На сегодняшний день актуальной проблемой является утилизация нефелинового шлама Ачинского глиноземного комбината.

Ежегодные объемы образования составляют примерно 6–7 млн т в год. Общий объем накопленных отходов оценивается в пределах 220 млн т. При этом использование нефелинового шлама в качестве вторичного материального ресурса не превышает 200–300 тыс. т в год.

Комплекс уникальных физико-химических свойств нефелинового шлама делает перспективным его использование в производстве фасадной керамической плитки и ячеистых бетонов [1].

Цель исследования: исследование химического, минералогического и гранулометрического составов нефелинового шлама АО «РУСАЛ Ачинский глиноземный ком-

бинат», разработка составов и технологических режимов получения строительных материалов на его основе.

Материалы и методы исследования

Исследование элементного и фазового состава исходных сырьевых материалов и техногенных продуктов проводили с применением рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа на спектрометре Lab Center XRF-1800 Shimadzu (Japan) и дифрактометре фирмы Shimadzu XRD-6000. Термогравиметрический анализ вы-

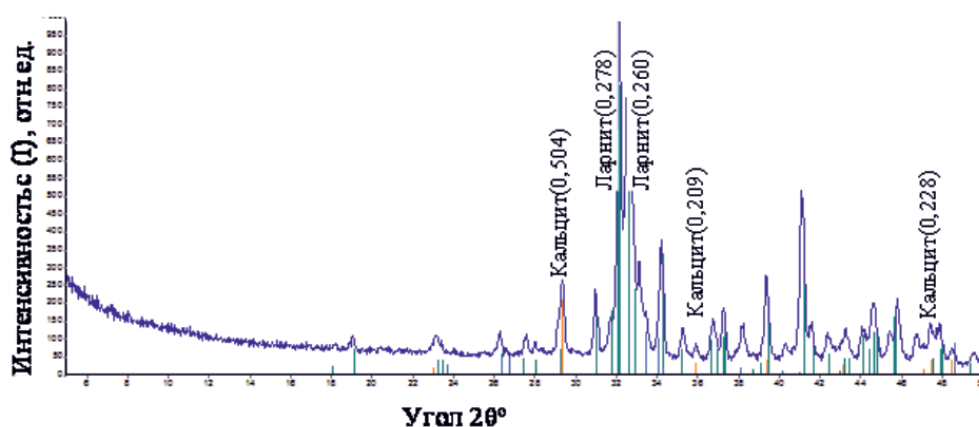
полнен на термоанализаторе STA 449 C on 18 TASC 414-4 фирмы Netzsch. Для грубого помола сырьевых материалов использовали щековую дробилку марки ШД-6. Тонкое измельчение осуществляли с использованием кольцевой мельницы Roklabs. Гранулометрический состав материалов определяли с использованием ситового анализатора ВПТ-220.

Измерение предела прочности образцов строительных материалов проводили на испытательной машине LFM усилием 40 т (Швейцария).

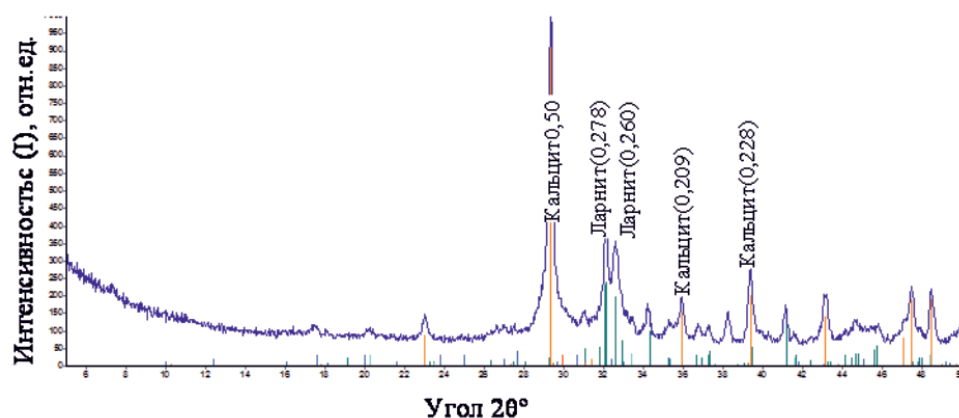
Таблица 1

Химический состав нефелинового шлама Ачинского глиноземного комбината, мас. %

Наименование сырья	Содержание оксидов								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F ⁻¹	п.п.п.
Нефелиновый шлам	22,10	1,90	—	55,29	1,17	1,19	—	—	18,35



а)



б)

Рис. 1. Дифрактограммы нефелинового шлама: а) свежий шлам; б) лежалый шлам

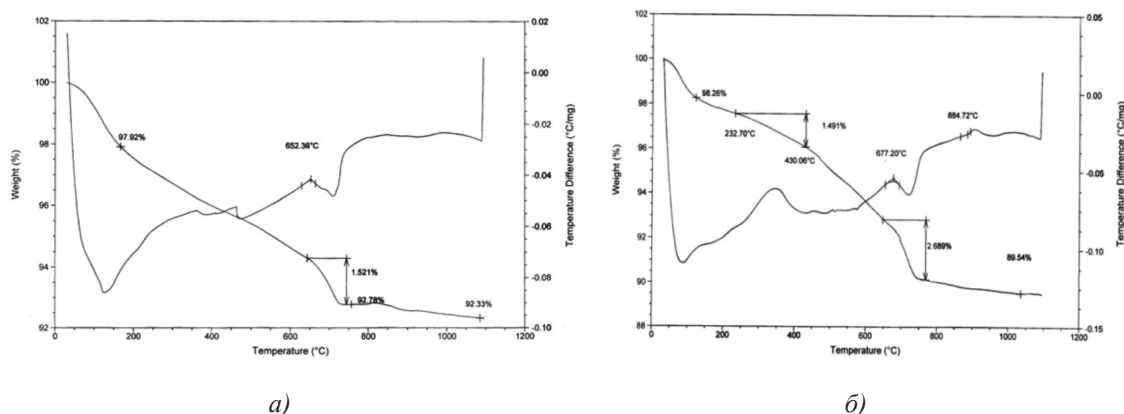


Рис. 2. Дериватограммы нефелинового шлама: а) свежий шлам; б) лежалый шлам

Нефелиновый шлам является побочным продуктом производства глинозема. В процессе выщелачивания нефелино-известковых спеков образуется алюминатный раствор и нефелиновый (белитовый) шлам [1–3].

Химический состав нефелинового шлама Ачинского глиноземного комбината представлен в табл. 1.

Результаты рентгеноструктурного фазового анализа (рис. 1) показали, что основной кристаллической фазой, содержащейся в нефелиновом шламе, является двухкальциевый силикат в фазе белита β - Ca_2SiO_4 .

При этом установлено, что в процессе длительного хранения шлама в отвалах за счет естественной гидратации двухкальциевого силиката Ca_2SiO_4 образуется значительное количество гидросиликатов и карбонатов кальция.

Проведенный термогравиметрический анализ (рис. 2) показывает наличие эндотермического эффекта и значительную потерю массы нефелинового шлама (до 1,5–5,9%) в диапазоне температур 700–750 °С, связанного с разложением карбоната кальция [3].

Частицы нефелинового шлама характеризуются высокой пористостью, достигающей 30–60% при размере пор от 10 до 1000 мкм.

Фракционный состав нефелинового шлама (табл. 2) характеризуется преобладающим содержанием фракций $0,5 + 0,315$ мм и $-0,315 + 0,08$ мм, в сумме превышающих 50 мас. %. Это позволяет использовать его для получения строительных материалов без дополнительного измельчения.

Анализ результатов химического, минералогического и гранулометрического составов нефелинового шлама Ачинского глиноземного комбината позволил выявить перспективность его использования для производства строительных материалов за счет высокотемпературного и гидрохимическо-

го синтеза новых кристаллических фаз, позволяющего получать материалы с высоким уровнем физико-механических свойств.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе выбраны два направления исследований использования нефелинового шлама для производства строительных материалов. Одно из направлений связано с получением качественной фасадной керамической плитки, характеризующейся низкими значениями усадки при обжиге и высокой прочностью при изгибе.

На основе нефелинового шлама в сочетании с каолинит-гидрослюдистой глиной Компановского месторождения и кварцевым песком разработаны составы керамических масс, обеспечивающие достижение требуемых физико-механических показателей фасадной керамической плитки за счет направленного синтеза полезных кристаллических фаз в процессе обжига.

Прогнозируемыми полезными кристаллическими фазами могут быть геленит и анортит, синтез которых предположительно в твердой фазе может наблюдаться при температуре выше 400 °С и идти наиболее активно при 800–900 °С. Кроме того, основной кристаллической фазой в структуре керамического материала при температуре обжига 1000–1100 °С предполагается β -воластонит, образующий армирующий каркас из разнонаправленных игольчато-волокнистых кристаллов [3–5].

К основным факторам, оказывающим основное влияние на формирование кристаллической фазы воластонита, относятся: молярное соотношение CaO/SiO_2 , гранулометрический состав сырьевых материалов, температура спекания и продолжительность изотермической выдержки, а также способ и давление формования.

Таблица 2

Фракционный состав нефелинового шлама

Материал	Содержание фракций, %						
	–2,5 + + 1 мм	–1 + +0,8 мм	–0,8 + +0,5 мм	–0,5 + +0,315 мм	–0,315 + +0,08 мм	–0,08 + +0,056 мм	менее 0,056 мм
Нефелино- вый шлам	10,3	6,4	16,1	24,7	35,4	2,9	3,9

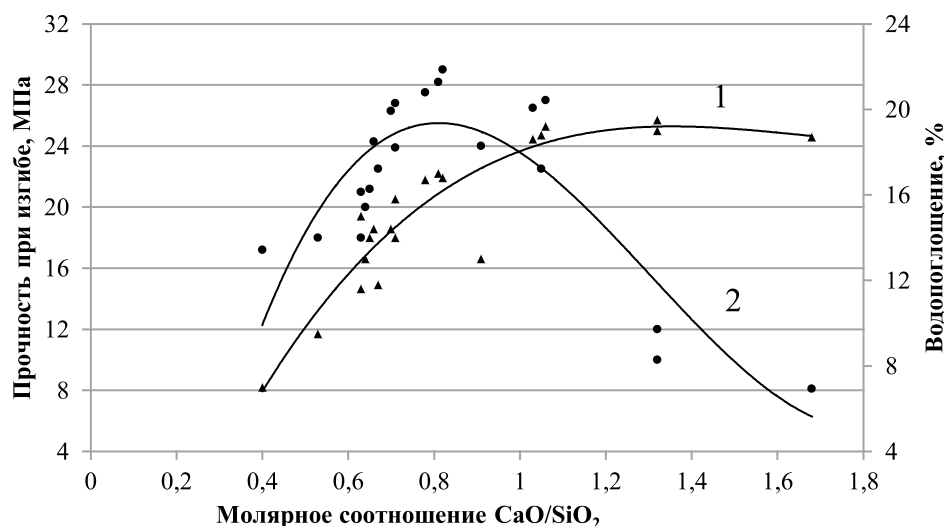


Рис. 3. Зависимость водопоглощения (1) и прочности при изгибе (2) образцов от молярного соотношения CaO/SiO_2 при температуре обжига 1100°C

Оценку степени спеченности керамического черепка в зависимости от изменения молярного соотношения CaO/SiO_2 проводили по показателям водопоглощения (%) и предела прочности при изгибе (МПа).

Экспериментальным путем установили оптимальную область молярного соотношения CaO/SiO_2 (0,55–0,65), обеспечивающую получение образцов фасадной керамической плитки с высокой прочностью на изгиб (18–22,5 МПа) и водопоглощением менее 12, что соответствует требованиям стандартов [6]. Зависимости водопоглощения (1) и прочности при изгибе (2) образцов от молярного соотношения CaO/SiO_2 при температуре обжига 1100°C представлены на рис. 3.

С увеличением удельной поверхности нефелинового шлама увеличивается свободная энергия его частиц, что способствует твердофазному синтезу волластонита. Содержание волластонита увеличивается от 5,52 до 16,2 мас. %, при этом содержание ларнита снижается от 14,3 до 6,12 мас. %, а кварца от 53,1 до 48,7 мас. %.

Выявленные закономерности взаимосвязи фракционного состава сырья и свойств композиционных материалов распространяются как на силикатные системы, так и на анодные массы при производстве алюминия электролизом.

Вторым перспективным направлением исследования выбрано применение нефелинового шлама для производства легких ячеистых бетонов. Наиболее предпочтительно использование свежего нефелинового шлама, содержащего помимо двухкальциевого силиката $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, значительное количество свободного оксида кальция до 20 мас. % в форме гидроксида $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [7–9].

Состав экспериментальных образцов газобетона представлен в табл. 3.

Нефелиновый шлам подвергали дополнительному измельчению на кольцевой мельнице с получением частиц размером менее 70 мкм и удельной поверхностью 2300–2700 $\text{см}^2/\text{г}$, что позволило в полной мере использовать его вяжущие свойства [10].

Таблица 3

Вещественный состав газобетона

Компоненты газобетона	Содержание компонентов, мас. %					
	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4	Состав 5	Состав 6
Портландцемент марки М400	44	44	44	44	44	44
Песок строительный	50	40	30	20	10	–
Нефелиновый шлам	0	10	20	30	40	50
Гипс марки Г-6	6	6	6	6	6	6
Алюминиевая пудра ПАП 1 (сверх 100%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

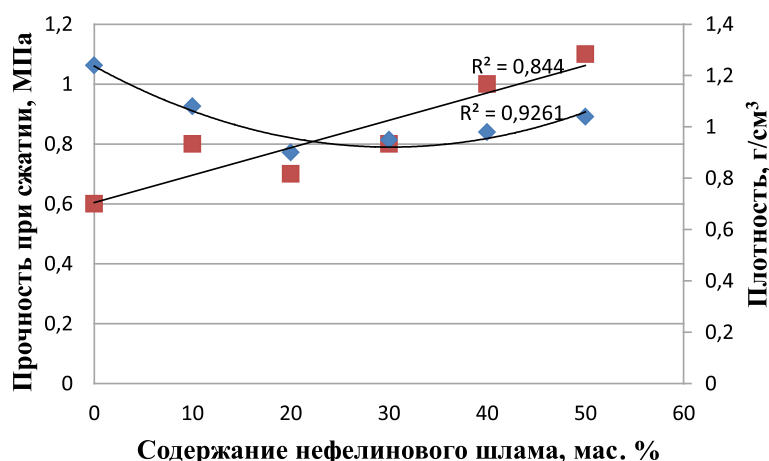


Рис. 4. Зависимость плотности и прочности при сжатии образцов газобетона в зависимости от содержания нефелинового шлама

На фиксированном уровне поддерживали В/Т отношение – 0,5, содержание газообразователя (алюминиевая пудра) – 0,2 мас. %. Формирование пористой структурой газобетона оценивали по показаниям плотности (г/см³) и прочности при сжатии (МПа) образцов газобетона на 21 сутки твердения в нормально-влажностных условиях при температуре 20 °С (рис. 4).

Установлено, что добавление нефелинового шлама способствует повышению прочности образцов. Максимальная прочность 1,1 МПа получена в образцах, содержащих 50 мас. % нефелинового шлама и 44 мас. % портландцемента. При этом плотность бетона составляет 1,04 г/см³, что позволяет отнести его к классу конструкционно-теплоизоляционных бетонов.

Повышение прочности газобетона с увеличением содержания нефелинового шлама объясняется процессами гидратации основного минерала нефелинового шлама с формированием высокопрочных кристаллических структур по реакции $2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$. Также в качестве вяжущего выступает содер-

жащийся в нефелиновом шламе $\text{Ca}(\text{OH})_2$, твердение которого способствует дополнительному приросту прочности.

Заключение

Предложены пути утилизации нефелинового шлама в производстве фасадной керамической плитки и ячеистых бетонов.

Установлена взаимосвязь химического, минералогического и гранулометрического состава нефелинового шлама с процессами фазообразования в керамических массах в процессе обжига и формированием высокопрочных керамических структур.

Выявлена оптимальная область молярного соотношения CaO/SiO_2 (0,55–0,65), обеспечивающая получение образцов облицовочных керамических материалов с показателями высокой прочности на изгиб (18–22,5 МПа) и водопоглощением менее 12, соответствующими требованиям стандартов.

Установлено, что добавление нефелинового шлама способствует повышению прочности газобетона. Максимальная прочность 1,1 МПа получена в газобетонах, содержащих 50 мас. % нефелинового шлама и 44

мас. % портландцемента. При этом плотность газобетона составляет $1,04 \text{ г/см}^3$, что позволяет отнести его к классу бетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения.

Список литературы

1. Шморгуненко Н.С., Корнеев В.И. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства: учеб. пособие. М.: Metallurgia, 1982. 128 с.
2. Шиманский А.Ф., Погодаев А.М., Самойло А.С., Верещагин В.И. Твердофазный синтез волластонита и исследование эксплуатационных характеристик керамики на его основе // Огнеупоры и техническая керамика. 2009. № 3. 40–44.
3. Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Гриценко Д.А., Осокин Е.Н., Таскин В.Ю. Синтез керамических облицовочных материалов в системе $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4 [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/104-6670 (дата обращения: 17.01.2019).
4. Столбоушкин А.Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 10–13.
5. Седельникова М.Б., Лисенко Н.В., Погребенков В.М. Керамические пигменты со структурой диортоосиликатов // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318. № 3. С. 31–36.
6. Еромасов Р.Г., Никифорова Э.М., Ступко Т.В., Раева О.В., Шестаков И.Я. Формирование структуры облицовочной керамики на базе грубозернистого техногенного сырья // Фундаментальные исследования. 2013. № 4–3. С. 560–565.
7. Пат. 2560740 Российская Федерация, МПК С 04 В 28/04. Вяжущее на основе нефелинового шлама для дорожного строительства / А.Н. Анушенков. Заявитель и патентообладатель: ООО «Экологический Инжиниринговый Центр». № 2014134546/03; заявл. 22.08.2014; опубл. 20.08.2014. Бюл. № 23.
8. Пат. 2491258 Российская федерация, МПК⁷ С 04 В 38/10 (2006.01). Смесь для автоклавного пенобетона / С.Ю. Петрунин, Л.В. Закревская, В.Е. Ваганов, Б.Г. Ким, М.Ю. Попов; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения». № 2011142670/03; заявл. 21.10.2011; опубл. 27.04.2013. Бюл. № 12.
9. Плотников В.В., Ботаговский М.В. Ресурсберегающая технология использования промышленных отходов при получении бетонов низкой плотности // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2014. № 4. С. 65–77.
10. Плотников В.В., Ботаговский М.В. Исследование процессов получения теплоизоляционного пенобетона на основе механоактивированной в РПА бесцементной вяжущей композиции из гранулированного доменного шлака и нефелинового шлака // Инновации в строительстве – 2017: материалы международной научно-практической конференции. 2017. С. 97–102.

УДК 378.147

ИГРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ВИД ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ И СРЕДСТВО АКТИВИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ

Аксенова Л.Н., Хасанова М.Л., Руднев В.В., Дмитриев М.С.

*ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет»,
Челябинск, e-mail: postbox@cspu.ru, rudnevvv@cspu.ru*

В статье проанализировано понятие «игровые технологии», а также чем игровая технология обучения отличается от других образовательных технологий, рассмотрено понятие «игровой семинар» как организационная форма обучения студентов. В статье сделан акцент на анализ эффективности применения игрового семинара в учебном процессе с психологической точки зрения, на разработку требований к его организации; рассмотрена методика подготовки игры, ее этапы. Этапы, требования и методика проведения игры взаимосвязаны, так как все они определяются особенностями человеческого мышления и классическими методами принятия решений. Даны методические рекомендации по проведению игры на тему: «Диаграмма состояния «железо – углерод» по дисциплине «Материаловедение»; представлен также способ оценки результатов игры. В ходе образовательного процесса проверялась действенность применения игрового семинара по теме: «Диаграмма состояния «железо – углерод» дисциплины «Материаловедение». В игре приняли участие студенты 2-го курса Профессионально-педагогического института Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. Эксперимент по применению игровых методов обучения в процессе преподавания дисциплины технического профиля показал следующее: 1. Абсолютно все студенты смогли хотя бы частично смогли воспроизвести учебный материал, закрепленный с помощью игры. 2. Многие студенты группы при контроле знаний смогли обосновать важность изучаемой темы в автомобилестроении.

Ключевые слова: игровые технологии, игровые семинары, проблемное обучение, сплавы, металлы, стали, чугуны

GAMING TECHNOLOGY AS A TYPE OF PROBLEM-BASED LEARNING AND A MEANS OF REVITALIZING STUDENTS

Aksenova L.N., Khasanova M.L., Rudnev V.V., Dmitriev M.S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Ural State Humanitarian-Pedagogical University», Chelyabinsk, e-mail: postbox@cspu.ru, rudnevvv@cspu.ru

The article analyzes the concept of «gaming technology», as well as how the gaming technology of learning differs from other educational technologies, and the concept of «game seminar» as an organizational form of teaching students is considered. The article focuses on the analysis of the effectiveness of the game workshop in the educational process from a psychological point of view, on the development of requirements for its organization; considered the method of preparation of the game, its stages. The stages, requirements and methods of conducting the game are interrelated, since all of them are determined by the peculiarities of human thinking and classical decision-making methods. The methodical recommendations for conducting the game on the topic: «Iron-carbon state diagram for the discipline» Materials science «are given; There is also a way to evaluate the results of the game. In the course of the educational process, the effectiveness of the use of the game workshop on the topic: «The iron-carbon state diagram of the Material Science discipline was checked. The game was attended by students of the 2nd course of the Professional Pedagogical Institute of the South Ural State Humanitarian Pedagogical University. The experiment on the application of game teaching methods in the process of teaching a technical discipline showed the following: 1. Absolutely all the students were able to at least partially be able to reproduce educational material, fixed with the help of the game. 2. Many students of the group in the control of knowledge were able to justify the importance of the topic of the automotive industry.

Keywords: gaming technology, gaming seminars, problem-based training, alloys, metals, steel, cast iron

Приобретение будущим специалистом определенного объема знаний возможно за счет применения активных методов обучения. Их главной характеристикой является имитация содержания будущей профессиональной деятельности. К активным методам обучения относятся деловые игры. Участники игры в имитационных условиях получают роли и выполняют действия в соответствии с инструкциями. Находя решение проблемы в игровой форме, игроки приобретают знания.

Цель исследования: изучить эффективность использования игры в процессе обучения.

Материалы и методы исследования

1. В исследовании приняли участие студенты 2-го курса Профессионально-педагогического института Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета.

2. В исследовании использовались следующие методы:

– теоретические: теоретический анализ психолого-педагогической и методической литературы, анализ результатов работ студентов.

– практические: педагогическое моделирование.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного исследования применения игровых технологий при изучении дисциплины «Материаловедение» при анкетировании студентов с целью определения комфортности работы в группе при решении поставленных в игре задач установлено следующее: большинство студентов выразило мнение, что применение игровых технологий способствует лучшему усвоению знаний и данные технологии необходимо активно внедрять в образовательный процесс.

Игровые технологии являются одним из видов образовательных технологий, которые помогают активизировать деятельность студентов. Игровое обучение отличается от других образовательных технологий следующим:

- это эффективное средство активации деятельности участников игры за счет характера самой игровой ситуации, которая способна вызвать психологический и эмоциональный стресс; а они в свою очередь позволяют преодолеть психологические барьеры;

- мотивационный ее характер с познавательной точки зрения настраивает ее участников на инициативу, творческий подход, устремленность;

- это коллективно-групповая форма деятельности, в основе которой лежит элемент соревнования;

- отличается четко поставленной целью [1].

Игровые семинары являются в основном организационной формой обучения студентов, т.е. это стабильная социальная структура, содержанием которой является система определенных дидактических отношений. Специфика семинара как вида дидактической игры заключается в двустороннем характере дидактических отношений [2].

Как педагогический феномен игровой семинар характеризуется изменением ролевых взаимодействий и отношений, таких как лидерство, сотрудничество: взаимодействие равноправных партнеров по игре, при этом преподаватель не должен вмешиваться в это взаимодействие. Игровой семинар требует не только определенного уровня мышления, но и определенного уровня социальной активности. Этот вид учебной деятельности развивает способности к самообразованию, развивает навыки работы в группе [3].

Эффективность игрового семинара с психологической точки зрения заключается в следующем:

- легче происходит поиск новых идей, форм поведения и деятельности;

- возможность психологически оценить поведение, посмотреть друг на друга как бы со стороны;

- повышение активности участников за счет приближения условий их поведения к профессиональной деятельности;

- отрабатывается способ совместной деятельности, возможность совместного принятия решений, социального взаимодействия и общения.

К игровому семинару предъявляются следующие требования:

- наличие серьезной в исследовательском и творческом плане проблемы, которая требует исследовательского поиска и интегративного знания для ее решения;

- значимость предполагаемых результатов с практической, теоретической и познавательной точек зрения;

- самостоятельная (индивидуальная, парная, групповая) форма деятельности;

- применение исследовательских методов [4].

Подготовка игрового семинара на тему: «Диаграмма состояния «железо – углерод»

Семинар проводится с одной учебной группой под руководством преподавателя.

Формирование игровых команд

Игровые команды формируются таким образом, что количество сильных и слабых обучающихся в одной команде эквивалентно. Для достижения эффективной работы в команде, распределение ролей в ней осуществляется в соответствии с пожеланиями самих игроков и типом их темперамента. Для этого участники игры перед ее проведением заполняют анкету с вопросами: «Какую роль вы бы хотели играть в команде? С кем бы вам работало комфортно в команде? – С кем бы ты никогда не хотел бы участвовать в игре?»

В процессе подготовки к игре игроки сдают вступительный тест в игру. Необходимо разрешить студентам, которые не прошли тестирование, воспользоваться консультацией или дополнительными занятиями для подготовки к игре.

За несколько дней до проведения игрового семинара студенты вместе с педагогом анализируют все вопросы по теме игры, а также методику организации семинара, состав участников команд и их капитанов. Педагог отвечает на вопросы студентов, рекомендует литературу для подготовки по теме игры, уточняет некоторые детали игры. Если игровой семинар проводится впервые, то желательно прорепетировать хотя бы один из этапов игры [5].

Для проведения игрового семинара на тему: «Диаграмма состояния «железо –

углерод»» по дисциплине «Материаловедение» разработаны вопросы по теме предстоящей игры:

1. Механические свойства материалов.
2. Применение сталей в практике машиностроения.
3. Метод определения твердости чугунов.
4. Фазы диаграммы «железо – углерод».
5. Влияние углерода на механические, технологические и физические свойства сталей.
6. Основные линии диаграммы «железо – углерод».
7. Основные технологические свойства чугунов.
8. Обозначение легирующих элементов в маркировках сталей.
9. Критические точки диаграммы «железо – углерод».
10. Структурные отличия сталей и чугунов.
11. Влияние структуры металлической основы на свойства чугунов и сталей.
12. Стали, применяемые для изготовления таких автомобильных деталей, как коленчатые валы двигателя, шатуны, полуоси, распределительные валы.
13. Определение качества стали.
14. Формы графитных включений в чугунах.
15. Компоненты диаграммы «железо – углерод» и их характеристика.
16. Характерные свойства металлов.
17. Явление полиморфизма.
18. Методы определения твердости сталей.
19. Технологические свойства материалов.
20. Отличие легированной стали от углеродистой.
21. Применение различных видов чугунов для изготовления деталей автомобилей.
22. Линии диаграммы «железо – углерод».
23. Чугуны, применяемые для изготовления таких автомобильных деталей, как коробки сателлитов, кронштейны рессор.
24. Эксплуатационные свойства материалов.
25. Чугуны, применяемые в качестве антифрикционных материалов.
26. Классификация сталей по качеству.
27. Способы получения различных видов чугунов.
28. Содержание углерода в чугунах в зависимости от их названия согласно диаграмме «железо – углерод».
28. Поведение материалов в эксплуатации.
29. Механические смеси диаграммы «железо – углерод» и их свойства.
30. Применение чугунов в практике машиностроения.

В соответствии с результатами тестового контроля знаний и пожеланиями студентов формируются три группы для проведения игрового семинара.

В результате проведения игры студенты должны:

- проанализировать важность изучения диаграммы «железо – углерод» (самостоятельно);
- правильно выбрать исходя из условий работы детали автомобиля марку стали или чугуна (с опорой на источник информации);
- провести анализ качества сталей и чугунов, исходя из их маркировки и условий работы;
- обоснованно доказать целесообразность использования того или иного материала для изготовления автомобильных деталей исходя из условий их работы;
- овладеть методикой работы в команде при решении поставленных задач.

1. Игра начинается с жеребьевки:

– первая жеребьевка: команды разыгрывают функции: команда № 1 – докладчик, команда № 2 – респондент, команда № 3 – судья-рефери.

– вторая жеребьевка: разыгрываются вопросы по теме семинара.

2. Представитель команды-докладчика должен аргументированно ответить на четыре вопроса, три из которых – основные, определяемые жеребьевкой, и один дополнительный вопрос, заранее подготовленный противоборствующей командой.

3. Представитель команды-респондента должен сделать мотивированный обзор ответов команды-докладчика. Если отчитывающаяся команда не может ответить на вопрос респондента правильно и полностью, то команда-респондент должна ответить сама на поставленный вопрос.

4. Команда – судья-рефери решает все вопросы, поднятые в ходе игры, контролирует временной режим, анализирует деятельность команд докладчика и респондента, оценивает его по разработанным критериям.

5. В конце первого периода игры команды меняются местами в соответствии с конкретной схемой.

6. В конце игры результаты суммируются, даются оценки, определяется победитель [6].

Жюри, состоящее из членов команд и преподавателя, осуществляет анализ игры по следующим критериям:

– экономия времени. Она достигается путем сравнения результатов общепринятых методов обучения и результатами игры. Экономия времени определяется разницей между временем, затраченным на изучение учебного материала с использованием традиционных методов обучения (лекций, семинаров, практических и лабораторных занятий), и затратами на достижение той же цели в процессе игры;

– формирование профессиональных компетенций;

– активность участников игры. Данный критерий позволяет развивать личностные качества участников игры [7].

Все студенты участвуют в обсуждении результатов игрового семинара. Это позволяет определить, как игроки взаимодействуют, показать разнообразие заданий и выбрать самые лучшие.

Методика проведения игрового семинара по дисциплине «Материаловедение»

Этапы игры

1 этап. Выдача командам вариантов заданий и форм для оценки работы команд в соответствии с правилами.

2 этап. Анализ предложенных ситуаций и выбор рациональных методов работы.

3 этап. Доклады команд по выданному варианту задания и способах решения проблемных ситуаций.

4 этап. Оценка и анализ принятия решений.

5 этап. Подведение итогов проведения игрового семинара, награждение победителей.

В течение игры команды трижды меняются ролями.

Смена ролей команд в течение игры:

1-я команда – Докладчик – Респондент – Судья-рефери;

2-я команда – Респондент – Судья-рефери – Докладчик;

3-я команда – Судья-рефери – Докладчик – Респондент.

3. Расчет времени семинара:

1 этап – 15 мин.

2 этап – 60 мин.

3 этап – 20 мин.

4 этап – 20 мин.

5 этап – 20 мин.

4. Критерии оценки работы участников игры:

– грамотная защита принятых решений 5–10 баллов;

– аргументированность и рациональность принятых решений – 10–15 баллов;

– рациональное использование времени – 5–10 баллов;

– соблюдение дисциплины в команде – 5–10 баллов;

– грамотное использование профессиональной лексики – 5–10 баллов;

– стиль оппонирования – 10–15 баллов;

Общая оценка:

Сумма баллов: 54–60 – «отлично» 54–60

Сумма баллов: 47–53 – «хорошо» 47–53

Сумма баллов: 40–46 – «удовлетворительно» 40–46

При проведении игрового семинара студенты должны:

– общаться доброжелательно;

– конфликтные ситуации разрешать корректно;

– грамотно анализировать информацию;

– соблюдать график проведения игрового семинара;

– объективно оценивать принимаемые методы решения проблемных ситуаций смежными командами;

– технически грамотно формулировать свои ответы и вопросы по выступлениям других команд.

Необходимо постоянно соблюдать правила игры. Оценивание по представленным решениям остается за педагогом. В то же время процесс обсуждения и принятия решений организовывается таким образом, что мнение педагога не ограничивает инициативу участников игры.

Результаты игрового семинара обсуждаются на общем собрании студентов, принявших участие в игре. Педагог анализирует выполненные задания, отмечает наиболее характерные ошибки в работе команд, дает необходимые рекомендации по их устранению.

Основные проблемы, с которыми участники часто сталкиваются во время игры, следующие:

– создание творческой, состязательной атмосферы, где критика и самокритика становится нормой;

– подчинение личных интересов участников коллективному принятию решений;

– грамотное применение справочной информации при решении задач;

– комфортность работы в команде;

– грамотность и аргументированность выражения своей мысли.

В процессе проведения деловой игры можно выделить ряд педагогических эффектов:

– интенсивное развитие у студентов творческих умений, сотрудничества и общения;

– студенты стараются развивать активность в обучении, соревноваться;

– оценка проделанной работы более объективна.

Таким образом, оценка эффективности внедрения игры в учебный процесс заключается в следующем:

– экономится время: экономия времени определяется путем сравнения результатов общепринятых традиционных методов обучения с результатами игры;

– формируются и развиваются необходимые профессиональные компетенции;

– повышается активность студентов в обучении.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы, что игра – это важнейшее

средство развития личности. Игровой семинар развивает способности к самопознанию и самовоспитанию, способствует выработке и закреплению профессиональных компетенций.

Заключение

Рассмотренная структура игрового семинара позволила выделить базовый элемент игры – сценарий. При создании сценария игры разработчики четко выделили цели и этапы игры, определены роли команд, время проведения игры, разработан и проанализирован учебный материал, выработаны критерии оценки работы участников игрового семинара.

Список литературы

1. Глазков В.А., Миронова О.Л., Шестакова Е.А. Организация длительных образовательных игр как инструмент успешной социализации детей и подростков: метод. рекомендации. Иркутск: Изд-во ГАУ ДПО ИРО, 2015. 35 с.

2. Михайленко Т.М. Игровые технологии как вид педагогических технологий // Педагогика: традиции и инновации: материалы междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2011 г.). Т. I. Челябинск: Два комсомольца. 2011. С. 140–146 [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/conf/ped/archive/19/1084/> (дата обращения: 06.01.2019).

3. Сергеева И.С., Гайнуллова Ф.С. Игровые технологии в образовании дошкольников и младших школьников: методические рекомендации. М.: КНОРУС, 2016. 112 с.

4. Аксенова Л.Н., Руднев В.В., Хасанова М.Л. Модель общепрофессиональной подготовки студентов, способствующая развитию компетенции профессионального общения // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2015. № 4. С. 32–40. DOI: 10.7442/2071-9620.20151.

5. Аксенова Л.Н., Хасанова М.Л. Критериально-уровневая система оценивания развития компетенции профессионального общения у студентов // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2016. № 8. С. 78–87. DOI: 10.7442/2071-9620.20161.

6. Варченко Е.И. Управление качеством образования в образовательном учреждении // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 471–474 [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/50/6384/> (дата обращения: 26.01.2019).

7. Антюхов А.В., Ретивых М.В., Фомин Н.В. Современные образовательные технологии в вузе: учеб. пособие для магистров и аспирантов. М.: Педагогическое общество России, 2013. 320 с.

УДК 796.01:159.9

ПСИХИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ В СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ

¹Андрущишин И.Ф., ²Сивохин И.П., ³Бабушкин Г.Д., ⁴Денисенко Ю.П., ⁵Гераськин А.А.

¹Казахская академия спорта и туризма, Алматы, e-mail: aiossif8@gmail.com;

²Костанайский педагогический институт, Костанай, e-mail: sivokhin_i_57@mail.ru;

³Сибирский государственный университет физической культуры и спорта,
Омск, e-mail: gena41@mail.ru;

⁴Набережночелнинский государственный педагогический университет,
Набережные Челны, e-mail: yprof@yandex.ru;

⁵Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: anatoly_geraskin@mail.ru

Анализируются психические состояния, характерные для соревновательной деятельности высококвалифицированных тяжелоатлетов. Представляется мнение специалистов – практиков спорта о неоднозначности влияния предстартовых и соревновательных психических состояний на эффективность деятельности. Подчеркивается специфичность соревновательного процесса тяжелоатлетов, который влечет за собой проявление характерных закономерностей в динамике психических состояний, возникающих при выполнении тяжелоатлетических упражнений. Наблюдения соревновательного процесса и статистическая обработка результатов соревновательной деятельности показывают, что предсоревновательные и соревновательные состояния обусловлены контентом складывающейся на данный момент соревновательной ситуации и прогнозированием возможного развития событий. Выявлено, что успешные попытки повышают уверенность тяжелоатлетов в себе, а неудачные снижают. Показано, что после начального успешного подхода может подсознательно снижаться установка, детерминирующая максимальный уровень мобилизации, на фоне которого возникает состояние предстартовой небрежности, ведущее к неудачной попытке при последующих подходах. Анализ неудачных подходов в рывке и толчке у женщин и мужчин показывает, что их количество достоверно возрастает от первой попытки к третьей, при резком количественном скачке в третьем подходе. Изучение поведения тяжелоатлетов свидетельствует о том, что неудачные подходы носят в основном психологический характер. Количество неудачных подходов у мужчин больше, чем у женщин, что обуславливает более высокий уровень беспечности в их поведения. Выделены наиболее значимые факторы, детерминирующие проявление соревновательных психических состояний перед выполнением третьего подхода.

Ключевые слова: предстартовые и соревновательные состояния, тяжелоатлеты, успешные и неудачные подходы, эффективность деятельности, соревновательные ситуации, рывок, толчок, начальный вес

ANALYSIS OF THE MENTAL STATE IN THE COMPETITIVE ACTIVITY WEIGHTLIFTERS

¹Andruschishin I.F., ²Sivokhin I.P., ³Babushkin G.D., ⁴Denisenko Yu.P., ⁵Geraskin A.A.

¹Kazakh Academy of Sports and Tourism, Almaty, e-mail: aiossif8@gmail.com;

²Kostanay Pedagogical Institute, Kostanay, e-mail: sivokhin_i_57@mail.ru;

³Siberian State University of Physical Culture and Sports, Omsk, e-mail: gena41@mail.ru;

⁴Naberezhnye Chelny State Pedagogical University, Naberezhnye Chelny, e-mail: yprof@yandex.ru;

⁵Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: anatoly_geraskin@mail.ru

Psychic states characteristic of competitive activity of highly skilled weightlifters are analyzed. The opinion of experts of sports experts on the ambiguity of the influence of pre-start and competitive mental states on the efficiency of activity is presented. It emphasizes the specificity of the competitive process of weightlifters, which entails the manifestation of characteristic patterns in the dynamics of mental states that arise when performing weightlifting exercises. Observations of the competitive process and statistical processing of the results of competitive activities show that precompetitive and competitive conditions are caused by the content that is currently being formed in a competitive situation and predicting the possible development of events. It is revealed that successful attempts raise the confidence of weightlifters in oneself, and unsuccessful ones reduce. It is shown that, after the initial successful approach, an installation determining the maximum level of mobilization may subconsciously decline, against which there is a state of pre-start negligence, leading to an unsuccessful attempt at subsequent approaches. The analysis of unsuccessful approaches in the snatch and jerk in women and men shows that their number increases reliably from the first attempt to the third, with a sharp quantitative jump in the third approach. The study of the behavior of weightlifters indicates that unsuccessful approaches are mostly psychological in nature. The number of unsuccessful approaches in men is greater than that of women, which causes a higher level of carelessness in their behavior. The most significant factors that determine the manifestation of competitive mental states before the implementation of the third approach are singled out.

Keywords: pre-start and competitive states, weightlifters, successful and unsuccessful approaches, efficiency of activity, competitive situations, jerk, push, initial weight

По мнению спортивных, психологов психические состояния являются важнейшим индикатором успешности соревновательной деятельности в спорте, и это уже

давно не вызывает никаких сомнений [1–3]. Однако в тренерской среде существуют различные точки зрения на то, насколько реально предсоревновательное психиче-

ское состояние влияет на эффективность двигательной деятельности – от полного отрицания до полного признания. Многие специалисты утверждают, что перед стартом можно наблюдать плохое психическое состояние спортсмена, но затем в ходе соревновательной деятельности его модальность может измениться в лучшую сторону и устранить негативное влияние на качество выполнения двигательных действий, а порой даже улучшать его [4, 5].

Действительно, учитывая такое свойство психического состояния, как изменчивость, вышеназванная точка зрения имеет право на существование, если принимать во внимание особенности соревновательной борьбы в тех видах спорта, где достаточно велика их временная продолжительность. Примером здесь могут служить игровые виды спорта (теннис, волейбол, футбол, хоккей и др.), где ход соревновательной деятельности может коренным образом изменить модальность динамики психического состояния и эффективность игровых действий, при условии примерного паритета физических, технических и тактических возможностей встречающихся соперников [6]. Отсюда следует, что чем меньше продолжительность соревновательного поединка, определенная правилами вида спорта, тем больше ее результат детерминирован особенностями предстартового психического состояния и факторами провоцирующими, его изменение [5, 6]. Достаточно очевидно, что в ходе забега на 100 или 200 м предстартовое состояние спринтера вряд ли успевает кардинально измениться, поэтому результат будет практически полностью обусловлен содержанием психического фона, предшествующего выполнению двигательных действий.

В этом отношении крайне специфичными являются психические состояния, имеющие место в тяжелой атлетике. Их специфика обусловлена особенностями соревновательной деятельности спортсменов. Формально она представляет собой две самостоятельные части соревновательной программы выступления атлета (рывок и толчок), объединяемые математически суммированным результатом. Эти части могут быть независимы друг от друга, имея предварительно спланированный тренером и спортсменом результат. Если спортсмен демонстрирует в каждом из упражнений рекордные результаты, то в этом случае они действительно становятся независимыми друг от друга. Этим результатам соответствует, как правило, оптимальный уровень психического состояния. Однако такие соревновательные ситуации встречаются не так уж часто. Гораздо чаще после первого

упражнения (рывка) возникают ситуации, делающие зависимыми результаты в рывке и толчке друг от друга. И это накладывает определенное влияние на предстартовые и соревновательные состояния атлетов, делая их взаимозависимыми, и тем самым обуславливают соревновательные результаты.

В связи с этим целью настоящего исследования является анализ предстартовых и соревновательных психических состояний высококвалифицированных тяжелоатлетов.

Материалы и методы исследования

В чемпионате Республики Казахстан принимало участие 170 тяжелоатлетов (67 женщин и 103 представителя мужского пола). Квалификационный состав участников: у женщин – 13 мастеров спорта международного класса, 33 мастера спорта, 17 кандидатов в мастера спорта и 4 перво-разрядника; у мужчин – 2 заслуженных мастера спорта, 10 мастеров спорта международного класса, 55 мастеров спорта, 33 кандидата в мастера спорта и 3 перво-разрядника. Чемпионат проводился с 13 по 18 мая 2018 г. в г. Шымкенте.

Для анализа предсоревновательных и соревновательных психических состояний тяжелоатлетов было использовано педагогическое наблюдение соревновательной деятельности во время Чемпионата Республики Казахстан, направленного на отбор кандидатов и формирование предварительного состава национальной сборной РК для целенаправленной подготовки к чемпионату мира, психологический анализ результатов всех соревновательных попыток в рывке и толчке с использованием методов математической статистики.

Результаты исследования и их обсуждение

Предполагалось, что психические состояния в соревновательной деятельности тяжелоатлетов в силу своей специфичности оказывают более существенное влияние на результаты соревнований по сравнению с другими видами спорта. Тяжелотлету дается всего три подхода в каждом упражнении для достижения цели, поставленной в данном соревновании. За исключением первого, второй и третий подходы, могут выполняться в условиях, когда времени для отдыха и восстановления сил после выполнения попытки может не хватать, и спортсмен будет выполнять их на фоне недостаточного восстановления, когда нет разрыва между подходами. Все это указывает на острую необходимость более глубокого и тщательного анализа этих состояний с целью оптимизации подготовки спортсменов в тяжелой атлетике.

Показатели неудачных подходов Чемпионата РК при выполнении рывка и толчка у женщин и мужчин (%)

Женщины	Первый подход	Второй подход	Третий подход	Мужчины	Первый подход	Второй подход	Третий подход
Рывок	1,99	8,5	14,9	Рывок	4,53	9,06	18,8
Толчок	2,49	8,96	19,9	Толчок	4,85	6,47	17,5

Наши наблюдения и протоколы соревнований показывают, что поведение спортсменов, их предстартовые и соревновательные состояния обусловлены складывающейся на данный момент соревновательной ситуацией и прогнозированием возможного развития событий. При выполнении упражнения в соответствии с правилами возможны два исхода – спортсмен успешно поднимает вес – один исход, или не поднимает вес – второй исход, т.е. спортсмен выполняет неудачный подход. Успешный подход повышает уверенность атлета в себе, увеличивает уровень его притязаний и создает положительную модальность психического состояния и позитивные эмоции. Неудачный подход вызывает, как правило, ухудшение психического состояния, снижение уровня притязаний и уверенности в своих силах.

Планирование начального (стартового) веса тренером и спортсменом во многом определяет успешность решения соревновательной задачи. Здесь крайне важно, чтобы тренер и спортсмен правильно оценили возможности и уровень своей готовности на данное время, адекватность психического состояния и способности к экстренной мобилизации.

Когда тренер и спортсмен перестраховываются, чтобы обезопасить себя от возможной неудачи, заказывают слишком легкий начальный вес, то это может спровоцировать возникновение состояния предстартовой небрежности, если до этого в тренировочном процессе он без труда справлялся с гораздо большим весом. После принятого решения о заказе веса под влиянием поступающей информации, в том числе и дезинформации о складывающейся соревновательной ситуации, у тяжелоатлета может подсознательно снижаться установка на максимальный уровень мобилизации, которая тесно связана с другими более общими установками об экономном расходовании сил, сохранении собственного здоровья и опасности получения травмы. По сути, это рутинный подход, который выполнялся многократно в тренировочном процессе и не требовал максимальной мобилизации сил. Вся эта рутинность и привычность действий, которую спортсмен подсознательно

переносит с тренировки на соревновательную ситуацию, приводит к появлению предстартовой небрежности, которую тяжелоатлет далеко не всегда осознает. Следствием такого состояния является неудачный подход, который спортсмен воспринимает как досадную случайность и для второго подхода заказывает вес, запланированный вместе с тренером до начала соревнования, даже не пытаясь, как правило, провести сознательную коррекцию сложившейся ситуации. Если же начальный вес приближается к пределу возможностей и готовности тяжелоатлета в данный момент времени, то это может вызвать сомнение и неуверенность спортсмена в своих силах и в конечном итоге, также привести к неудачной попытке. В таблице представлены средние показатели неудачных подходов участников Чемпионата РК в рывке и толчке, выраженные в %.

На рис. 1 и 2 представлена динамика неудачных подходов спортсменов. Причины неудачных подходов носят, как правило, психологический характер, отражая психическую напряженность соревновательной борьбы и особенности тактики выступления в данном упражнении, спланированной тренером и спортсменом до начала выступления и корректируемой ими по ходу возникновения новых соревновательных ситуаций.

Характер кривых свидетельствует о том, что процент количества неудачных подходов, как у женщин, так и у мужчин от первого к третьему возрастает.

Следует заметить, что у женщин в первом подходе процент количества неудач в среднем гораздо меньше (рывок – 1,99; толчок – 2,49), чем у мужчин (рывок – 4,53; толчок – 4,85). Во втором подходе процент количества неудачных попыток существенно увеличивается, и лишь в толчке у мужчин увеличение незначительно (в среднем 6,47 подходов).

Увеличение процента неудачных попыток во втором подходе связано в первую очередь с тем, что повышение уверенности после успешного первого подхода приводит во многих случаях к снижению уровня возбуждения нервно-мышечной системы, как несознаваемой реакции на хорошее выполнение требуемого задания, и это мешает снова полностью мобилизоваться на выполнение следующего подхода. При сохраняющемся

уровне притязаний психическое состояние уверенности перерастает в состояние некоторой внутренней самоуверенности. Спортсмен начинает думать о том, что дальше все пойдет как бы по инерции и уже нет необходимости снова достигать состояния полной сосредоточенности и мобилизации.

Необходимо обратить внимание на то, что общий процент количества неудачных подходов у мужчин (в среднем 61,21) больше, чем у женщин (в среднем 56,74). Данный факт подтверждает вышесказанное о самоуверенности спортсменов. Мужчины, как известно, в большей степени самоуверенны и беспечны, чем женщины.

Говоря о третьем подходе, видим, что процент количества неудачных попыток резко возрастает, особенно у женщин в рыв-

ке (в среднем 19,9), но в то же время у них относительно меньше процент неудачных подходов в толчке (в среднем 14,9). Процент неудачных подходов в третьем подходе (36,3) суммарно превосходит процент неудачных подходов у женщин (34,8), но по отдельности они располагаются внутри диапазона показателей неудачных подходов тяжелоатлетов.

Резкое увеличение неудачных попыток в первую очередь связано с правилами соревнований, поскольку третьим подходом заканчивается соревновательный процесс. Третий подход – это финал соревновательной борьбы, в связи с чем повышается ответственность за результат и, как следствие, увеличение психической напряженности соревновательной деятельности.

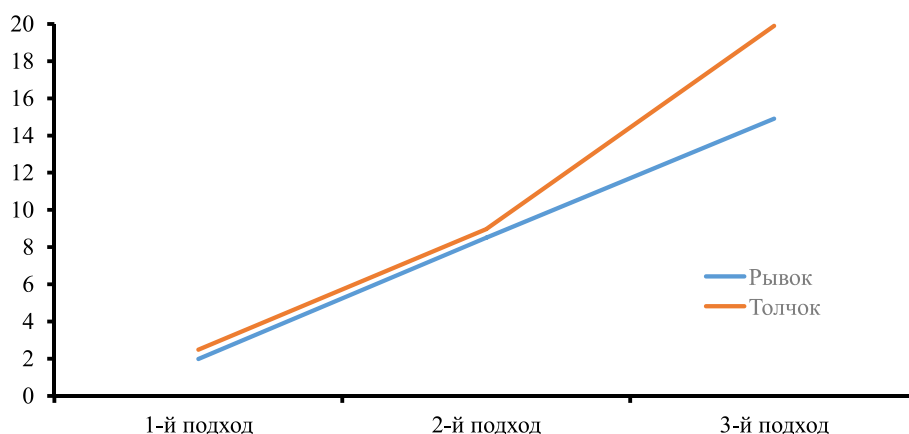


Рис. 1. Динамика неудачных подходов в рывке и толчке на Чемпионате Республики Казахстан у женщин

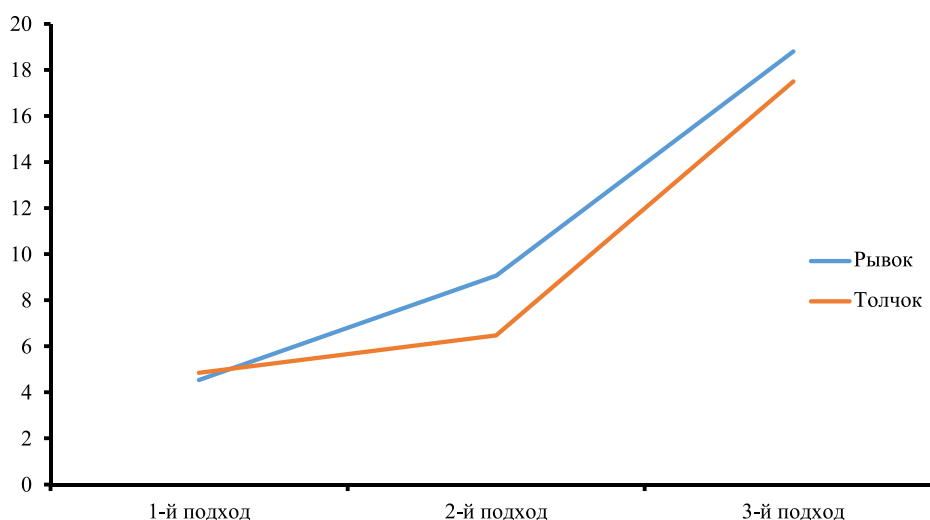


Рис. 2. Динамика неудачных подходов в рывке и толчке на Чемпионате Республики Казахстан у мужчин в толчке; у мужчин увеличение незначительно (в среднем 6,47 подходов)

Помимо этого, важнейшими факторами, формирующими психические состояния перед третьим подходом, являются: анализ и оценка результатов двух предыдущих подходов в связи с тактическими вариациями процесса соревновательной борьбы, психическая напряженность текущей соревновательной ситуации, прогнозирование возможности решения поставленной перед соревнованием задачи, уровень эмоционального возбуждения.

В ходе соревнования наиболее критическая ситуация складывается, когда два предыдущих подхода в одном из упражнений были неудачными. Еще больше психологическая составляющая усугубляется, если спортсмен ведет борьбу за место в тройке призеров или за победу в соревновании. В таких случаях уровень эмоционального возбуждения и психического напряжения может возрастать до максимума. Тяжелоатлет оказывается в напряженнейшей ситуации, поскольку неудача в решающем подходе перечеркивает и сводит к нулю все усилия по достижению соревновательных целей. В такие моменты спортсмены должны прибегать к экстренной сверхмобилизации, однако далеко не все атлеты могут справиться с таким психическим напряжением, и это приводит к неудачному выполнению рывка или толчка. Анализ выполнения третьего подхода участников чемпионата показывает, что неудачные попытки в большей степени характерны для менее квалифицированных и менее опытных спортсменов. У женщин пять (из 67) таких спортсменок. Они являются перворазрядниками и кандидатами в мастера спорта. У мужчин – 12 (из 103) спортсменов с аналогичной квалификацией, которые не справились с вышеописанной критической ситуацией. При этом следует отметить, что увеличение веса в третьей попытке не превышало 3–5% от первоначально заявленного веса.

Высококласные атлеты, имеющие большой опыт выступления в соревнованиях, справляются с такими критическими ситуациями благодаря сформированным навыкам психической саморегуляции своего

состояния с помощью экстренной сверхмобилизации.

Выводы

1. Выявлена динамика неудачных подходов при выполнении рывка и толчка у мужчин и женщин. Количество неудачных подходов резко возрастает от первой попытки к третьей.

2. Выделено характерное для тяжелоатлетов состояние предстартовой небрежности, которое является наиболее важной причиной появления неудачных подходов.

3. Определены наиболее значимые факторы, формирующие психическое состояние перед выполнением третьего подхода. Это увеличение социальной ответственности, анализ и оценка результатов двух предыдущих подходов в связи с тактическими вариациями процесса соревновательной борьбы, психическая напряженность текущей соревновательной ситуации, прогнозирование возможности решения поставленной перед соревнованием задачи, уровень эмоционального возбуждения.

Список литературы

1. Малкин В.Р. Управление психологической подготовки в спорте. М.: Физкультура и спорт, 2008. С. 151–159.
2. Шумова Н.С., Байковский Ю.В., Сопов В.Ф., Габазова А.Я., Драгелите В.А., Ковалева А.В., Кабанов Д.Ю. Основные компоненты состояния готовности гребцов к соревнованию // Спортивный психолог. 2017. № 3 (46). С. 15–20.
3. Ильин Е.П. Психология спорта. СПб.: Питер, 2011. С. 85–88.
4. Андрущишин И.Ф. Влияние психического состояния игроков в настольный теннис на результативность игровой деятельности в течение матча // Материалы VII Международной научно-практической конференции психологов физической культуры и спорта «Рудиковские чтения» (6–11 июня 2011 г.). М., 2011. С. 208–212.
5. Савинкина А.О., Байковский Ю.В. Проблема предстартовых состояний в отечественных и зарубежных работах // Спортивный психолог. 2017. № 3 (46). С. 37–42.
6. Барчукова Г.В. Методика регуляции психических состояний игроков в настольный теннис // Материалы V Международной научно-практической конференции психологов физической культуры и спорта «Рудиковские чтения» (2–5 июня 2009 г.). М., 2009. С. 291–295.

УДК 378.14

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА**¹Боровиков И.Г., ¹Вивчарь Р.М., ²Волков Н.А., ¹Пачин А.В.**¹ФГБВОУ ВО «ВКА имени А.Ф. Можайского» МО РФ, Санкт-Петербург,
e-mail: borovikovig@mail.ru, ramzec92@rambler.ru, pachin.andreg@bk.ru;³1-й Государственный испытательный космодром МО РФ, Мирный, e-mail: murmuryanin@yandex.ru

Проведен анализ современных учебно-тренировочных средств, предназначенных для обучения технологического персонала, эксплуатирующего сложные технические системы, который показал, что при разработке и совершенствовании учебно-тренировочных средств недостаточно учитываются накопленные знания о механизмах обучения и способности персонала к освоению учебного материала. Представлены модели деятельности в тренинге, с помощью которых достаточно достоверно можно описать процесс приобретения знаний и навыков во время обучения. Разработана методика использования учебно-тренировочных средств, которая позволит повысить уровень обученности технологического персонала в существующей системе подготовки с использованием учебно-тренировочных средств за счет применения моделей процесса приобретения знаний, которые позволяют формировать план обучения персонала с учетом индивидуальных способностей к освоению теоретических знаний и практических навыков. Применение методики позволит проводить обучение эксплуатирующего персонала с достаточным качеством без изменения системы подготовки. В качестве примера представлен расчет параметров процесса обучения оператора дизель-генераторной установки с использованием разработанной методики. Сделан вывод о необходимости использовать методику при разработке новых и совершенствовании существующих учебно-тренировочных средств обучения технологического персонала, эксплуатирующего сложные технические системы.

Ключевые слова: учебно-тренировочное средство, модель деятельности, методика использования, план обучения, технологический персонал

THE METHOD OF USING TRAINING TOOLS LEARNING TECHNICAL PERSONNEL**¹Borovikov I.G., ¹Vivchar R.M., ²Volkov N.A., ¹Pachin A.V.**¹Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg, e-mail: borovikovig@mail.ru,
ramzec92@rambler.ru, pachin.andreg@bk.ru;²1st State Test Space Ministry of Defense, Mirnyy, e-mail: murmuryanin@yandex.ru

The analysis of modern training tools designed to train technological personnel operating complex technical systems, which showed that the development and improvement of training tools do not take into account the accumulated knowledge about the mechanisms of training and the ability of personnel to master the training material. The models of activity in training are presented, with the help of which it is possible to describe the process of acquiring knowledge and skills during training. The method of use of training tools, which will increase the level of training of technological personnel in the existing training system using training tools through the use of models of the process of acquiring knowledge, which allow to form a plan of training of personnel taking into account individual abilities to develop theoretical knowledge and practical skills. The application of the methodology will allow training of operating personnel with sufficient quality without changing the training system. As an example, the calculation of the parameters of the process of training the operator of a diesel generator set using the developed technique is presented. It is concluded that it is necessary to use the methodology in the development of new and improvement of existing training tools for learning technological personnel operating complex technical systems.

Keywords: method of use, activity model, method of use, training plan, technological personnel

Идея обучения технологического персонала, эксплуатирующего сложные технические системы (СТС) с использованием компьютерных учебно-тренировочных средств (УТС), появилась относительно давно. Не учитывая время, когда для компьютерного тренинга предъявляли иллюстрации с различными состояниями измерительных приборов и регуляторов [1] или использовали натурные копии реальных объектов с добавлением простейших элементов автоматики, имитирующих взаимодействие человека с системой, идея обучения с помощью компьютерных УТС появилась в 1981 г. [2].

До настоящего времени, разрабатывая УТС, производители выполняют аппарат-

но-программную часть, эмуляторы системы управления, модели тренажа и т.д. самостоятельно. Это позволяет охранять интеллектуальную собственность производителей, но совершенно не способствует получению максимально возможного качества указанных отдельных компонентов. В частности, разрабатываемые УТС недостаточно учитывают особенности обучающегося и предметной области тренинга. Однако изучаемая уже более пятидесяти лет проблема обучения персонала, эксплуатирующего СТС [3], позволяет использовать накопленные знания о механизмах деятельности персонала и механизмах его обучения при разработке новых и совершенствовании уже существующих УТС.

Таким образом, в сложившихся обстоятельствах становится весьма актуальной разработка методики использования УТС, позволяющей разрабатываемым и совершенствуемым УТС планировать процесс обучения эксплуатирующего персонала с учетом индивидуальных способностей к освоению теоретических знаний и практических навыков, а также накопленных знаний о механизмах их приобретения. При этом методика должна быть достаточно универсальной и независимой от состава аппаратной части УТС.

Модель деятельности персонала в тренинге

Общепризнанным фактом является то, что в основе деятельности эксплуатирующего персонала лежит механизм распознавания образов [4]. Такое положение согласуется с современными физиологическими [5] и когнитивными [6] представлениями. Более того, сама категория опыта, чрезвычайно значимая в проблематике обучения, трактуется многими исследователя-

ми именно как высокоразвитая способность к распознаванию образов [7].

Разработанная В. Роузом [7] модель принятия решений трактует деятельность персонала при устранении неисправностей, как трехэтапный процесс, состоящий из идентификации неисправности, поиска причин ее возникновения и устранения последствий (табл. 1). При этом процесс идентификации можно трактовать, как процесс распознавания отклонений приведших к наступившему событию, и как анализ информации, которую наблюдает оператор. В наиболее простых случаях, когда известны требования к показателям приборов учета оператор может выступать в роли «независимого наблюдателя», способного определить момент наступления нежелательного события с помощью определения рассогласования между требуемыми и наблюдаемыми значениями. Однако при повышении сложности объекта оператор согласует свою деятельность с применением процедур анализа содержания возникшей ситуации.

Таблица 1

Классификация деятельности эксплуатирующего персонала

Этапы принятия решений	Действия	Тип навыка	Ведущие когнитивные процессы
Идентификация	Контроль	Ориентирование	Сенсорно-перцептивные процессы
	Распознавание отклонений	Распознавание отклонений	
Поиск причин	Генерация и проверка гипотез	Поиск причин неисправности	Когнитивные процессы принятия решений
		Прогнозирование последствий и планирование	
Устранение	Исполнение	Исполнение процедур	Сенсорно-перцептивные процессы
		Ориентирование	

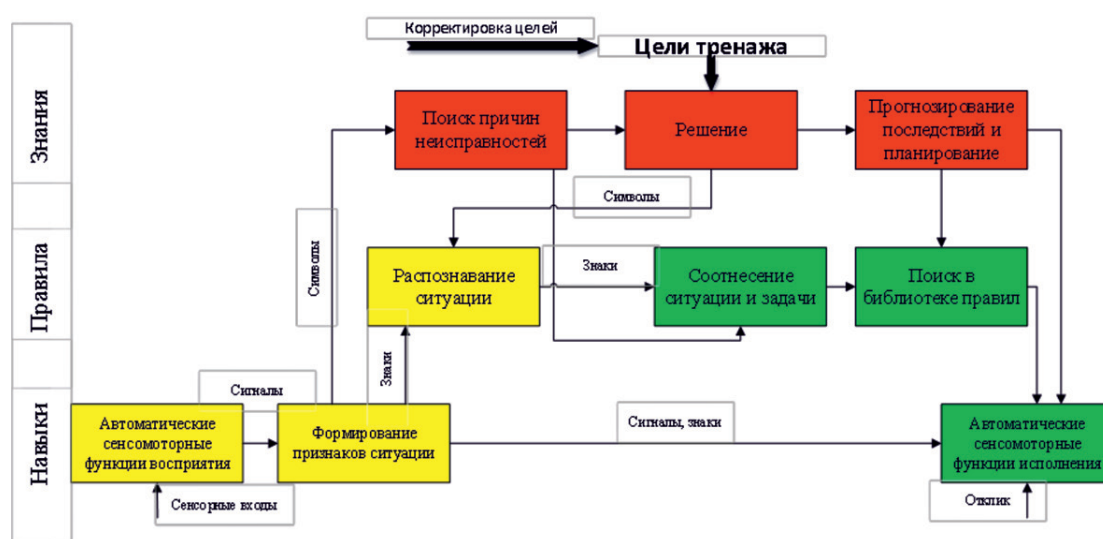


Рис. 1. Деятельность обучаемого в тренинге

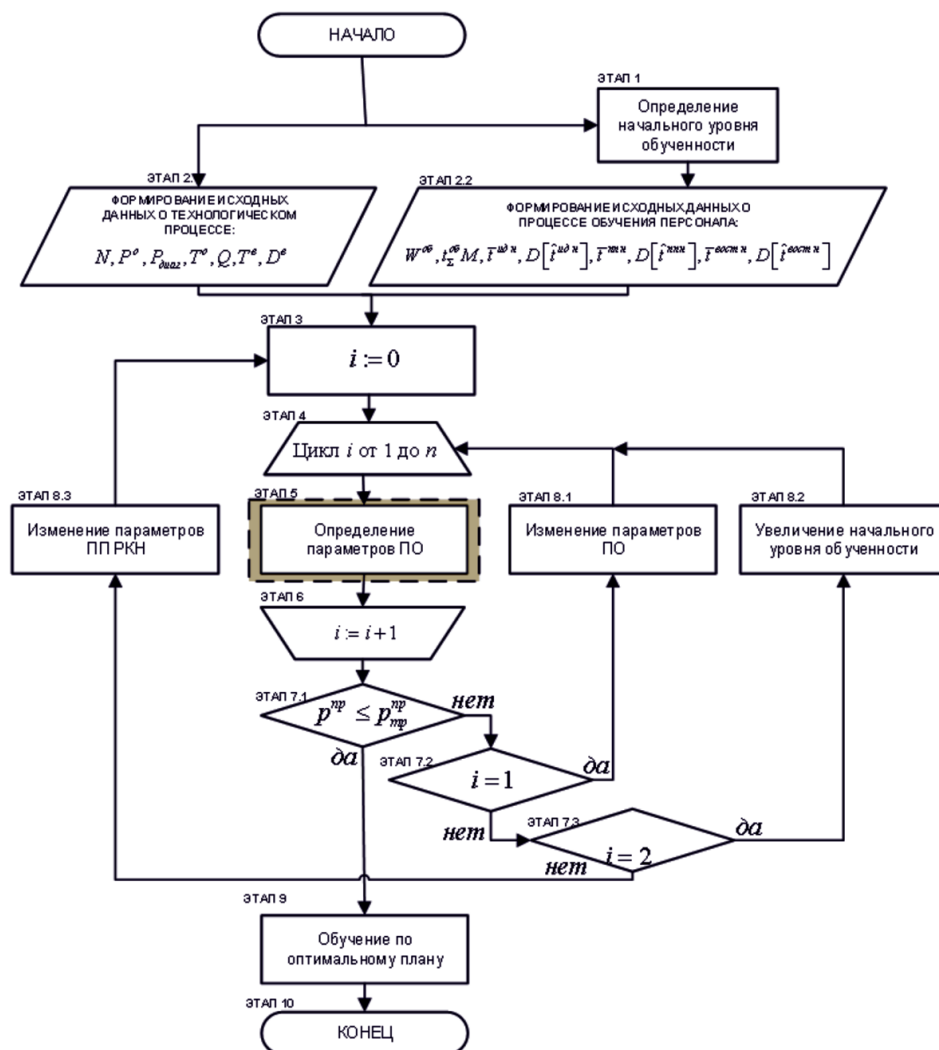


Рис. 2. Методика использования учебно-тренировочных средств

Многоуровневый принцип модели (навыки, правила, знания) представлен на рис. 1.

Первый уровень, на котором определяются правила, можно представить в виде набора инструкций по порядку действий при возникновении известных (типовых) неисправностей, при этом инструкции фиксируются оператором при накоплении опыта в предыдущих тренажах или содержат новую информацию. При рассмотрении этапов деятельности в отдельности наблюдается преобладание прямой связи. Однако при устранении реальных неисправностей цель (восстановление работоспособного состояния оборудования) достигается посредством последовательности единичных действий, что определяет понимание и анализ возникшей неисправности посредством обратной связи на уровне знаний.

Деятельность человека в современной системе управления технологическими процессами (ТП) можно рассмотреть как поэтапный и непрерывный (идентификация, поиск причин, устранение), а также многоуровневый (навыки, правила, знания) процесс принятия решений. Это определяет принципиальные требования к методике использования УТС и обучения персонала с использованием УТС.

Методика использования учебно-тренировочных средств

Учитывая вышесказанное, методика использования УТС, предназначенных для подготовки специалистов, эксплуатирующих СТС, должна включать планирование процесса обучения с учетом деятельности оператора в тренинге, определения качества

составленного плана и непосредственно процесса приобретения знаний и навыков с учетом их начального уровня. Используя разработанные модели процесса обучения (ПО) и процесса выполнения ТП, методику можно представить в виде обобщенной структурно-логической схемы (рис. 2):

1. Определение начального уровня обученности на этапе № 1.

2. Формирование исходных данных о технологическом процессе на этапе № 2.1 и процессе обучения персонала на этапе № 2.2.

3. Зацикливание процесса определения параметров ПО на этапах № 3, 4, 6.

4. Определение параметров ПО на этапе № 5.

5. Сравнение значения целевого показателя полученного в результате моделирования ПО и ТП с заданным значением на этапе № 7.

6. Возврат на этап корректировки данных при несоответствии целевого показателя требованиям на этапе № 8.

7. Процесс обучения по составленному плану на этапе № 9.

В целом предложенная методика позволит формировать план обучения персонала, эксплуатирующего СТС с учетом индивидуальных способностей к освоению теоретических знаний, что позволит выполнить

требования по вероятности своевременного завершения ТП, несмотря на возникающие в процессе неисправности и необходимость их устранения.

Расчет параметров процесса обучения

В описанной выше методике наибольший интерес представляет этап № 5, на котором из набора исходных данных о ТП и ПО с помощью моделирования становится возможным расчет целевого показателя процесса обучения, вероятности завершения ТП за заданное время.

Этап определения параметров ПО включает в себя три основных этапа:

– моделирование процесса обучения на основе исходных данных об уровне обученности персонала $W^{об}$ и начальном уровне практических навыков $I^{об}$ [3] (этапы 1–3);

– моделирование ТП на основе исходных данных о ТП ($\bar{P}^o, \bar{P}^{об}, \bar{N}, \bar{T}^o, \bar{Q}, \bar{T}^b, \bar{D}^b$) и данных о ПО, сформированных в процессе моделирования [1] (этап 4);

– вычисление целевого показателя ПО $p^{вз}$ на основе данных о времени завершения ТП $\bar{t}, D[\bar{t}]$ полученных в результате моделирования ТП [1] (этапы 5–7).

На рис. 3 представлена структурно-логическая схема определения параметров процесса обучения.

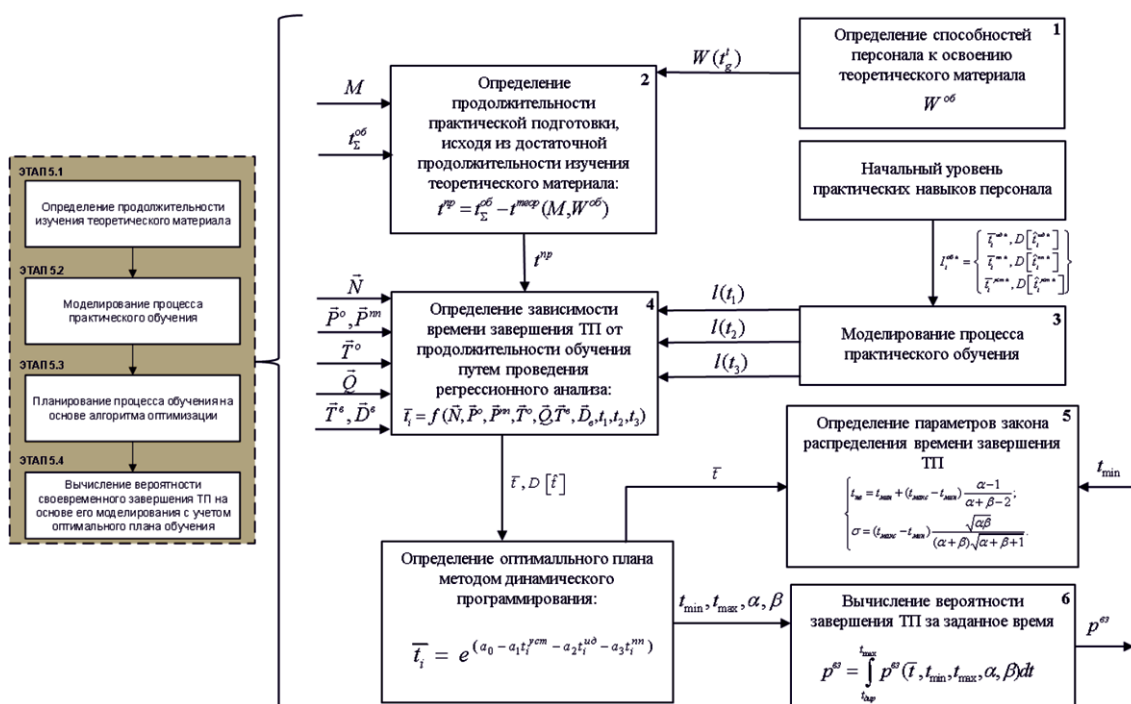


Рис. 3. Структурно-логическая схема определения параметров процесса обучения

Работу методики для наибольшей наглядности представим в виде примера расчета параметров ПО оператора дизель-генераторной установки (ДГУ) электроснабжения удаленного объекта с использованием учебно-тренировочных средств:

1. Определение способностей личного состава к освоению теоретического материала, используя накопленные экспериментальные данные и их запись в виде матрицы переходных вероятностей [3]:

$$W^{\text{об}} = \begin{bmatrix} 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0,6 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,5 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,1 & 0,8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2. На основании перечня занятий подготовки персонала, эксплуатирующего ДГУ, определим достаточную продолжительность изучения теоретического материала и время, отводимое на практический тренаж [3]:

$$N = \begin{bmatrix} 1 & 0,78 & 0,99 & 1,1 & 1 & 1 & 0,8 & 0,37 & 0,85 \\ 0 & 1,11 & 0,86 & 0,95 & 1 & 1 & 0,8 & 0,37 & 0,85 \\ 0 & 0 & 1,29 & 1,43 & 1 & 1 & 0,8 & 0,37 & 0,85 \\ 0 & 0 & 0,29 & 1,43 & 1 & 1 & 0,8 & 0,37 & 0,85 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0,8 & 0,37 & 0,85 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0,8 & 0,37 & 0,85 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0,18 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,25 \end{bmatrix},$$

$$t^{\text{теор}} = \sum_{j=1}^s n_{1j} \cdot \Theta_j = 6,54,$$

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^9 \sqrt{D_{1,i}} \cdot \Theta_i = 1,14,$$

$$t^{\text{тр}} = 11.$$

3. Используя статистические данные о процессе практического обучения операторов и известные модели научения [1], наиболее точно описывающие научение идентификации неисправностей, поиску их причин и устранению, произведем моделирование процесса практического научения (рис. 4).

4. Определение аналитического выражения методом регрессионного анализа за-

висимости математического ожидания времени завершения ТП от времени обучения практическим навыкам [7]:

$$\bar{t} = e^{(1,46 - 0,00265t^{\text{уч}} - 0,0021t^{\text{тр}} - 0,01193t^{\text{м}})}.$$

5. Определение оптимального плана обучения. В рассматриваемом случае оптимальное значение очевидно исходя из вида целевой функции и определяется ограничениями (табл. 2).

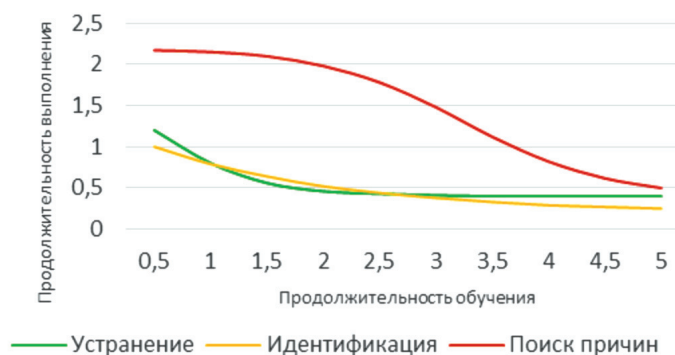


Рис. 4. Закономерности приобретения практических навыков

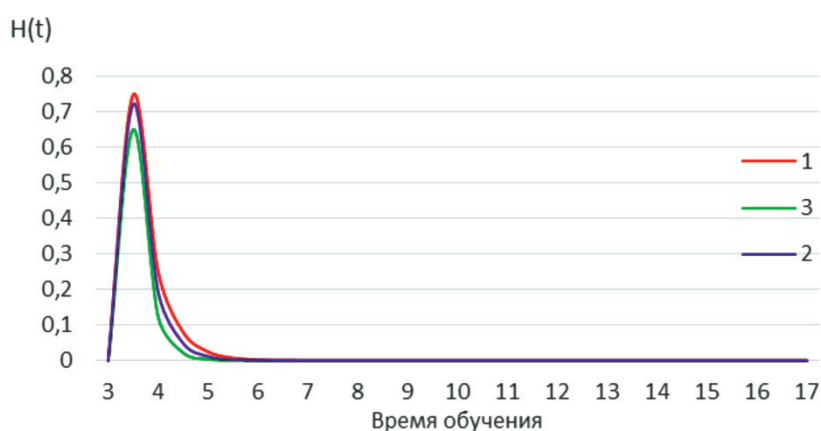


Рис. 5. Плотность распределения вероятностей завершения ТП

Таблица 2
Оптимальный план обучения

$t_{14}^{*ид}$	$t_{14}^{*пп}$	$t_{14}^{*уст}$	$\bar{t}_{14}^*$
3	6	2	3,897

6. Определение параметров закона распределения времени завершения ТП (табл. 3).

Таблица 3
Параметры закона распределения

t_{min}	t_{max}	α	β
3	18	1	20

7. Вычисление вероятностей завершения ТП за заданное время (табл. 4) и их графическое представление (рис. 5).

Произведя сравнение с требуемыми значениями целевого показателя, можно заключить, что для достижения значения $p^{вз} \geq 0,97$ время на процесс обучения необходимо распределить следующим образом (табл. 5).

Таблица 4
Результаты расчета целевого показателя

	$t^{об}$	$t^{об теор}$	$\bar{t}_{14}$	$p^{вз}$
1. Без использования методики	18	9	4,024	0,89
2. С использованием методики	18	7	3,897	0,925
3. С использованием методики	24	7	3,72	0,97

Таблица 5
Результаты работы методики

	$t^{об}$	$t^{об теор}$	$\bar{t}_{14}$	$p^{вз}$
С использованием методики	24	7	3,72	0,97

Выводы

Разработана методика, которая позволит повысить уровень обученности эксплуатирующего персонала в существующей систе-

ме подготовки с использованием учебно-тренировочных средств, а также определить параметры системы подготовки персонала, необходимые для достижения заданного целевого показателя за счет формирования плана обучения персонала с учетом индивидуальных способностей к освоению теоретических знаний и практических навыков. Что, в свою очередь, позволит провести обучение эксплуатирующего персонала с достаточным качеством.

Список литературы

1. Осипова В.А., Даныкина Г.Б. Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 3 (11). С. 106–114.
2. Шукшунов В.Е., Янушкин В.В. Концептуальные основы разработки и создания учебно-тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения // Программные продукты и системы. 2015. № 4 (112). С. 5–15.
3. Боровиков И.Г., Щербина И.С. Моделирование процесса освоения учебного материала личным составом боевого расчета частей запуска космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Вып. 659. / под общ. ред. Ю.В. Кулешова. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018. С. 194–201.
4. Дозорцев В.М. Оператор в компьютеризированной системе управления: к проблеме построения человеко-машинного интерфейса // Приборы и системы управления. 1998. № 3. С. 10–35.
5. Максимов Н.А., Шаронов А.В. Анализ формы изображений и распознавание объектов на основе скелетно-контурного представления // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 207. С. 67–74.
6. Манько Н.Н. Когнитивная визуализация педагогических объектов в современных технологиях обучения // Образование и наука. 2009. № 8. С. 10–30.
7. Rouse W.B. Models of Human Problem Solving: Detection, Diagnosis, and Compensation for System Failures. Automatica. 1983. Vol. 19. No.6. P. 613–625.

УДК 378

КРИТЕРИИ И УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Ильмушкин Г.М., Нечаева Н.Ю.

*Димитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ, Димитровград,
e-mail: gera1946@yandex.ru, nat-bilyucheva@yandex.ru*

Работа посвящена разработке критериально-оценочной характеристики организационно-управленческой компетентности будущих специалистов атомной отрасли. В современных условиях развития атомной промышленности производственный процесс в данной отрасли является высокотехнологичным и наукоемким. В этой связи предъявляются возросшие требования к профессиональной подготовке будущих специалистов атомной промышленности. Тем самым организационно-управленческая компетентность становится одной из основных составляющих их профессиональной подготовки, непременным условием их эффективной адаптации в производственной сфере и качественного выполнения управленческих функций. Для оценки эффективности выявленных педагогических условий формирования организационно-управленческой компетентности студентов в процессе их инженерной подготовки разработан и теоретически обоснован продуктивный критериально-оценочный аппарат исследования, адекватный компетентностному подходу в соответствии с образовательными стандартами. Оценивание рассматриваемой компетентности осуществляется по следующим основным ведущим критериям: когнитивный, мотивационный, проектно-исследовательский, деятельностный и личностный. Определены и обоснованы показатели и уровни сформированности: адаптивный, продуктивный и рефлексивно-творческий. В процессе исследования реализованы системный, компетентностный, междисциплинарный и личностный подходы. Основопологающие результаты исследования могут быть успешно реализованы в любом техническом вузе в процессе формирования управленческих компетенций студентов.

Ключевые слова: компетентность, атомная отрасль, педагогические условия, критерии, формирование

CRITERIA AND LEVELS OF FORMATION OF ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL COMPETENCE OF FUTURE EXPERTS IN THE NUCLEAR INDUSTRY

Ilmushkin G.M., Nechaeva N.Yu.

*Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of National Research Nuclear University MEPhI,
Dimitrovgrad, e-mail: gera1946@yandex.ru, nat-bilyucheva@yandex.ru*

The work is devoted to the development of the criterion-evaluation characteristics of the organizational and managerial competence of future specialists in the nuclear industry. In modern conditions of development of the nuclear industry, the production process in this industry is high-tech and knowledge-intensive. In this regard, increased demands are placed on the professional training of future specialists in the nuclear industry. Thus, organizational and managerial competence becomes one of the main components of their professional training, an indispensable condition for their effective adaptation in the production sphere and high-quality execution of managerial functions. To assess the effectiveness of the identified pedagogical conditions for the formation of the organizational and managerial competence of students in the process of their engineering training, a productive criterion-based appraisal apparatus has been developed and theoretically substantiated, adequate to the competence-based approach in accordance with educational standards. Assessment of the competence in question is carried out according to the following main leading criteria: cognitive, motivational, design research, activity and personal. The indicators and levels of development are determined and justified: adaptive, productive and reflexive-creative. In the process of research, systemic, competence, interdisciplinary and personal approaches have been implemented. The fundamental results of the study can be successfully implemented in any technical university in the process of forming managerial competencies of students.

Keywords: competence, nuclear industry, pedagogical conditions, criteria, formation

Формирование управленческих компетенций выпускников технического направления инженерной подготовки является одной из сложных и масштабных проблем, при этом обладая определенными социально-организационными и педагогическими особенностями. Такие авторы, как Г.П. Корнев, В.А. Слостенин, В.С. Серикова, В.И. Столбов и др., посвятили свои исследования проблеме подготовки управ-

ленческих кадров, рассматривая её с точки зрения профессиональной педагогики. В дальнейшем О.В. Попова [1] изучала формирование управленческих компетенций у студентов вуза в процессе внеучебной деятельности или в своих исследованиях Н.А. Ран и А.Е. Шастина [2, 3] изучали особенности формирования и проблемы моделирования управленческих компетенций у студентов технических специальностей.

И сегодня данная проблема является недостаточно разработанной.

Организационно-управленческая компетентность специалиста атомной отрасли нами понимается как системная психолого-личностная характеристика, включающая следующие основополагающие составляющие: когнитивную, мотивационную, деятельностную, проектно-исследовательскую и личностную, призванные обеспечивать ему эффективное выполнение организационно-управленческих функций в ходе реализации наукоемких производственных технологий [4, с. 194]. В современных условиях развития инновационных технологий приобретает особую актуальность проблема бесперебойного и надежного управления высокотехнологичным производством в атомной промышленности. Прежде всего, для этого требуется сформированность организационно-управленческой компетентности у будущих инженерных кадров в процессе их профессиональной подготовки. В свою очередь, продвижение данной компетентности обеспечивается созданием необходимых педагогических условий, изложенных нами в исследовании [4, с. 195–196]. Данный комплекс педагогических условий представляет собой те условия, обеспечение которых приводит к успешному продвижению её структурных составляющих.

Однако для оценивания эффективности педагогических условий формирования изучаемой компетентности у будущих инженерных кадров атомной промышленности предварительно необходимо разработать адекватную критериально-оценочную характеристику для рассматриваемой компетентности. В этой связи следует определить критерии, уровни и показатели сформированности данного феномена.

Безусловно, в этой ситуации в ходе продвижения данной компетентности у студентов ядерных специальностей делается упор на педагогические условия, этим требованиям в полной мере соответствуют выявленные педагогические условия. Тем самым приобретает особую актуальность проблема разработки критериально-оценочного аппарата для проверки эффективности предложенных педагогических условий в формировании организационно-управленческой компетентности будущих специалистов атомной промышленности.

Цель исследования: разработать эффективный диагностический инструментарий для измерения сформированности обозначенной управленческой компетентности в процессе профессиональной подготовки инженерных кадров для атомной промышленности.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу реализованного исследования составляют следующее: системный, компетентностный, междисциплинарный и личностный подходы, обеспечивающие разработку эффективного критериально-оценочного аппарата исследования по формированию изучаемой компетентности.

Реализован системный подход в раскрытии критериев формирования организационно-управленческой компетентности будущих специалистов атомной отрасли, поскольку совокупность выделенных критериев, по существу, представляет систему со всеми её составляющими и взаимодействиями между ними. В частности, в работах М.К. Бочарова, В.Г. Афанасьева, В.А. Зверева, Ю.В. Васильева, Т.И. Шамовой, С.Я. Батышева, А.П. Беляевой раскрывается содержание понятия «управление» посредством системного образования в управлении. Системный подход является универсальным по своей природе и сущности, посредством которого можно разработать критериально-оценочный аппарат для определения уровня сформированности организационно-управленческой компетентности специалистов атомной отрасли, и является одним из основных общенаучных методологических подходов. Основная цель использования системного подхода состоит в том, чтобы описать структуру объекта исследования (системы).

Современная атомная промышленность нуждается в специалистах с междисциплинарными знаниями на стыке различных сфер наук, генерирующих идеи, способных к инновационной и предпринимательской деятельности, принятию нестандартных решений. Этим обстоятельством вызвано использование междисциплинарного подхода в разработке диагностического инструментария по определению сформированности рассматриваемой компетентности.

Особую актуальность приобретает использование компетентностного подхода в разработке критериального аппарата исследования организационно-управленческой компетентности специалистов атомной отрасли, поскольку идея данного подхода оказывает существенное влияние на содержание профессиональной подготовки, а также на его структуру, формы, методы и технологии обучения.

Личностный подход изучает влияние личностных качеств на продвижение организационно-управленческой компетентности.

Критериально-оценочная характеристика сформированности организационно-управленческой компетентности
будущих специалистов атомной отрасли

Уровни	Критерии				
	Когнитивный	Мотивационный	Деятельностный	Проектно-исследовательский	Личностный
1	2	3	4	5	6
Адаптивный	Обладание теоретическими и прикладными знаниями в предметной области по управленческой деятельности в сфере атомной промышленности, необходимыми в социальной и профессиональной деятельности несут бессистемный характер. Недостаточно ещё сформированы знания о влиянии управленческой компетентности на эффективное развитие наукоемких производств. Слабо выражены знания основных факторов, определяющих эффективность производств, коллективом и т.д. Знания о роли организационно-управленческой деятельности в развитии инновационных наукоемких технологий несут неосознанный характер	Недостаточное ещё представление о мотивационно-познавательных ценностях в ходе занятий по управленческой деятельности. Слабо выражена мотивация к необходимости изучения теоретических и прикладных управленческих знаний. Ценностно-смысловое отношение к формированию основных составляющих организационно-управленческой компетентности в процессе самостоятельной работы проявляется в целом ещё неосознанно. Слабо выражена потребность в овладении методами и способами организации самостоятельной работы по изучению прикладных вопросов по эффективному управлению персоналом на предприятиях атомной отрасли	Недостаточно сформированы навыки выполнения индивидуально подобранных прикладных задач в области управленческой деятельности. Слабо ещё выражены навыки использования инновационных средств и методов решения управленческих задач в условиях работы на предприятиях атомной отрасли. Неустойчивые способности принятия адекватных управленческих решений в нестандартных ситуациях. Недостаточно владеет умениями по организации самостоятельной работы в сфере организационно-управленческой деятельности. Владеет в недостаточной мере системой практических умений и навыков, обеспечивающих успешное управленческое решение в условиях наукоемких технологий в атомной отрасли. Слабо выражены способности добиваться намеченной цели в процессе управленческой деятельности	Недостаточно выражены навыки выполнения работ в области решения управленческих исследований. Реализуются работы лишь на уровне реферативных исследований. Не владеют методологией научных исследований в сфере управленческой деятельности, вследствие этого в целом осознанно её не используют в студенческих исследовательских работах. Не владеют математико-статистическими методами обработки результатов экспериментального исследования. Не обладают необходимыми навыками оформления творческих работ в виде докладов, различных презентаций, рефератов и т.д.	В целом ситуативно проявляются такие личностные качества, как: ответственность, способность добиваться намеченной цели, способность принимать адекватные управленческие решения в критической ситуации; коммуникативность; решительность; настойчивость; способность работать в команде

Продолжение таблицы					
1	2	3	4	5	6
Продуктивные	Систематизированы и осмыслены теоретические и прикладные знания в предметной области по управленческой деятельности в сфере атомной промышленности, необходимые в социальной и профессиональной деятельности. Полностью осознается важность знаний о влиянии управленческой компетентности на эффективное развитие наукоемких производств в атомной отрасли. Сложилась устойчивые знания о ведущих факторах, влияющих на эффективность системы управления производством, в целом коллективом. Сформированы систематизированные и осмысленные знания о роли организационно-управленческой деятельности в развитии инновационных наукоемких технологий в атомной промышленности	Осознанное представление о мотивационно-познавательных ценностях в процессе учебных занятий по управленческой деятельности. Ярко выражена мотивация к необходимым изучениям теоретических и прикладных управленческих знаний. Ценностно-смысловое отношение к формированию основных составляющих организационно-управленческой компетентности в процессе самообразования, в целом осознанно и ярко. Проявляется осознанная потребность в овладении методами и способами организации самостоятельной работы по изучению прикладных вопросов по эффективному управлению персоналом на предприятиях атомной отрасли	Сформированы достаточные навыки выполнения индивидуально подобранных прикладных задач в области управленческой деятельности. На достаточном уровне выражены навыки использования инновационных средств и методов решения управленческих задач в условиях работы на предприятиях атомной отрасли. Сформированы достаточные устойчивые способности принятия адекватных управленческих решений в нестандартных ситуациях. Владеет осознанно необходимыми умениями по организации самостоятельной работы в сфере организационно-управленческой деятельности. Владеет в достаточной степени системно-управленческими умениями и навыками, обеспечивающих успешное управленческое решение в условиях наукоемких технологий в атомной отрасли. Достаточно уверенно выражаются способности добиваться намеченной цели в процессе управленческой деятельности	Сформированы в целом навыки выполнения работ в области решения управленческих исследований. Представляются на достаточно высоком уровне исследовательские работы к опубликованию в журналах, индексируемых в РИНЦ. Владеют в должной мере методологией научных исследований в сфере организационно-управленческой компетентности, тем самым на соответствующем научно-теоретическом и методическом уровне научно проводятся студентами исследовательские студенческие работы. Владеют необходимыми навыками математико-статистической обработки результатов экспериментальных исследований в сфере управленческих научных исследований. Обладают достаточными навыками поиска необходимой научной литературы	Достаточно ярко проявляются такие личностные качества, как: ответственность; способность добиваться намеченной цели; способность принимать управленческие адекватные решения в критической ситуации; коммуникативность; решительность; способность работать в команде

Окончание таблицы					
1	2	3	4	5	6
Рефлексивно-творческий	Сформированы высокие теоретические и прикладные знания в предметной области по управленческой деятельности в сфере атомной промышленности, необходимые в социальной и профессиональной деятельности. Глубинное понимание и осознание особой важности знаний о влиянии организационно-управленческой компетентности на эффективность развития наукоемких производств в атомной отрасли. Сформированы глубинные и полные научные-теоретические и практические знания о ведущих факторах, влияющих на эффективность системы управления производством, в целом коллективом. Придается приоритетная значимость роли организационно-управленческой деятельности в эффективном развитии инновационных наукоемких технологий в атомной промышленности	Рефлексивно-осознанное представление о мотивационно-познавательных ценностях в процессе учебной деятельности по управленческой деятельности. Мотивационно-ценностное отношение к формированию составляющих организационно-управленческой компетентности сопровождается посредством рефлексии и саморегуляции. Высокая потребность в овладении методами и способами организации самостоятельной работы по изучению прикладных вопросов по эффективному управлению персоналом на предприятиях атомной отрасли	Высокий уровень сформированности навыков выполнения индивидуально подобранных прикладных задач в области управленческой деятельности. Обладает высоким уровнем использования инновационных средств и методов в управленческих задачах в условиях работы на предприятиях атомной отрасли. Сформированы ярко выраженные способности принятия адекватных управленческих решений в нестандартных ситуациях. Владеет устойчивыми умениями по организации самостоятельной работы в сфере организационно-управленческой деятельности. Уверенно владеет системой практических умений и навыков, обеспечивающих успешное управленческое решение в условиях наукоемких технологий в атомной отрасли. Ярко проявляются способности добиваться намеченной цели в процессе управленческой деятельности	Сформированы устойчивые навыки выполнения исследовательских работ в области управленческих научных исследований. На высоком уровне осуществляют научные исследования и имеют результаты опубликования их журналов, в частности, ВАКовского издания. Владеют на достаточно высоком уровне методологией научного исследования в области организационно-управленческой компетенции, что позволяет проводить научные исследования на высоком и надежном научно-теоретическом и методологическом уровне. Владеют достаточно сложившимися навыками математико-статистической обработки результатов экспериментального исследования в сфере управленческих научных изысканий. Владеют устойчивыми навыками поисковой работы с научной библиографией, широко используя также электронные ресурсы. Продуктивно используются в научных исследованиях возможности современных информационных компьютерных технологий. Ярко выражены способности по представлению результатов собственных научных исследований на всевозможные научные мероприятия	Сформированы на оценочно-рефлексивном уровне такие личностные качества, как: ответственность; способность добиваться намеченной цели; способность принимать адекватные управленческие решения в критической ситуации; коммуникативность; настойчивость; решительность; способность работать в команде

Результаты исследования и их обсуждение

Итак, для оценки эффективности предложенных педагогических условий формирования организационно-управленческой компетентности студентов в условиях инженерной подготовки для предприятий атомной отрасли необходимо определить адекватную критериально-оценочную характеристику данной компетентности. То есть проявляется насущная необходимость разработки объективного критериально-оценочного аппарата для измерения сформированности составляющих исследуемой компетентности.

Проблема измерения результатов формирования организационно-управленческой компетентности связана с проблемой определения критериев и уровней её сформированности. Безусловно, эти критерии наиболее широко нами раскрываются посредством введенных показателей. По мере проявления этих показателей можно утверждать о степени выраженности того или иного критерия [5, с. 125–126].

Из содержания определения организационно-управленческой компетентности специалиста атомной отрасли следует, что данный феномен следует измерять по следующим критериям: когнитивный, мотивационный, деятельностный, проектно-исследовательский, а также личностный. Для этого использован системный подход, поскольку выделенные критерии, в свою очередь, образуют системное образование.

Далее введём в рассмотрение уровни сформированности для когнитивной составляющей изучаемой компетентности, которая определяется в 100-балльной рейтинговой системе путем использования специальных разработанных заданий. Обозначим через R общее число баллов, набранных студентом в течение текущего контроля, при этом $0 \leq R \leq 100$.

Определены следующим образом уровни сформированности для рассматриваемой составляющей: при $R \leq 60$ – адаптивный (низкий) уровень; при $60 \leq R \leq 80$ – продуктивный (средний) уровень; при $80 \leq R \leq 100$ – рефлексивно-творческий (высокий) уровень.

Изложенные выше положения позволили нам разработать систему критериев, показателей и уровней сформированности рассматриваемой компетентности. В основу выделения уровней положена степень продвижения студента достижений целостного развития выявленных составляющих. Слово «уровень» означает количественное состояние, ступень, достигнутую в развитии чего-либо. Для измерения сформированности

любой компетентности большинство исследователей выделяют три или четыре уровня. В частности, В.Б. Беспалько, М.Б. Лебедева выделяют три (понимание; применение по образцу; творческое применение).

Как правило, эти уровни носят название низкого, среднего и высокого. Для оценки уровня выделяются критерии. Критерий должен быть адекватен тому явлению, измерителем которого он является.

Итак, приведём следующей таблицей критериально-оценочную характеристику по формированию организационно-управленческой компетентности студентов ядерных специальностей – будущих инженерных кадров атомной промышленности.

Далее, возвращаясь к диагностике составляющих данной компетентности, следует отметить, что для измерения ее мотивационной составляющей нами использован модифицированный опросник ценностных ориентаций в карьере Э.Шейна («Якорь карьеры»). Диагностика деятельностной составляющей осуществляется посредством использования метода кейсов, имитационных управленческих игр, компетентностно-ориентированных управленческих заданий, метода «Мозгового штурма». Проектно-исследовательская составляющая определяется путем выполнения творческих заданий управленческого характера (рефераты, представление исследовательских работ на конкурсы, по результатам выполнения студенческих научных исследований, студенческие публикации и т.д.) Сформированность личностных качеств обучающегося, прежде всего, выявляется в процессе их учебной деятельности, в частности путем наблюдения, межличностной коммуникации и т.д.

При этом, периодически проводя диагностику сформированности компонентов, можно обнаружить процесс продвижения данной компетентности. Безусловно, результаты диагностики уточняются другими методами.

Выводы

Разработан критериально-оценочный инструментарий для статистической обработки результатов экспериментального исследования по формированию организационно-управленческой компетентности будущих специалистов атомной отрасли. Данный диагностический аппарат, прежде всего, необходим для отслеживания динамики продвижения студентов на любом этапе их формирования данной компетентности и позволяет своевременно принимать коррекционные управленческие действия

в случае несоответствия достигнутых результатов ожидаемым.

Список литературы

1. Попова О.В. Формирование организационно-управленческих компетенций у студентов вуза в процессе внеучебной деятельности: дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2013. 198 с.
2. Ран Н.А. Модель формирования организационно-управленческой компетентности студентов технического вуза // Вестник СамГУ. 2013. № 32 (103). С. 164–169.
3. Шастина А.Е. Особенности формирования управленческих компетенций инженерно-технических специалистов // Казанская наука. Казань: Казанский Издательский Дом, 2013. № 3. С. 187–192.
4. Ильмушкин Г.М., Нечаева Н.Ю. Педагогические условия формирования организационно-управленческой компетентности будущих специалистов атомной отрасли // Современные наукоёмкие технологии. 2018. № 12. С. 193–198.
5. Исаев И.Ф. Теория и практика формирования профессионально педагогической культуры преподавания в высшей школе. Москва – Белгород: МПГУ, БГПИ, 1993. 219 с.