

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,641
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,504

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

Бобыкина Ирина Александровна (д.п.н., доцент)
Бурмистрова Ольга Николаевна (д.т.н., профессор)
Бутов Александр Юрьевич (д.п.н., профессор)
Германов Геннадий Николаевич (д.п.н., профессор)
Грызлов Владимир Сергеевич (д.т.н., профессор)
Далингер Виктор Алексеевич (д.п.н., профессор)
Жеребило Татьяна Васильевна (д.п.н., профессор)
Калмыков Игорь Анатольевич (д.т.н., профессор)
Клемантович Ирина Павловна (д.п.н., профессор)
Козлов Олег Александрович (д.п.н., к.т.н., профессор)
Кохичко Андрей Николаевич (д.п.н., профессор)
Куликовская Ирина Эдуардовна (д.п.н., профессор)
Ломазов Вадим Александрович (д.ф.-м.н., доцент)
Леонтьев Лев Борисович (д.т.н., профессор)
Марков Константин Константинович (д.п.н., профессор)
Мишин Владимир Михайлович (д.т.н., к.ф.-м.н., профессор)
Моисева Людмила Владимировна (д.п.н., к.б.н., профессор)
Мурашкина Татьяна Ивановна (д.т.н., профессор)
Никонов Эдуард Германович (д.ф.-м.н., профессор)
Осипов Юрий Романович (д.т.н., профессор)
Пшеничкина Валерия Александровна (д.т.н., профессор)
Рогачев Алексей Фруминович (д.т.н., профессор)
Скрыпник Олег Николаевич (д.т.н., профессор)
Снежко Вера Леонидовна (д.т.н., профессор)
Хода Людмила Дмитриевна (д.п.н., доцент)
Яблокова Марина Александровна (д.т.н., профессор)

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 = 0,641.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,504.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Подписано в печать – 28.03.2018
Дата выхода номера – 28.04.2018

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

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

Способ печати – оперативный
Распространение по свободной цене
Усл. печ. л. 17,25
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2018/3
Подписной индекс 70062

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ <i>Ахмедова О.О., Бахтиаров К.Н.</i>	7
К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ФЕРРОТЕЛ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНОАКТИВАТОРАХ С ИЗМЕЛЬЧАЕМЫМ ПРОДУКТОМ <i>Беззубцева М.М., Волков В.С.</i>	14
ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЗАПАСА В СИСТЕМАХ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>Бром А.Е., Сидельников И.Д.</i>	19
СИНТЕЗ СФЕРИЧЕСКИХ ГРАНУЛ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА УЗКОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ <i>Вознесенская А.А., Иващенко А.В., Жданов А.В., Кочуев Д.А., Хорьков К.С.</i>	25
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАУСДОРФОВА РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ВЫПУКЛЫХ (ИЛИ НЕВЫПУКЛЫХ) МНОГОУГОЛЬНИКОВ <i>Данилов Д.И.</i>	30
МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>Денисова Е.В., Мигранов А.Б., Черникова М.А.</i>	35
МЕТОДИКА БАЛАНСИРОВКИ ДЕБАЛАНСОВ ВИБРАТОРА НА ВИБРОПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ <i>Джашаев А.-М.С., Кидакоев А.М., Акбаева Ф.А., Джашаев К.А.-М.</i>	41
ВЫВОД СЛЕДСТВИЙ В ИСЧИСЛЕНИИ ПРЕДИКАТОВ С ПОСТРОЕНИЕМ СХЕМЫ ВЫВОДА <i>Долженкова М.Л., Страбыкин Д.А., Чистяков Г.А., Мельцов В.Ю.</i>	47
МЕТОД И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КОРПОРАТИВНОМ ОБУЧЕНИИ <i>Дроздова А.А.</i>	55
РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ С ДОКАЗАТЕЛЬСТВОМ НУЛЕВОГО РАЗГЛАШЕНИЯ ЗНАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯРНЫХ КОДОВ <i>Калмыков М.И., Бабенко Л.К., Калмыков И.А., Ефременков И.Д.</i>	61
ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ПЕРЕДАЧ ИЗ-ЗА ОТКАЗОВ, ВЫЗВАННЫХ ИЗНОСОМ, КОНТАКТНОЙ И ИЗГИБНОЙ УСТАЛОСТЬЮ <i>Краснов Ю.В., Никандров И.С., Горшков А.С.</i>	67
ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ БУРЫХ УГЛЕЙ ПУТЕМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ИНИЦИИРУЮЩИХ ДОБАВОК $Ce(NO_3)_3$ И $Cu(NO_3)_2$ <i>Ларионов К.Б., Громов А.А.</i>	73
ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ФОРМООБРАЗУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ <i>Митасов В.М., Чхум А.</i>	79

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОГО СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА В МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ	
<i>Певнева А.Г., Ананченко И.В.</i>	85
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МАШИН	
<i>Рыжиков В.А., Туркеничева О.А., Приходько В.М.</i>	90
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ НА ОДНОПЕТЛЕВОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ	
<i>Сатаев А.А., Дунцев А.В., Воробьев Д.А., Красавин Н.А.</i>	96
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЕКТОРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТЕНТНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ФИЛЬМОВ	
<i>Федоренко В.И., Киреев В.С.</i>	102
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
<i>Хорольский В.Я., Аникуев С.В., Федосеева Т.С., Шемякин В.Н., Шарипов И.К.</i>	107
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВТОРИЧНОГО ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ АРБОЛИТА	
<i>Шевченко В.А., Лебедева Т.Г., Киселев В.П., Чупрова Н.А., Иванова Л.А., Терехова И.И.</i>	112
Педагогические науки (13.00.00)	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГРАММЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФИЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНЫХ УСЛУГ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ	
<i>Агеева Г.Ф., Сафиуллина А.А.</i>	117
ТЕЗАУРУСНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЛЕКСИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА	
<i>Заровняева С.С.</i>	123
ОСОБЕННОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ШКОЛ С НИЗКИМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБУЧЕНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОПАРКОВ	
<i>Ильясов Д.Ф., Кестиков В.Н., Солодкова М.И., Данельченко Т.А.</i>	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХОМОТОРНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ДЕТЕЙ СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ	
<i>Тугулева Г.В., Ильина Г.В.</i>	134

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

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF FUNCTIONING OF THE MANAGING DIRECTOR OF SYSTEM OF HIGH-SPEED RELAY PROTECTION OF THE AIR-LINE OF THE ELECTRICITY TRANSMISSION <i>Akhmedova O.O., Bakhtiarov K.N.</i>	7
FOR THE STUDY OF CONTACT INTERACTION OF METALLIC ELEMENTS IN ELECTROMAGNETIC MECHANOACTIVATION WITH A COMMINUTED PRODUCT <i>Bezzubtseva M.M., Volkov V.S.</i>	14
OPTIMIZATION OF MULTINOMENCLATURE STOCK IN THE SYSTEMS OF MATERIAL AND TECHNICAL SUPPORT OF CIVIL ENGINEERING MACHINERY <i>Brom A.E., Sidelnikov I.D.</i>	19
SYNTHESIS OF SPHERICAL GRANULES OF COMPOSITE POWDER MATERIAL OF NARROW GRANULOMETRIC COMPOSITION FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES <i>Vosnesenskaya A.A., Ivaschenko A.V., Zhdanov A.V., Kochuev D.A., Khorkov K.S.</i>	25
EVALUATING THE LOW-LEVEL OPTIMIZATION EFFICIENCY OF CALCULATION THE HAUSDORFF DISTANCE OF THE CONVEX (OR NOT CONVEX) POLYGONS <i>Danilov D.I.</i>	30
A MATRIX APPROACH TO THE MODELING OF A GAS TURBINE ENGINE WITH THE USE OF NEURAL NETWORKS <i>Denisova E.V., Migranov A.B., Chernikova M.A.</i>	35
TECHNIQUE OF BALANCING OF DEBALANS OF THE VIBRATOR ON THE VIBROPRESS EQUIPMENT <i>Dzhasheev A.-M.S., Kidakoev A.M., Akbaeva F.A., Dzhasheev K.A.-M.</i>	41
SEQUENCES INFERENCE WITH SCHEME CONSTRUCT IN PREDICATE CALCULUS <i>Dolzhenkova M.L., Strabykin D.A., Chistyakov G.A., Meltsov V.Yu.</i>	47
METHOD AND ALGORITHMS OF MANAGEMENT AND SUPPORT OF DECISION-MAKING IN CORPORATE TRAINING <i>Drozdova A.A.</i>	55
THE IMPLEMENTATION OF AUTHENTICATION PROTOCOLS WITH ZERO-KNOWLEDGE PROOF OF KNOWLEDGE USING MODULAR CODES <i>Kalmykov M.I., Babenko L.K., Kalmykov I.A., Efremenkov I.D.</i>	61
ASSESSMENT OF PROBABILITY OF NON-FAILURE OPERATION OF TRANSFERS BECAUSE OF THE REFUSALS CAUSED BY WEAR, CONTACT AND FLEXURAL WEARINESS <i>Krasnov Yu.V., Nikandrov I.S., Gorshkov A.S.</i>	67
CHANGE OF LIGNITE REACTIVITY BY INTEGRATION OF $Ce(NO_3)_3$ AND $Cu(NO_3)_2$ INITIATION ADDITIVES <i>Larionov K.B., Gromov A.A.</i>	73
DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH FORMING ELEMENTS UNDER LONG-TERM LOADING <i>Mitasov V.M., Chkhum A.</i>	79

FEATURES OF APPLICATION OF METHODS OF GLOBAL RANDOM SEARCH IN SIMULATION SYSTEMS <i>Pevneva A.G., Ananchenko I.V.</i>	85
OSCILLATORY PROCESSES IN MECHANICAL SYSTEMS OF MACHINES <i>Ryzhikova V.A., Turkenicheva O.A., Prikhodko V.M.</i>	90
INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF MIXING NON-ISOTHERMAL FLOWS AT ONE-LOOP MODEL OF THE REACTOR PLANT <i>Sataev A.A., Duntsev A.V., Vorobev D.A., Krasavin N.A.</i>	96
TEXT EMBEDDINGS FOR CONTENT-BASED RECOMMENDATIONS <i>Fedorenko V.I., Kireev V.S.</i>	102
SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATION OF ACTIVITIES OF OFFICIALS OF POWER GRID ENTERPRISES <i>Khorolskiy V.Ya., Anikuev S.V., Fedoseeva T.S., Shemyakin V.N., Sharipov I.K.</i>	107
INVESTIGATION OF SECONDARY WOOD FILLER FOR WOOD-WOOL SLAB <i>Shevchenko V.A., Lebedeva T.G., Kiselev V.P., Chuprova N.A., Ivanova L.A., Terekhova I.I.</i>	112
Pedagogical sciences (13.00.00)	
EFFICIENCY OF THE PROGRAM FOR IMPROVING THE QUALITY OF ADDITIONAL HEALTH-RELATED AND SPORTS SERVICES OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS <i>Ageeva G.F., Safiullina A.A.</i>	117
THESAURUS APPROACH TO LEXICAL COMPETENCE FORMATION OF STUDENTS OF TECHNICAL INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION <i>Zarovnyaeva S.S.</i>	123
INVOLVEMENT FEATURES OF SCHOOLS WITH LOW LEARNING OUTCOMES IN ACTIVITY OF EDUCATIONAL TECHNOLOGICAL CLUSTER <i>Ilyasov D.F., Kespikov V.N., Solodkova M.I., Danelchenko T.A.</i>	128
THE RESEARCH OF MENTAL AND PHYSICAL DEVELOPMENT OF PRESCHOOL CHILDREN WITH INTELLECTUAL INSUFFICIENCY <i>Tuguleva G.V., Ilina G.V.</i>	134

УДК 621.316.925

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ахмедова О.О., Бахтиаров К.Н.

Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета (опорный университет), Камышин, e-mail: Ahmedova-olga@mail.ru

Анализ причин большинства крупных аварий, происходящих в энергосистемах во всем мире, показывает, что причиной является неверное функционирование устройств релейной защиты, особенно опасным является каскадное отключение в процессе прогрессирующей аварии. Таким образом, надежность энергосистемы напрямую зависит от правильной и надежной работы устройств релейной защиты. Современный подход к развитию микропроцессорных устройств релейной защиты и противоаварийной автоматике позволил создать единый информационный комплекс, который не только реагирует на аварийные и ненормальные режимы работы энергосистемы, но и способен производить измерения параметров сети, регулировку и управление оборудованием, это еще один шаг к внедрению «цифровой подстанции». Цифровые терминалы обладают целым рядом преимуществ, по сравнению с ранее применяемыми электромеханическими реле, поэтому они так активно занимают освободившуюся нишу. Но, несмотря на все их достоинства, не произошло изменение алгоритмов функционирования защит на цифровой базе в сравнении с электромеханическим исполнением, хотя для увеличения надежности, при существующих возможностях микропроцессорных терминалов релейной защиты, возможно применение иных алгоритмов селекции токов короткого замыкания с последующим формированием управляющего воздействия.

Ключевые слова: релейная защита, алгоритм, воздушная линия электропередачи, коэффициент чувствительности

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF FUNCTIONING OF THE MANAGING DIRECTOR OF SYSTEM OF HIGH-SPEED RELAY PROTECTION OF THE AIR-LINE OF THE ELECTRICITY TRANSMISSION

Akhmedova O.O., Bakhtiarov K.N.

Kamyshin Institute of Technology (branch) of the Volgograd State Technical University (basic university), Kamyshin, e-mail: Ahmedova-olga@mail.ru

The analysis of the reasons of the majority of the major accidents happening in power supply systems around the world shows that incorrect functioning of devices of relay protection is the reason, the cascade switch-off in the course of the progressing accident is especially dangerous. Thus, reliability of a power supply system directly depends on the correct and reliable operation of devices of relay protection. The modern approach to development of microprocessor devices of relay protection and antiabnormal automatic equipment allowed to create a uniform information complex which not only reacts to emergency and not standard duties of operation of a power supply system, but also is capable to perform measurements of parameters of a network, regulation and control of the equipment, it is one more step to implementation of «digital substation». Digital terminals have a number of advantages, in comparison with earlier used electromechanical relays therefore they so actively occupy the freed niche. But, without looking, on all their advantages there was no change of algorithms of functioning of protection on a digital basis in comparison with electromechanical execution though for increase in reliability, in case of the existing opportunities of microprocessor terminals of relay protection, application of other algorithms of selection of short-circuit currents with the subsequent formation of the controlling influence is possible.

Keywords: relay protection, algorithm, electricity transmission air-line, sensitivity coefficient

Ввиду целого ряда преимуществ микропроцессорных терминалов перед электромеханическими реле, большое количество зарубежных и отечественных фирм-изготовителей переходят на цифровую базу. Хотя переход осуществляется без внедрения каких-либо новых алгоритмов функционирования, все цифровые устройства релейной защиты функционируют аналогично электромеханическим прототипам, но обладают гораздо большими функциональными возможностями, что упрощает их эксплуатацию. Именно по этим причинам микропроцессорные устройства

очень быстро занимают место устаревших электромеханических и микроэлектронных устройств [1].

Многие производители микропроцессорных устройств релейной защиты (АО «Шнайдер Электрик», ОАО «Нипом», ЗАО «Радиус Автоматика» и др.) используют практически такие же алгоритмы функционирования, как и в электромеханических реле. Приоритетным направлением развития устройств РЗ, в рамках перехода к «Цифровым подстанциям», является создание системы автоматизированного выбора уставок и функций релейной защиты и автоматики.

Различные производители данных устройств лишь предлагают два варианта уставок, которые необходимо изменять вручную с непосредственным выездом оперативного персонала в место установки защит, т.е. в данных устройствах нет возможности адаптировать ток срабатывания защиты под изменяющиеся параметры окружающей среды, которые оказывают значительное влияние на параметры воздушной линии электропередачи. В результате уставка, выставленная на устройствах микропроцессорных реле, не всегда является корректной и может привести к отказу действия релейной защиты либо к ложному срабатыванию. Следовательно, необходимо разработать систему релейной защиты с адаптивной уставкой срабатывания, зависящей от изменения внешних условий окружающей среды и нагрузочного тока, в распределительных воздушных линиях электропередачи.

Произведем анализ изменения тока срабатывания защиты, учитывая изменение активного и реактивного сопротивления ВЛ, связанного с изменением температуры, влажности воздуха, скорости ветра и влажности грунта под воздушной линией электропередачи.

Анализ показывает, что влияние изменения температуры провода даёт изменение тока срабатывания токовой отсечки в пределах 2,5%. При расчете тока трехфазного короткого замыкания по традиционной методике погрешность составляет около 6%. Вероятность возникновения коротких замыканий в электрических сетях

110 кВ по различным видам повреждений распределяется следующим образом, на долю трехфазных КЗ приходится 4% повреждений, двухфазных на землю – 8%, двухфазных – 5%, однофазных – 83%. Определение тока уставки релейной защиты по максимальному току трехфазного короткого замыкания может приводить к некорректным действиям устройств релейной защиты. Следовательно, при проведении расчета с использованием тока трехфазного короткого замыкания процент погрешности в определении уставки по току будет выглядеть следующим образом: при двухфазном коротком замыкании составит – 22%, при однофазном – 9%, при двухфазном на землю – 7%, расчёты производились при сопротивлении грунта 20 Ом·м для ВЛЭП представленной на рис. 1 (рис. 2, 3).

Изменения сопротивления грунта влияют лишь на те виды повреждений, при которых появляется ток нулевой последовательности, поэтому к рассмотрению приняты однофазное короткое и двухфазное короткое замыкание на землю. Учёт двух факторов влияния (колебаний температуры провода и сопротивления грунта) приводит к погрешности расчёта при определении тока срабатывания при однофазном КЗ до 17%, а при двухфазном на землю – 7%.

На основании анализа факторов, влияющих на продольные и поперечные параметры воздушных линий электропередачи, предлагается алгоритм функционирования токовой отсечки с использованием адаптивной уставкой.

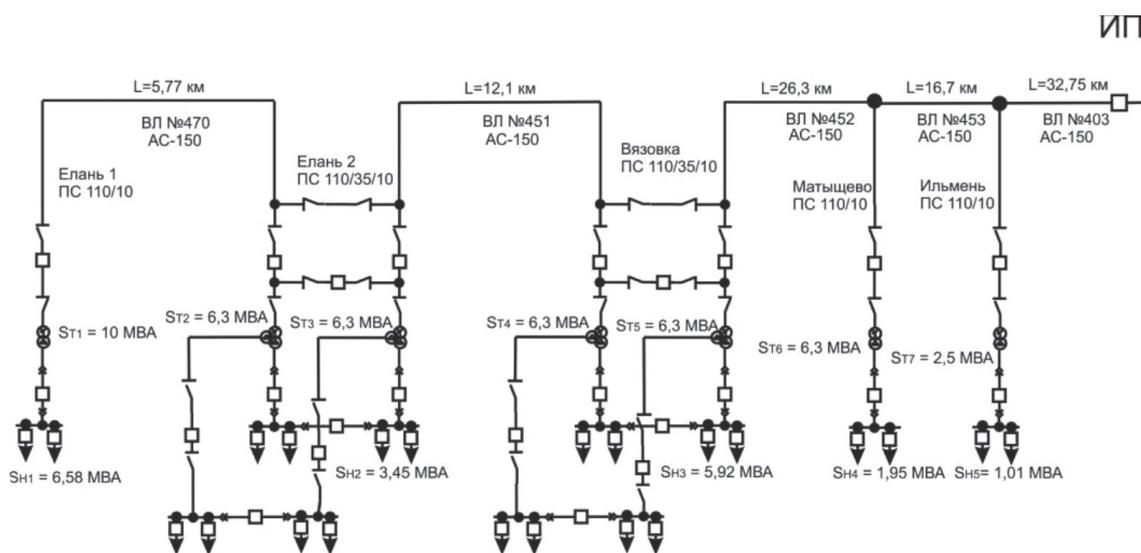


Рис. 1. Радиальная линия электропередачи

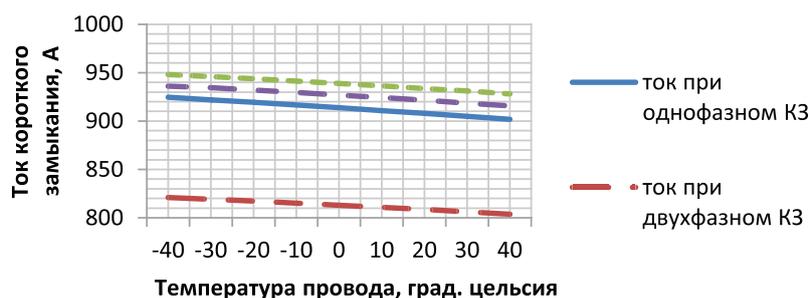


Рис. 2. Зависимость изменения тока короткого замыкания при различных видах повреждений от температуры провода ВЛ

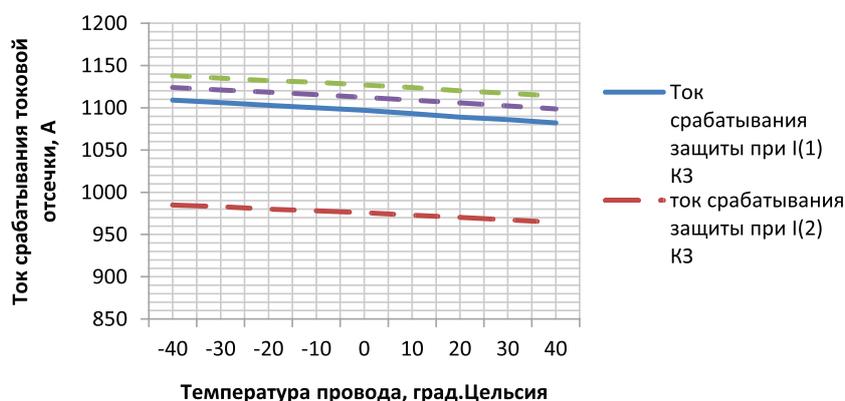


Рис. 3. Зависимость изменения тока срабатывания токовой отсечки при различных видах коротких замыканий от температуры провода ВЛ

Порядок расчета по предлагаемому алгоритму определения уставок основных быстродействующих защит (на примере токовой отсечки).

1. Определить параметры силовых трансформаторов прямой, обратной и нулевой последовательностей.

2. На защищаемой ВЛ устанавливаются датчики, фиксирующие данные о температуре окружающей среды, влажности воздуха, скорости ветра и влажности грунта под воздушной линией электропередачи, параметры замеров по каналам связи передаются в систему релейной защиты для дальнейшего анализа.

3. На основании полученных данных и рассчитываются действительные продольные и поперечные параметры воздушной линии электропередачи прямой, обратной и нулевой последовательностей.

4. На основании данных о ВЛ сети производится преобразование схем замещения и определение эквивалентных активных, реактивных сопротивлений и эквивалентных ЭДС.

5. Методом симметричных составляющих производится расчёт токов короткого

замыкания согласно традиционной методике [2, 3].

6. Производится расчет уставок быстродействующей релейной защиты на основании токов короткого замыкания, возникающих при различных видах повреждений.

7. Непрерывное снятие данных с трансформаторов тока, установленных на ВЛ ($ТТ_A$, $ТТ_B$, $ТТ_C$), а также с трансформаторов тока, соединенных в фильтр нулевой последовательности ($ТТ_{A0}$, $ТТ_{B0}$, $ТТ_{C0}$). Показания силы тока от $ТТ_{A0}$, $ТТ_{B0}$, $ТТ_{C0}$ сравниваются между собой:

а) в нормальном рабочем режиме никакого управляющего воздействия не формируется;

б) при повреждении на контролируемой ВЛ и, как следствие, увеличении тока во вторичной обмотке трансформатора тока поврежденной фазы производится сравнение значений вторичных токов $ТТ$ для выбора максимального из них, которое запоминается системой РЗ и с данным значением производится сравнение тока уставки (рассчитанного в п. 6) при соответствующем виде повреждения.

На первом этапе создается математическая модель контролируемой сети электроснабжения в среде Mathcad, где производится ее тестирование, далее формулы для определения параметров источника питания, силовых трансформаторов и воздушных линий передачи переводятся на язык программирования, также прописываются формулы схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей с учетом трансформаторных связей. В формулы для определения продольных и поперечных параметров линии вводятся переменные, значение которым присваивается равное параметрам полученных от датчиков установленных на ВЛ, с частотой обновления в 10 мин. Так же в качестве переменных выступают значения токов, полученных от трех трансформаторов тока установленных на фазах T_A , T_B , T_C и трех трансформаторов тока, подключенных в фильтр нулевой последовательности T_{A0} , T_{B0} , T_{C0} , так как их вторичные токи являются известной величиной, то они могут служить источником информации о произошедшем повреждении, данные обновляются непрерывно. Кроме тока для быстрого сравнения тока уставки с током повреждения контролируемого трансформаторами тока непрерывно производится

сравнение вторичных токов ТТ T_A , T_B , T_C с целью выявления максимального значения I_p и запоминания его программой для дальнейшего вызова при фиксации короткого замыкания.

На втором этапе производится расчет токов короткого замыкания для однофазного, двухфазного, трехфазного и двухфазного короткого замыкания на землю, которые также пересчитываются каждые 10 мин, изменяясь от параметров окружающей среды, информация о которой отслеживается датчиками температуры, влажности воздуха, скорости ветра и влажности грунта. На основании рассчитанных токов короткого замыкания определяются токи срабатывания защиты при различных видах повреждений.

Далее производится селекция вида повреждения в зависимости, от каких из трансформаторов тока пришел сигнал об увеличении вторичного тока согласно логическим уравнениям, присвоенным каждому виду короткого замыкания и вызывается для сравнения с током повреждения I_p соответствующая уставка тока срабатывания защиты.

Если поведение защиты представить в виде логической функции T , то условие срабатывания при однофазном коротком замыкании можно записать в виде

$$T = \left[\begin{aligned} & \left((I_{TA} \text{ AND } (I_{TA0} \text{ OR } I_{TB0} \text{ OR } I_{TC0}) > 5A) \text{ OR } (I_{TB} \text{ AND } (I_{TA0} \text{ OR } I_{TB0} \text{ OR } I_{TC0}) > 5A) \text{ OR } \right. \\ & \left. (I_{TC} \text{ AND } (I_{TA0} \text{ OR } I_{TB0} \text{ OR } I_{TC0}) > 5A) = 1 \right) \end{aligned} \right]$$

двухфазном коротком замыкании –

$$T = \left[(I_{TA} \text{ AND } I_{TB} > 5A) \text{ OR } (I_{TB} \text{ AND } I_{TC} > 5A) \text{ OR } (I_{TA} \text{ AND } I_{TC} > 5A) = 1 \right]$$

двухфазном коротком замыкании на землю –

$$T = \left[\begin{aligned} & \left((I_{TA} \text{ AND } I_{TB}) \text{ AND } (I_{TA0} \text{ OR } I_{TB0} \text{ OR } I_{TC0}) > 5A \right) \text{ OR } \left((I_{TB} \text{ AND } I_{TC}) \text{ AND } \right. \\ & \left. (I_{TA0} \text{ OR } I_{TB0} \text{ OR } I_{TC0}) > 5A \right) \text{ OR } \\ & \left((I_{TA} \text{ AND } I_{TC}) \text{ AND } (I_{TA0} \text{ OR } I_{TB0} \text{ OR } I_{TC0}) > 5A \right) = 1 \end{aligned} \right]$$

трехфазном коротком замыкании –

$$T = \left[(I_{TA} \text{ AND } I_{TB} \text{ AND } I_{TC} > 5A) = 1 \right].$$

При получении на выходе логической функции $T = 1$ производится проверка условия $I_p > I_{сз}$, при выполнении неравенства подается выходной сигнал на отключение выключателя, если же неравенство является неверным, то запускается программой цикл и сигнал опять поступает на блок опроса трансформаторов тока [4, 5].

Чувствительность первой ступени определяется графически. Рассмотрим изменения длины «мертвой зоны» при различных видах токов короткого замыкания и сопротивлении грунта под ВЛЭП, представленной на рис. 1 (рис. 5, 6).

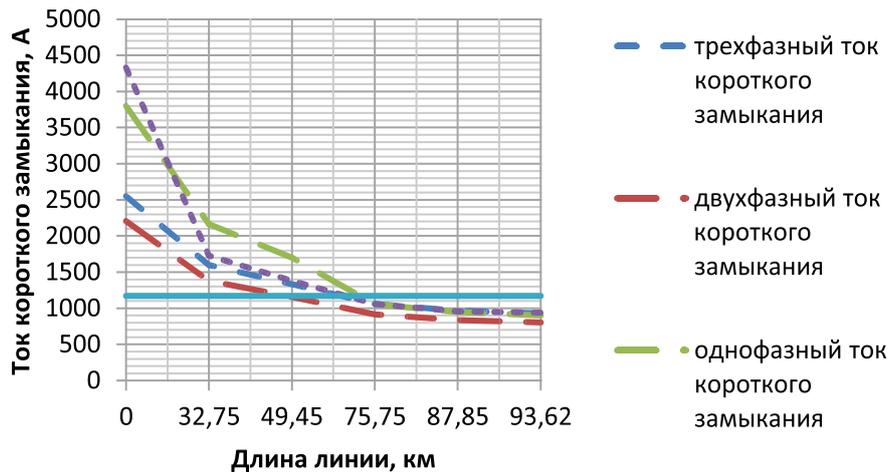


Рис. 5. Изменение величины «мертвой зоны» при сопротивлении грунта 20 Ом·м, уставка рассчитана по традиционной методике ВЛ

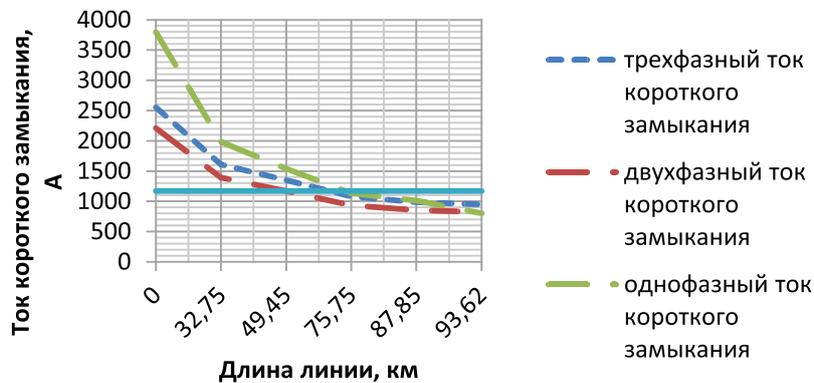


Рис. 6. Изменение величины «мертвой зоны» при сопротивлении грунта 1000 Ом·м, уставка рассчитана по традиционной методике ВЛ

Величина «мертвой зоны» ТО при различных сопротивлениях грунта

№ п/п	Вид повреждения	Длина «мертвой зоны», %	
		$\rho = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ $t_{\text{пр}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ $t_{\text{пр}} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$
1	Трехфазное короткое замыкание	33,1	26,11
2	Двухфазное короткое замыкание	47,18	40,15
3	Однофазное короткое замыкание	26,11	19,08
4	Двухфазное короткое замыкание на землю	33,1	30,4

Анализ зависимостей, представленных на рис. 5 и 6, показывает, что в зависимости от сопротивления земли под воздушной линией электропередачи зона «не срабатывания» релейной защиты изменяется. «Мертвая зона» при трехфазном коротком замыкании при сопротивлении грунта 20 Ом·м составит 33,1%, а при сопротивле-

нии 1000 Ом·м – 12,6%, остальные данные сводятся в таблицу.

Игнорирование при расчёте уставок релейной защиты сезонное изменение сопротивления грунта или же его изменение на протяжении линии электропередачи может привести к существенным погрешностям, особенно если принять во внима-

ние, что расчеты по традиционной методике ведутся для $I_{сз}^{(3)}$.

Алгоритм функционирования основной защиты позволяет устранить возможность ошибок, связанных с человеческим фактором, так как система производит автоматический расчет уставки тока срабатывания, опрашивая, подключены ли датчики к линии электропередачи, и анализируя величину вторичного тока трансформаторов тока. Как упоминалось выше, для защиты от междуфазных замыканий в качестве быстродействующей применяются токовую отсечку, короткие замыкания на землю контролируются «земляной защитой», реагирующей на появление тока нулевой последовательности.

Выводы

1. Разработан многопараметрический алгоритм функционирования релейной защиты с адаптивной уставкой, основанный на вычислении токов короткого замыкания на основе данных получаемых непосред-

ственно от датчиков, установленных на ВЛ, и от трансформаторов тока.

2. Установлено влияние изменения сопротивления грунта на длину «мертвой зоны», следовательно, придерживаясь традиционной методики расчета, не представляется возможным достоверно оценить коэффициент чувствительности защиты без учета внешних факторов.

Список литературы

1. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 336 с.
2. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ, М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2010. – 283 с.
3. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пираторов; под ред. И.П. Крючкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008 – 416 с.
4. Нагай В.И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 2012. – 334 с.
5. Небрат И.Л. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты: учеб. пособие. Часть первая. – СПб.: ПЭИПК, 2008. – 51 с.

УДК 621.31:631.371

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ФЕРРОТЕЛ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНОАКТИВАТОРАХ С ИЗМЕЛЬЧАЕМЫМ ПРОДУКТОМ

Беззубцева М.М., Волков В.С.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: mysnegana@mail.ru*

В статье представлены результаты исследований физико-механических процессов в магнитоожигенном слое сферических ферротел (размольных элементов) электромагнитных механоактиваторов. Показано, что продукт, находящийся в рабочем объеме аппарата в смеси с феррошарами магнитоожигенного слоя, испытывает со стороны рабочих органов энергонапряженные многоточечные воздействия ударно-истирающего характера. Возможность тонкого и надежного управления параметрами магнитоожигенного слоя в электромагнитных механоактиваторах позволяет создавать в рабочих объемах заданные технологией силовые и энергетические условия разрушения твердых тел. Обосновано, что повышение показателя селективности в измельчителях, в том числе и в электромагнитных механоактиваторах, является актуальной задачей современных технологий переработки материалов различного целевого назначения. Обосновано, что внедрение в проектный расчет электромагнитных механоактиваторов результатов исследований физико-механических процессов в контактных системах «ферротела магнитоожигенного слоя – частицы перерабатываемого материала» позволит создавать аппараты, отвечающие требованиям производства как по энергоэффективности, так и качеству готовых изделий. Для описания процесса разрушения частиц материала при моделировании измельчаемой среды в электромагнитных механоактиваторах использованы методы математической статистики. Модель квазиизотропного тела представлена однофазной системой. Моделирование процесса разрушения материалов с образованием «опасных трещин» позволяет проектировать электромагнитные механоактиваторы с высоким прогнозируемым показателем селективности разрушения.

Ключевые слова: электромагнитные механоактиваторы, контактное взаимодействие, моделирование, селективность

FOR THE STUDY OF CONTACT INTERACTION OF METALLIC ELEMENTS IN ELECTROMAGNETIC MECHANOACTIVATION WITH A COMMUNUTED PRODUCT

Bezzubtseva M.M., Volkov V.S.

St.-Peterburg Agrarian University, St.-Peterburg, Pushkin, e-mail: mysnegana@mail.ru

The article presents the research results of physical-mechanical processes in magnetic liquefied layer of spherical metal body (grinding elements) electromagnetic mechanoactivation. It is shown that the product, which is in the working volume of the apparatus in mixture with the metal ball of the magneto-liquefied layer, tests the energy-stressed multipoint effects of shock-abrasive nature on the part of the working bodies. The possibility of fine and reliable control parameters of the magnetic liquefied layer of electromagnetic mechanoactivation allows you to create in the working volume defined by the technology force and energy conditions for fracture of solids. It is proved that the improvement of selectivity in the shredders, including in the electromagnetic mechanoactivation is an urgent task of modern technologies of processing of materials for various purposes. It is proved that the introduction in the design of electromagnetic calculation of mechanoactivation results of researches of physical and mechanical processes in the contact system «metal body magnetic liquefied layer of the particles of the processed material» will allow to create devices that meet the requirements of production efficiency and quality of finished products. For the description of the process of destruction of particles of the material ground in the simulation environment in the electromagnetic mechanoactivation used methods of mathematical statistics. The model of a quasi-isotropic body is represented by a single-phase system. Modeling of the degradation process with the formation of «dangerous cracks» enables you to design electromagnetic mechanoactivation with high predicted selectivity index of destruction.

Keyword: electromagnetic mechanoactivation, contact interaction, simulation, selectivity

В настоящее время изучение процесса измельчения базируется в основном на экспериментальных исследованиях, приоритетными направлениями которых являются [1, 2]:

– изучение физико-механических процессов, происходящих при разрушении твердых тел под действием внешней нагрузки;

– установление взаимосвязи между дисперсностью материала, которому присущи определенные физико-химические свойства, и затратами энергии, необходимыми

для преодоления внутренних сил сцепления в материале при его разрушении;

– изучение закономерностей распределения зернового состава продуктов помола.

Изучению энергоэффективности способов трансформации энергии при формировании разрушающего усилия материала и анализу балансовых уравнений энергопотребления не уделяется достаточного внимания. Между тем, несмотря на многообразие конструктивных форм мельниц, основным фактором, предопределяющим энергоемкость производимой продукции, является

способ трансформации подведенной к измельчаемому материалу энергии. При этом одним из приоритетных показателей эффективности работы измельчителей, их типа и конструкции является критерий работы по степени селективности диспергирования [3].

В понятие «селективность» (от лат. *selectio* – выбор, отбор, избирательность) измельчения принято включать явление, при котором не все частицы сыпучего материала, находящегося в рабочем пространстве машины, подвергаются разрушению, в этом и проявляется избирательность процесса. Такая селективность является причиной того, что дезинтеграция твердых тел – это процесс, сопровождающийся значительными потерями энергии рабочих органов на трение, деформацию материала и пр. При этом известно, что КПД процесса дезинтеграции составляет менее 1%, так как полезной считается энергия, затраченная на образование новых поверхностей перерабатываемого материала. При единичном воздействии разрушается лишь некоторая доля частиц [4]. Повышение показателя селективности в измельчителях, в том числе и в электромагнитных механоактиваторах, является актуальной задачей современных технологий переработки материалов различного целевого назначения.

Цель исследования

Повышение показателя селективности электромагнитных механоактиваторов путем внедрения в проектный расчет результатов исследований физико-механических процессов в контактных системах «ферротела магнитоожигенного слоя – частицы перерабатываемого материала».

Материалы и методы исследования

Изучение контактных взаимодействий ферротел в электромагнитных механоактиваторах с измельчаемым продуктом с использованием физико-механических моделей электродинамики, теории упругости и механики разрушения твердых тел.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатель селективности измельчения зависит от целого комплекса факторов. К ним относятся:

- способ нагружения материала (удар, истирание и т.д.),
- скорость и КПД трансформации энергии в энергию разрушения материала,
- тонина помола сырья,
- физико-механические и реологические свойства перерабатываемого продукта.

Можно утверждать, что одним из основных факторов, предопределяющих повышение показателя селективности процесса измельчения в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) [5], является адекватное реальным процессам моделирование разрушения твердого тела (измельчаемого материала), априори имеющего микро- и макротрещины.

Исследования физико-механических процессов в магнитоожигенном слое ферротел ЭММА показали, что продукт, находящийся в рабочем объеме аппарата, испытывает со стороны рабочих органов энергонапряженные многоточечные воздействия ударно-истирающего характера (рисунок).

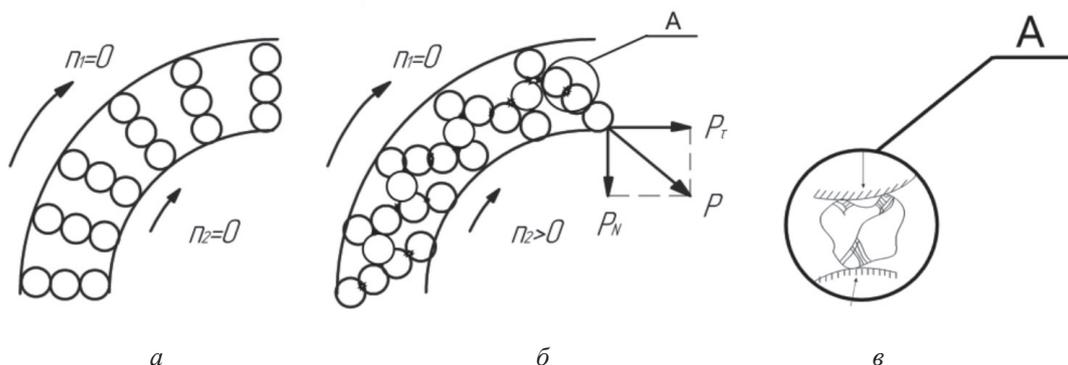


Схема формирования силового (разрушающего) усилия частиц продукта в магнитоожигенном слое ферротел ЭММА: а – формирование силовых взаимодействий между рабочими органами при неподвижных поверхностях рабочего объема (n_1, n_2 – частота смещения поверхностей рабочего объема); б – формирование ударно-истирающих воздействий по частицам обрабатываемого продукта при смещении поверхностей рабочего объема (P, P_N – тангенциальная и нормальная составляющие силовых контактов между ферротелами); в – схема распределения трещин в частице продукта неправильной формы

Силовое взаимодействие осуществляется через прослойку обрабатываемого продукта. С учетом исходного размера частиц $r_{\text{ч}}$ силы F_r и моменты M_v , действующие на размольные элементы в рабочем объеме ЭММА, определяются равенствами

$$F_r = \frac{1}{2} \frac{\mu - 1}{\mu + 2} R_0^3 \left. \frac{\partial H^2}{\partial r} \right|_{r = 2R_0 + r_{\text{ч}}}, \quad (1)$$

$$M_v = \frac{1}{2} \frac{\mu - 1}{\mu + 2} R_0^3 \left. \frac{\partial H^2}{\partial v} \right|_{r = 2R_0 + r_{\text{ч}}}, \quad (2)$$

где μ – магнитная проницаемость; R_0 – радиус ферротел; H – напряженность магнитного поля. Численное интегрирование дает следующие выражения:

$$F_r = \frac{3}{356} H_0^2 R_0^2 \frac{(\mu - 1)^2}{(\mu + 2)^3} \left\{ -[(11 + 13\mu) + 9(5 + 3\mu)\cos 2v] + \right. \\ \left. + \frac{r_{\text{ч}}}{2R_0} [(29 + 67\mu) + (171 - 117\mu)\cos 2v] \right\}, \quad (3)$$

$$M_v = \frac{3}{128} H_0^2 R_0^2 \frac{(\mu - 1)^2}{(\mu + 2)^3} \sin(2v) \times \left[-(31 + 17\mu) + \frac{r_{\text{ч}}}{R_0} (5 + 3\mu) \right]. \quad (4)$$

При этом критический угол $v_{\text{кр}}$, при котором притяжение ферротел в их магнитоожженном слое сменяется их отталкиванием, определено по выражению

$$v_{\text{кр}} = \frac{1}{2} \arccos \frac{11 + 13\mu}{9(5 + 3\mu)} \approx \frac{1}{2} \arccos \frac{13}{27} \approx \frac{\pi}{6}. \quad (5)$$

В основу моделирования разрушения частицы в магнитоожженном слое ферротел положено предположение, что существует определенная зависимость сил сцепления от расстояния в устье трещины (дефекта структуры перерабатываемого материала), т.е. промежутка между берегами трещины. Если это расстояние δ_k меньше некоторой постоянной величины, являющейся константой для данного материала, то силы притяжения между берегами также будут равны постоянной величине σ_0 . В случае, если фактическое расстояние между берегами больше δ_k , то $\sigma_0 = 0$. Эта концепция означает, что трещина будет расти, если выполняется условие

$$2U_n(l_0, l, q_b) = \delta_k, \quad (6)$$

где U_n – нормальная составляющая вектора смещений точек берегов трещины; l_0 – характерный линейный размер области начальной трещины; l – фактический размер трещины; q_b – параметр, зависящий от внешней нагрузки.

При моделировании измельчаемой среды в ЭММА для описания процесса разрушения частиц материала использованы методы математической статистики. Модель квазиизотропного тела представлена однофазной системой, в объеме W_v которого частицы связаны силами сцепления. Величина W_v долж-

на быть такой, чтобы условно считалась однородной. Внутри этого объема имеется малый объем V , существенно меньше всего тела, но имеющий достаточное количество элементарных частиц, т.е. $W_v \gg V$.

В теории трещинообразования выделяют различные условия нагружения твердого тела, чтобы образовались микротрещины и макротрещины. Первые образуются под действием растягивающих напряжений и, даже в случае сложного напряженного состояния, рассматривается только нормальная составляющая напряжений растяжения.

Процесс макроскопических разрушений в масштабе V -объемов начинается при напряжениях меньше сопротивления разрушению поликристаллов. Относительное число разрушенных объемов V , где микротрещины возникли под действием одноосного растягивающего напряжения, равно

$$n = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt, \quad (7)$$

где z равно

$$Z = \frac{\sigma_n - \sigma}{\sqrt{\theta}}, \quad (8)$$

где σ_n – среднее сопротивление разрушению кристаллов поликристаллического тела;

θ – модуль нормального распределения объемов V по напряжениям.

С увеличением внешней нагрузки число разрозненных микротрещин возрастает и, после достижения некоторой критической величины n_{kp} , они начинают сливаться в единые, в том числе и пересекающиеся, образуя макроскопическую трещину во всем объеме W_v . Условием достижения критического числа микротрещин при любом напряженном состоянии тела является равенство

$$n = n_{kp}, \quad (9)$$

где kp – постоянная для данного материала величина, равная относительному числу трещин в объемах V , достаточному для макроскопического разрушения тела объемом W_v .

Твердый материал, как известно, при разрушении может вести себя хрупко или пластично. Макроскопическим разрушением обычно охвачены не все объемы W_v , а только их некоторая часть. Для более хрупкого материала эта часть меньше, поскольку в хрупком материале микротрещины опаснее, чем в пластическом. В процессе макроскопического разрушения в малых объемах V разрушение может быть вязким, а соотношение объемов V_i между хрупким и вязким разрушением определяется характером макроскопического разрушения.

Из этого следует, что в общем случае под действием внешних усилий в разрушаемом теле возникают как упругие, так и пластические деформации. Из общего числа N объемов типа V часть их N_{yn} – деформируется упруго, а $N_{пл}$ – пластично. Общее число микротрещин к моменту макроскопического разрушения составит

$$m = m_{yn} + m_{пл}, \quad (10)$$

где m_{yn} и $m_{пл}$ – число микротрещин при упругом и пластическом деформированных объемах соответственно V_{yn} и $V_{пл}$.

Относительное число микротрещин составит

$$n_{kp} = \frac{m}{N} = \frac{N_{yn} \cdot m_{yn}}{N \cdot N_{yn}} + \frac{N_{пл} \cdot m_{пл}}{N \cdot N_{пл}} = (1 - P)n_{yn} - pn_{пл}, \quad (11)$$

где $N_{yn} / N = p$ – вероятность пластического состояния;

n_{yn} и $n_{пл}$ – относительное число микротрещин в пластически и упруго деформированных объемах V соответственно.

Критериями хрупкого и вязкого разрушения статистической теории прочности являются условия: $n_{kp} = n_{yn}$ – хрупкое разрушение, $n_{kp} = n_{пл}$ – вязкое разрушение. При

этом хрупкость материала зависит от скорости приложения нагрузки и физико-механических свойств материала.

Механизм образования трещин при разрушении малых частиц имеет свои особенности. Для объяснения временной прочности твердых тел привлекаются обычно в той или иной форме представления Гриффитса о зародышевых трещинах. Значение фактической прочности с учетом наличия в теле некоторой чечевицеобразной «опасной» трещины длиной l_m равно

$$P_p = \left(\frac{2E\sigma}{\pi l m} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

При $P > P_p$ трещина растет и тело разрушается, при $P < P_p$ трещина смыкается и исчезает. Размер опасных трещин согласно теории Гриффитса определяется отношением

$$\frac{l_m}{\delta} \approx \left(\frac{P_T}{P_p} \right)^2. \quad (13)$$

Как показывает практика, средние размеры частиц могут быть и меньше «опасных» трещин. В этом случае модель Гриффитса должна быть дополнена учетом конечных размеров тела. Если в кубе со стороны X внешней силой F созданы упругие напряжения и образовалась трещина размером l , то работа внешней силы F на ее образование равна

$$\Delta W = \frac{\pi}{2} l^2 \sigma - \phi \frac{P_B^2}{2E} X^4 \int_0^l \frac{l^2 dl}{\left(x^2 - \frac{\pi l^2}{2} \right)^2}, \quad (14)$$

где P_B – напряжение, создаваемое внешней силой, σ – полная работа создания единицы поверхности, распространяющей трещины, ϕ – численный коэффициент, учитывающий наклон плоскости наибольших напряжений к направлению внешней силы.

Из условия устойчивости трещины $\frac{\partial \Delta W}{\partial l} = 0$ следует

$$P_p^2 = \frac{2E\sigma}{\phi \pi l m} \left[1 - \frac{\pi}{2} \left(\frac{l m}{x} \right)^2 \right]^2 = P_{p0}^2 \frac{l_{m0}}{l_m} \left[1 - \frac{\pi}{2} \left(\frac{l_m}{x} \right)^2 \right]^2, \quad (15)$$

где P_{p0} и l_{m0} – разрушающее напряжение и длина опасных трещин массивных образцов.

Если считать уровень разрушающих напряжений массивных и малых объектов

одинаковым, т.е. положить $P_{p0} = P_p$, то для зависимости $l_m(X)$ получается выражение

$$X = l_m \sqrt{\frac{\pi}{2} \left[1 - \left(\frac{l_m}{l_{m0}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2}. \quad (16)$$

В случае разрушения сжатием механически твердых тел возможные направления распространения трещины ограничены малыми углами θ , т.е. трещины будут развиваться вблизи области пластического деформирования (рисунок, в).

Заключение

Выявлено, что наиболее вероятным местом зарождения опасных трещин являются поверхностные слои на границе соприкосновения разрушаемой частицы с ферротелами магнитоожигенного слоя в процессах их контактного ударно-истирающего взаимодействия.

Вблизи поверхности сосредоточено основное количество дефектов, облегчающих

образование трещин, а на границе контакта – наибольшее напряжение.

Моделирование процесса разрушения материалов с образованием «опасных трещин» позволяет проектировать электромагнитные механоактиваторы с высоким прогнозируемым показателем селективности разрушения.

Список литературы

1. Хопунов Э.А. Основы дезинтеграции руд и техногенных материалов (теория, эксперимент, технологии): монография. – М.: РУСАЙНС, 2016. – 474 с.
2. Липанов А.М., Вахрушев А.В., Федотов А.Ю. Исследование динамического взаимодействия твердых тел методами математического моделирования // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 53–65.
3. Хопунов Э.А. Селективное разрушение минерального и техногенного сырья. – Екатеринбург: УИПЦ, 2013. – 429 с.
4. Веригин Ю.А., Веригина Я.Ю. Теоретические основы процессов измельчения вещества в технологии производства строительных материалов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4–1. – С. 51–54.
5. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование селективности процесса измельчения в электромагнитных механоактиваторах: монография. – СПб.: СПбГАУ, 2017. – 248 с.

УДК 658.7.01

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЗАПАСА В СИСТЕМАХ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Бром А.Е., Сидельников И.Д.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Москва, e-mail: abrom@yandex.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию проблемы организации эффективного материально-технического обеспечения (МТО) машиностроительной продукции гражданского назначения. Выделены основные задачи, возникающие перед службой МТО, а также требования, выдвигаемые к ней. Сформулирована задача оптимизации запаса материалов, комплектующих и запасных частей (МКЗ) в системе МТО для техники гражданского назначения, где критерием эффективности является минимизация затрат на МТО при соблюдении требований к уровню технической готовности продукции. Представлена математическая модель, позволяющая рассчитать оптимальный запас МКЗ по каждому виду номенклатуры. Описаны основные преимущества предложенной авторами модели: данная модель открывает возможность применения любой функции, описывающей затраты в системе МТО; при решении задачи можно учитывать структурную избыточность машиностроительной продукции, а также задавать различные условия выхода из строя рассматриваемого объекта техники. Предложен подход к решению модели, позволяющий определять оптимальный объем запаса МКЗ в многономенклатурной постановке. Это становится возможным, благодаря выражению всех элементов, входящих в номенклатуру, через выбранный базовый элемент, оптимальный объем которого можно найти графически. Таким образом, уникальность разработанной модели заключается в возможности учета специфики продукции, что позволяет найти ей широкое применение, а также решение сложных многономенклатурных задач.

Ключевые слова: материально-техническое обеспечение, запас, отказ, гражданская техника, номенклатура, модель

OPTIMIZATION OF MULTINOMENCLATURE STOCK IN THE SYSTEMS OF MATERIAL AND TECHNICAL SUPPORT OF CIVIL ENGINEERING MACHINERY

Brom A.E., Sidelnikov I.D.

*Federal State Educational Establishment of Higher Education «Moscow State Technical University
named N.E. Bauman (National Research University)», Moscow, e-mail: abrom@yandex.ru*

This article is devoted to the study of the problem of organization of effective material and technical support (MTO) of civil engineering machinery. The main tasks that arise before the MTO service, as well as the requirements put forward to it, are singled out. The problem of optimization of the stock of materials, components and spare parts (MKZ) in the system of logistics for civil engineering is formulated, where the criterion of efficiency is minimization of costs for the logistics, while meeting the requirements for the level of technical readiness of the products. A mathematical model is presented that allows us to calculate the optimal reserve for the MKZ for each type of nomenclature. The main advantages of the model proposed by the authors are described: this model opens the possibility of using any function describing the costs in the IT system; when solving the problem, it is possible to take into account the structural redundancy of machine-building products, as well as to set various conditions for the failure of the object under consideration. An approach to the solution of the model is proposed, which allows to determine the optimum volume of the reserve of the MKZ in a multinomenclature formulation. This is possible, thanks to the expression of all the elements entering the nomenclature, through the selected base element, the optimal volume of which can be found graphically. Thus, the uniqueness of the developed model lies in the ability to take into account the specifics of products, which makes it possible to find wide application for it, as well as solving complex multi-nomenclature problems.

Keywords: materially technical support, stock, refusal, civil engineering, nomenclature, model

В течение последних тридцати лет был совершен значительный прорыв в развитии мирового промышленного оборудования, военной техники, а также техники специального назначения. Значительное увеличение электроники, установленной на оборудовании, многократное усложнение конструкторских решений с целью повышения эффективности эксплуатации в значительной степени повысили перспективность обновления парка техники. Однако

результаты деятельности эксплуатанта зависят не только от качества парка техники, но и от эффективности организации процессов материально-технического обеспечения (МТО) машиностроительной продукции на стадии эксплуатации.

Из всех задач, возлагаемых на службу МТО, можно выделить одну из ключевых – это определение потребностей во всех видах материалов и запасных частей, необходимых для эксплуатации [1]. При

этом служба МТО несет ответственность и должна достигать следующих целей:

- поддержание работоспособного состояния эксплуатируемой сложной машиностроительной продукции имеющимися материалами, комплектующими и запасными частями (МКЗ) для выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР);

- обеспечение эксплуатирующих предприятий запасов МКЗ, позволяющих снизить затраты на послепродажное обслуживание имеющегося парка техники.

Решение данной задачи осуществляется путем математического моделирования, что в результате позволяет получить ответ на главные вопросы:

1. Какую номенклатуру, т.е. перечень предметов МТО, необходимо сгруппировать и закупать для поддержки эксплуатации?

2. Какой оптимальный объем МКЗ по каждому виду номенклатуры для каждого эксплуатируемого изделия необходимо заказать и хранить? (Т.е. какой объем запаса должен присутствовать в системе МТО для обеспечения надежности и эффективности эксплуатации?)

Главное требование к системе МТО – своевременно и в полном объеме удовлетворять потребность организации, эксплуатирующей продукцию, в МКЗ, в целях непрерывного ведения деятельности. Непрерывность эксплуатационного процесса позволяет наращивать объемы производства, если речь идет о машиностроительной продукции гражданского назначения.

Поскольку задачи, решаемые в системе МТО, можно отнести к логистическим вопросам, то при их решении необходимо учитывать логистические факторы, которые формализуют особенности техники и сделают возможным их учет в экономико-математических моделях [2, 3]. Способ учета факторов подробно представлен в статье «Критерий эффективности цепей поставок и построение целевой функции в задачах оптимизации материально-технического снабжения для сложной техники», написанной И.Н. Омельченко, А.Е. Бром, И.Д. Сидельниковым.

Одним из первоначальных вопросов при решении данной задачи является назначение продукции. Именно на основании данного критерия осуществляется постановка задачи и осуществляется моделирование запаса в системе МТО. Машиностроительная продукция может быть гражданского назначения или военного и специального назначения (ТВСН).

Перед службами МТО стоит проблема эффективности цепей поставок для обеспечения предприятия МКЗ. В случае, если снабжение осуществляется для техники

гражданского назначения, то критерием эффективности выступают минимальные затраты на организацию МТО, при обеспечении требуемого уровня технической готовности объекта техники [4–6]. Соответственно, постановка задачи будет выглядеть следующим образом: необходимо найти оптимальные значения поставок МКЗ, при которых будут минимизироваться затраты цепей поставок и обеспечиваться требуемый уровень коэффициента технической готовности.

Осуществим формулировку задачи оптимального управления запасами для техники гражданского назначения. Данная задача представляется в многономенклатурной постановке. Рассмотрим задачу поиска оптимального объема по каждому наименованию номенклатуры. Соответственно, необходимо найти объем запаса каждого вида МКЗ на складах предприятия, обеспечивающий минимальные затраты. При этом есть ограничения, связанные с обеспечением вероятности безотказной работы изделия не ниже заданной.

$$Z_0 \rightarrow \min,$$

$$P_0 \geq P_{\text{задан}},$$

где $P_{\text{задан}}$ – требуемый уровень надежности системы.

Суммарные затраты на обеспечение

запаса зададим в форме $\sum_{i=1}^N \bar{Z}_i(n_i)$, где

$\bar{Z}_i(n_i)$ – затраты на обеспечение i -го вида запасов МКЗ, причем для каждого отдельного случая функция $\bar{Z}_i(n_i)$ имеет свой вид. В простейшем случае затраты на обеспечение запаса, как правило, прямо пропорциональны количеству резервных элементов.

Если результирующая вероятность безотказной работы системы «изделие – запас» задана величиной P_0 , то вероятность отказа Q_0 будет равна [7]:

$$Q_0 = 1 - P_0.$$

При построении модели необходимо сделать следующие допущения:

1) отказы запасных элементов МКЗ в вероятностном смысле независимы друг от друга события;

2) отказ любого типа МКЗ влечет за собой отказ запаса в целом.

Для вероятности отказа Q_C системы с учетом принятых допущений имеем

$$Q_C = \prod_{i=1}^N (Q_{\text{И}i} \cdot Q_{\text{зап}i}(n_i)), \quad (1)$$

где $Q_{\text{зап}i}(n_i)$ – вероятность отказа по i -ому типу запаса МКЗ. Вероятность отказа $Q_{\text{И}i}$

зависит от условий отказа технического устройства по элементам, которые составляют i -ый тип запаса, но Q_{Wi} не зависит от числа n_i запасных элементов i -го типа. Вероятности отказа Q_{Wi} , $i = 1, \dots, N$, в вероятностном смысле независимы друг от друга, и каждую вероятность отказа Q_{Wi} на практике можно рассчитать, исходя из условий отказа, методами теории вероятностей [8, 9]. В нашем случае будем считать Q_{Wi} известной постоянной величиной для каждого порядкового номера вида МКЗ.

Для решения поставленной задачи воспользуемся методом неопределенных множителей Лагранжа [10].

Введем функцию Лагранжа, отражающую особенности рассматриваемой системы:

$$F = \sum_{i=1}^N \bar{Z}_i(n_i) + \varphi \cdot [P_C - P_0], \quad (2)$$

где φ – неопределенный множитель Лагранжа.

Перепишем выражение в правой части в квадратных скобках функции Лагранжа с учетом заданных величин:

$$[P_C - P_0] = [1 - Q_C - 1 + Q_0] = \left[Q_0 - \left(\prod_{i=1}^N (Q_{Wi} \cdot Q_{зани}(n_i)) \right) \right].$$

Теперь окончательно функция Лагранжа принимает вид:

$$F = \sum_{i=1}^N \bar{Z}_i(n_i) + \varphi \left[Q_0 - \left(\prod_{i=1}^N (Q_{Wi} \cdot Q_{зани}(n_i)) \right) \right]. \quad (3)$$

Воспользуемся известным, достаточно эффективным и широко применяемым в экономической теории предположением, что величины n_i достаточно велики, тогда можно считать, что функция F является непрерывной (более строго, дифференцируемой) функцией своих аргументов. Это позволяет продифференцировать соотношение (3) по переменным n_i и φ , а получившийся результат приравнять к нулю – обеспечение необходимого условия экстремума функции Лагранжа.

На основе метода множителей Лагранжа можно получить достаточные условия условного экстремума, требующие анализа (в простейшем случае) вторых производных функции Лагранжа F . Предполагаем, что достаточные условия экстремума выполнимы.

С учетом выражения для функции Лагранжа после дифференцирования эта система уравнений принимает вид

$$\begin{cases} \frac{\partial \sum_{i=1}^N \bar{Z}_i(n_i)}{\partial n_i} - \varphi \frac{\partial \prod_{k=1}^N (Q_{Wk} \cdot Q_{зани}(n_k))}{\partial n_i} = 0, \\ \prod_{i=1}^N (Q_{Wi} \cdot Q_{зани}(n_i)) = Q_0. \end{cases} \quad (4)$$

Взятие производной в первом члене первого уравнения системы (4) трудностей не вызывает для соответствующего вида заданной функции затрат $\sum_{i=1}^N \bar{Z}_i(n_i)$, а вот вычисление

частных производных по каждому аргументу от произведения N независимых функций, если каждая из них является только функцией «своего» аргумента.

Представим произведение N независимых функций, каждая из которых является только функцией «своего» аргумента:

$$\frac{\partial Q}{\partial n_i} = Q(n_1, n_2, \dots, N) \cdot \frac{1}{Q_{Wi} \cdot Q_{зани}(n_i)} \cdot \frac{d(Q_{Wi} \cdot Q_{зани}(n_i))}{dn_i}.$$

Тогда для второго члена первого уравнения системы (4) получим

$$\frac{\partial}{\partial n_i} \left[\prod_{k=1}^N (Q_{Wk} \cdot Q_{зани}(n_k)) \right] = \left[\prod_{k=1}^N (Q_{Wk} \cdot Q_{зани}(n_k)) \right] \cdot \frac{1}{Q_{зани}(n_i)} \cdot \frac{d(Q_{зани}(n_i))}{dn_i}.$$

После нахождения производных первое уравнение системы (4) принимает вид

$$\frac{d\bar{Z}_i(n_i)}{dn_i} - \varphi \cdot \left[\prod_{k=1}^N (Q_{Wk} \cdot Q_{зани}(n_k)) \right] \cdot \frac{1}{Q_{зани}(n_i)} \cdot \frac{d(Q_{зани}(n_i))}{dn_i}, \quad (5)$$

а второе уравнение системы (уравнение связи) запишем в форме

$$Q_C = \prod_{i=1}^N (Q_{Wi} \cdot Q_{зани}(n_i)) = Q_0.$$

Из соотношения (5) получим выражение для множителя Лагранжа φ :

$$\varphi = \frac{d\bar{Z}_i(n_i)}{dn_i} \cdot \frac{1}{\frac{1}{Q_{\text{зани}}(n_i)} \cdot \frac{d(Q_{\text{зани}}(n_i))}{dn_i}} \cdot \left[\prod_{k=1}^N (Q_{\text{ик}} \cdot Q_{\text{занк}}(n_k)) \right]^{-1}, \quad (6)$$

откуда следует, что выражение (6) для определения φ справедливо для всех значений i (по условиям метода неопределенных множителей Лагранжа) ($\forall i \in [1, \dots, N]$).

Заметим, что последний сомножитель в правой части соотношения (6) не зависит от индекса i , это интегрированная величина, одна и та же для всех конкретных i в уравнениях Лагранжа, тогда введем новое определение неопределенного множителя Лагранжа:

$$\varphi^* = \varphi \prod_{k=1}^N (Q_{\text{ик}} \cdot Q_{\text{занк}}(n_k)) = \frac{\frac{d\bar{Z}_i(n_i)}{dn_i}}{\frac{1}{Q_{\text{зани}}(n_i)} \cdot \frac{dQ_{\text{зани}}(n_i)}{dn_i}}, \quad (7)$$

φ^* – аналогично φ рассчитывается одинаково для всех i , т.е. не меняется при переходе от соотношения с одним индексом к соотношению с другим индексом.

Из соотношения (7) следует

$$\frac{\frac{d(Q_{\text{зани}}(n_i))}{dn_i}}{(Q_{\text{зани}}(n_i)) \cdot \frac{d\bar{Z}_i(n_i)}{dn_i}} = \frac{\frac{d(Q_{\text{занк}}(n_k))}{d\bar{n}_k}}{(Q_{\text{занк}}(n_k)) \cdot \frac{d\bar{Z}_k(n_k)}{dn_k}}. \quad (8)$$

Выберем произвольную величину \bar{n}_k и заметим, что индекс k выбран хоть и произвольно, но фиксировано из совокупности переменных (n_1, n_2, \dots, N). Положим $k=1$ и тогда выбранным базовым типом МКЗ будет первый тип с числом запасных элементов n_1 . Соотношение (8) связывает между собой значение n_1 с выбранным значением \bar{n}_k . Особенность разработанного подхода состоит в том, что правая часть выражения (8) является известной функцией переменной \bar{n}_k , а левая – переменной n_i ($i=2, \dots, N$), откуда следует реальная возможность связать число элементов каждого типа с числом элементов выбранного конкретного типа, у нас – с числом элементов первого типа.

Соотношение (8) можно записать в виде

$$f_i(n_i) = \bar{f}_k(\bar{n}_k), i=2, \dots, N,$$

но так как $\bar{f}_k(\bar{n}_k)$ известная функция, то можно решить это уравнение относительно n_i как функции числа элементов n_1 первого типа:

$$n_i = \tilde{f}_i(\bar{f}_k(\bar{n}_k)) \triangleq \sigma_i(\bar{n}_k), \quad (9)$$

где \tilde{f}_i – функция, обратная к $f_i(n_i)$.

Вопросы о существовании, непрерывности обратной функции в данной статье не обсуждаются – подразумевается, что они решаются при практических расчетах.

Аналитическое решение уравнений (9) возможно в исключительных случаях, как правило, малоприменимых для практического использования. Современное состояние вычислительной математики и вычислительной техники обеспечивает эффективное решение уравнений (9).

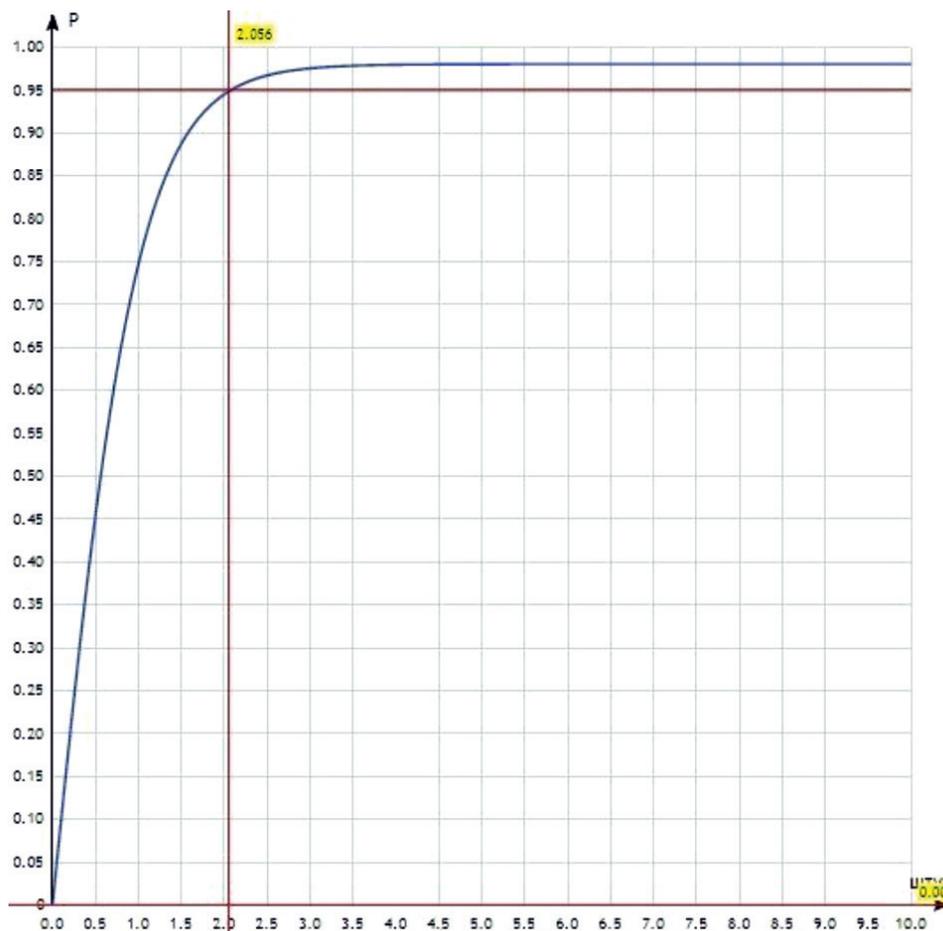
Обычно при практических расчетах значения членов последовательности n_i ($i=2, \dots, N$) получаются дробными. В этом случае следует округлить найденные значения до ближайшего целого числа.

Далее по уравнению связи (второе уравнение системы (4)) с учётом очевидного соотношения между результирующей вероятностью P_C безотказной работы системы и вероятностью Q_C отказа системы: $P_C = 1 - Q_C$, можно найти число элементов первого типа n_1 .

Для этого по соотношению (2.1) построим зависимость для вероятности отказа Q_C системы:

$$Q_C = (Q_{\text{и1}} \cdot Q_{\text{зан1}}(n_1)) \prod_{i=2}^N (Q_{\text{иi}} \cdot Q_{\text{зани}}(\psi_i(\bar{n}_k))).$$

При этом предполагается, что значения вероятности отказа изделия $Q_{\text{иi}}$ по всем i -ым типам элементов заранее рассчитаны на основе статистических данных, собранных в предыдущие периоды и, очевидно, не зависящих от количества запасных элементов МКЗ.



Графический способ нахождения решения

Полученное уравнение алгебраическое, может оказаться трансцендентным (решение может быть не единственным), но современная вычислительная математика и вычислительная техника предлагают много методов для решения подобных уравнений: метод последовательного приближения, метод касательных, метод секущих, графический метод и другие. Их возможности, достоинства и недостатки хорошо известны.

Полученная зависимость Q_C зависит только от одного-единственного числа n_1 элементов выбранного типа, остальные величины – известные параметры задачи.

Проиллюстрируем, например, графический способ нахождения числа, запас элементов выбранного типа n_1 , он является очень наглядным (см. рисунок). При заданных зависимостях $Q_{Иг}$ и $Q_{зап}(n_1)$ можно построить график зависимости $P_C = 1 - Q_C$, где аргумент при использовании непрерывного подхода будет откладываться на числовой оси от 1 в положительном направлении.

На этом же графике проводится линия требуемой вероятности P_0 работоспособности системы в целом. Пересечение этих линий определяет величину n_1 числа запасных элементов выбранного типа. После этого рассчитываются величины чисел элементов всех остальных типов по соотношению (9) с округлением до ближайшего целого числа (переход к дискретным величинам), а также сумма затрат $\sum_{i=1}^N Z_i(n_i)$.

Если аналитическое решение уравнений (9) получить не удаётся, приходится задавать интуитивно разумную последовательность возможных значений числа запаса элементов (например, на основании статистических данных о распределении отказов рассматриваемого типа элементов) конкретного типа, выбранного «базовым» \bar{n}_k и для каждого значения \bar{n}_k вычислять совокупность значений \bar{n}_i для запаса всех остальных типов МКЗ. В этом случае оказывается возможным вычислить результирующую

вероятность отказа системы «изделие + запас МКЗ» для каждого элемента выбранной последовательности \bar{p}_k и сравнить получаемый результат с заданным условием работоспособности рассматриваемой системы.

Таким образом, используя предложенный подход, будет найден оптимальный объем запаса по каждому из видов МКЗ. Стоит отметить основные достоинства предложенной модели: во-первых, данная модель открывает возможность применения любой функции, описывающей затраты в системе МТО, это подтверждает ее высокую универсальность; во-вторых, при решении задачи можно учитывать структурную избыточность машиностроительной продукции, а также задавать различные условия выхода из строя рассматриваемой системы.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что предложенная модель может быть внедрена при организации МТО для машиностроительной продукции гражданского назначения, обеспечивая экономическую эффективность процессов ремонтного обслуживания и материального снабжения, при соблюдении требований к надежности техники.

Список литературы

1. Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям

и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 18 сентября 2012 г. № 555 [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/70242352> (дата обращения: 04.03.2018).

2. Омельченко И.Н. Критерий эффективности цепей поставок и построение целевой функции в задачах оптимизации материально-технического снабжения для сложной техники / И.Н. Омельченко, А.Е. Бром, И.Д. Сидельников // Организатор производства. – 2017. – № 4. – С. 83–91.

3. Сидельников И.Д. Особенности конструкции и обслуживания техники как ключевые факторы логистики при создании цепей поставок в машиностроении / И.Д. Сидельников, А.С. Барабушка, А.Е. Бром // Логистика и управление цепями поставок. – 2017. – № 4 (81). – С. 56–61.

4. Бочкарев П.А. Управление надежностью цепей поставок в логистике снабжения: автореф. дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05. – Санкт-Петербург, 2015. – 17 с.

5. Woarawichai Chirawat, Kullpattaranirun Tarathorn, Rungreunganun Vichai. Inventory Lot Sizing Problem with Supplier Selection under Storage Space and Budget Constraints // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. – 2011. – Vol. 8, Issue 2. – P. 250–255.

6. Омельченко И.Н. Логистическое проектирование цепи поставок с учетом оценки эксплуатации / И.Н. Омельченко, Д.О. Кузнецова // Гуманитарный вестник. – 2013. – № 10. – С. 15–24.

7. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов – 2 изд. / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.

8. Венцель Е.С. Теория вероятностей. Задачи и упражнения // Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 368 с.

9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика (4-е изд.) / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1972. – 367 с.

10. Ларин Р.М. Методы оптимизации. Примеры и задачи: учебн. пособие / Р.М. Ларин, А.В. Плясунов, А.В. Пяткин. – Новосибирск: Новосиб. ун-т., 2003. – 115 с.

УДК 621.81:621.762

СИНТЕЗ СФЕРИЧЕСКИХ ГРАНУЛ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА УЗКОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вознесенская А.А., Иващенко А.В., Жданов А.В., Кочуев Д.А., Хорьков К.С.
 ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: zhdanov@vlsu.ru

Актуальной проблемой для аддитивных технологий является получение композиционных порошковых металлов определенного размера в виде микросфер на основе титана и углерода. В представленной работе описана оригинальная технология лазерного синтеза микросфер карбида титана. Предложена экспериментальная установка, состоящая из лазерной системы с оптической головкой, гальваносканатором и измерителя мощности. Формирование микросфер осуществляется путем воздействия фемтосекундного лазерного излучения на поверхность титана в реакционной среде – предельном углеводороде. В работе проведены экспериментальные исследования получения карбида титана данной технологией. Полученные микросферы имеют высокую гладкость поверхности, узкий гранулометрический состав, средний размер 1...3 мкм. Сравнение спектров с поверхности кристалла промышленного карбида титана и полученных образцов дает удовлетворительный результат. Полученные композиционные порошки могут использоваться в приложениях аддитивного машиностроения, порошковой металлургии в качестве основного сырья либо в качестве легирующей добавки.

Ключевые слова: синтез карбида титана, лазерные импульсы, порошковая металлургия, сферические микрогранулы, спектроскопия комбинационного рассеяния, взаимодействие лазерного излучения с материалами

SYNTHESIS OF SPHERICAL GRANULES OF COMPOSITE POWDER MATERIAL OF NARROW GRANULOMETRIC COMPOSITION FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES

Vosnesenskaya A.A., Ivaschenko A.V., Zhdanov A.V., Kochuev D.A., Khorkov K.S.
 Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: zhdanov@vlsu.ru

An actual problem for additive technologies is the production of composite powder metals of a certain size in the form of microspheres based on titanium and carbon. In the work presented, the original technology of laser synthesis of titanium carbide microspheres is described. An experimental setup consisting of a laser system with an optical head, a galvanocator, and a power meter is proposed. The formation of microspheres is carried out by the action of femtosecond laser radiation on the surface of titanium in the reaction medium – the ultimate hydrocarbon. In the work, experimental studies of the production of titanium carbide by this technology have been carried out. The resulting microspheres have a high smoothness of the surface, a narrow granulometric composition, an average size of 1 ... 3 μm. Comparison of the spectra from the surface of the crystal of industrial titanium carbide and the obtained samples gives a satisfactory result. The resulting composite powders can be used in applications of additive engineering, powder metallurgy as the main raw material, or as an alloying additive.

Keywords: synthesis of titanium carbide, laser pulses, powder metallurgy, spherical microgranules, Raman spectroscopy, interaction of laser radiation with materials

В настоящее время существует множество способов и подходов для получения порошков различных материалов: путем механического размолла, химическим осаждением, магнетронным распылением, высокотемпературным распылением (широко используется газоплазменное распыление, электродуговое), реже порошки получают методами лазерного воздействия. Каждый из предложенных методов обладает своими преимуществами и недостатками, определяющими область применения получаемого порошкового материала. Несмотря на весьма ограниченное распространение лазерных технологических установок, метод лазерного синтеза порошкового материала представляет собой высокий интерес, обусловленный исключительными свойствами

лазерного излучения, недостижимыми другими источниками концентрированной энергии. Метод лазерного синтеза порошковых материалов находит свое применение при необходимости получения мелких партий продукции. Одной из особенностей лазерного синтеза порошков является возможность получения микрогранул из широкого круга материалов; процесс также отличается высокой локальностью обработки, что во многом определяет низкую дисперсию размеров частиц. Особенности лазерного воздействия позволяют добиться изменения структурных и фазовых состояний материала без внесения в него сторонних примесей (при условии их отсутствия в области воздействия лазерного излучения). Данная особенность позволяет получать чистые по-

рошковые материалы по сравнению с другими методами синтеза. При внесении же необходимых примесей возможно получение сложных сплавов, композитов, холодных растворов в требуемом агрегатном состоянии. В направлениях синтеза порошковых материалов в первую очередь интерес представляет процесс разрушения материала в результате воздействия лазерного излучения, в частности требуется получать не расплав, не пар, а непосредственно «брызги» обрабатываемого материала, обладающие сферической формой и близким гранулометрическим составом. Для таких целей подходят импульсные лазерные системы, способные эффективно передавать энергию лазерного излучения для развития именно процесса лазерной абляции. Применение же дополнительных средств, способных влиять на развитие, динамику и результат данного процесса, таких как среда обработки, либо дополнительные источники физического воздействия, будет способствовать повышению эффективности синтеза порошковых материалов. В последние годы интенсивно изучаются процессы, протекающие при лазерной абляции в жидкости. Достигнут значительный прогресс в этой области за счет современных технологических средств, разработанных для исследования физических и химических процессов при лазерной абляции твердых тел в жидких средах [1, с. 1017]. Лазерная абляция в жидкости обладает рядом уникальных свойств перед остальными способами. Примени-

тельно к направлению синтеза порошковых материалов, это стремительное охлаждение продуктов абляции, способствующее образованию «высокосферической» поверхности. Используемая жидкая среда может проявлять как инертные свойства в процессе проведения обработки, так и реакционные. Металлические микросферы, полученные при помощи данного метода, возможно использовать в различных приложениях: аддитивное машиностроение, порошковая металлургия, применение возможно как в качестве основного материала, так и легирующей добавки.

В экспериментах использовалась *Ti:Sapphire*-лазерная система со следующими параметрами: длительность импульса 50 фс, средняя мощность 450 мВт, длина волны 800 нм, частота следования импульсов 1 кГц. Лазерный пучок диаметром 30 мкм фокусировался на поверхности титанового образца, расположенного в реакционной среде. В качестве образца использовалась титановая пластина марки VT1-0. Кювета представляла собой изолированную от атмосферного воздуха емкость, имеющую точку крепления образца и прозрачное окно для ввода лазерного излучения. Образец располагался под слоем жидкого углеводорода. Сканирование лазерным лучом осуществлялось с помощью гальваносканатора со скоростью 0,1–200 мм/с. Схематичное изображение конфигурации экспериментальной установки представлено на рис. 1.

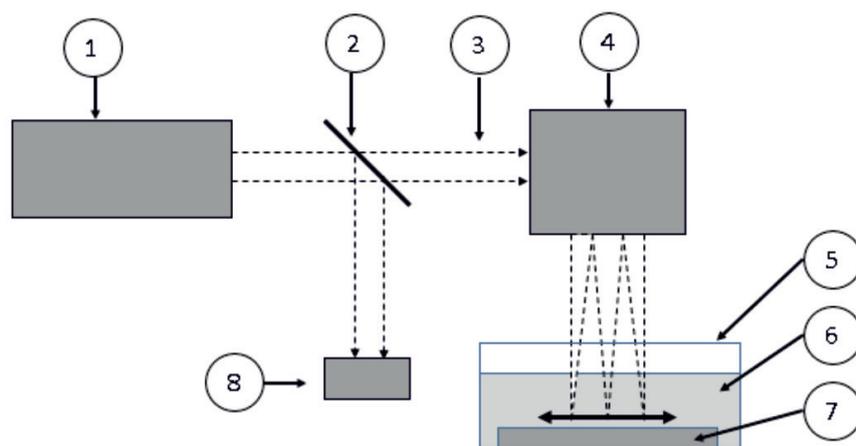


Рис. 1. Схема проведения эксперимента: 1 – фемтосекундная лазерная система, 2 – светоделительная пластинка, 3 – лазерное излучение, 4 – оптическая головка с гальваносканаторами X-Y, 5 – изолированный сосуд с окном для ввода лазерного излучения, 6 – реакционная среда (углеводород), 7 – титановый образец, 8 – измеритель мощности лазерного излучения

Глубина погружения образца подбиралась таким образом, чтобы слой жидкости покрывал поверхность обрабатываемого образца, но не вносил ощутимого вклада в процесс поглощения лазерного излучения. Влияние толщины жидкого слоя на поверхности обрабатываемого образца оказывает влияние на ряд параметров, таких как скорость разлета продуктов абляции, интенсивность охлаждения образованных частиц, распределение энергии лазерного излучения на непосредственной поверхности обрабатываемого образца. Тем не менее при значительной толщине слоя жидкости происходит значительное ухудшение параметров лазерного луча на поверхности металлического образца. После воздействия лазерного излучения в области воздействия происходит образование парогазового канала и интенсивное кипение жидкости, что негативно сказывается на эффективности энергообмена системы «лазерное излучение – обрабатываемая поверхность». Глубина расположения обрабатываемого образца подбирается исходя из параметров, которые вносят непосредственный вклад в эффективность обработки: частота следования импульсов лазерного излучения, мощность лазерного излучения, параметры используемой фокусирующей системы. В настоящей конфигурации установка высотой слоя жидкости составляла порядка 1 мм. Эффективность воздействия определялась динамикой выброса, как жидкости с обрабатываемой поверхности, так и материала образца из области обработки. В процессе обработки происходит образование «тумана» во внутреннем объеме кюветы. Рассмотрим подробнее процесс сорбции углерода титаном. В работе [2, с. 194] изучалось взаимодействие лазерного излучения на границе твердое тело – жидкость, было обнаружено, что характерное время вскипания жидкости происходит на субнаносекундных временах, так как скорость разлета жидкости практически не зависит от мощности лазерного излучения [3, с. 3088]. Скорость разлёта лазерно-индуцированной плазмы составляет от 10^3 [4, с. 101] до 10^7 м/с [5, с. 187]. Скорость распространения плазменного факела в окружающую среду сильно зависит от энергии, приложенной к области воздействия и плотности непосредственно окружающей среды. Разлёт лазерно-индуцированной плазмы осуществляется до запуска процесса кипения жидкости, приводающего к образованию «газовых карманов» и «разлету» жидкости из области обработки. Таким образом, нельзя пренебрегать взаимодействием «реактивного потока» продуктов абляции непосредственно с молекулами гексана, в жидком или газообразном агрегатном

состоянии, их диссоциации вследствие непосредственного контакта с продуктами абляции (лазерно-индуцированным плазменным факелом) и насыщения продуктов абляции углеродом. Следовательно, образование и сорбция углерода может происходить за время до наступления кипения жидкости (гексана) при прохождении продуктов абляции через слой жидкости. При кипении происходит интенсивное паро-газообразование, тем самым резко снижается плотность углеродсодержащей среды, вероятность сорбции образованного углерода также снижается, но все же имеет место быть. В процессе движения продуктов абляции по объему камеры заполненной паро-капельной смесью углеводорода, происходит дальнейшее снижение энергии выброшенного вещества. Продукты абляции самолокализируются в просторанственную форму с наименьшей площадью поверхности, что соответствует сфере. Стремительное остывание поверхности микрогранул осуществляется при контакте с жидкостью и паро-капельной смесью, за счет чего снижается активность их поверхности и, таким образом, они не могут слипаться между собой, деформироваться в результате ударов. В работе [6, с. 247] описан метод синтеза сферических частиц в жидком гелии. Описывается некоторая структурная неоднородность получаемых частиц, которая образуется в результате стремительного остывания поверхности разогретой сферы образуются значительные сжимающие усилия оболочки сформированной вокруг еще горячего «ядра», которое в процессе охлаждения так же стремится занять меньший объем. Такой механизм вполне логичен, условия, способствующие быстрому охлаждению поверхности гранулы, выполняются, в процессе движения гранулы она значительное время пребывает в окружающей её «холодной» жидкости, так как скорость её движения значительно больше скорости вскипания. Для гомогенизации и снятия внутренних напряжений в материале, напротив, необходимо создавать условия, способствующие длительному остыванию, при которых возможны процессы рекристаллизации, но в наших условия это недостижимо.

Исследования поверхности полученных частиц были проведены с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) и спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР). В результате обработки поверхности покрыта кратерами от воздействия лазерного излучения. Структура поверхности не характерна для режима обработки ультракороткими лазерными импульсами (см. рис. 2, а). На поверхности присутствуют следы оплавления и выброса жидкой фазы мате-

риала, следовательно, источником теплового воздействия является лазерно-индуцированная плазма, время жизни которой значительно больше длительности лазерного импульса и зависит как от приложенной энергии, так и от частоты следования импульсов. В процессе обработки время жизни лазерно-индуцированной плазмы значительно больше промежутка между лазерными импульсами, что приводит к выраженному повышению энергии плазмы, как следствие, сильному тепловому воздействию. РЭМ-изображение поверхности сферы на кремниевой подложке приведено на рис. 2, б. Поверхность микросферы обладает высокой гладкостью и сферичностью. Порядка 80% микросфер укладываются в диапазон размеров 1–3 мкм. Гранулы (микросферы), расположенные на поверхности образца, имеют выраженные дефекты (поры, трещины, нарушения формы), вероятно, вызванные повторным попаданием под источник теплового воздействия (лазерно-индуцированный плазменный факел, лазерное излучение), либо в результате контакта с высокоэнергетическими продуктами лазерной абляции. Микросферы, собранные со дна кюветы, имеют практически идеальную поверхность без выраженных внешних дефектов. Данная особенность характерна для лазерных методов получения сферических микрогранул ввиду высокой плотности мощности и локальности воздействия источника энергии. Образованные сферы покидают область воздействия, не подвергаясь продолжительному по времени воздействию источника энергии, как это происходит при электродуговых и газоплазменных методах синтеза микрогранул.

Исследование поверхности полученных микросфер происходило с помощью СКР. Полученные КР-спектры (рис. 3) говорят о наличии поликристаллитов карбида титана, где соответствующие спектральные линии имеют небольшую интенсивность, но при этом достаточно широкие. Для сравнения результатов исследования были получены КР-спектры с поверхности карбида титана (TiC), изготовленного промышленным путем ($135, 249, 431, 601\text{ см}^{-1}$), и КР-спектры полученных микросфер (TiC -Sphere).

Сравнение показало, что положение спектральных линий совпадает. Технология промышленного синтеза карбида титана предполагает спекание титановой стружки с сажей в условиях высокой температуры и механического уплотнения данной смеси, с последующей длительной гомогенизацией в вакууме при высокой температуре. В нашем случае в результате выброса вещества из области воздействия в объём реакционной среды, выбрасываемое вещество есть титан, насыщенный атомами углерода, образованного в результате диссоциации молекул гексана. Титан является достаточно активным химическим элементом, в данной системе реакция образования карбида титана является единственно возможной. Таким образом, происходит образование химической связи титан – углерод. Ввиду резкого снижения температуры происходит остывание материала микросферы, условия для гомогенизации карбида титана не выполняются, т.е. снижения фазовой неоднородности ввиду роста зерен карбида титана путем дрейфа зародышей, происходящей при высокотемпературной гомогенизации материала, не происходит.

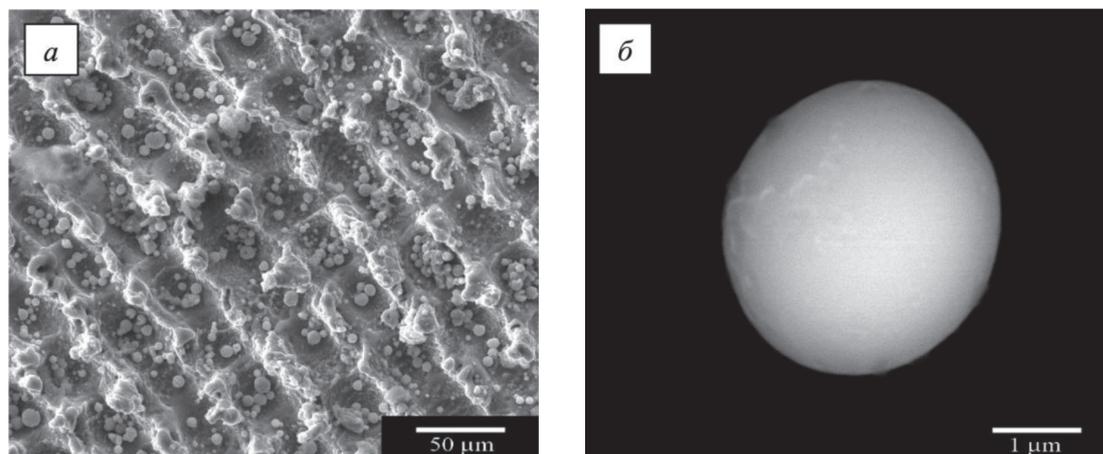


Рис. 2. Полученные экспериментальные образцы композиционного материала:

- а) РЭМ-изображение обработанной поверхности титана,
- б) РЭМ-изображение микросферы на кремниевой подложке

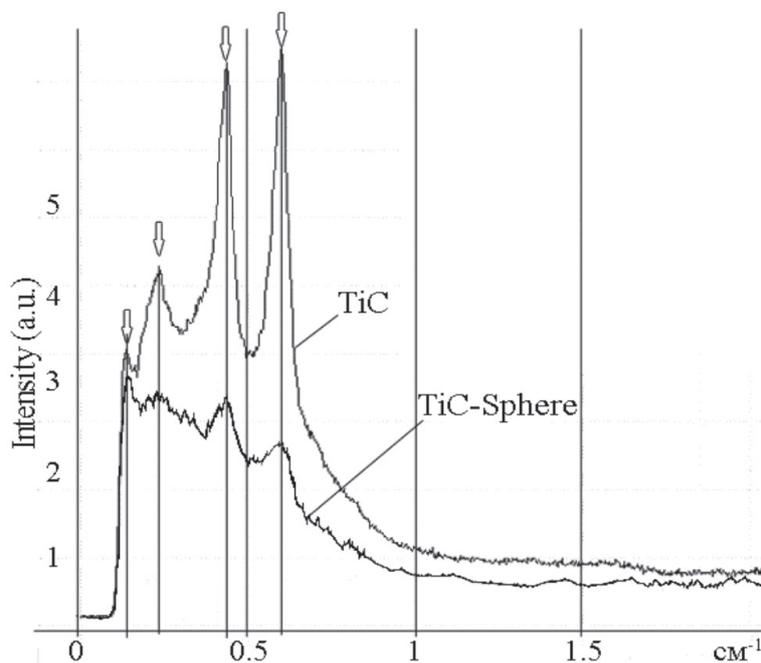


Рис. 3. КР-спектры промышленно синтезируемого карбида титана (TiC) и поверхности синтезируемых микросфер (TiC-Sphere). Белыми стрелками обозначены пики, соответствующие карбиду титана

Полученные в данной работе результаты могут быть полезны для приложений, связанных с аддитивными технологиями за счет небольшого диапазона полученных размеров микросфер: 1–3 мкм, высокой сферичности и гладкости образованной поверхности. Дефицит углерода, отсутствие выраженных зерен карбида титана (наличие исключительно их зародышей, точек кристаллизации) в значительной степени повысит смачиваемость компонентов композиции.

При лазерной наплавке в настоящее время существует проблема выгорания легкоплавких легирующих добавок в результате воздействия лазерного излучения, что обусловлено разной температурой плавления-испарения компонентов композиции, разными коэффициентами поглощения. Так же распространена проблема интенсивного газообразования, что ведет к повышению пористости образуемого материала. Наличие кристаллитов карбида титана в стадии зародышей позволит в значительной степени снизить температуру сплавления данной композиции, что в свою очередь полезно при легировании алюминиевых, цинковых матриц для повышения их характеристик (механических, прочностных, эксплуатационных). Данный способ также может быть использован для введения углерода в различные металлические композиции. Склонность углерода к образованию зерен графита в структуре металлов затрудняет его

равномерное распределение в объеме получаемого материала. Применение подобной легирующей добавки открывает новые возможности для направлений порошковой металлургии. Синтез порошковых материалов с использованием такого подхода позволяет получать различные порошковые композиции, так как при подборе среды обработки и интенсивности воздействия возможно направленно запускать те или иные процессы, способствующие структурным, фазовым и химическим изменениям в обрабатываемых и синтезируемых материалах.

Список литературы

1. Генерация наноструктур при лазерной абляции металлов в жидкостях: новые результаты / Е.В. Бармина [и др.] // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40, № 11. – С. 1012–1020.
2. Formation of nanocavities in the surface layer of an aluminum target irradiated by a femtosecond laser pulse / S.I. Ashitkov [et al.] // Pis'ma v Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki. – 2012. – № 4 (v. 95). – P. 192–197.
3. Cavitation dynamics of laser ablation of bulk and wire-shaped metals in water during nanoparticles production / A. De Giacomo [et al.] // Phys. Chem. Phys. – 2013. – № 15. – P. 3083–3092.
4. Бураков В.С. Спектроскопическая диагностика двойной импульсной лазерной абляционной плазмы в жидкости для оптимизации синтеза наночастиц / В.С. Бураков, А.В. Бутсен, Н.В. Тарасенко // Известия национальной АН Беларуси. – 2015. – № 3. – С. 98–103.
5. Механический анализ жидкофазного вещества массопереноса при плазменной обработке твердого тела / Х.А. Талала [и др.] // Вестник ЮУГУ. – 2012. – № 34. – С. 186–190.
6. Устойчивость шаров микронного размера, образованных импульсной лазерной абляцией металлов в сверхтекучем гелии и воде / Е.Б. Гордон [и др.] // Высокоэнергетическая химия. – 2014. – № 3. – С. 245–252.

УДК 519.65

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАУСДОРФОВА РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ВЫПУКЛЫХ (ИЛИ НЕВЫПУКЛЫХ) МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Данилов Д.И.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, e-mail: DanilovDmitryIgorovich@yandex.ru

В работе приводится краткий исторический анализ проблем и задач, использующих расстояние Хаусдорфа. Задача распознавания образов по своей сути не нова и возникает в самых разнообразных направлениях исследований, начиная от прикладных задач в области безопасности и оцифровки аналоговых сигналов до задач теории оптимального управления и дифференциальных игр. Все эти задачи имеют ярко выраженный междисциплинарный характер и являются основой развития нового поколения технических систем распознавания, носящих сугубо узконаправленный и практический характер в различных направлениях. В данной работе проведен анализ существующих элементов оптимизации Хаусдорфова расстояния для выпуклых и невыпуклых многоугольников и показаны пути оптимизации. При одновременной работе с оперативной памятью компьютера, причем с блоками, находящимися в различных сегментах, возникает необходимость оптимизации не самого алгоритма, а возможности использования сверхоперативной памяти. Поэтому среди современных технологий оптимизации авторы работы остановились на низкоуровневой оптимизации использования сверхоперативной памяти для систем с общей памятью на несколько процессоров. Ключевая идея оптимизации заключалась в «удобном» для вычислителя размещении нескольких основных массивов данных в памяти, что увеличило производительность на 15–20% в зависимости от их размера.

Ключевые слова: расстояние Хаусдорфа, многоугольник, оптимизация, теория оптимального управления, теория дифференциальных игр, теория распознавания образов

EVALUATING THE LOW-LEVEL OPTIMIZATION EFFICIENCY OF CALCULATION THE HAUSDORFF DISTANCE OF THE CONVEX (OR NOT CONVEX) POLYGONS

Danilov D.I.

Ural Federal University the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: DanilovDmitryIgorovich@yandex.ru

The paper provides a brief historical analysis of problems and problems using the Hausdorff distance. The task of pattern recognition is inherently not new and arises in the most diverse areas of research, ranging from applied tasks in the field of security and digitization of analog signals to problems of the theory of optimal control and differential games. All these tasks have a clearly expressed interdisciplinary character and is the basis for the development of a new generation of technical recognition systems that are strictly narrow-minded and practical in various directions. In this paper, we analyze the existing elements of the Hausdorff distance optimization for convex and non-convex polygons and show the optimization paths. When working with the computer's RAM at the same time, and with the blocks in different segments, it was necessary to optimize not the algorithm itself, but the possibility of using the processor cache. Therefore, among the modern optimization technologies, the authors stopped at low-level optimization of the use of the memory for systems with shared memory for several processors. The key idea of optimization was the «convenient» for the calculator placement of several basic data sets in memory, which increased productivity by 15–20%, depending on their size.

Keywords: Hausdorff distance, polygon, optimization, optimal control theory, theory of differential games, theory of image recognition

Задача распознавания образов по своей сути не нова и возникает в самых разнообразных направлениях исследований, начиная от прикладных задач в области безопасности и оцифровки аналоговых сигналов до задач теории оптимального управления и дифференциальных игр. Наибольшее развитие и совершенствование методов решения данных задач наблюдается в современности. Связано это прежде всего с необходимостью снятия возникающих огромных информационных нагрузок с человека и необходимостью ис-

пользовать одновременно мышление и восприятие, свойственное распознаванию. Все эти задачи имеют ярко выраженный междисциплинарный характер и являются основой развития нового поколения технических систем распознавания, носящих сугубо узконаправленный и практический характер в различных направлениях, включая медицину и создание искусственного интеллекта. Одним из самых ранних направлений исследований было оптическое распознавание символов (Optical Character Recognition, OCR).

Анализ методов определения Хаусдорфова расстояния

Среди большого количества работ, посвященных данной тематике, следует выделить обзорную работу [1]. В ней затрагивают как теоретические аспекты, так и аспекты практического плана с точки зрения разработки алгоритмов. Еще в 1990-х гг. написана работы П. Грубера [2] освещающая различные грани аппроксимации выпуклых тел и дальнейшее развитие и исследование смежных с данной темой вопросов. Автор подчеркивает, что наряду с развитием совершенной формы классических подходов появились выдающиеся результаты об аттрактивных множествах.

Хаусдорфовой метрикой [3, 4] называют расстояние h на некотором заданном множестве D между его подмножествами X, Y , где

$$h(X, Y) = \max \left[\max_x \min_y d(x, y), \max_y \min_x d(x, y) \right],$$

где $d(x, y)$ – расстояние между элементами подмножеств заданного множества.

На сегодняшний день существует большое количество работ так или иначе связанных с метрикой Хаусдорфа, реализацией алгоритмов решения различных задач с ее применением и оптимизации существующих алгоритмов. Однако в литературе слабо описаны алгоритмы низкоуровневой оптимизации, применительно к решению задач такого класса. Именно по этой причине в настоящей работе автор останавливается на данном вопросе.

Определение метрического пространства в работе [5] сформулировано для выпуклых неограниченных замкнутых подмножеств Банахового с использованием метрики Хаусдорфа и установили отличия свойств выпуклых с данной метрикой от свойств метрического пространства. Исследования в работе [6] привели к важному утверждению, что не каждый объект в метрическом пространстве может быть аппроксимирован обобщенными многогранниками и в связи с этим ввели понятие обобщенного многогранника и критерии аппроксимации. Показали, что для аппроксимации равномерная непрерывность опорной функции является необходимым и достаточным условием.

Другая не менее важная задача о минимизации метрики Хаусдорфа между двумя выпуклыми многоугольниками решалась в работе [7]. Авторы рассматривают два многоугольника: один являлся неподвижным, а другой мог изменять свое местоположение на плоскости (вращение или параллельный перенос).

Ушаков и Лебедев [8] разработали и апробировали итерационные алгоритмы пошагового сдвига и вращения, гарантирующие уменьшение Хаусдорфова расстояния между подвижным и неподвижным объектами с использованием дифференциальных свойств функции евклидова расстояния до выпуклого множества и геометрических свойств чебышевского центра компактного множества, и доказали теоремы о корректности разработанных алгоритмов для широкого класса случаев. Многократный запуск алгоритма позволяет выбрать наилучший из вариантов.

В работах А.Б. Куржанского [9] и Ф.Л. Черноусько [10] используют в работах аппроксимацию эллипсоидами и параллелепипедами при решении задач оптимального управления множества достижимости динамических систем. В данном случае критерием оптимальности является расстояние Хаусдорфа.

По причине нарастания информатизации пространства и повышения интенсивности применения вычислительной техники не только обычными людьми для бытовых нужд, но и узкими специалистами в своей работе, растет потребность в алгоритмах и их оптимизации – как на алгоритмическом уровне, так и с применением новейших параллельных технологий. Еще одним не менее важным направлением исследовательской работы считается создание новых оптимизационных алгоритмов. Чтобы сравнивать создаваемые алгоритмы с уже имеющимися, разработчики применяют метрики Хаусдорфа в роли критерия их оптимальности. Еще одним серьезным минусом генетического алгоритма можно назвать чрезмерную вычислительную сложность. Потребуется обучить огромное число суррогатных моделей и выполнить глобальный поиск максимума вероятности улучшения. Перечисленные шаги потребуют значительных временных затрат. Невзирая на вышеуказанные минусы алгоритма, его предназначением являются сложные целевые функции. При этом с вычислительной точки зрения, чем дольше длится вычисление, тем меньше будет относительное время работы алгоритма.

Методы низкоуровневой оптимизации

Отсюда следует, что применение оптимизации на базе метрики Хаусдорфа станет возможным, если привести структуры начальных данных или в векторный вид, или в матричный, в соответствии с подобранными критериями. Представление первоначальных данных в подобном формате дает возможность пользоваться матрич-

ным алгоритмом оптимизации, реализованным, к примеру, в MATLAB, либо специализированными алгоритмами записи и сохранения алгоритмов в памяти ЭВМ, а также пользоваться низкоуровневой оптимизацией, рассмотренной в работе [11].

Наиболее детальное описание современных алгоритмов представлено в работе [12]. Авторы сделали подробное описание алгоритмов распознавания многоугольников с установленным порогом для вычисления расстояния. Было продемонстрировано, что созданный алгоритм находит решение задачи за временной период порядка $(m \times n)$, при этом обычным алгоритмам необходимо $(m \times n) \log(m \times n)$. Авторы представили подробное описание алгоритмов для геометрических объектов, таких как цепочка, цикл, ломаные линии и многоугольники. В работе [12] продемонстрировано, что трудоемкость вычислений увеличивается в последующем порядке: вначале цепочки, далее циклы, потом ломаные и в конечном итоге многоугольники. Они разработали алгоритм для проверки усиленного неравенства для n -угольников множества Y и m -угольников множества X , с линейной зависимостью от этих величин.

Общеизвестно [11], что при обработке огромных массивов данных появляется потребность в ускорении вычислительного процесса. Выполним краткий анализ используемых сегодня технологий распараллеливания. Бурный рост параллельного программирования стал причиной возникновения разнообразных технологий параллельного обрабатывания данных. В числе первых кластерных технологий появилась технология MPI (от англ. Message Passing Interface, в переводе – интерфейс передачи сообщений). В дальнейшем на базе MPI был разработан GRID, выполняющий роль средства группового использования вычислительных мощностей с помощью сети Интернет. Одновременно с совершенствованием кластерных и узловых технологий развивались и методики распараллеливания внутри одного вычислителя. Вначале была разработана технология поддержки многопоточности в рамках одной программы. После возникновения многоядерных и мультипроцессорных систем данная технология получила второе рождение, и сегодня нередко используется в различных приложениях.

Одной из самых известных и востребованных технологий стала OpenMP, базирующаяся на многопоточности. Технологии распараллеливания вычислений, без сомнений, дают превосходную возможность

повысить скорость вычислений, однако они обладают определенными недостатками, наиболее значимым из которых можно назвать фактическую неосуществимость полного распараллеливания алгоритма и выхода на линейную зависимость увеличения производительности от количества процессоров.

В 1990-х гг. А.Г. Гофман внес предложение по синхронной работе с оперативной памятью, притом с блоками, расположенными в разных сегментах. Однако, если принять во внимание специфику архитектуры нынешних компьютеров, становится ясно, что она нивелирует любой временной выигрыш, полученный при одновременном исполнении арифметических операций в алгоритме. Данное обстоятельство сопряжено с тем, что время доступа к ячейкам памяти, расположенным на определенной дистанции друг от друга, превышающей размер процессорной КЭШ-линии (а в особенности в различных сегментах памяти) порождает Cache Miss (КЭШ-промахи). В результате появляется задержка в работе системного микропроцессора в размере сотен тактов, при этом для выполнения простых арифметических действий, таких как складывание, вычитание, перемножение и деление (требует больше всего времени из перечисленных), необходимо лишь несколько десятков тактов [11]. Если появится потребность, можно прибегнуть к последовательному перебору линий данных в обоих направлениях.

Чтобы распараллелить вычисления с применением кластерного подхода и подключением библиотеки MPI, необходимо особое программное обеспечение, инсталлированное на каждый узел кластера, а кроме того, огромное число компьютеров, исполняющих функцию этих узлов. Помимо этого, при создании параллельной реализации алгоритма необходимо свести к минимуму информационный обмен между узлами, поскольку это играет роль «бутылочного горлышка» в рассматриваемой системе.

Самой перспективной и занимательной из вышеупомянутых технологий можно считать мелкозернистую сборку вычислений, изобретенную с целью поддержки параллельной реализации крупномасштабных численных моделей. Вместе с мелкозернистой сборкой и трехмерной декомпозицией расчетной области происходит распределение итоговых частей между кластерными узлами. Но, увы, мелкозернистая сборка обеспечивает прирост производительности лишь на довольно крупномасштабных моделях, обрабатывающих огромные массивы данных и осу-

ществляющих огромное число вычислительных операций. Кроме того, подобная реализация обеспечивает значительное увеличение быстродействия лишь в случае наличия слабой связи по данным между элементами расчетной области.

Результаты и их анализ

Тем не менее использование низкоуровневой оптимизации доступно лишь тем, кто разбирается в механизме исполнения команд на нынешних микропроцессорах. Воспользовавшись этими сведениями, можно добиться значительного ускорения выполнения процедуры (на десятки процентов). Низкоуровневая оптимизация потребления сверхоперативной памяти состояла в «ком-

фортном» для вычислителя расположении ряда ключевых массивов данных, а это в свою очередь повышало быстродействие минимум на 15%, исходя из величины массивов. Такое размещение для трехмерных массивов показано на рис. 1.

Использование низкоуровневой оптимизации приводит к существенному ускорению процесса вычислений. В качестве базы для оценки эффективности низкоуровневой оптимизации был использован распараллеленный, но не оптимизированный на низком уровне код. На рис. 2 показано ускорение вычислений в результате оптимизации при распараллеленном коде. Как видно из рисунка, оптимизация позволяет увеличить скорость вычислений на 41%.

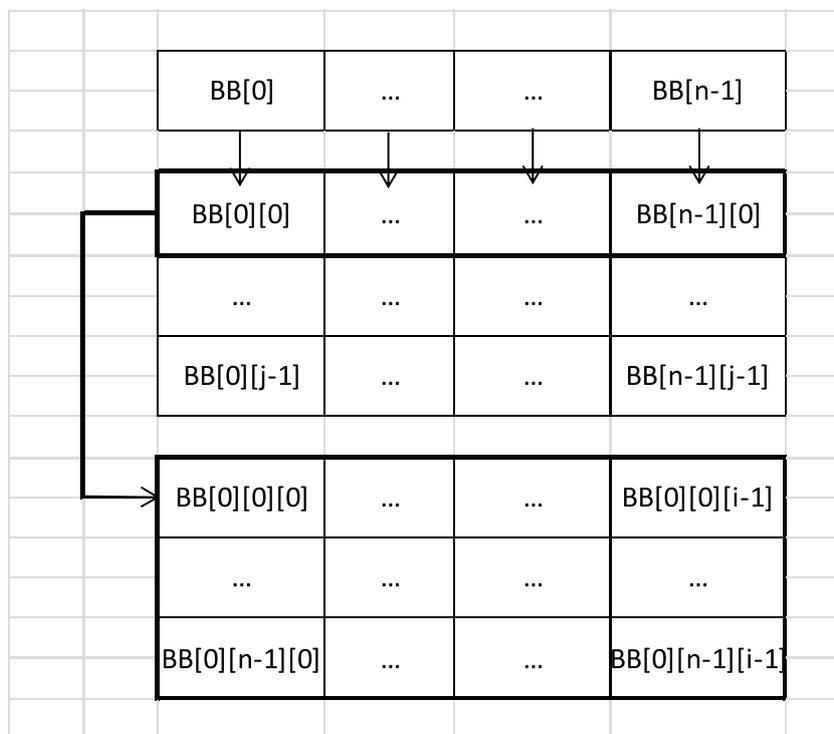


Рис. 1. Размещение в памяти 3D массива для низкоуровневой оптимизации

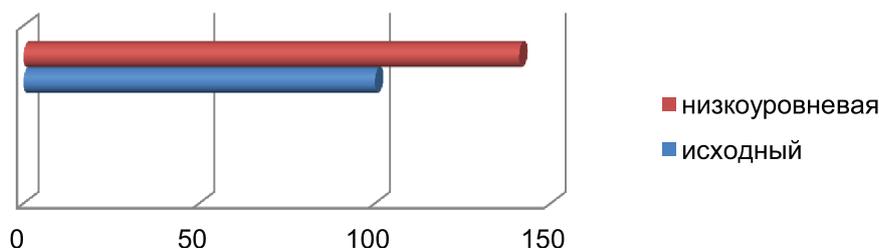


Рис. 2. Увеличение быстродействия вследствие низкоуровневой оптимизации

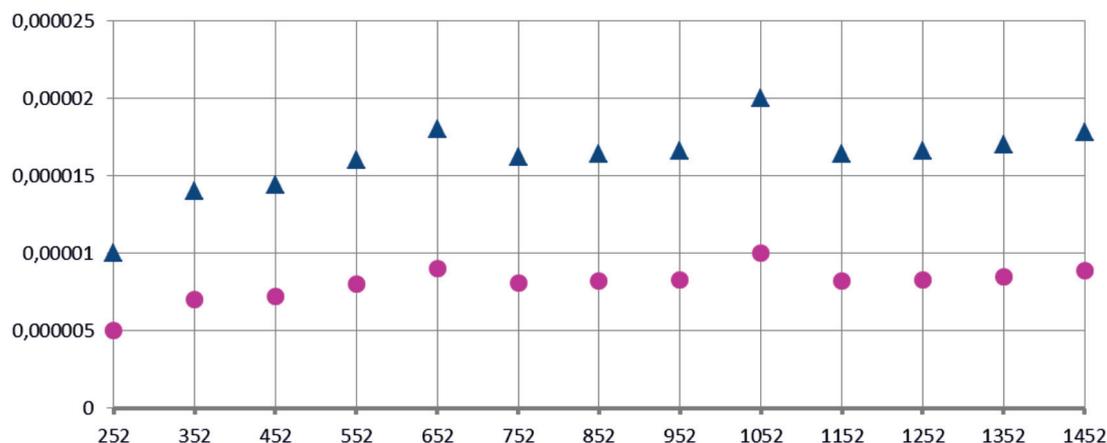


Рис. 3. Рост скорости при эффективном использовании низкоуровневой оптимизации

На рис. 3 показана зависимость времени выполнения кода, ортонормированная на объем данных. На графике видно, что на отдельных размерностях сетки наблюдается серьезное замедление вычислительного процесса, что сопряжено с недостаточно рациональным использованием cache-памяти вычислителя. Проведение низкоуровневой оптимизации увеличит рациональность использования cache-памяти, а благодаря этому возрастет и вычислительная скорость на 40%, как демонстрирует розовая кривая.

Заключение

Подытоживая, стоит отметить, что увеличение быстродействия достигнуто благодаря росту рациональности использования КЭШ-памяти вычислителя. При добавлении распараллеливания на многоядерных машинах наблюдается дополнительный рост вычислительной скорости.

Список литературы

1. Бронштейн Е.М. Аппроксимация выпуклых множеств многогранниками // Современная математика. Фундаментальные направления. – 2007. – Т. 22. – С. 5–37.
2. Gruber P.M. Comparison of best and random approximation of convex bodies by polytopes // Rend. Circ. Math. Palermo (2). – 1997. – № 50. – С. 189–216.
3. Петров Н.Н. Введение в выпуклый анализ: учеб. пособие. – Ижевск, 2008. – 168 с.

4. Арутюнов А.В. Лекции по выпуклому и многозначному анализу. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 184 с.

5. Яксубаев К.Д. Метрическое пространство неограниченных выпуклых множеств и неограниченные многогранники / К.Д. Яксубаев, Ю.А. Шуклина // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2017. – выпуск 5(59). – С. 162–164.

6. Яксубаев К.Д. Метрическое пространство неограниченных выпуклых множеств и неограниченные многогранники / К.Д. Яксубаев, Ю.А. Шуклина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 05 (59), Часть 3. – С. 162–164.

7. Бронштейн Е.М. Аппроксимация выпуклых множеств многогранниками // Современная математика. Фундаментальные направления. – 2007. – Т. 22. – С. 5–37.

8. Ushakov V.N. Iterative methods for minimization of the Hausdorff distance between movable polygon / V.N. Ushakov, P.D. Lebedev // Vestn. Udmurtsk. Univ. Mat. Mekh. Komp. Nauki. – 2017. – № 27:1. – P. 86–97.

9. Куржанский А.Б. Об описании множеств выживающих траекторий дифференциального включения / А.Б. Куржанский, Т.Ф. Филиппова // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 289, № 1. – С. 38–41.

10. Черноушко Ф.Л. Оценка фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов. – М.: Наука, 1988. – 320 с.

11. Романов А.В. Об использовании сверхоперативной памяти для решения системы алгебраических уравнений методом переменных направлений / А.В. Романов, Л.Ю. Катаева // В книге: Будущее технической науки. VII Международная научно-техническая молодежная конференция. – 2008. – С. 33–34.

12. Распознавание сходства многоугольников в усиленной хаусдорфовой метрике / М.И. Шлезингер, Е.В. Водозаский, В.М. Яковенко // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 174–187.

УДК 004.032.26:681.5

МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**Денисова Е.В., Мигранов А.Б., Черникова М.А.**

*Институт механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского
федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа,
e-mail: denisova.anrb@mail.ru, abm.imech.anrb@mail.ru, chernikovamarina18@gmail.com*

В работе рассмотрен новый подход к моделированию динамики газотурбинного двигателя на основе матричного метода представления динамической характеристики с использованием интеллектуального алгоритма. Показано, что представление динамической характеристики в виде матриц позволяет охватить весь диапазон режимов работы двигателя. В модель введены две нейронные сети, позволяющие аппроксимировать заданный набор параметров «вход-выход» динамической характеристики. Разработана модель газотурбинного двигателя в среде имитационного моделирования Simulink. Показаны результаты работы модели газотурбинного двигателя для двух случаев: когда в матрицу по расходу топлива, основанную на динамической характеристике, поступают сигналы, совпадающие с матричными; когда входные сигналы не совпадают с параметрами в матрице, за счет чего и осуществляется поиск выходного сигнала с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, матричный подход, нейронные сети, интеллектуальный алгоритм

A MATRIX APPROACH TO THE MODELING OF A GAS TURBINE ENGINE WITH THE USE OF NEURAL NETWORKS**Denisova E.V., Migranov A.B., Chernikova M.A.**

*Mavlyutov Institute of Mechanics – Subdivision of the Ufa Federal Research
Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail denisova.anrb@mail.ru,
abm.imech.anrb@mail.ru, chernikovamarina18@gmail.com*

The paper considers a new approach to modeling the dynamics of a gas turbine engine based on the matrix method of representing a dynamic characteristic using an intelligent algorithm. It is shown that the representation of the dynamic characteristic in the form of matrices allows to cover the entire range of engine operating modes. Two neural networks are introduced into the model, allowing to approximate a given set of input-output parameters of the dynamic characteristic. A model of a gas turbine engine is developed in Simulink simulation environment. The results of the operation of the gas turbine engine model are shown for two cases: when the matrix for the fuel consumption based on the dynamic characteristic receives signals that coincide with the matrix ones; when the input signals do not coincide with the parameters in the matrix, due to which the search for the output signal with the help of neural networks is carried out.

Keywords: gas turbine engine, matrix approach, neural networks, intelligent algorithm

Получение научных результатов в настоящее время невозможно представить без предварительного моделирования на компьютере, что значительно снижает стоимость любой разработки, так как математическая модель объекта управления является ключевым элементом исследований в авиационной промышленности до натурных или полунатурных испытаний газотурбинного двигателя (ГТД), существует возможность проанализировать и провести предварительные исследования, поэтому целесообразно совершенствовать методы моделирования динамики ГТД.

Процессы, происходящие при работе двигателя и топливной автоматики, имеют сложный нелинейный характер, при этом они соразмеримы по времени, что является актуальным при работе коротко-ресурсных двигателей для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Ранее объ-

ект управления рассматривался как единое целое, включая в себя агрегат дозирования топлива (АДТ) и сам ГТД, при этом динамическая характеристика (ДХ) для проектирования системы автоматического управления (САУ) представлялась в виде аperiodического звена первого порядка [1]. Такое представление объекта управления не позволяет учитывать нелинейные процессы, происходящие как в топливной автоматике, так и в самом двигателе, что существенно снижает качество управления всей системы автоматического управления БПЛА в целом.

Достаточно длительное время для моделирования ГТД используют ДХ двигателя, применяя кусочно-линейный метод аппроксимации нелинейных характеристик и выбирая один режим работы (стабилизацию). К недостаткам такого подхода моделирования ДХ двигателя относится невоз-

возможность охвата всех нелинейных кривых, а также трудности в «склейке» полученных полиномов, при этом синтезировались лишь алгоритмы управления режимом стабилизации. Управление режимами разгона, как правило, носило эмпирический характер, программа разгона корректировалась в процессе натурных испытаний.

Для того чтобы управлять всеми режимами работы двигателя в условиях его применения, предлагается использовать матричное представление самой ДХ, которое будет охватывать весь диапазон режимов работы двигателя. В перспективе подобный подход будет использован и для моделирования АДТ, что позволит построить динамику «неизменяемой» части САУ в едином информационном пространстве.

Нейронные сети долгое время рассматриваются как универсальный подход к построению математических моделей систем, они позволяют эффективно находить приближенные решения начально-краевых задач для уравнений в частных производных, учитывать нелинейные эффекты и возмущения коэффициентов [2]. Новизна настоящей работы заключается в использовании двух нейронных сетей при разработке модели ГТД, что позволит учитывать весь диапазон нелинейных кривых ДХ, представленной в виде матриц.

Целью работы является разработка матричного подхода к моделированию ГТД с помощью нейронных сетей, что позволит достаточно точно отразить динамические процессы в ГТД во всем диапазоне режимов работы и условий применения.

Постановка задачи

Рассмотрим ДХ ГТД, представляющую собой зависимость трех параметров: расход топлива \bar{G}_T , частота вращения ротора турбокомпрессора \bar{n} , скорость изменения частоты вращения ротора турбокомпрессора $\dot{\bar{n}}$ (рис. 1). Все параметры ДХ представлены в приведенных значениях.

ДХ является графическим отображением статических и динамических свойств ГТД в широком диапазоне режимов работы. Используя подход к проектированию математической модели двигателя на основе матричного представления ДХ [3], необходимо разработать модель ГТД, охватывающую весь диапазон режимов работы и условий применения.

Методы решения

Воспользуемся методом матричного представления ДХ, описанным в работе [3]. Суть метода заключается в фиксации параметров ДХ в виде матриц. В работе ис-

пользуется матрица по расходу топлива $A_{\bar{G}_T} = (\bar{G}_T \quad \bar{n} \quad \dot{\bar{n}})$. Для того чтобы провести «склейку» матриц и сгладить переход на границе перепуска ленты, матрица по расходу топлива разбивается на две части: $A_{\bar{G}_T} 1$ и $A_{\bar{G}_T} 2$. Матрица $A_{\bar{G}_T} 1$ соответствует области ДХ до значения количества оборотов турбокомпрессора $\bar{n} = 0,72$, когда срабатывает лента перепуска воздуха, а матрица $A_{\bar{G}_T} 2$ – области ДХ после этого значения.

Для разработки математической модели двигателя необходимо решить задачу непрерывного по времени перехода с режима на режим ДХ на всем многообразии режимов работы и условий применения.

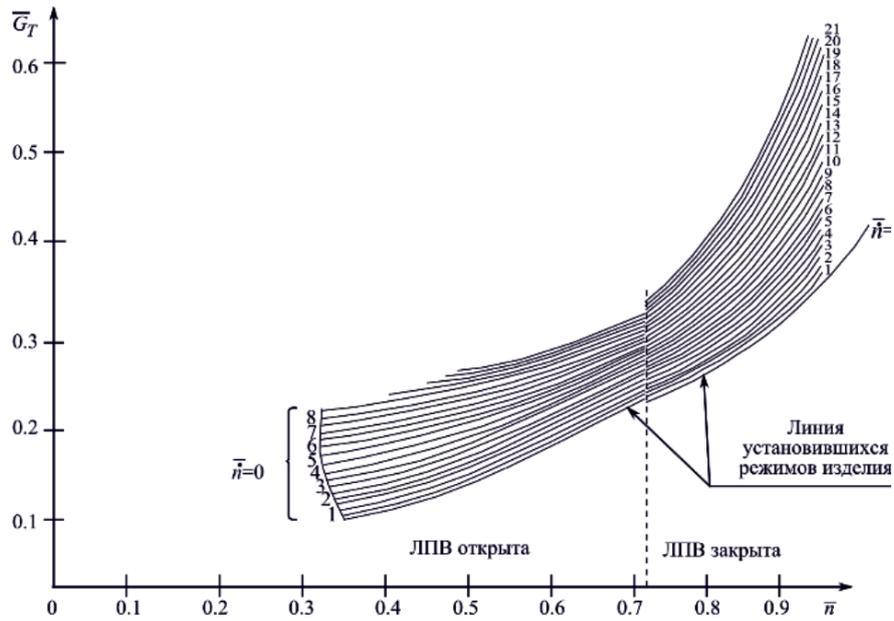
Модель двигателя в среде имитационного моделирования *Simulink* представляет собой блок, на вход которого поступают приведенные значения расхода топлива и частоты вращения ротора турбокомпрессора, а на выходе формируется приведенное значение ускорения ротора.

Блок модели ГТД в *Simulink* с использованием двух нейронных сетей на основе матричного подхода представлен на рис. 2.

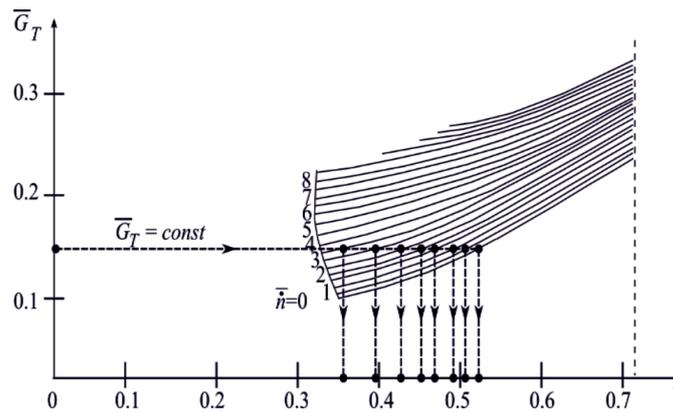
Логика работы блока модели ГТД заключается в следующем.

На вход блока модели ГТД поступают два значения параметров: расход топлива и частота вращения ротора турбокомпрессора в приведенных значениях, в среде моделирования *Simulink* эти параметры представлены в виде блока константы (*Constant*). Далее сигналы поступают на вход блока условия (*Uslovie*): если значение частоты вращения ротора турбокомпрессора $\bar{n} < 0,72$, то входные данные поступают в блок нейронной сети, обученной на основе матрицы по расходу топлива $A_{\bar{G}_T} 1$ (*Neural Network for Agt1*), иначе – на вход матрицы $A_{\bar{G}_T} 2$ (*Neural Network for Agt2*). Нейронные сети введены и обучены для поиска входных значений, которые совпадают и не совпадают с матричными, что является объективным, так как при работе ГТД не могут быть получены значения параметров, в точности соответствующие матричным. На выходе формируется значение ускорения ротора турбокомпрессора $\dot{\bar{n}}$, которое соответствует входным данным, найденным в матрице по расходу топлива.

Для аппроксимации заданного набора входных-выходных данных можно воспользоваться различными подходами. Чтобы не искать явный вид функциональной зависимости, используем нейронную сеть для ее описания. Нейронные сети являются универсальными аппроксиматорами сложных нелинейных функциональных зависимостей [3].



а)



б)

Рис. 1. Динамическая характеристика силовой установки БПЛА, где (а) \bar{G}_T – относительное значение расхода топлива, \bar{n} – относительная частота вращения ротора, $\dot{\bar{n}}$ – относительное ускорение ротора; (б) Пример образования матрицы значений по расходу топлива ($A_{\bar{G}_T}$)

Для обучения нейронной сети не требуется никакой априорной информации о структуре искомой функциональной зависимости. Нужна лишь обучающая выборка в виде экспериментальных пар «вход-выход».

Обычно для обучения нейронной сети необходимо выполнить предобработку исходных данных, которая заключается в нормализации данных, то есть необходимо привести числовые значения к конкретному диапазону значений, например, от 0 до 1

или от -1 до 1. В данном случае в этом нет необходимости, так как исходные данные уже лежат в этом диапазоне: X меняется от 0,08 до 0,26, Y меняется от 0,35 до 0,69, где X – вектор входных параметров (\bar{G}_T, \bar{n}), а Y – выходной параметр ($\dot{\bar{n}}$).

Для решения поставленной задачи выберем многослойный персептрон, обучаемый согласно алгоритму обратного распространения ошибки, так как доказана применимость теоремы об универсальной аппроксимации к многослойному персептрон.

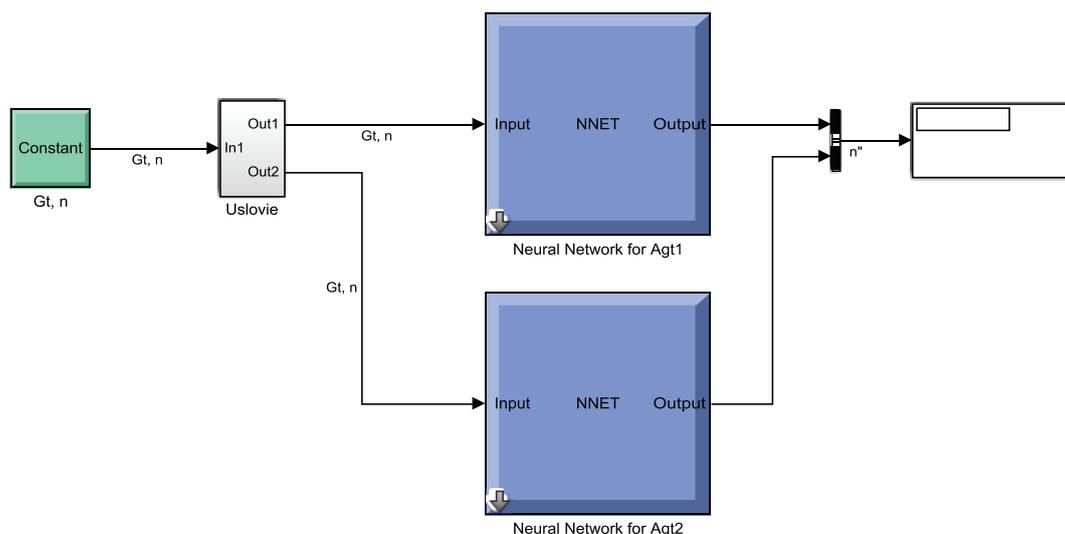


Рис. 2. Блок модели ГТД в Simulink с использованием двух нейронных сетей на основе матричного подхода

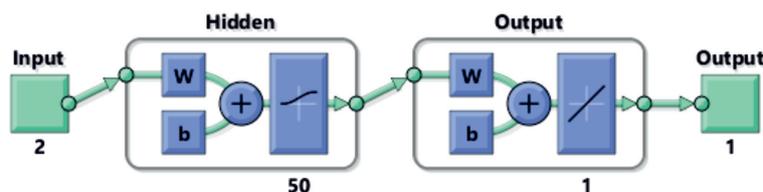


Рис. 3. Структура нейронной сети

Число нейронов во входном и выходном слоях соответствует числу входных и выходных параметров: во входном слое – 4, в выходном – 2.

В структуре сети существует один скрытый слой (рис. 3), так как теорема об универсальной аппроксимации утверждает, что многослойного персептрона с одним скрытым слоем достаточно для построения равномерной аппроксимации с точностью ϵ для любого обучающего множества, представленного набором входов и откликов. Количество нейронов в скрытом слое примем 50 [4]. Как показали представленные далее результаты, такое количество нейронов обеспечивает необходимую точность аппроксимации и низкие затраты на время обучения нейронной сети.

Во входном слое используем сигмоидальную функцию активации, в выходном – линейную, что обусловлено простотой применения, обучения и статистического анализа [5]. На рис. 4 представлен результат аппроксимации исходных данных нейрон-

ной сетью, где «.» показаны экспериментальные данные, «o» – выход нейронной сети. Средняя ошибка аппроксимации составляет 0,018.

Результаты

Разработан блок модели ГТД для имитационного моделирования в среде *Simulink* с использованием двух нейронных сетей. В таблице представлены результаты работы блока и приведено сравнение с матричными значениями для матрицы по расходу топлива A_{G_r} . В таблицу внесены данные расхода топлива и частоты вращения ротора турбокомпрессора, взятые из матрицы, на основе которой была построена нейронная сеть: промежуточные значения расхода топлива и количества оборотов, которые могут быть получены в ходе работы двигателя и могут не совпадать с матричными; приведен диапазон значений ускорения ротора турбокомпрессора, в который должно «попасть» значение ускорения ротора при работе нейронной сети.

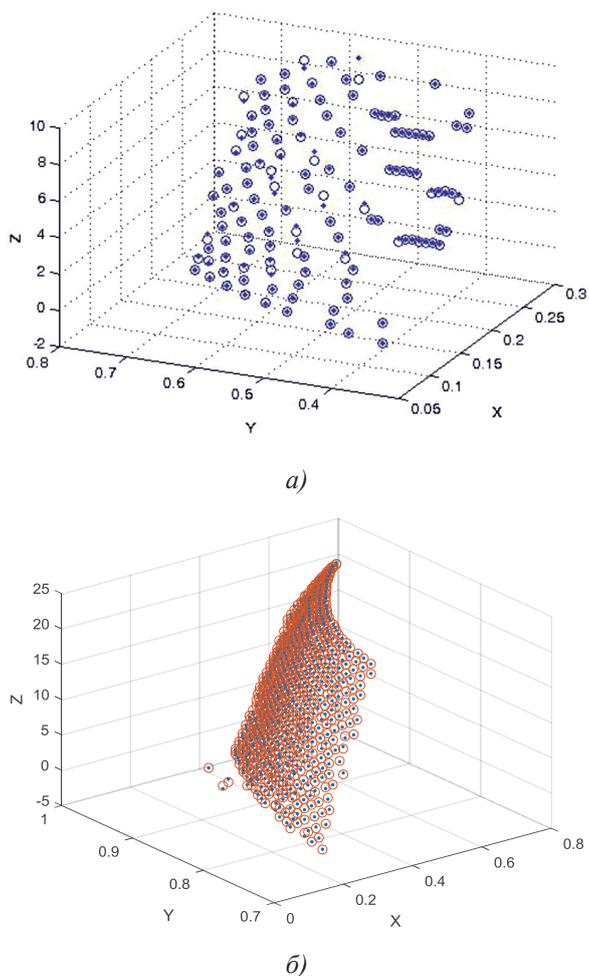


Рис. 4. Результаты аппроксимации: (а) для матрицы по расходу топлива $A_{\bar{G}_T}$ 1; (б) для матрицы по расходу топлива $A_{\bar{G}_T}$ 2

Результаты работы блока модели ГТД

Значения входных параметров, соответствующие матричным		Сравнение матричного значения ускорения ротора с результатами работы НС		Значение входных параметров, представленных в произвольном виде		Сравнение диапазона возможных матричных значений ускорения ротора с результатами работы НС	
\bar{G}_T	\bar{n}	\bar{n} (Матричное значение)	\bar{n} (Полученное при работе блока)	\bar{G}_T	\bar{n}	\bar{n} (Матричное значение)	\bar{n} (Полученное при работе блока)
0,16	0,68	0,5	0,49	0,163	0,4	0,38–0,44	3,924
0,17	0,665	1,5	1,416	0,179	0,645	2,5–3,5	2,965
0,19	0,34	5,5	5,549	0,195	0,52	5–5,5	5,44
0,19	0,69	2,5	1,956	0,211	0,675	4–6	4,154
0,2	0,69	3,5	2,5	0,237	0,52	8–8,5	8,378
0,17	0,73	0	0,0958	0,207	0,7355	5–6	6,252
0,2	0,745	4	4,218	0,243	0,781	7–8	6,935
0,24	0,789	6	5,346	0,315	0,765	20–21	20,16
0,27	0,81	7	7,086	0,505	0,922	16–17	16,93
0,32	0,89	1	0,9506	0,557	0,913	21–22	21,93
0,46	0,88	20	20,18	0,593	0,954	18–19	18,08
0,51	0,9	21	20,69	0,616	0,9195	24–24	24,08

Из таблицы видно, что нейронная сеть полностью обрабатывает полученные на входе значения, которые удовлетворяют матричным значениям.

Заключение

В настоящей статье разработан блок для имитационного моделирования математической модели ГТД на основе ДХ с помощью матричного подхода и нейронных сетей. Показан блок ГТД в среде моделирования *Simulink*. Приведены результаты работы данного блока. Полученная модель будет применяться при моделировании САУ ГТД, а также может быть использована для согласования динамики работы АДТ и ГТД.

К достоинствам проведенного исследования моделирования ГТД, реализованного в виде двух нейронных сетей на основе матричного подхода, можно отнести следующее: ДХ воспроизводится во всем диапазоне режимов работы и условий применения в виде модели двигателя: от разгона до выхода на режим стабилизации; в дальнейшем разработанный подход позволит подбирать

алгоритм управления режимом разгона с переходом на режим стабилизации; повысить точность управления силовой установкой. Использование двух нейронных сетей позволяет находить значения на всей рабочей области ДХ.

Список литературы

1. Сю Д. Современная теория автоматического управления и ее применение / Д. Сю, Мейер А. – М.: Книга по требованию, 2013. – 550 с.
2. Васильев А.Н. Математическое моделирование распределенных систем с помощью нейронных сетей // Математическое моделирование. – 2007. – Т. 19, № 12. – С. 32–42.
3. Денисова Е.В. Новый подход к проектированию систем автоматического управления силовыми установками беспилотных летательных аппаратов / Е.В. Денисова, М.А. Черникова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12–1. – С. 13–18.
4. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник / Л.С. Болотова. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.
5. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы: учебник / Л.Н. Ясницкий [Электронный ресурс]. – URL: <http://files.pilotlz.ru/pdf/cp73-6-ch.pdf> (дата обращения: 25.01.2018).

УДК 67.05:666.972.2

МЕТОДИКА БАЛАНСИРОВКИ ДЕБАЛАНСОВ ВИБРАТОРА НА ВИБРОПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

¹Джашеев А.-М.С., ¹Кидакоев А.М., ¹Акбаева Ф.А., ²Джашеев К.А.-М.

¹Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, Черкесск, e-mail: 0909dams@mail.ru;

²Карачаево-Черкесский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Карачаевск

В статье описывается влияние регулировки дебалансов вибраторов вибропрессового оборудования предназначенного для изготовления штучных изделий из жестких бетонов (тротуарная плитка, бордюры и другие) на качество выпускаемой продукции. Проведен теоретический анализ условий работы вибропрессового оборудования в различных условиях. Предложены приспособления и методика для подбора массы дебалансов вибраторов, устанавливаемых на вибропрессовое оборудование. Результаты проверки предложенных методик регулировки на вибропрессе ЛП-500 (изготовитель завод «Красная Пресня») в производственных условиях показали, что качество выпускаемой продукции улучшилось. Тротуарная плитка получалась одинаковой по высоте, этот показатель определялся согласно ГОСТ 26433.1-86 расстоянием между двумя плоскостями. Выровненность тротуарной плитки по высоте превышала требования ГОСТа (по ГОСТ 70 ± 5 мм получалось 70 ± 1 мм), а по прочности тротуарной плитки ГОСТ 17608-91 требует, чтобы она составляла 90% от класса бетона по прочности на сжатие, из которого она составлена. До наладки вибропресса прочность плитки доходила до 70% от класса бетона по прочности на сжатие, эти же показатели, полученные после наладки вибропресса по вышеприведенным методикам, достигали 95 ± 2%. На восьмой день сушки количество тротуарной плитки, не отвечающей техническим условиям, уменьшилось с 9,2% до 1,8%, по сравнению с результатами продукции вибропресса, налаженного в заводских условиях.

Ключевые слова: вибропресс, вибростол, дебаланс, бетон, вибратор, уплотнение, исследования, статический момент, возмущающие центробежные силы

TECHNIQUE OF BALANCING OF DEBALANS OF THE VIBRATOR ON THE VIBROPRESS EQUIPMENT

¹Dzhasheev A.-M.S., ¹Kidakoev A.M., ¹Akbaeva F.A., ²Dzhasheev K.A.-M.

¹North Caucasian State Humanitarian and Technological Academy, Cherkessk, e-mail: 0909dams@mail.ru;

²Karachaevo-Cherkessian Scientific Research Institute Agriculture, Karachaevsk

The influence of adjustment of debalans of vibrators of the vibropress equipment intended for production of piece products from rigid concrete (paving slabs, border and others) on quality of products is described in article. The theoretical analysis of operating conditions of the vibropress equipment in various conditions is carried out. The device and technique for selection of mass of debalans of the vibrators installed on the vibropress equipment are offered. Results of check of the offered adjustment techniques on LP-500 vibrating press (manufacturer Plant Krasnaya Presnya) under production conditions have shown that quality of products has improved. Paving slabs obtained the same height, this figure was determined according to State Standard 26433.1-86 distance between two planes. Levelness of paving slabs on height exceeded requirements of State Standard (according to State Standard 70 ± 5 mm it turned out 70 ± 1 mm), and on durability of paving slabs of State Standard 17608-91 demands that it is made 90% of a class of concrete on durability on compression from which it is made. Before adjustment of the vibrating strength of the tile reached 70% of the concrete compressive strength, the same parameters obtained after adjustment of the machine according to the above methods, reached 95 ± 2%. For the eighth day of drying the quantity of the paving slabs which aren't answering to specifications has decreased from 9,2% to 1,8%, in comparison with results of production of the vibrating press adjusted industrially.

Keywords: a vibrating press, a vibrotable, debalans, concrete, the vibrator, high-quality consolidation, researches, the static moment, the revolting centrifugal forces

Вибраторы ИВ-107А, используемые в стройиндустрии, производятся Ярославским заводом для установки на виброплощадки, уплотняющие бетонные смеси, вибропрессы и другое трамбовочное оборудование. Вибратор содержит по два дебаланса с каждой стороны вращающегося вала якоря. Статистический анализ показал, что эти дебалансы вибраторов имеют разную массу, достигающую ± 150 грамм. По этой причине на концах вала якоря вибратора при его вращении появляются разные по величине возмущающие центробежные силы. Векторы возмущающих сил в таком

случае не будут равными и могут располагаться под углом друг к другу. При работе одного вибратора, закрепленного на плиту рабочего органа, эти усилия воспринимаются рабочим органом и передаются уплотняемому материалу. Рабочий орган колеблется так, что его точки описывают в пространстве эллипсоиды, а не прямую линию направленного действия. Если технология, где используется вышеописанный вибратор, и траектория движения рабочего органа (вибростола) удовлетворяет нормативным требованиям выполняемых работ, то величину возмущающих центробежных

сил, вырабатываемых вибратором, можно регулировать путем увеличения или уменьшения массы дебалансов, как это предусмотрено заводом-изготовителем.

На вибропрессовом оборудовании, предназначенном для изготовления штучных изделий из жестких бетонов, (к примеру: элементы для мощения тротуаров, площадей, такие как плитка, бордюры и другие) вибраторы для уплотнения бетона на вибростол пресса обычно крепят попарно (две штуки рядом) [1, 2]. По условиям работы вибростола на вибропрессовом оборудовании требуется, чтобы траектория колебаний всех точек поверхности вибростола была в вертикальном направлении, прямолинейной и одинаковой по возмущающей силе [1, 3]. Достигнуть эти требования вибраторами, к примеру, выпускаемыми на Ярославском заводе, без специальной их переделки невозможно. Прямолинейную по направлению и одинаковую по возмущающей силе на всей поверхности вибростола можно достигнуть только при одинаковой массе всех четырех дебалансов и при одинаковом расположении их центра масс относительно осей вращения якорей вибраторов. Для примера рассмотрим вибратор, выпускаемый Ярославским заводом ИВ-107А. Эксцентриситет дебаланса (расстояние от центра вращения до центра тяжести неуравновешенной части) сектора, выделенной углом α по форме (рис. 1), в справочной литературе определяется по формуле (1) [4, 5]:

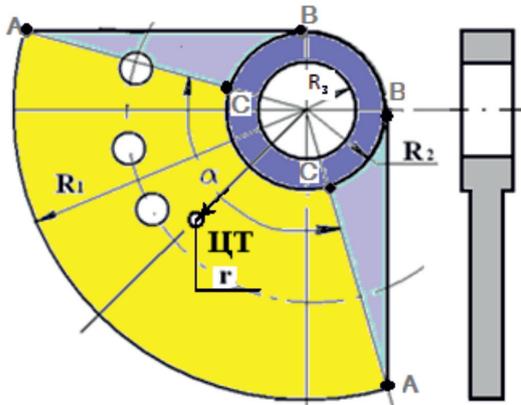


Рис. 1. Регулировочный дебаланс вибратора ИВ-107А, r – расстояние от центра вращения дебаланса до центра тяжести неуравновешенной его части

$$r = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{R_1^3 - R_2^3}{R_1^2 - R_2^2} \cdot \frac{180^\circ}{\alpha^\circ} \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ см.} \quad (1)$$

где $R_1 = 9$ см; $R_2 = 2,7$ см;
 $\alpha = 90^\circ + 2\arcsin(R_2/R_1) = 90^\circ + 2\arcsin(2,7/9) = 90^\circ + 2 \cdot 17,4576^\circ \approx 125^\circ$.

Подставим численные значения и определим расстояние от центра вращения дебаланса до центра тяжести неуравновешенной его части g :

$$r = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{9^3 - 2,7^3}{9^2 - 2,7^2} \cdot \frac{180}{125} \sin \frac{125}{2} = 5,21668 \text{ см.}$$

Эксцентриситет дебаланса с учетом площадей, выделенных треугольниками ABC, то есть в форме заводского изготовления, определяется по формуле, полученной путем деления моментов площадей на сумму площадей элементов формы дебаланса:

$$r_{\text{экс}} = \frac{0,15\pi(R_1^3 - R_2^3) + R_1^2 R_2}{0,25\pi(R_1^2 - 3R_2^2) + 2R_1 R_2}, \text{ см.} \quad (2)$$

Подставим численные значения R_1 и R_2 :

$$r_{\text{экс}} = \frac{0,15\pi(9^3 - 2,7^3) + 9^2 \cdot 2,7}{0,25\pi(9^2 - 3 \cdot 2,7^2) + 2 \cdot 9 \cdot 2,7} = \frac{552,9577}{95,040} = 5,818 \text{ см.}$$

Значения эксцентриситета, определенные по формулам (1) и (2), различаются на 6 мм. Формулой (2) удобнее пользоваться, так как она не содержит тригонометрических функций, и к тому же она учитывает реальную форму дебаланса завода-изготовителя. Массу ступицы дебаланса следует вычитать из общей массы дебаланса. Масса ступицы равна

$$M_{\text{ст}} = \pi(R_2^2 - R_3^2)\delta\gamma, \text{ г} \quad (3)$$

где $R_2 = 2,7$ см; $R_3 = 1,75$ см; $\delta = 1,78$ см; $\gamma = 7,85$ г/см³.

Подставив численные значения по формуле (3) подсчитаем массу ступицы дебаланса:

$$M_{\text{ст}} = \pi(2,7^2 - 1,75^2)1,78 \cdot 7,85 = 185,6 \text{ г.}$$

Суммарная масса четырех ступиц равна $185,6 \cdot 4 = 742,4$ г.

К примеру, снятые в одном из вибраторов ИВ-107А дебалансы с двух сторон имеют массы: 1100 г, 1110 г, 1060 г, 1150 г, а в сумме 4420 г. Однако дебалансная масса будет меньше на $4 \cdot 185,6 \text{ г} = 742,4 \text{ г}$ и будет равна 3667,6 г.

Максимальный статический момент четырех дебалансов вибратора ИВ-107А в этом случае равен

$$M_{\text{см}} = m_{\text{д}} r, \text{ кг} \cdot \text{м.} \quad (4)$$

Подставив численные значения по формуле (4), определяем максимальный статический момент четырех дебалансов вибратора:

$$M_{\text{см}} = 3,6676 \cdot 0,05818 = 0,2134 \text{ кг} \cdot \text{м.}$$

Максимальная сила возбуждения колебаний одним вибратором ИВ-107А равна

$$P_v = M_{cm} \omega^2, \text{Н.} \quad (5)$$

Подставив численные значения, по формуле (5) определяем максимальную силу возбуждения колебаний одним вибратором:

$$P_v = 0,2134 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 = 21061,73 \text{ Н} \approx 21 \text{ кН.}$$

При одинаковой массе дебалансов m_d и их эксцентриситете $r_{\text{экс}}$ на концах валов вибратора возбуждаются одинаковые центробежные силы, векторы которых лежат в одной плоскости. Это идеальный случай для вибропрессового оборудования формирующего изделия из бетона.

В действительности дебалансы, выпускаемые Ярославским заводом, ИВ-107А отличаются друг от друга и массой и эксцентриситетом. Отличие по массе достигает, как уже отмечалось ранее, в среднем на $\pm 0,15$ кг. К чему это приведет, рассмотрим используя метод расчетов. При равенстве масс и эксцентриситетов дебалансов, сила возбуждения колебаний на концах валов вибратора равна $21000/2 = 10500$ Н. В предельных случаях разница в массе дебалансов на одном конце вала равна $+0,15$ кг, а на другом конце вала равна $-0,15$ кг, и в случае, когда эксцентриситеты дебалансов будут одинаковыми, на левом конце вала работающего вибратора действует центробежная сила равная:

$$F_{\text{л}} = 1,9838/0,05818 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 = 11391,25 \text{ Н.}$$

На правом конце вала вибратора – она будет равна

$$F_{\text{п}} = 1,6838/0,05818 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 = 9668,6 \text{ Н.}$$

Разница составляет 1722 Н или 16,4% от нормального значения 10500 Н, также пропорционально изменяется и амплитуда колебаний в разных точках поверхности вибростол.

С одной стороны она на 16,4% меньше, а с другой на 16,4% больше.

В таком случае говорят, вибростол «галопирует», что отрицательно сказывается на равномерности уплотнения изделий в матрице вибропресса. Процесс уплотнения изделий становится неуправляемым. В результате чего формованные изделия из мелкозернистых бетонных смесей даже при одинаковом заполнении смесью ячеек матрицы вибропресса, при одном цикле будут иметь различную плотность и соответственно разную высоту [3, 6].

Массу дебалансов можно выравнять методом высверливания металла в произвольных местах. Это является хлопотным занятием, особенно если поставлена задача добиться требуемых значений работы вибростол пресса.

На рис. 2 показан способ подбора пар дебалансов методом подгонки их массы путем высверливания металла в произвольных местах.

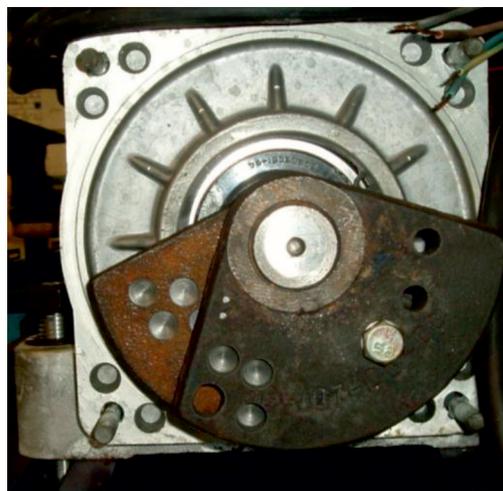


Рис. 2. Вид вибратора ИВ-107А с подобранными дебалансами (масса дебалансов уменьшена высверливанием его тела на произвольных местах)

По результатам проведенных экспериментальных исследований выявлен рациональный способ подгонки масс дебалансов методом высверливания металла в точках, расположенных симметрично относительно линии, проходящей через центр масс дебалансов и центра вращения дебаланса (ось вращения вала якоря), при этом предпочтительным для вибратора ИВ-107А считается радиус равный 75 мм.

Вариант 1 – Метод точной подгонки, когда известна масса и эксцентриситет каждого дебаланса.

Центр тяжести дебаланса определяется методом его подвески на Г-образном штативе за отверстия поочередно, вначале за посадочное отверстие (точка А), а затем за крайнее крепежное отверстие (точка В), (рис. 3).

При этом каждый раз на подвешенном дебалансе рисуется линия вдоль вертикального ребра штатива прибора линии 1 и линия 2 (рис. 3).

В точке пересечения двух вертикальных линий нарисованных вдоль штатива находится центр тяжести дебаланса, (ЦТ) относительно оси вращения.

Балансировочный прибор представляет собой платформу с регулируемыми упорными винтами и уровнем. К платформе прибора крепится Г-образный кронштейн с трехгранной призмой для подвешивания дебаланса за имеющиеся в нем отверстия (рис. 3). При изготовлении прибора необходимо ориентироваться на крепежное отверстие дебаланса диаметром 11 мм (рис. 4).

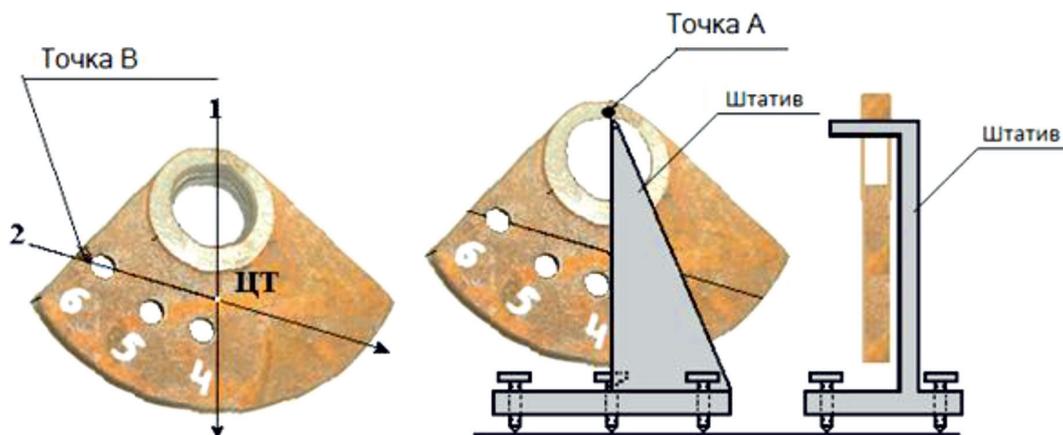


Рис. 3. Нахождение центра тяжести дебаланса методом двух подвешиваний: за посадочное (точка А) и крепежное отверстие (точка В)

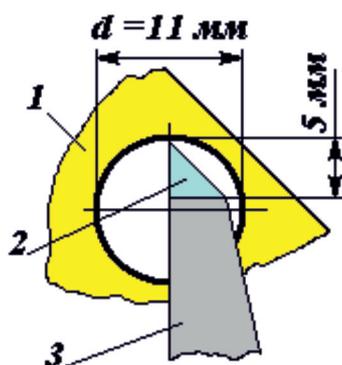


Рис. 4. Размеры и положение призмы 2 при подвешивании дебаланса 1 на штатив 3 прибора

Таким образом, призма должна иметь в сечении прямоугольный равнобедренный треугольник с катетом 5 мм. Один катет призмы должен лежать на одной линии с вертикальным ребром штатива, с помощью которого рисуются линии для определения центра тяжести дебаланса относительно оси вращения.

Для каждого вибратора ИВ-107А требуется подобрать комплект из четырех дебалансов, по два на левую и правую стороны вала якоря. После определения центра тяжести во всех четырех дебалансах и нанесения на них меток керном, дебалансы нумеруют и взвешивают. Замеряют также эксцентриситет каждого дебаланса. Данные заносят в таблицу.

Сверлить отверстия большого диаметра нетехнологично, поэтому можно сверлить отверстия меньшего диаметра, на-

пример 22,6 мм. В дебалансе № 2 по оси симметрии на радиусе 7,5 см высверлить рядом 2 отверстия, а в дебалансе № 3 – три отверстия (рис. 5).

Вариант 2 – Метод подбора по имеющейся массе дебалансов, когда известна только масса дебалансов в предположении, что эксцентриситеты приблизительно равны заводским данным – 5 см.

№ дебаланса	1	2	3	4
Масса, кг	1,15	1,10	1,05	1,00

Тогда можно подобрать пары дебалансов с одинаковой суммарной массой: пара на левый конец вала вибратора № 1 и № 4, у которой суммарная масса равна 2,15 кг; и на правый конец вала № 2 и № 3, также с суммарной массой дисбалансов 2,15 кг.

При использовании метода 2-го варианта подбора дебалансов, необходимо обращать внимание на то, что при установке спаренных вибраторов на вибростол пресса оба вибратора должны иметь одинаковую суммарную массу дебалансов. Вариант 2 подбора дебалансов проще, и это возможно производить на заводе-изготовителе прессов, где имеется на складе запас вибраторов. Для производственных условий, где вибропрессы уже работают, при покупке новых вибраторов надо заказывать на заводе изготовителе вибраторов парные вибраторы с требуемыми условиями, описанными выше, при этом необходимо обратить внимание на то, чтобы число оборотов спариваемых вибраторов были одинаковыми, иначе один из них будет запаздывать и создавать сопротивление другому, и в результате такого режима работы один из вибраторов будет нагреваться.

Данные о дебалансах для подбора и комплектации вибратора ИВ-107А

№ деб.	Масса, кг	Эксцентриситет, см	Статический момент, кг·см	Радиус точки сверления отверстий, см	Масса высверл. металла, кг	Диаметр высверленных отверстий, мм
1	1,15	5,3	6,095	7,5	0,146	39,7
2	1,10	5,2	5,720	7,5	0,096	32,2
3	1,05	5,1	5,355	7,5	0,0473	22,6
4	1,00	5,0	5,000	0	0	0

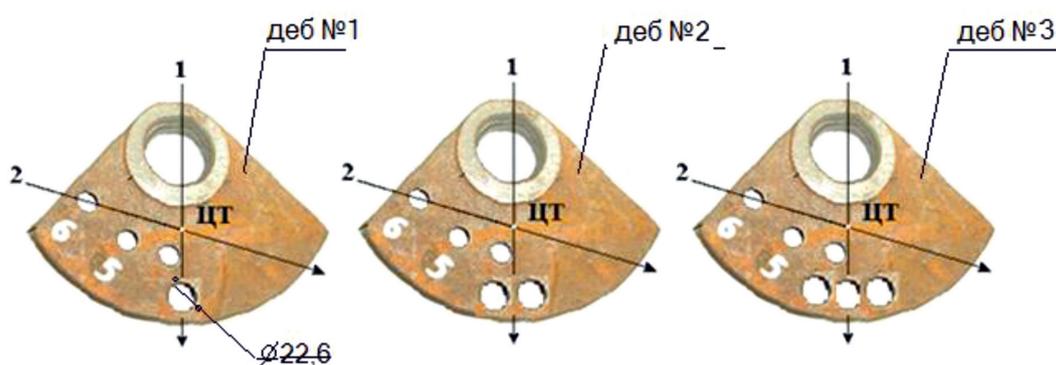


Рис. 5. Места сверлений при подгонке массы дебалансов

На производственной площадке ООО Агрофирмы «Джаше» (Карачаево-Черкесская республика) результаты проверки предложенных методик регулировки на вибропрессе ЛП-500 (изготовитель завод «Красная Пресня») показали, что качество выпускаемой продукции улучшилось. Тротуарная плитка получалась одинаковой по высоте, этот показатель определялся согласно ГОСТ 26433.1-86 расстоянием между двумя плоскостями. Выровненность тротуарной плитки по высоте превышала требования ГОСТ (по ГОСТ 70 ± 5 мм получалось 70 ± 1 мм), а по прочности тротуарной плитки ГОСТ 17608-91 требует, чтобы она составляла 90% от класса бетона по прочности на сжатие, из которого она составлена. До наладки вибропресса прочность плитки доходила до 70% от класса бетона по прочности на сжатие, эти же показатели, полученные после наладки вибропресса по вышеприведённым методикам, достигали $95 \pm 2\%$. На восьмой день сушки колейности тротуарной плитки, не отвечающей техническим условиям, уменьшилось с 9,2% до 1,8%, по сравнению с результатами продукции, полученной на том же

вибропрессе, налаженной в условиях Завода Красная Пресня. Дополнительные затраты на приобретение новых вибраторов ИВ-107А в количестве 2 шт., простой работы пресса на период изготовления прибора (штатива), исследования и правильного подбора дебалансов окупаются за три дня работы налаженного оборудования ЛП-500 за счет повышения качества выпускаемой продукции и ее стабильной работы.

Выводы

Для получения качественной продукции на вибропрессовом оборудовании, предназначенной для изготовления штучных изделий из жёстких бетонов (к примеру: элементы для мощения тротуаров, площадей, такие как плитка, бордюры и другие), требуется, чтобы траектория колебаний всех точек поверхности вибростола пресса была прямолинейной в вертикальной плоскости, возмущающая сила и амплитуда этих точек должна быть одинаковой. Величину амплитуды колебаний, и возмущающей силы необходимо подбирать в зависимости от фракции инертного материала, из которого составлена

цементная смесь, а время вибрации подбирается в зависимости от высоты формуемых изделий. Вибростол прессы должен содержать парное число вибраторов. При использовании для этих целей вибраторов, выпущенных Ярославским заводом, требуется специальная регулировка их дебалансов, а число оборотов вибраторов должно быть одинаковым.

Список литературы

1. Емельяненко Н.Г., Стоянов Ф.А. Оптимизация параметров режима работы вибропресса для формирования бетонных изделий // Вестник Днепропетровский ГТУ. – 2011. – № 3. – 215 с.
2. Матков В.В. Пособие по изготовлению тротуарной плитки. – М., 2012. – 348 с.
3. Львович К.И. Песчаный бетон. Теория. Исследования. Практика применения. – М., 2013. – 544 с.
4. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1. – 9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
5. Скобелева И.Ю., Вавилов Ю.А. Краткий справочник инженера-конструктора. – Ростов-н/Д.: ФЕНИКС, 2015. – 272 с.
6. Лукьянчиков С.А. Оптимизация состава мелкозернистого бетона для вибропрессованных изделий с использованием местных песков // Вестник Томский ГАСУ. – 2013. – № 3. – 256 с.

УДК 004.832.32

ВЫВОД СЛЕДСТВИЙ В ИСЧИСЛЕНИИ ПРЕДИКАТОВ С ПОСТРОЕНИЕМ СХЕМЫ ВЫВОДА

Долженкова М.Л., Страбыкин Д.А., Чистяков Г.А., Мельцов В.Ю.

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров, e-mail: gennadiychistyakov@gmail.com

В настоящей статье предлагается формальная постановка задачи логического вывода следствий с построением схемы. Кроме того, в работе также рассматривается метод решения данной задачи, базирующийся на операциях полного и частичного деления дизъюнктов. Процесс применения метода иллюстрируется на классическом примере о родственных связях (вариация в исчислении предикатов первого порядка). Предложенный метод обладает высокой степенью параллелизма (преимущественно AND- и OR-уровней), что позволяет использовать его в качестве математической основы для построения специализированных интеллектуальных систем, прежде всего – систем логического прогнозирования развития ситуаций. Получаемая при этом в ходе процесса вывода схема может быть полезна как инструмент анализа и исследования сформированного прогноза. Кроме того, схема может применяться в составе модуля абдукции для выявления скрытых фактов, способных скорректировать состояние объекта наблюдения и минимизировать вероятность нежелательного прогноза. Еще одной потенциально возможной областью применения предлагаемого метода является оптимизация ресурсных затрат при решении задач чрезвычайно большой размерности путем сокращения мощности пространства состояний предметной области за счет замены статической составляющей системы динамической.

Ключевые слова: вывод следствий, база знаний, поступление новых фактов, исчисление предикатов, дедуктивный вывод, деление дизъюнктов

SEQUENCES INFERENCE WITH SCHEME CONSTRUCT IN PREDICATE CALCULUS

Dolzhenkova M.L., Strabykin D.A., Chistyakov G.A., Meltsov V.Yu.

Vyatka State University, Kirov, e-mail: gennadiychistyakov@gmail.com

In this paper we propose a formal statement of the problem of the logical sequences inference with the construction of a scheme. In addition, the paper also considers the method of solving this problem, based on operations of complete and partial disjuncts division. The process of application of the method is illustrated in the classical example of related links (a variation in the predicate calculus of the first order). The proposed method has a high degree of parallelism (predominantly, AND- and OR-levels), which makes it possible to use it as a mathematical basis for the construction of specialized intellectual systems, primarily logical forecasting systems. The scheme obtained during the inference process can be useful as an analysis tool for the generated forecast. In addition, the scheme can be used as part of the abduction module to identify hidden facts that can correct the state of the object of research and minimize the likelihood of an unwanted forecast. Another potential using area of the proposed method is the optimization of resource costs in solving extremely large-dimensional problems by reducing the power of the space state of the domain by replacing the static component of the dynamic.

Keywords: sequences inference, knowledge base, receipt of new facts, predicate calculus, deductive inference, disjuncts division

Для эффективного решения задач в различных прикладных областях в настоящее время все чаще применяются системы искусственного интеллекта. Задавать всевозможные отношения и причинно-следственные связи между объектами лучше всего с использованием исчисления предикатов первого порядка. В подавляющем большинстве современных интеллектуальных систем для моделирования рассуждений применяется аппарат логического вывода [1, 2] – дедуктивного, индуктивного, абдуктивного, нечеткого методов рассуждений на основе аналогий и прецедентов [3]. Однако нередко в ходе моделирования сложного, многоступенчатого рассуждения требуется определить следствия, которые могут быть выведены из новых фактов, отражающих обстоятельство изменившейся внешней (окружающей) среды при заданном наборе исходных посылок [4]. Для решения постав-

ленной задачи используется специализированный вид дедуктивного вывода – параллельный вывод логических следствий [5].

Формальная постановка задачи логического вывода следствий представлена в работе [6]. Дополнительный интерес может представлять схема, полученная в ходе вывода, которая отражает информацию обо всех возможных траекториях изменения состояния исследуемой системы в прошлом, настоящем и будущем, поэтому в ходе вывода формируется описание O схемы логического вывода в виде семейства множеств $O = \{f^1, f^2, \dots, f^h, \dots, f^{h+1}\} \cup \{s+\}$, где f^h – множество литералов, полученных при формировании описания схемы на h -м шаге вывода, $s+$ – множество конечных следствий, из которых не могут быть выведены новые следствия ($s+ \subseteq MS$).

Для осуществления логического вывода с формированием описания схемы исполь-

зается специальная операция обобщенного деления дизъюнктов.

Применение метода вывода следствий с построением схемы рассмотрим на примере о родственных связях, представленном в работе [7]. Следующие предложения являются исходными данными.

1. Персона (*Per*) мужского пола, являющаяся родителем (*P*), называется отцом (*F*).

2. Отец одного из родителей является дедушкой (*GF*).

3. Две различные (*N*) персоны с общим родителем находятся в отношении родных братьев или сестер (*S*).

4. Родная сестра родителя является тетей (*A*).

Имеются следующие факты: Виктор (*c*) – отец Ольги (*d*), Антонина (*b*) – персона женского пола (*f*). Новые факты: Виктор – сын Семена (*a*), Виктор и Антонина – это не один и тот же человек.

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом.

1) $F(x,y)[1,+] \vee Per(x,m)[+,1] \vee P(x,y)[+,1]$;

2) $GF(x,y)[2,+] \vee F(x,z)[+,2] \vee P(z,y)[+,2]$;

3) $S(x,y)[3,+] \vee P(z,x)[+,3] \vee P(z,y)[+,3] \vee N(x,y)[+,3]$;

4) $A(x,y)[4,+] \vee Per(x,f)[+,4] \vee P(z,y)[+,4] \vee S(x,z)[+,4]$;

5) $P(a,b)[5,+]$;

6) $P(c,d)[6,+]$;

7) $Per(a,m)[7,+]$;

8) $Per(b,f)[8,+]$;

9) Новые факты: $P(a,c)[9,+]$, $N(b,c)[9,+]$.

Логический вывод будет состоять из следующих шагов [6].

1. *Определение начальных значений:*

Определение начальных значений: $h = 1$, $M = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6\}$ ($M^F = \{D_5, D_6\}$), $m^F = \{P(a,c)[9,+], N(b,c)[9,+]\}$. Формирование выводимого дизъюнкта $R_1 = P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+]$, состоящего из литералов, образующих множество m^F . Определение множества следствий e_0 , совпадающих с фактами M^F , имеющимися в исходных посылаках: $e_0 = M^F \cap m^F = \emptyset$, $s^0 = \{e_0\}$, $c_1 = e_0 = \emptyset$. Установка начального значения общего признака продолжения вывода: $P_0 = 0$.

2.1. *Выполнение 1-й процедуры вывода.* $v_1 = \langle M, R_1, \emptyset, o, p, R_2, e_1, f_1 \rangle$.

2.1.1. *Выполняется полное деление дизъюнктов.*

Дизъюнкты D_1, D_2, D_3 и D_4 делятся на выводимый дизъюнкт R_1 .

1. Дизъюнкт D_1 с помощью Ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт R_1 : $D_1 \Omega R_1 = (F(x,y)[1,+] \vee Per(x,m)[+,1] \vee P(x,y)[+,1]) \Omega (P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+])$. Вычисляется матрица «производных» $\mu[D_1, R_1]$ подготовительного шага полного деления дизъюнктов.

	$F(x,y)[1,+]$	$Per(x,m)[+,1]$	$P(x,y)[+,1]$
$P(a,c)[9,+]$	1	1	Δ_{13}
$N(b,c)[9,+]$	1	1	1

В матрице $\lambda_{13} = \{a/x, c/y\}$, $\Delta_{13} = F(a,c)[1,+] \vee Per(a,m)[+,1] = b_1$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{ \langle b_1, d_1, g_1 \rangle \}$ ($g_1 = \{P(a,c)[9, \{a/x, c/y\} 1]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов. Остаток-делитель $d_1^* = 0$, а $d_1 = P(a,b)[5,+] \vee P(c,d)[6,+] \vee Per(a,m)[7,+]$.

Дизъюнкт $b_1 = F(a,c) \vee Per(a,m)$ с помощью ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт d_1 . Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_1, d_1]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$F(a,c)[1,+]$	$Per(a,m)[+,1]$
$P(a,b)[5,+]$	1	1
$P(c,d)[6,+]$	1	1
$Per(a,m)[7,+]$	1	Δ_{32}
$Per(b,f)[8,+]$	1	1

В матрице $\Delta_{32} = F(a,c)[1,+] = b_{1,1}$, однако остаток-делитель $d_{1,1} = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий $S_1 = \{F(a,c)[1, \{a/x, c/y\} 1]\}$ и семейство множеств литералов описания схемы $G_1 = \{ \{P(a,c)[9, \{a/x, c/y\} 1], Per(a,m)[7,1] \}$, $Q_1 = 0$.

2. Дизъюнкт D_2 с помощью Ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт R_1 : $D_2 \Omega R_1 = (GF(x,y)[2,+] \vee F(x,z)[+,2] \vee P(z,y)[+,2]) \Omega (P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+])$. Вычисляется матрица «производных» $\mu[D_2, R_1]$ подготовительного шага полного деления дизъюнктов.

	$GF(x,y)[2,+]$	$F(x,z)[+,2]$	$P(z,y)[+,2]$
$P(a,c)[9,+]$	1	1	Δ_{13}
$N(b,c)[9,+]$	1	1	1

В матрице $\lambda_{13} = \{a/z, c/y\}$, $\Delta_{13} = GF(x,c)[2,+] \vee F(x,a)[+,2] = b_1$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{ \langle b_1, d_1, g_1 \rangle \}$ ($g_1 = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/y\} 2]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов. Остаток-делитель $d_1^* = 0$, а $d_1 = P(a,b)[5,+] \vee P(c,d)[6,+] \vee Per(a,m)[7,+]$.

Дизъюнкт $b_1 = GF(x,c) \vee F(x,a)$ с помощью ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт d_1 . Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_1, d_1]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$GF(x,c)[2,+]$	$F(x,a)[+,2]$
$P(a,b)[5,+]$	1	1
$P(c,d)[6,+]$	1	1
$Per(a,m)[7,+]$	1	1
$Per(b,f)[8,+]$	1	1

В матрице все производные равны единице, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов следствий нет: $S_2 = \emptyset$, $G_2 = \emptyset$, $Q_2 = 1$.

3. Дизъюнкт D_3 с помощью Ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт R_1 : $D_3 \Omega R_1 = (S(x,y)[3,+] \vee P(z,x)[+,3] \vee P(z,y)[+,3] \vee N(x,y)[+,3]) \Omega (P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+])$. Вычисляется матрица «производных» $\mu[D_3, R_1]$ подготовительного шага полного деления дизъюнктов.

	$S(x,y)[3,+]$	$P(z,x)[+,3]$	$P(z,y)[+,3]$	$N(x,y)[+,3]$
$P(a,c)[9,+]$	1	Δ_{12}	Δ_{13}	1
$N(b,c)[9,+]$	1	1	1	Δ_{24}

В матрице $\lambda_{12} = \{a/z, c/x\}$, $\Delta_{12} = S(c,y)[3,+] \vee P(a,y)[+,3] \vee N(c,y)[+,3] = b_1$, $\lambda_{13} = \{a/z, c/y\}$, $\Delta_{13} = S(x,c)[3,+] \vee P(a,x)[+,3] \vee N(x,c)[+,3] = b_2$, $\lambda_{24} = \{b/x, c/y\}$, $\Delta_{24} = S(b,c)[3,+] \vee P(z,b)[+,3] \vee P(z,c)[+,3] = b_3$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{ \langle b_1, d_1, g_1 \rangle, \langle b_2, d_2, g_2 \rangle, \langle b_3, d_3, g_3 \rangle \}$ ($g_1 = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/x\} 3]\}$, $g_2 = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/y\} 3]\}$, $g_3 = \{N(b,c)[9, \{b/x, c/y\} 3]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов, $d_1 = d_2 = P(a,b)[5,+] \vee P(c,d)[6,+] \vee Per(a,m)[7,+] \vee Per(b,f)[8,+] \vee P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+]$, $d_3 = P(a,b)[5,+] \vee P(c,d)[6,+] \vee Per(a,m)[7,+] \vee Per(b,f)[8,+] \vee P(a,c)[9,+]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b, d_1]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(c,y)[3,+]$	$P(a,y)[+,3]$	$N(c,y)[+,3]$
$P(a,b)[5,+]$	1	Δ_{12}	1
$P(c,d)[6,+]$	1	1	1
$Per(a,m)[7,+]$	1	1	1
$Per(b,f)[8,+]$	1	1	1
$P(a,c)[9,+]$	1	Δ_{52}	1
$N(b,c)[9,+]$	1	1	1

В матрице $\lambda_{12} = \{c/y\}$, $\Delta_{12} = S(c,c)[3,+] \vee N(c,c)[+,3]$, $\lambda_{52} = \{b/y\}$, $\Delta_{52} = S(c,b)[3,+] \vee N(c,b)$, $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_2, d_2]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(x,c)[3,+]$	$P(a,x)[+,3]$	$N(x,c)[+,3]$
$P(a,b)[5,+]$	1	Δ_{12}	1
$P(c,d)[6,+]$	1	1	1
$Per(a,m)[7,+]$	1	1	1
$Per(b,f)[8,+]$	1	1	1
$P(a,c)[9,+]$	1	Δ_{52}	1
$N(b,c)[9,+]$	1	1	Δ_{63}

В матрице $\lambda_{12} = \{b/x\}$, $\Delta_{12} = S(b,c)[3,+] \vee N(b,c)[+,3] = b_{2,1}$, $\lambda_{52} = \{c/x\}$, $\Delta_{52} = S(c,c)[3,+] \vee N(c,c)[+,3] = b_{2,2}$, $\lambda_{63} = \{b/x\}$, $\Delta_{63} = S(b,c)[3,+] \vee P(a,b)[+,3] = b_{2,3}$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{ \langle b_{2,1}, d_{2,1}, g_{2,1} \rangle, \langle b_{2,2}, d_{2,2}, g_{2,2} \rangle, \langle b_{2,3}, d_{2,3}, g_{2,3} \rangle \}$ ($g_{2,1} = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/y\} 3]\}$, $g_{2,2} = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/y\} 3]\}$, $g_{2,3} = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/y\} 3]\}$, $g_{2,3} = \{P(a,c)[9, \{a/z, c/y\} 3]\}$, $N(b,c)[9, \{b/x\} 3]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов, $d_{2,1} = N(b,c)[9,+]$, $d_{2,2} = N(b,c)[9,+]$, $d_{2,3} = P(a,b)[5,+] \vee P(a,c)[9,+]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{2,1}, d_{2,1}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(b,c)[3,+]$	$N(b,c)[+,3]$
$N(b,c)[9,+]$	1	Δ_{12}

В матрице $\Delta_{12} = S(b,c)[3,+] = b_{2,1,1}$, однако остаток-делитель $d_{2,1,1} = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий S_3 и семейство множеств литералов описания схемы G_3 , $Q_3 = 0$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{2,2}, d_{2,2}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(c,c)[3,+]$	$N(c,c)[+,3]$
$N(b,c)[9,+]$	1	1

В матрице все производные равны единице, поэтому принимается $q = 1$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{2,3}, d_{2,3}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(b,c)[3,+]$	$P(a,b)[+,3]$
$P(a,b)[5,+]$	1	Δ_{12}
$P(a,c)[9,+]$	1	1

В матрице $\Delta_{12} = S(b,c)[3,+] = b_{2,3,1}$, однако остаток-делитель $d_{2,3,1} = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий S_3 и семейство множеств литералов описания схемы G_3 , $Q_3 = 0$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{3,3}, d_{3,3}]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(b,c)[3,+]$	$P(z,b)[+,3]$	$P(z,c)[+,3]$
$P(a,b)[5,+]$	1	Δ_{12}	1
$P(c,d)[6,+]$	1	1	1
$Per(a,m)[7,+]$	1	1	1
$Per(b,f)[8,+]$	1	1	1
$P(a,c)[9,+]$	1	1	Δ_{53}

В матрице $\lambda_{12} = \{a/z\}$, $\Delta_{12} = S(b,c)[3,+] \vee P(a,c)[+,3]$, $\lambda_{53} = \{a/z\}$, $\Delta_{53} = S(b,c)[3,+] \vee P(a,b)[+,3]$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{<b_{3,1}, d_{3,1}, g_{3,1}>, <b_{3,2}, d_{3,2}, g_{3,2}>\}$ ($g_{3,1} = \{N(b,c)[9, \{b/x, c/y\} 3], P(a,b)[5, \{a/z\} 3]\}$, $g_{3,2} = \{N(b,c)[9, \{b/x, c/y\} 3], P(a,c)[9, \{a/z\} 3]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов, $d_{3,1} = P(a,c)[9,+]$, $d_{3,2} = P(a,b)[5,+]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{3,1}, d_{3,1}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(b,c)[3,+]$	$P(a,c)[+,3]$
$P(a,c)[9,+]$	1	Δ_{12}

В матрице $\Delta_{12} = S(b,c)[3,+] = b_{3,1,1}$, однако остаток-делитель $d_{3,1,1} = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий S_3 и семейство множеств литералов описания схемы G_3 , $Q_3 = 0$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{3,2}, d_{3,2}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$S(b,c)[3,+]$	$P(a,b)[+,3]$
$P(a,b)[5,+]$	1	Δ_{12}

В матрице $\Delta_{12} = S(b,c)[3,+] = b_{3,2,1}$, однако остаток-делитель $d_{3,2,1} = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий $S_3 = \{S(b,c)[\{a/z, b/x, c/y\} 3, +]\}$ и семейство множеств литералов описания схемы $G_3 = \{N(b,c)[9, \{b/x, c/y\} 3], P(a,c)[9, \{a/z\} 3], P(a,b)[5, 3]\}$, $Q_3 = 0$.

4. Дизъюнкт D_4 с помощью Ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт R : $D_4 \Omega R_1 = (A(x,y)[4,+] \vee Per(x,f)[+,4] \vee P(z,y)[+,4] \vee S(x,z)[+,4]) \Omega (P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+])$. Вычисляется матрица «производных» $\mu[D_{4,R_1}]$ подготовительного шага полного деления дизъюнктов.

	$A(x,y)[4,+]$	$Per(x,f)[+,4]$	$P(z,y)[+,4]$	$S(x,z)[+,4]$
$P(a,c)[9,+]$	1	1	Δ_{13}	1
$N(b,c)[9,+]$	1	1	1	1

В матрице $\lambda_{13} = \{a/z, c/y\}$, $\Delta_{13} = A(x,c)[4,+] \vee Per(x,f)[+,4] \vee S(x,a)[+,4] = b_1$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{<b_1, d_1, g_1>\}$. Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов. Остаток-делитель $d_1^* = 0$, $d_1 = P(a,b)[5,+] \vee P(c,d)[6,+]$ $\vee Per(a,m)[7,+]$ $\vee Per(b,f)[8,+]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_1, d_1]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$A(x,c)[4,+]$	$Per(x,f)[+,4]$	$S(x,a)[+,4]$
$P(a,b)[5,+]$	1	1	1
$P(c,d)[6,+]$	1	1	1
$Per(a,m)[7,+]$	1	1	1
$Per(b,f)[8,+]$	1	Δ_{42}	1

В матрице $\lambda_{42} = \{b/x\}$, $\Delta_{42} = A(b,c)[4,+] \vee S(b,a)[+,4] = b_{1,1}$, однако остаток-делитель $d_{1,1} = 0$, поэтому принимается $q = 1$.

Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов следствий нет: $S_4 = \emptyset$, $Q_4 = 1$.

Анализируются признаки решений Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 выполненных Ω -процедур. Поскольку $Q_1 = 0, Q_3 = 0$, то принимается $p_1 = 0$ и выполняется следующее действие.

2.1.2. Формируется множество следствий и множество литералов описания схемы для выводимого дизъюнкта. Множество e_1 образуется путем объединения множеств следствий, полученных при выполнении Ω -процедур: $e_1 = S_1 \cup S_3 = \{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+], S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]\}$. Множество f_1 образуется путем включения в него литералов из элементов множеств G_1 и G_3 , соответствующих элементам множества $e_1, f_1 = \{P(a,c)[9,\{a/x,c/y\}1], Per(a,m)[7,1], N(b,c)[9,\{b/x,c/y\}3], P(a,c)[9,\{a/z\}3], P(a,b)[5,3]\}$.

2.1.3. Формируется новый выводимый дизъюнкт. Выводимый дизъюнкт R_2 представляет собой дизъюнкцию литералов множества следствий e_1 : $R_2 = F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+] \vee S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]$.

2.1.4. Формируется новое множество следствий: $C_1 = c_1 \cup e_1 = \{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+], S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]\}$.

2.1.5. Фиксируются результаты выполнения процедуры. Поскольку $p_1 = 0$, то вывод может быть продолжен для дизъюнкта $R_2 = F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+] \vee S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]$.

Формирование семейства следствий и проверка признаков. Производится формирование семейства множеств следствий $s^1 = s^0 \cup \{e_1\} = \{\{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+], S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]\}$ и семейства множеств литералов описания схемы вывода $O = O \cup \{f_1\} = \{\{P(a,c)[9,\{a/x,c/y\}1], Per(a,m)[7,1], N(b,c)[9,\{b/x,c/y\}3], P(a,c)[9,\{a/z\}3], P(a,b)[5,3]\}\}$. Формирование общего признака продолжения вывода $P = P_0 \vee p_1 = 0$. Поскольку $P_1 = 0$, то принимает $h = 2, c_2 = C_1$ и производится переход к п. 2.2

2.2. Выполнение 2-й процедуры вывода. $v_2 = \langle M, R_2, m^F, o_2, p_2, R_3, e_2, f_2 \rangle$.

2.2.1. Выполняется полное деление дизъюнктов.

Дизъюнкты D_2 и D_4 делятся на выводимый дизъюнкт R_2 .

1. Дизъюнкт D_2 с помощью Ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт R_2 : $D_2 \Omega R_2 = (GF(x,y)[2,+] \vee F(x,z)[+,2] \vee P(z,y)[+,2]) \Omega (F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+] \vee S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+])$. Вычисляется матрица «производных» $\mu[D_2, R_2]$ подготовительного шага полного деления дизъюнктов.

	$GF(x,y)[2,+]$	$F(x,z)[+,2]$	$P(z,y)[+,2]$
$F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+]$	1	Δ_{12}	1
$S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]$	1	1	1

В матрице $\lambda_{12} = \{a/x,c/z\}$, $\Delta_{12} = GF(a,y)[2,+] \vee P(c,y)[+,2] = b_{11}$, поэтому принимает $q = 0$, и определяется множество $n = \{\langle b_1, d_1, g_1 \rangle\}$ ($g_1 = \{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1, \{a/x,c/z\}2]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов. Остаток-делитель $d^* = 0$, $a d_1 = P(a,b)[5,+] \vee P(c,d)[6,+] \vee Per(a,m)[7,+] \vee Per(b,f)[8,+] \vee P(a,c)[9,+] \vee N(b,c)[9,+]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_1, d_1]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$GF(a,y)[2,+]$	$P(c,y)[+,2]$
$P(a,b)[5,+]$	1	1
$P(c,d)[6,+]$	1	Δ_{22}
$Per(a,m)[7,+]$	1	1
$Per(b,f)[8,+]$	1	1
$P(a,c)[9,+]$	1	1
$N(b,c)[9,+]$	1	1

В матрице $\lambda_{22} = \{d/y\}$, $\Delta_{22} = GF(a,d)[2,+] = b_{1,1}$, однако остаток-делитель $d_{1,1} = 0$, поэтому принимает $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий $S_5 = \{GF(a,d)[\{a/x,c/z,d/y\}2,+]\}$ и семейство множеств литералов описания схемы $G_3 = \{\{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1, \{a/x,c/z\}2], P(c,d)[6,\{d/y\}2]\}\}$, $Q_3 = 0$.

2. Дизъюнкт D_4 с помощью Ω -процедуры делится на выводимый дизъюнкт R_2 : $D_4 \Omega R_2 = (A(x,y)[4,+] \vee Per(x,f)[+,4] \vee P(z,y)[+,4] \vee S(x,z)[+,4]) \Omega (F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+] \vee S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+])$. Вычисляется матрица «производных» $\mu[D_4, R_2]$ подготовительного шага полного деления дизъюнктов.

	$A(x,y)[4,+]$	$Per(x,f)[+,4]$	$P(z,y)[+,4]$	$S(x,z)[+,4]$
$F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+]$	1	1	1	1
$S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]$	1	1	1	Δ_{24}

В матрице $\lambda_{24} = \{b/x, c/z\}$, $\Delta_{42} = A(b, y)$ $[4, +] \vee Per(b, f)[+, 4] \vee P(c, y)[+, 4] = b_1$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{<b, d_{1,1}, g_1>\}$ ($g_1 = \{S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, \{b/x, c/z\}4]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов. Остаток-делитель $d_{1,1}^* = 0$, а $d_1 = P(a, b)[5, +] \vee P(c, d)[6, +] \vee Per(a, m)[7, +] \vee Per(b, f)[8, +] \vee P(a, c)[9, +] \vee N(b, c)[9, +]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_1, d_1]$ первого выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$A(b, y)[4, +]$	$Per(b, f)[+, 4]$	$P(c, y)[+, 4]$
$P(a, b)[5, +]$	1	1	1
$P(c, d)[6, +]$	1	1	Δ_{23}
$Per(a, m)[7, +]$	1	1	1
$Per(b, f)[8, +]$	1	Δ_{42}	1
$P(a, c)[9, +]$	1	1	1
$N(b, c)[9, +]$	1	1	1

В матрице $\lambda_{23} = \{d/y\}$, $\Delta_{23} = A(b, d)$ $[4, +] \vee Per(b, f)[+, 4] = b_{1,1}$, $\Delta_{42} = A(b, y)$ $[4, +] \vee Per(b, f)[+, 4] = b_{1,2}$, поэтому принимается $q = 0$, и определяется множество $n = \{<b_{1,1}, d_{1,1}, g_{1,1}>, <b_{1,2}, d_{1,2}, g_{1,2}>\}$ ($g_{1,1} = \{S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, \{b/x, c/z\}4], P(c, d)[6, \{d/y\}4]\}$, $g_{1,2} = \{S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, \{b/x, c/z\}4], Per(b, f)[8, 4]\}$). Возможно продолжение частичного деления дизъюнктов, $d_{1,1} = Per(b, f)[8, +]$, $d_{1,2} = P(c, d)[6, +]$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{1,1}, d_{1,1}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$A(b, d)[4, +]$	$Per(b, f)[+, 4]$
$Per(b, f)[8, +]$	1	Δ_{12}

В матрице $\Delta_{12} = A(b, d)[4, +] = b_{1,1,1}$, однако остаток-делитель $d_{1,1,1}^* = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий S_4 и семейство множеств литералов описания схемы G_4 , $Q_4 = 0$.

Вычисляется матрица «производных» $\mu[b_{1,2}, d_{1,2}]$ второго выполнения основного шага процедуры полного деления дизъюнктов.

	$A(b, d)[4, +]$	$Per(b, f)[+, 4]$
$P(c, d)[6, +]$	1	Δ_{12}

В матрице $\lambda_{12} = \{d/y\}$, $\Delta_{12} = A(b, d)$ $[4, +] = b_{1,2,1}$, однако остаток-делитель $d_{1,2,1}^* = 0$, поэтому принимается $q = 1$. Дальнейшее частичное деление дизъюнктов невозможно. В процессе полного деления дизъюнктов получено множество следствий $S_4 = \{A(b, d)[\{b/x, c/z, d/y\}4, +]\}$, и семейство множеств литералов описания схемы $G_4 = \{S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, \{b/x, c/z\}4], P(c, d)[6, \{d/y\}4], Per(b, f)[8, 4]\}$, $Q_4 = 0$.

Анализируются признаки решений Q_2 и Q_4 выполненных Ω -процедур. Поскольку $Q_2 = 0$, $Q_4 = 0$, то принимается $p_2 = 0$ и выполняется следующее действие.

2.2.2. *Формируется множество следствий и множество литералов описания схемы для выводимого дизъюнкта.* Множество e_2 образуется путем объединения множеств следствий, полученных при выполнении Ω -процедур: $e_2 = S_2 \cup S_4 = \{GF(a, d)[\{a/x, c/z, d/y\}2, +], A(b, d)[\{b/x, c/z, d/y\}4, +]\}$. Множество f_2 образуется путем включения в него литералов из элементов множеств G_2 и G_4 , соответствующих элементам множества e_2 , $f_2 = \{F(a, c)[\{a/x, c/y\}1, \{a/x, c/z\}2], P(c, d)[6, \{d/y\}2], S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, \{b/x, c/z\}4], P(c, d)[6, \{d/y\}4], Per(b, f)[8, 4]\}$.

2.2.3. *Формируется новый выводимый дизъюнкт.* Выводимый дизъюнкт R_3 представляет собой дизъюнкцию инверсий литералов множества следствий e_2 : $R_3 = GF(a, d)[\{a/x, c/z, d/y\}2, +] \vee A(b, d)[\{b/x, c/z, d/y\}4, +]$.

2.2.4. *Формируется новое множество следствий:* $C_2 = c_2 \cup e_2 = \{F(a, c)[\{a/x, c/y\}1, +], S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, +], GF(a, d)[\{a/x, c/z, d/y\}2, +], A(b, d)[\{b/x, c/z, d/y\}4, +]\}$.

2.2.5. *Фиксируются результаты выполнения процедуры.* Поскольку $p_2 = 0$, то вывод может быть продолжен для дизъюнкта $R_3 = GF(a, d)[\{a/x, c/z, d/y\}2, +] \vee A(b, d)[\{b/x, c/z, d/y\}4, +]$.

Формирование семейства следствий и проверка признаков. Производится формирование семейства множеств следствий $s^2 = s^1 \cup \{e_2\} = \{F(a, c)[\{a/x, c/y\}1, +], S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, +]\}$, $\{GF(a, d)[\{a/x, c/z, d/y\}2, +], A(b, d)[\{b/x, c/z, d/y\}4, +]\}$ и семейства множеств литералов описания схемы вывода $O = O \cup \{f_2\} = \{P(a, c)[9, \{a/x, c/y\}1], Per(a, m)[7, 1], N(b, c)[9, \{b/x, c/y\}3], P(a, c)[9, \{a/z\}3], P(a, b)[5, 3], F(a, c)[\{a/x, c/y\}1, \{a/x, c/z\}2], P(c, d)[6, \{d/y\}2], S(b, c)[\{a/z, b/x, c/y\}3, \{b/x, c/z\}4], P(c, d)[6, \{d/y\}4], Per(b, f)[8, 4]\}$. Формирование общего признака продолжения вывода $P_2 = P_1 \vee p_2 = 0$. Поскольку $P_2 = 0$, то принимается $h = 3$, $c_3 = C_2$ и производится переход к п. 2.3.

2.3. *Выполнение 3-й процедуры вывода.* $v_3 = \langle M, R_3, m^f, o_3, p_3, R_4, e_3, f_3 \rangle$.

Ни одно из правил, содержащихся в базе знаний, не делится на выводимый дизъюнкт.

Принимается $e_3 = \emptyset, f_3 = \emptyset, C_3 = c_3, p_3 = 1$.

2.3.1. *Фиксируются результаты выполнения процедуры.* Поскольку $p_3 = 1$, то вывод не может быть продолжен.

3. *Формирование семейства следствий и проверка признаков.* Производится формирование семейства множеств следствий $s^3 = s^2 \cup \{e_3\} = \{F(a, c)[\{a/x, c/y\}1, +],$

$S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]$, $\{GF(a,d)[\{a/x,c/z,d/y\}2,+]$, $A(b,d)[\{b/x, c/z, d/y\}4,+]$ и семейства множеств литералов описания схемы вывода $O = O \cup \{f_i\} = \{P(a,c)[9,\{a/x,c/y\}1]$, $Per(a,m)[7,1]$, $N(b,c)[9,\{b/x,c/y\}3]$, $P(a,c)[9,\{a/z\}3]$, $P(a,b)[5,3]$, $\{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,\{a/x,c/z\}2]$, $P(c,d)[6,\{d/y\}2]$, $S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,\{b/x,c/z\}4]$, $P(c,d)[6,\{d/y\}4]$, $Per(b,f)[8,4]$. Формирование общего признака продолжения вывода $P_3 = P_2 \vee p_3 = 1$. Поскольку $P_3 = 1$, то вывод завершается. Полученные следствия содержатся в семействе множеств s^3 , а общее множество следствий получается путем объединения множеств семейства s^3 : $M^s = \{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,+]$, $S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,+]$, $GF(a,d)[\{a/x,c/z,d/y\}2,+]$, $A(b,d)[\{b/x, c/z, d/y\}4,+]$. Конечное описание схемы вывода следствий формируется как $O = \{P(a,c)[9,\{a/x,c/y\}1]$, $Per(a,m)[7,1]$, $N(b,c)[9,\{b/x,c/y\}3]$, $P(a,c)[9,\{a/z\}3]$, $P(a,b)[5,3]$, $\{F(a,c)[\{a/x,c/y\}1,\{a/x,c/z\}2]$, $P(c,d)[6,\{d/y\}2]$, $S(b,c)[\{a/z,b/x,c/y\}3,\{b/x,c/z\}4]$, $P(c,d)[6,\{d/y\}4]$, $Per(b,f)[8,4]$, $\{GF(a,d)[\{a/x,c/z,d/y\}2,+]$, $A(b,d)[\{b/x,c/z,d/y\}4,+]$.

Графическое представление схемы вывода изображено на рисунке.

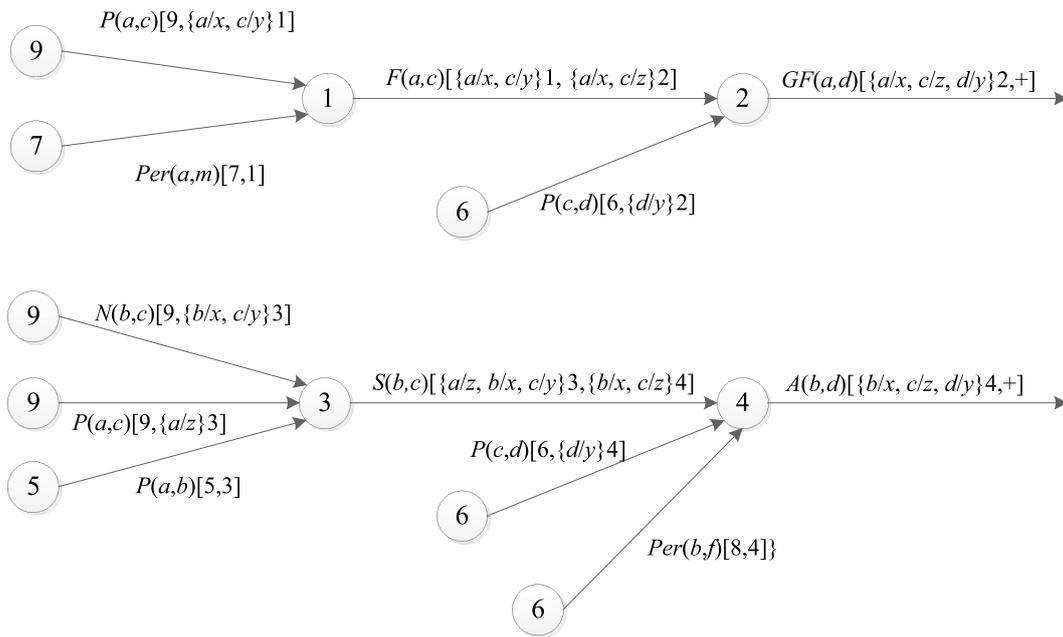


Схема вывода

В ходе решения задачи было показано, что Семен – отец Виктора ($F(a,c)$), Виктор и Антонина – брат и сестра ($S(b,c)$), а у Семена имеется внучка Ольга ($GF(a,d)$), Антонина является тетей Ольги ($A(b,d)$).

Анализ полученной в ходе осуществления вывода схемы позволяет сделать следу-

ющие заключения. Применение предлагаемого метода, в сравнении с классическими методами резолюций Робинсона и обратного вывода Маслова, позволяет сократить число шагов до двух раз с одновременным ростом трудоемкости выполняемых операций. Тем не менее существенный выигрыш в общем времени решения задачи может быть достигнут за счет внутреннего параллелизма, заложенного в базовой операции метода – операции деления дизъюнктов. При этом предварительные результаты экспериментов, проведенных на тестовом наборе сгенерированных машинным способом задач, показали, что в случае ориентации только на AND-параллелизм сокращение временных затрат составляет порядка 21%. Совмещение AND- и OR-уровней увеличивает выигрыш до 34%.

Вывод следствий может быть успешно использован как средство сокращения размерности логических задач путем замены статической части системы динамической составляющей. Описание схемы, полученное в ходе выполнения логического вывода, позволит проследить ход решения и может быть использовано при оценке развития ситуации,

если предположить, что анализируемая система находится в динамическом состоянии, отраженном на схеме. Подобные задачи особенно часто возникают в таких областях как поддержка принятия решений, прогнозирование [8], мониторинг, диагностика [9], формальная верификация [10] и так далее.

Список литературы

1. Финн В.К. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах / В.К. Финн, Е.С. Панкратова. – М.: Либроком, 2009. – 528 с.
2. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Новриг. – М.: Вильямс, 2015. – 1408 с.
3. Huth M. Logic in Computer Science. Modelling and Reasoning about Systems / M. Huth, M. Ryan. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 440 p.
4. Страбыкин Д.А. Логическое прогнозирование развития ситуаций на основе дедуктивного вывода / Д.А. Страбыкин, М.Н. Томчук // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 276–282.
5. Страбыкин Д.А. Метод логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода // Изв. РАН. ТиСУ. – 2013. – № 5. – С. 98–92.
6. Долженкова М.Л. Метод вывода следствий из новых фактов делением дизъюнктов в исчислении предикатов / М.Л. Долженкова, В.Ю. Мельцов, Д.А. Страбыкин, Г.А. Чистяков // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 9–1. – С. 28–35.
7. Чери С. Логическое программирование и базы данных / С. Чери, Г. Готлоб, Л. Танка. – М.: Мир, 1992. – 352 с.
8. Caferra R. Logic for computer science and artificial intelligence / R. Caferra. – London: ISTE, 2011. – 544 p.
9. Mordechai B.-A. Mathematical Logic for Computer Science / B.-A. Mordechai. – London: Springer-Verlag, 2012. – 354 p.
10. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 552 с.

УДК 519.688

МЕТОД И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КОРПОРАТИВНОМ ОБУЧЕНИИ

Дроздова А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва,
e-mail: Drozdova-Anya@yandex.ru*

Данная работа посвящена современным средствам создания электронных обучающих курсов, а также методам управления и поддержки принятия решений в процессе обучения. Обоснована необходимость постоянного обучения и самосовершенствования в современном информационном обществе. Автором предложен метод управления и поддержки принятия решений. Данный метод основан на модели компетенций в профессиональной деятельности обучающихся. Предусмотренные входные и выходные тестирования определяют начальный и итоговый уровень освоения компетенций для каждого обучаемого, в зависимости от которого происходит настройка процесса обучения. Автором представлены разработанный алгоритм управления и алгоритм поддержки принятия решений, которые формируют траекторию обучения в зависимости от имеющегося уровня знаний и навыков. Для каждого обучающего модуля задаются пороговые значения уровня освоения компетенций. Данные значения сравниваются с реальными значениями компетенций каждого обучающегося, в результате чего происходит настройка процесса обучения. В работе анализируются результаты апробации разработанного автором обучающего курса. В основе данного курса лежит предложенный метод управления и поддержки принятия решений. Полученные показатели эффективности данного курса свидетельствуют о его высоком качестве и востребованности в процессе корпоративного обучения.

Ключевые слова: электронные обучающие курсы, поддержка принятия решений, корпоративное обучение, алгоритм управления

METHOD AND ALGORITHMS OF MANAGEMENT AND SUPPORT OF DECISION-MAKING IN CORPORATE TRAINING

Drozdova A.A.

National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, e-mail: Drozdova-Anya@yandex.ru

This work is devoted to modern means of creating e-learning courses, as well as methods of managing and supporting decision-making in the learning process. There is grounded the necessity of constant training and self-improvement in the modern information society. The author proposes the new method of managing and supporting decision-making. This method is based on the model of competences in the professional activity of studying staff. The specified pre and post testing determine the initial and final level of mastering the competences of trainees, depending on which the learning process is set up. The author presents the developed control algorithm and decision support algorithm that form the trajectory of learning, depending on the level of available knowledge and skills. The threshold values for the level of mastering competencies are set for each training module. These values are compared with the real values of the competencies for each trainee, as a result of which the learning process is tuned. The author analyzes the results of approbation of the developing training course. This course is based on the proposed method of management and decision support. The received indicators of the efficiency of this course show its high quality and relevance in modern corporate training.

Keywords: electronic training courses, decision support, corporate training, management algorithm

В современно развивающемся мире информация становится одним из главных производительных ресурсов, основой развития всего общества в целом. Постоянное самосовершенствование и самообразование в целях поддержания высокого уровня квалификации и соответствия постоянно растущим требованиям и профессиональным стандартам является одной из первоочередных задач современного общества. Таким образом, необходимы развитие и разработка новых средств обучения, отвечающих высоким стандартам профессионального развития сотрудников различных сфер общества, особенно экономической.

В современных условиях необходимо ориентировать процесс обучения на новый его результат, что, в свою очередь, требует современного подхода к обеспе-

чению качества образования, критериям его оценки, нового подхода к организации образовательного процесса и управления им на основе использования современных информационных технологий [1]. Данные условия могут быть реализованы путем разработки модели управления и поддержки принятия решений в процессе обучения, основанной на компетентностном подходе к обучению. Таким образом, сам образовательный процесс может быть представлен как последовательное формирование профессиональных навыков и компетенций обучающихся [2].

Метод управления и поддержки принятия решений

В данной статье автором предлагается выстраивать процесс управления обучения,

соответствующего направлению развития и миссии организации, основываясь на измерении уровня ключевых компетенций обучаемых сотрудников. Проведение входного тестирования до начала обучения позволяет разработать систему управления и поддержки принятия решений, формирующую индивидуальную траекторию обучения для каждого обучаемого в соответствии с его уровнем знаний и задачами обучения. Схема управления и поддержки принятия решений в процессе обучения представлена на рис. 1.

Вектор начальных навыков $f_0 = f(B_0, P_0, M_0, S_0, L_0)$, характеризующим начальный уровень базовых (B), профессиональных (P), межличностных навыков (M), а также навыков обучения (S) и лидерских (L), и вектор начального уровня компетенций $g_0 = g(C_{base0}, C_{fyn0}, C_{mng0})$, характеризующим начальный уровень базовых, функциональных и управленческих компетенций, соответственно, задают входные параметры системы. Функция перехода знаний и навыков $\alpha = \alpha(B_1, P_1, M_1, S_1, L_1)$ и функция перехода ключевых компетенций $\beta = \beta(C_{base1}, C_{fyn1}, C_{mng1})$, которые характери-

зуют текущее состояние соответствующих параметров, отражают изменения навыков и компетенций, произошедших в процессе обучения. Результатом обучения служит выходной параметр R и выходная функция $\gamma = \gamma(R)$.

Благодаря применению системы настроек $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ происходит автоматическое формирование индивидуальной траектории обучения в зависимости от начального уровня знаний (до проведения обучения). Таким образом, модель управления и поддержки принятия решений в процессе обучения можно представить следующим образом:

$$F = (f_0, g_0, \alpha, \beta, \gamma, q). \quad (1)$$

Определение уровня компетенций каждого обучающегося формируется путем определения индивидуального уровня знаний, навыков и личного видения обучающегося в результате выполнения им набора специально разработанных тестовых заданий.

Принятие системой решения о формировании i -ой компетенции следующим образом:

$$\begin{cases} C_i = \sum_{j=1}^{\tau} X_j^{[i]}, i \in [1; n], j \in [1; s], \\ \bar{X}_j^{[i]} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^a \omega_k^{[i]} \bar{b}_{jk}^{[i]} + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^b v_k^{[i]} \bar{p}_{jk}^{[i]} + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^c \mu_k^{[i]} \bar{m}_{jk}^{[i]} + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^d \zeta_k^{[i]} \bar{s}_{jk}^{[i]} + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^e \vartheta_k^{[i]} \bar{l}_{jk}^{[i]}, \\ \omega_k^{[i]} = \frac{q(b)_k^{[i]}}{n}, v_k^{[i]} = \frac{q(p)_k^{[i]}}{n}, \mu_k^{[i]} = \frac{q(m)_k^{[i]}}{n}, \zeta_k^{[i]} = \frac{q(s)_k^{[i]}}{n}, \vartheta_k^{[i]} = \frac{q(l)_k^{[i]}}{n}, \end{cases} \quad (2)$$

где C_i – i -ая компетенция, сформированная в результате применения системы оценки, $X_j^{[i]}$ – оценка совокупности навыков для j -го оценочного задания, участвующего в формировании i -ой компетенции, $\omega_k^{[i]}, v_k^{[i]}, \mu_k^{[i]}, \zeta_k^{[i]}, \vartheta_k^{[i]}$ – коэффициенты влияния навыков в j -м оценочном задании, участвующем в формировании i -ой компетенции,

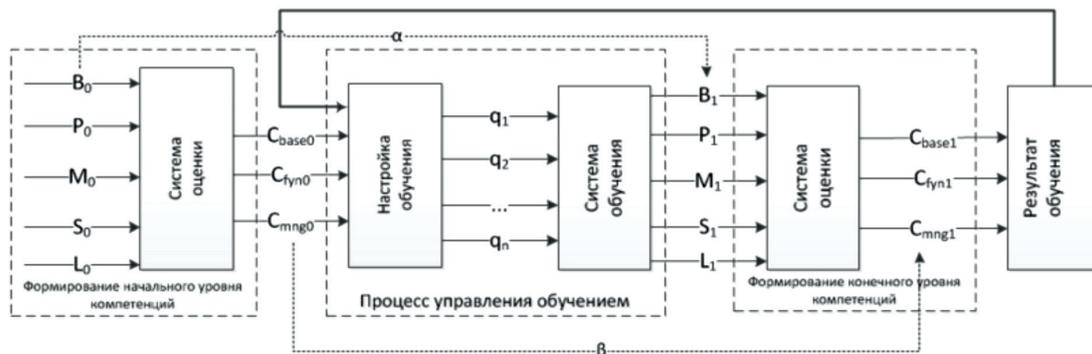


Рис. 1. Схема управления обучением

$\bar{b}_{jk}^{[i]}, \bar{p}_{jk}^{[i]}, \bar{m}_{jk}^{[i]}, \bar{s}_{jk}^{[i]}, \bar{l}_{jk}^{[i]}$ – оценка навыков в j -ом оценочном задании, участвующем в формировании i -ой компетенции, которая рассчитывается по формуле

$$\frac{\frac{u}{x} + \frac{\sum_{i=1}^w w_i}{\sum_{i=1}^z w_i} - \frac{v}{y}}{k},$$

где u – количество выбранных правильных ответов, v – количество выбранных неправильных ответов, w_i – правильность i -го частично правильного ответа, w – количество выбранных частично правильных ответов, x – количество правильных ответов

в вопросе, y – количество неправильных ответов в вопросе, z – количество частично правильных ответов в вопросе, k – количество навыков, оцениваемых в одном задании.

$q(b)_k^{[i]}, q(p)_k^{[i]}, q(m)_k^{[i]}, q(s)_k^{[i]}, (l)_k^{[i]}$ – количество заданий, оценивающих соответствующие навыки для i -ой компетенции.

На основе оценок компетенций, полученных описанным выше методом, системой управления и поддержки принятия решений в процессе обучения формируется набор настроек, в зависимости от которых принимается решение о формировании необходимого перечня модулей, необходимых для дальнейшего обучения в соответствии со следующим принципом:

$$q_j = \begin{cases} 2, \text{ если } (\bar{C}_{base_i}^{[j]} \geq C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} \geq C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} \geq C_{mng \text{ порог } i}), \\ 1, \text{ если } (\bar{C}_{base_i}^{[j]} < C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} \geq C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} \geq C_{mng \text{ порог } i}) \cup \\ \quad \cup (\bar{C}_{base_i}^{[j]} \geq C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} < C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} \geq C_{mng \text{ порог } i}) \cup \\ \quad \cup (\bar{C}_{base_i}^{[j]} \geq C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} \geq C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} < C_{mng \text{ порог } i}), \\ 0, \text{ если } (\bar{C}_{base_i}^{[j]} < C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} < C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} \geq C_{mng \text{ порог } i}) \cup \\ \quad \cup (\bar{C}_{base_i}^{[j]} \geq C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} < C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} < C_{mng \text{ порог } i}) \cup \\ \quad \cup (\bar{C}_{base_i}^{[j]} < C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} \geq C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} < C_{mng \text{ порог } i}) \cup \\ \quad \cup (\bar{C}_{base_i}^{[j]} < C_{base \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{fyn_i}^{[j]} < C_{fyn \text{ порог } i} \cap \bar{C}_{mng_i}^{[j]} < C_{mng \text{ порог } i}), \end{cases} \quad (3)$$

где $\bar{C}_{base_i}^{[j]}, \bar{C}_{fyn_i}^{[j]}, \bar{C}_{mng_i}^{[j]}$ – оценка базовых, функциональных и управленческих компетенций, формирующих j -ый модуль обучающей программы, $j = 1, n$, n – количество модулей в обучающей программе, $C_{base \text{ порог } i}, C_{fyn \text{ порог } i}, C_{mng \text{ порог } i}$ – пороговые значения для уровня компетенций.

Система настроек $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ соответствует набору учебных модулей системы, значение 0 обозначает, что модуль обязателен к изучению, 1 – модуль рекомендован к изучению, 2 – модуль не является обязательным к изучению.

Алгоритмы управления и поддержки принятия решений

Для реализации разработанного метода управления и поддержки принятия решений в процессе обучения, была сформирована схема обобщенного алгоритма процесса обучения и принятия решения в зависимости от уровня усвоения материалов обучения, которая представлена на рис. 2. Процесс управления обучением строится на резуль-

татах тестирования и сформированных компетенциях в результате обучения в каждом учебном модуле и может быть представлен следующим алгоритмом (рис. 3).

Реализация алгоритмов в цифровом онлайн-курсе для обучения банковских сотрудников

Разработанный автором цифровой обучающий курс «Business Intelligence» создан на основе представленного метода управления и поддержки принятия решений в процессе обучения. Курс содержит элементы адаптивности и, в частности, гибкую траекторию обучения. Кроме того, осуществлен модульный подход к представлению учебного материала, который позволяет осуществлять обучение в зависимости от уже имеющегося уровня знаний, обеспечивая гибкость курса и заинтересованность в нем обучаемых.

В начале работы с цифровым обучающим курсом обучаемый проходит специальный входной тест, который определяет

его текущий уровень знаний [3]. В зависимости от результата выполнения этого теста обучающая система рекомендует ту или иную траекторию обучения. Если, например, специалист в результате такого теста получает 100%-ный результат по конкретному учебному модулю, его изучение не является обязательным. Модули, по которым был набран не максимально возможный балл, предлагаются специалисту для последующего обучения. Кроме того, возможно самостоятельное изучение любого модуля без прохождения тестовых заданий (рис. 4).

Кроме модулей учебного материала, содержательная часть обучающего курса также включает в себя [4]:

- библиотеку ресурсов;
- предметный и тематический словарь (гlossарий);
- дополнительные информационные материалы.

Все это позволяет курсу быть максимально ориентированным на потребности

обучаемых сотрудников, а также включать широкий спектр дополнительных материалов и источников информации для обеспечения более широкого и полного изучения представленного материала.

Реализованный цифровой онлайн-курс отвечает следующим необходимым требованиям [5, 6]:

- четкая структура курса и его упорядоченность;
- возможность организации индивидуального подхода к обучению специалиста, гибкость предоставления информации;
- многофункциональность обучающего курса;
- поэтапный самоконтроль обучения специалиста и контроль со стороны руководства;
- постоянная заинтересованность в обучении;
- актуальность учебного курса;
- возможность профессионального самосовершенствования обучающегося без отрыва от производства.

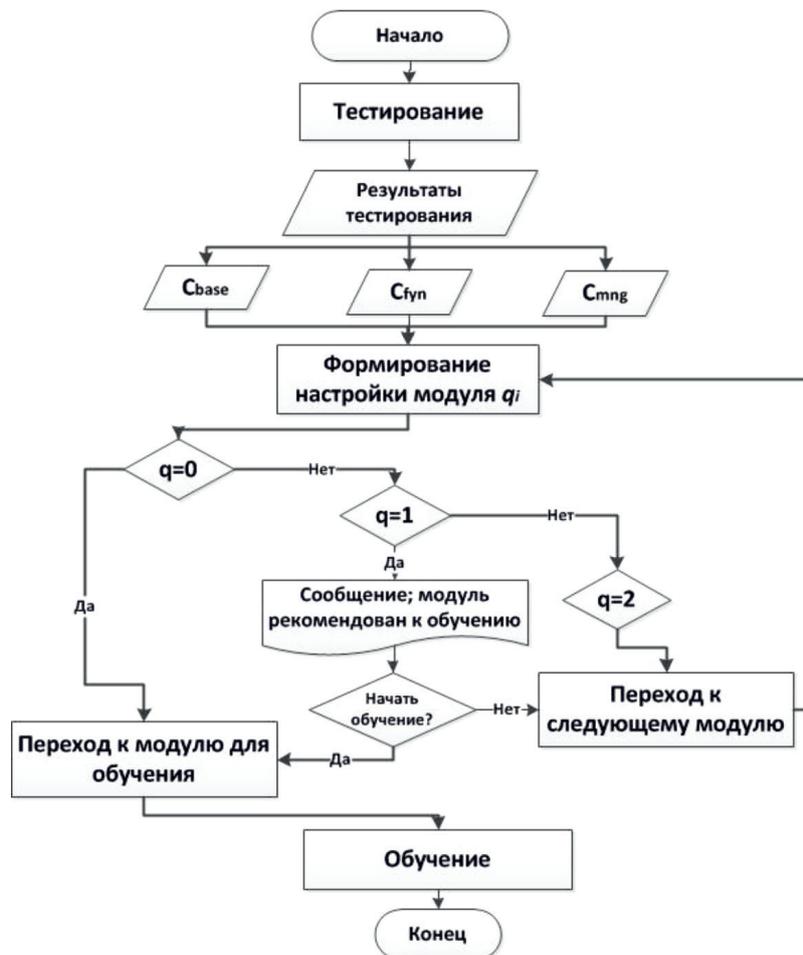


Рис. 2. Схема алгоритма поддержки принятия решения

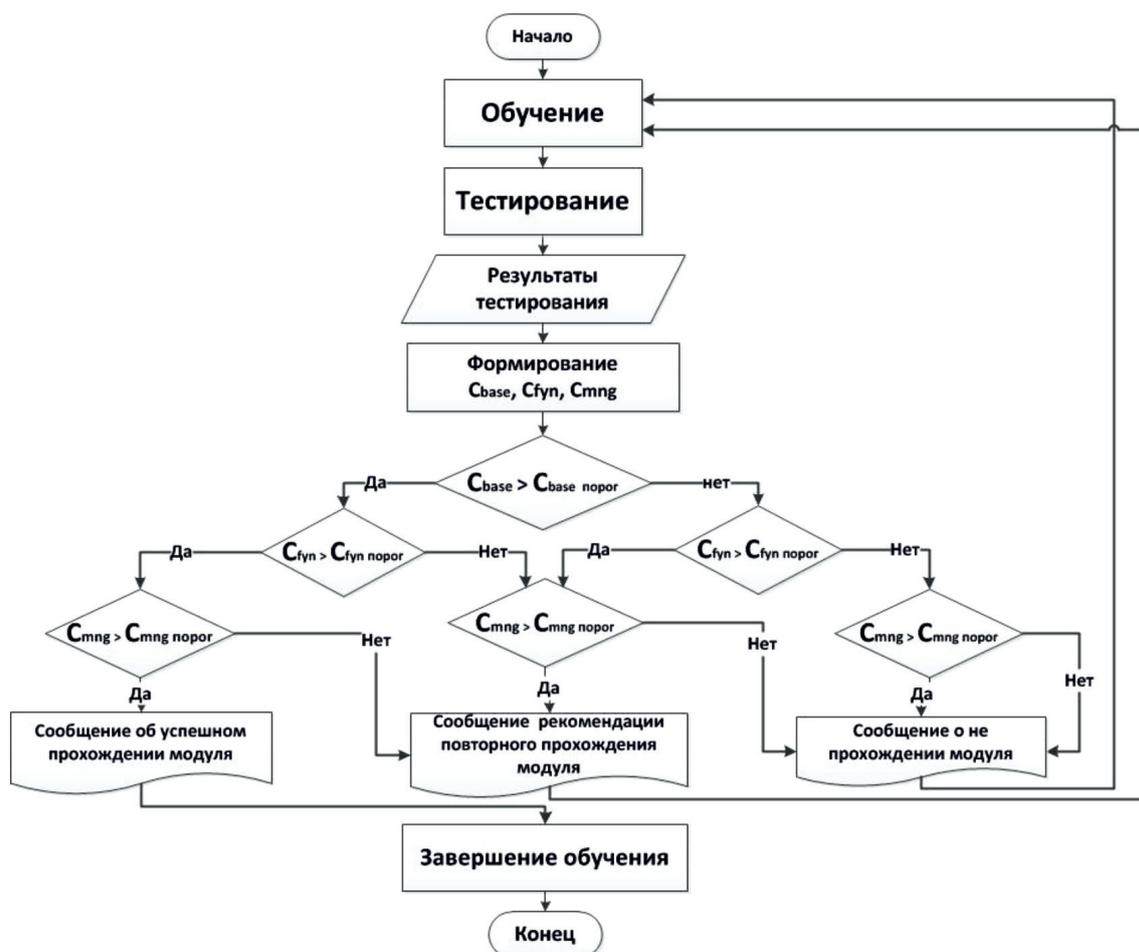


Рис. 3. Схема алгоритма управления обучением

Оглавление

Знакомство с интерфейсом	Кросс-таблицы
Начало работы. Формирование запросов	Диаграммы
Фильтры. Ограничения	Элементы управления вводом
Форматирование отчетов	Формулы. Создание переменных
Сортировка и ранжирование	
Создание разделов и подразделов в отчете	
Вычисление суммы, среднего, количества записей	

Рис. 4. Модули (разделы) цифрового обучающего курса

Выводы

Современное развитие технологий, переход к всеобщей автоматизации и информатизации, ставят новые, высокие задачи для процесса непрерывного обучения и самообучения в целях сохранения соответствующего уровня профессионализма и компетенций. Инновационные обучающие технологии обеспечивают возможность приобретения не только качественных профессиональных знаний, но и практических навыков в работе.

Современные технологии дистанционного обучения призваны обеспечивать такой образовательный процесс без отрыва от производства. Поэтому необходимо уделять постоянное внимание актуализации используемых механизмов управления процессами производства и реализации соответствующих образовательных услуг. Современные компьютерные обучающие курсы, основанные именно на развитии ключевых компетенций сотрудников, способствующих последующей качественной профессиональной деятельности, наиболее точно соответствуют такому инновационному развитию.

Апробация компьютерной обучающей программы «Business Intelligence» проводилась в течение 2 лет, ежегодно обучение проходило по 100 сотрудников различных подразделений. Анализ эффективности данной программы выявил высокую степень усвоения полученных знаний, которая составила 83%, Произошло значительное увеличение уровня знаний после проведения обучения на 72%, а соответствующий уровень развития ключевых компетенций повысился на 12%.

Все это свидетельствует о получении качественных профессиональных знаний и навыков, а также повышении общего уровня развития и компетентности. Благодаря системе управления и поддержки принятия решений в процессе обучения удалось реализовать задачу вовлеченности сотрудников в учебный процесс, постоянной мотивиро-

ванности и заинтересованности в обучении, а также дало возможность произвести обучение без отрыва от производства в удобное время и необходимом темпе индивидуально для каждого сотрудника. Алгоритм обучения в зависимости от уровня имеющихся знаний позволил своевременно получать новые необходимые навыки и развивать компетенции, не отвлекаясь на повторение хорошо известного материала.

Таким образом, создание качественных инновационных обучающих систем является важной задачей развития, адаптации, переквалификации и поддержки знаний на необходимом уровне для сотрудников различных сфер общества. Развитие личности, его потенциала, знаний и умений, а значит, и капитала организации в целом является одной из главных возможностей обеспечения конкурентоспособности в современных рыночных условиях, а также предотвращения кризисных ситуаций в целом.

Список литературы

1. Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И. Основные тенденции развития информационно-методического обеспечения системы менеджмента качества образования // Информационные технологии для современного университета: под ред. А.Н. Тихонова, А.Д. Иванникова. – М., 2011. – С. 119–128.
2. Бриндикова И.В., Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И., Чернышев С.В. Инновации менеджмента качества образования в контексте задач информатизации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2011. – № 36. – С. 82–86.
3. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учебное пособие. – М.: Логос, 2002. – 432 с.
4. Дроздова А.А., Гусева А.И. Современные технологии дистанционного обучения в банковской сфере // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14830> (дата обращения: 28.12.2017).
5. Дроздова А.А., Гусева А.И. Анализ применения электронных обучающих курсов в системе корпоративного обучения банковских сотрудников // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–4. – С. 845–851.
6. Титарев Л.Г. Технологии в образовании // Проблемы модернизации системы образования для новой экономики России: Предпринт WP5/2002/04. – М.: ГУ-ВШЭ, 2002. – С. 42–61.

УДК 004.052.2

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ С ДОКАЗАТЕЛЬСТВОМ НУЛЕВОГО РАЗГЛАШЕНИЯ ЗНАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯРНЫХ КОДОВ

¹Калмыков М.И., ²Бабенко Л.К., ¹Калмыков И.А., ¹Ефременков И.Д.

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

²ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону

Применение низкоорбитальных систем спутниковой связи (ССС) в автоматизированных системах дистанционного контроля и управления, которые располагаются за Полярным кругом, позволяет осуществлять с высокой достоверностью передачу данных от объектов нефтедобычи в центр управления. Для обеспечения эффективной работы СССР содержит от 48 до 60 космических аппаратов. Увеличение числа таких орбитальных группировок может привести к ситуации, когда спутник-нарушитель попытается навязать ретрансляционную помеху приемному устройству, расположенному на необслуживаемом объекте управления. В результате этого такая имитированная команда управления приведет к выходу из строя объекта нефтедобычи, что может нанести ущерб природе Арктики. Для устранения такой ситуации предлагается использовать запросно-ответные системы опознавания статуса спутника. Очевидно, что имитостойкость такой системы во многом зависит от протокола аутентификации. С целью сокращения временных затрат на выполнение процедур аутентификации в статье предлагается использовать модулярные коды. В данных кодах вычисления осуществляются параллельно по модулям кода и независимо от друг от друга. Целью исследований является повышение скорости выполнения протокола аутентификации типа «запрос – ответ» за счет использования модулярных кодов.

Ключевые слова: запросно-ответная система распознавания спутника, протоколы аутентификации типа «запрос – ответ», протоколы доказательства с нулевым разглашением знаний, модулярный код

THE IMPLEMENTATION OF AUTHENTICATION PROTOCOLS WITH ZERO-KNOWLEDGE PROOF OF KNOWLEDGE USING MODULAR CODES

¹Kalmykov M.I., ²Babenko L.K., ¹Kalmykov I.A., ¹Efremenkov I.D.

¹Federal State Autonomous Educational Institution Higher Professional Education

«North-Caucasian Federal University, Stavropol, e-mail: kia762@yandex.ru;

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education

«Southern Federal University», Rostov-on-Don

The use of low-orbit satellite communication systems (SCS) in automated systems for remote monitoring and control, which are located in the Arctic Circle, allows for high reliability of data transfer from oil drilling sites to the control center. To ensure effective work of the SCS contains from 48 to 60 spacecraft. The increase in the number of orbital groups can lead to the situation when the satellite-the offender tries to impose on relay interference receptor, located on the automatic control object. As a result, such simulated management team will lead to the failure of oil production facilities that may cause damage to the environment of the Arctic. To resolve this situation, we propose to use a request-response system of the recognition of the status of the satellite. It is obvious that infotouriste of such a system depends on the authentication Protocol. With the aim of reducing the time spent on the implementation of authentication procedures, the article proposes the use of modular codes. In these codes, calculations are performed in parallel according to the code modules and independently from each other. The aim of the research is to increase the speed of execution of the authentication Protocol of the type «request-response» through the use of modular codes.

Keywords: request-response detection system of the satellite, the authentication protocols of the type «request-response», protocols of the proof with zero disclosure of knowledge, modular code

Для снижения стоимости добычи и транспортировки углеводородов из Арктики широко применяются автоматизированные системы дистанционного контроля и управления объектами нефтедобычи. Для организации связи между необслуживаемыми объектами и центром управления используются низкоорбитальные системы спутниковой связи (ССС). С целью противодействия навязывания ретрансляционной помехи спутником-нарушителем, которая имитирует команду управления, в работах [1] предлагается использовать запросно-ответную систему распознавания спутника

(ЗОСРС). Очевидно, что имитостойкость такой системы во многом зависит от протокола аутентификации. Как правило, такие протоколы типа «запрос – ответ», базирующиеся на доказательстве с нулевым разглашением знаний (ДНРЗ), реализуются по большому модулю, что негативно сказывается на скорости аутентификации. Снизить временные затраты на проверку статуса спутника можно за счет применения модулярных кодов (МК). Поэтому реализация протоколов аутентификации с доказательством нулевого разглашения знаний с использованием модулярных кодов является актуальной задачей.

Цель исследования

Для повышения имитостойкости запросно-ответной системы распознавания спутника применяются протоколы, базирующиеся на доказательстве с нулевым разглашением знаний. С целью повышения криптостойкости в таких протоколах используются большие числа. Однако увеличение разрядности обрабатываемых данных приводит к снижению скорости выполнения мультипликативных операций. Применение непозиционных МК позволяет не только повысить точность, но и скорость вычислений. Это обусловлено тем, что в этих кодах операнды – это остатки, полученные по модулям МК. А операции сложения, вы-

читания и умножения выполняются параллельно без обмена данными между разными модулями [2–4]. Поэтому целью работы является повышение скорости выполнения протокола аутентификации за счет использования модулярных кодов.

Материалы и методы исследования

К модулярным кодам относятся непозиционные коды, в которых число A представляется в виде остатков $A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$, где $\alpha_i \equiv A \pmod{m_i}$, m_i – основания МК, в качестве которых используют взаимно простые целые числа, $i = 1, 2, \dots, k$ [2–4]. Тогда для МК справедливы следующие выражения

$$A + Y = ((\alpha_1 + y_1) \pmod{m_1}, (\alpha_2 + y_2) \pmod{m_2}, \dots, (\alpha_k + y_k) \pmod{m_k}), \quad (1)$$

$$A - Y = ((\alpha_1 - y_1) \pmod{m_1}, (\alpha_2 - y_2) \pmod{m_2}, \dots, (\alpha_k - y_k) \pmod{m_k}), \quad (2)$$

$$A \cdot Y = ((\alpha_1 \cdot y_1) \pmod{m_1}, (\alpha_2 \cdot y_2) \pmod{m_2}, \dots, (\alpha_k \cdot y_k) \pmod{m_k}), \quad (3)$$

где $Y \equiv y_i \pmod{m_i}$; $i = 1, 2, \dots, k$.

Для получения правильного ответа в МК необходимо, чтобы результаты операций не выходили за пределы рабочего диапазона, определяемого

$$P_{\text{раб}} = \prod_{i=1}^k m_i. \quad (4)$$

Анализ выражений (1)–(3) показывает, что операции сложения, вычитания и умножения можно свести к соответствующим операциям по модулю m_i , что позволяет повысить скорость вычислений.

Для построения имитостойкой ЗОСРС целесообразно использовать протоколы аутентификации, которые базируются на доказательстве с нулевым разглашением знаний и обладают высокой криптостойкостью. В работе [5] показан протокол аутентификации Фиата – Шамира, для реализации которого требуется t раундов проверки. При этом в каждом раунде выполняется трехшаговый алгоритм интерактивного обмена информацией для проверки претендента несколько раундов. Причем при увеличении числа раундов растет криптостойкость протокола. Аналогичным недостатком обладает протокол аутентификации Гиллоу – Куискуотера [6], также базирующийся на ДНРЗ. Данный протокол использует меньшее количество раундов информационного обмена, чем протокол Фиата – Шамира. Однако для достижения заданной вероятности доказательств корректности представленного идентификатора требуется использование многораундовой процедуры аутентификации.

Устранить данный недостаток протокола аутентификации Шнора, алгоритм работы которого приведен в [7]. Рассмотрим реализацию данного протокола в модулярном коде. Выбираем в качестве оснований простые числа m_1, m_2, \dots, m_k , для которых ищем простое число q_i – делитель m_i . Затем определяется число g_i , которое удовлетворяет условию

$$g_i^{q_i} \equiv 1 \pmod{m_i}. \quad (5)$$

Секретным ключом выбирают число $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, которое удовлетворяет условию

$$X < Q = \prod_{i=1}^k q_i. \quad (6)$$

Открытым ключом является число $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$, где справедливо

$$y_i = g_i^{-x_i} \pmod{m_i}. \quad (7)$$

Протокол аутентификации выполняется следующим образом.

1. Претендент A выбирает случайное число $S = (s_1, s_2, \dots, s_k)$, которое удовлетворяет условию $S < Q$. Затем осуществляется вычисление числа $R = (r_1, r_2, \dots, r_k)$, согласно

$$r_i = g_i^{s_i} \pmod{m_i}. \quad (8)$$

Вычисленное значение передается проверяющему абоненту B .

2. Абонент B выбирает случайное число $E = (e_1, e_2, \dots, e_k) \in \{1, 2, \dots, 2^t - 1\}$, где t – некоторый параметр. Данное число посылается абоненту A .

3. Абонент A , получив число E , вычисляет число $D = (d_1, d_2, \dots, d_k)$, согласно равенству

$$d_i = (s_i + e_i x_i) \bmod q_i. \quad (9)$$

Вычисленное значение $D = (d_1, d_2, \dots, d_k)$, посылается абоненту B .

4. Абонент B , получив ответ $D = (d_1, d_2, \dots, d_k)$, проверяет правильность ответа

$$W_i = g_i^{d_i} y_i^{e_i} \bmod m_i. \quad (10)$$

Если вычисленное значение $W = (w_1, w_2, \dots, w_k)$ совпадает с числом $R = (r_1, r_2, \dots, r_k)$, то претендент A – «свой». В противном случае абонент A является «чужим».

Для проведения сравнительного анализа воспользуемся разработанным протоколом аутентификации. В основу данного протокола был положен одномодульный протокол, позволяющий определить статус претендента [8]. Осуществим его реализацию с помощью модулярного кода.

В данном протоколе применяются представленные в МК: секретный ключ $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$, сеансовый ключ $S(j) = (S_1(j), S_2(j), \dots, S_k(j))$, параметр $T(j) = (T_1(j), T_2(j), \dots, T_k(j))$, используемый для уравнения «повторного применения сеансового ключа», где $U \equiv u_i \bmod m_i$; $S(j) \equiv S_i(j) \bmod m_i$; $T(j) \equiv T_i(j) \bmod m_i$; $i = 1, 2, \dots, k$.

На предварительном этапе аутентификации выполняются следующие вычисления:

1. Претендент A вычисляет истинный статус спутника, представленный в МК

$$C_i = \left| g^{u_i} g^{S_i(j)} g^{T_i(j)} \right|_{m_i}^+, \quad (11)$$

$$\{(C_1, \dots, C_k), (C_1^*, \dots, C_k^*), (r_1(1), \dots, r_k(1)), (r_1(2), \dots, r_k(2)), (r_1(3), \dots, r_k(3))\}.$$

3. Запросчик B осуществляет проверку полученных ответов на вопрос $d = (d_1, d_2, \dots, d_k)$

$$Y_i = \left| C_i^{d_i} g^{r_i(1)} g^{r_i(2)} g^{r_i(3)} \right|_{m_i}^+. \quad (15)$$

Претендент A имеет статус «свой», если выполняется равенство

$$\{Y_1 = C_1^*, Y_2 = C_2^*, \dots, Y_k = C_k^*\}. \quad (16)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим выполнение протокола аутентификации Шнорра в модулярном коде. Выбираем основания модулярного кода МК $m_1 = 11, m_2 = 23, m_3 = 29$. Рабочий диапазон

где g – порождающий мультипликативную группу по модулю m_i ; $i = 1, 2, \dots, k$.

2. Претендент A проводит операцию зашумления секретных параметров протокола

$$u_i^* = \left| u_i + \Delta u_i \right|_{m_i}^+;$$

$$S_i^*(j) = \left| S_i(j) + \Delta S_i(j) \right|_{m_i}^+;$$

$$T_i^*(j) = \left| T_i(j) + \Delta T_i(j) \right|_{m_i}^+, \quad (12)$$

где $\Delta U, \Delta S(j), \Delta T(j)$ – случайные значения; $\Delta U \equiv \Delta u_i \bmod m_i$; $\Delta S(j) \equiv \Delta S_i(j) \bmod m_i$; $\Delta T(j) \equiv \Delta T_i(j) \bmod m_i$; $i = 1, 2, \dots, k$.

3. Претендент A вычисляет зашумленный статус спутника, используя МК

$$C_i^* = \left| g^{u_i^*} g^{S_i^*(j)} g^{T_i^*(j)} \right|_{m_i}^+. \quad (13)$$

Алгоритм аутентификации состоит из следующих этапов.

1. Запросчик B передает претенденту A случайное число $d = (d_1, d_2, \dots, d_k)$.

2. Претендент A , получив $d = (d_1, d_2, \dots, d_k)$, вычисляет ответы, согласно

$$r_i(1) = \left| u_i^* - d_i u_i \right|_{\varphi(m_i)}^+;$$

$$r_i(2) = \left| S_i^*(j) - d_i S_i(j) \right|_{\varphi(m_i)}^+;$$

$$r_i(3) = \left| T_i^*(j) - d_i T_i(j) \right|_{\varphi(m_i)}^+. \quad (14)$$

Претендент A передает запросчику B следующие данные

системы равен $P_{\text{раб}} = 7337$. Определим делители оснований МК $q_1 = 5, q_2 = 11, m_3 = 7$, которые имеют $Q = 385$. Воспользуемся условием (5) и выберем $g_1 = 3, g_2 = 2, g_3 = 7$. Пусть секретный ключ абонента A равен $X = (3, 5, 5)$. Тогда первая часть открытого ключа, представленного в модулярном коде, будет равна

$$y_1 = g_1^{-x_1} \bmod m_1 = 3^{-3} \bmod 11 = 3^7 \bmod 11 = 9;$$

$$y_2 = g_2^{-x_2} \bmod m_2 = 2^{-5} \bmod 23 = 2^6 \bmod 23 = 18;$$

$$y_3 = g_3^{-x_3} \bmod m_3 = 7^{-5} \bmod 29 = 2^{23} \bmod 29 = 20.$$

В этом случае открытый ключ имеет вид $(y_p, p_p, g_i) = ((9, 18, 20)(11, 23, 29)(3, 2, 7))$.

1. Претендент A выбирает числа $S = (2, 7, 3)$ и вычисляет число $R = (r_1, r_2, r_3)$, согласно

$$r_1 = g_1^{s_1} \bmod m_1 = 3^2 \bmod 11 = 9;$$

$$r_2 = g_2^{s_2} \bmod m_2 = 2^7 \bmod 23 = 13;$$

$$r_3 = g_3^{s_3} \bmod m_3 = 7^3 \bmod 29 = 24.$$

Вычисленное значение $R = (9, 13, 24)$ передается запросчику B .

2. Запросчик B выбирает число $E = (4, 8, 4)$, которое передается претенденту A .

3. Претендент A вычисляет ответ на поставленный вопрос e , используя равенство (9)

$$d_1 = (s_1 + e_1 x_1) \bmod q_1 = (2 + 4 \cdot 3) \bmod 5 = 4;$$

$$d_2 = (s_2 + e_2 x_2) \bmod q_2 = (7 + 8 \cdot 5) \bmod 11 = 3;$$

$$d_3 = (s_3 + e_3 x_3) \bmod q_3 = (3 + 4 \cdot 5) \bmod 7 = 2.$$

Вычисленное значение $D = (4, 3, 2)$ посылается абоненту B .

4. Абонент B проверяет правильность ответа согласно (10)

$$w_1 = g_1^{s_1} y_1^{e_1} \bmod m_1 = (3^4 \cdot 9^4) \bmod 11 = 3^2 \bmod 11 = 9;$$

$$w_2 = g_2^{s_2} y_2^{e_2} \bmod m_2 = (2^3 \cdot 18^8) \bmod 23 = 13;$$

$$w_3 = g_3^{s_3} y_3^{e_3} \bmod m_3 = (7^2 \cdot 20^4) \bmod 29 = 24.$$

Так как справедливо, что $W = (9, 13, 24) = R$, то статус претендента A – «свой».

Рассмотрим выполнение разработанного протокола аутентификации в модулярном коде. Пусть заданы основания $m_1 = 13$, $m_2 = 19$, $m_3 = 29$, для которых имеется $g = 2$. Рабочий диапазон будет равен $P_{\text{раб}} = 7136$. В качестве секретного ключа выбираем $U = 24 = (11, 5, 24)$, в качестве сеансового ключа $S(j) = 16 = (3, 16, 16)$, а параметр $T(j) = 25 = (12, 6, 25)$. Воспользуемся выражением (11) и получим истинный статус космического аппарата

$$C_1 = g^{U_1} g^{S_1} g^{T_1} \bmod m_1 = |2^{11} \cdot 2^3 \cdot 2^{12}|_{13}^+ = |2^2|_{13}^+ = 4;$$

$$C_2 = g^{U_2} g^{S_2} g^{T_2} \bmod m_2 = |2^5 \cdot 2^{16} \cdot 2^6|_{19}^+ = |2^9|_{19}^+ = 18;$$

$$C_3 = g^{U_3} g^{S_3} g^{T_3} \bmod m_3 = |2^{24} \cdot 2^{16} \cdot 2^{25}|_{29}^+ = |2^9|_{29}^+ = 19.$$

Истинный статус в коде $C = (4, 18, 19)$ записывается в память спутника.

Выбираем величину «зашумление» равное $\Delta U = 4$, $\Delta S = 7$, $\Delta T = 8$. Тогда получаем следующие зашумленные значения $U^* = (15, 7, 16)$, $S^*(j) = (12, 4, 13)$ и $T^*(j) = (3, 24, 4)$. Воспользуемся выражением (12) и получим значение зашумленного статуса спутника

$$C_1^* = g^{K_1^*} g^{S_1^*} g^{T_1^*} \bmod m_1 = (2^{15} \cdot 2^7 \cdot 2^{16}) \bmod 13 = 2^2 \bmod 13 = 4;$$

$$C_2^* = g^{K_2^*} g^{S_2^*} g^{T_2^*} \bmod m_2 = (2^{12} \cdot 2^4 \cdot 2^{13}) \bmod 19 = 2^{11} \bmod 19 = 15;$$

$$C_3^* = g^{K_3^*} g^{S_3^*} g^{T_3^*} \bmod m_3 = (2^3 \cdot 2^{24} \cdot 2^4) \bmod 29 = 2^3 \bmod 29 = 8.$$

Вычисленное значение зашумленного статуса $C^* = (4, 15, 8)$ записывается в память.

Рассмотрим процесс аутентификации спутника. Запросчик, увидев космический аппарат, передает случайное число $d = (8, 5, 4)$. Найдем ответы на вопрос $d_1 = 8$. Получаем

$$r_1(1) = (U_1^* - d_1 U_1) \bmod \varphi(13) = (15 - 8 \cdot 11) \bmod 12 = (-1) \bmod 12 = 11;$$

$$r_1(2) = (S_1^*(j) - d_1 S_1(j)) \bmod \varphi(13) = (12 - 8 \cdot 3) \bmod 12 = 0;$$

$$r_1(3) = (T_1^*(j) - d_1 T_1(j)) \bmod \varphi(13) = (3 - 8 \cdot 12) \bmod 12 = 3.$$

Найдем ответы на вопрос $d_2 = 5$. Получаем следующие ответы:

$$\begin{aligned} r_2(1) &= (U_1^* - d_2 U_1) \bmod \varphi(19) = (7 - 5 \cdot 5) \bmod 18 = 0; \\ r_2(2) &= (S_2^*(j) - d_2 S_2(j)) \bmod \varphi(19) = (4 - 5 \cdot 16) \bmod 18 = 14; \\ r_2(3) &= (T_2^*(j) - d_2 T_2(j)) \bmod \varphi(19) = (24 - 5 \cdot 6) \bmod 18 = 12. \end{aligned}$$

Найдем ответы на вопрос $d_3 = 4$. Получаем следующие ответы:

$$\begin{aligned} r_3(1) &= (U_3^* - d_3 U_3) \bmod \varphi(29) = (16 - 4 \cdot 24) \bmod 28 = 4; \\ r_3(2) &= (S_3^*(j) - d_3 S_3(j)) \bmod \varphi(29) = (13 - 4 \cdot 16) \bmod 28 = 5; \\ r_3(3) &= (T_3^*(j) - d_3 T_3(j)) \bmod \varphi(29) = (4 - 4 \cdot 25) \bmod 28 = 6. \end{aligned}$$

Истинный и зашумленный статусы, а также ответы на случайное число d пересылаются в запросчик. Запросчик проводит проверку статуса космического аппарата

$$\begin{aligned} A_1 &= C_1^{d_1} g^{r_1(1)} g^{r_1(2)} g^{r_1(3)} \bmod m_1 = 2^2 \bmod 13 = 4; \\ A_2 &= C_2^{d_2} g^{r_2(1)} g^{r_2(2)} g^{r_2(3)} \bmod m_2 = 2^{11} \bmod 19 = 15; \\ A_3 &= C_3^{d_3} g^{r_3(1)} g^{r_3(2)} g^{r_3(3)} \bmod m_3 = 2^3 \bmod 29 = 8. \end{aligned}$$

Так как значения $A_1 = C_1^* \bmod m_1 = 4$, $A_2 = C_2^* \bmod m_2 = 15$, $A_3 = C_3^* \bmod m_3 = 8$, то запросчик определяет, что космический аппарат «свой», и между спутником и объектом управления начинается обмен данными.

Проведенные исследования показали, что доказывают эффективность использования модулярного кода в рассмотренных протоколах аутентификации, базирующихся на доказательстве с нулевым разглашением данных. Известно, что скорость выполнения мультипликативных операций по модулю пропорциональна разрядности операндов. В рассмотренных примерах использование изоморфизма, порожденного китайской теоремой об остатках, позволило перейти от вычислений с 17 разрядными числами к вычислениям с 5 разрядными операндами. Таким образом, использование модулярного кода позволило повысить скорость проводимых вычислений более чем в 3 раза по сравнению с одномодульной реализацией протокола. Кроме того, полученные результаты наглядно свидетельствуют о том, что разработанный протокол определения статуса спутника, реализованный в модулярном коде, требует в 1,33 раза меньше временных затрат на аутентификацию по сравнению с протоколом Шнорра. Это связано с тем, что разработанный протокол аутентификации содер-

жит меньшее число этапов, необходимых на выявление статуса спутника. Таким образом, разработанный протокол аутентификации, реализованный в модулярном коде, является наиболее перспективным для использования в системах опознавания «свой – чужой».

Заключение

В статье представлен разработанный протокол аутентификации, базирующийся на доказательстве с нулевым разглашением знаний, который реализуется с помощью модулярных кодов. Проведен сравнительный анализ разработанного протокола аутентификации с протоколом Шнорра, при использовании многомодульной реализации. Полученные результаты показали, что разработанный протокол определения статуса спутника, реализованный в модулярном коде, требует в 1,33 раза меньше временных затрат на аутентификацию по сравнению с протоколом Шнорра. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования разработанного протокола аутентификации, реализованного в модулярном коде, в запросно-ответной системе распознавания спутника.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-37-50017.

Список литературы

1. Пашинцев В.П., Калмыков М.И., Ляхов А.В. Применение помехоустойчивого протокола аутентификации космического аппарата для низкоорбитальной системы спутниковой связи // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – № 2. – С. 183–190.
2. Ananda Mohan Residue Number Systems. Theory and Applications // Springer International Publishing Switzerland. – 2016. – 351 p.
3. Червяков Н.И., Коляда А.А., Ляхов П.А. Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. – 400 с.
4. Omondi A., Premkumar B. Residue Number Systems: Theory and Implementation // Imperial College Press. UK 2007. – 296 p.
5. Запечников С.В. Криптографические протоколы и их применение в финансовой и коммерческой деятельности: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 320 с.
6. Черемушкин А.В. Криптографические протоколы. Основные свойства и уязвимости. – М.: Академия, 2009. – 272 с.
7. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. – М.: Издательство ТРИУМФ, 2003. – 816 с.
8. Калмыков М.И., Саркисов А.Б., Петрова Е.В. Способ построения системы опознавания «свой – чужой» на основе протокола с нулевым разглашением // Патент 2570700. 2015. Бюл. № 34.

УДК 620.178.3

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ПЕРЕДАЧ ИЗ-ЗА ОТКАЗОВ, ВЫЗВАННЫХ ИЗНОСОМ, КОНТАКТНОЙ И ИЗГИБНОЙ УСТАЛОСТЬЮ

Краснов Ю.В., Никандров И.С., Горшков А.С.

Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета, Дзержинск, e-mail: ktmdpingtu@mail.ru

Исследовано влияние процесса изнашивания деталей на контактную усталостную прочность зубчатых передач. При моделировании работы зубчатой передачи использовали принцип роликовых аналогий. Экспериментальное исследование производилось при различных окружных скоростях, скоростях скольжения и напряжениях в контакте. Режимы испытаний соответствовали гидродинамическому и смешанному трению в контакте. Для закаленных образцов не было обнаружено корреляции между интенсивностью изнашивания и долговечностью образцов по критерию контактной усталостной прочности. Можно принять, что изнашивание при данных режимах не оказывает влияния на контактную усталостную прочность до тех пор, пока само не становится критерием отказа, кроме деталей с поверхностным упрочнением. При износе деталей с поверхностно упрочненным слоем значительно уменьшаются прочностные характеристики лежащих ниже слоев и увеличивается вероятность отслаивания упрочненного слоя. Предложено производить расчеты зубчатых передач с поверхностно упрочненными зубьями с учетом износа упрочненного слоя. Получены зависимости для оценки вероятности безотказной работы при действии как отдельных факторов, например контактных напряжений, с учетом изнашивания зубьев, так и вероятности безотказной работы зубчатой передачи в целом.

Ключевые слова: интенсивность изнашивания, контактная прочность, контактные напряжения, вероятность безотказной работы

ASSESSMENT OF PROBABILITY OF NON-FAILURE OPERATION OF TRANSFERS BECAUSE OF THE REFUSALS CAUSED BY WEAR, CONTACT AND FLEXURAL WEARINESS

Krasnov Yu.V., Nikandrov I.S., Gorshkov A.S.

*Dzerzhinsk Polytechnical Institute of Nizhny Novgorod State Technical University,
Dzerzhinsk, e-mail: ktmdpingtu@mail.ru*

The influence of the wear process of parts on the contact fatigue strength of gears is investigated. The principle of roller analogies was used to simulate the operation of the gear train. The experimental investigation was carried out at various circumferential speeds, slip velocities and stresses in contact. The test modes corresponded to hydrodynamic and mixed friction in contact. For quenched samples, no correlation was found between the wear rate and the durability of the samples by the criterion of contact fatigue strength. It can be assumed that wear under these conditions does not have a significant effect on contact fatigue strength until it itself becomes a failure criterion, except for surface hardening parts. When wear parts with a surface-hardened layer, the strength characteristics of the underlying layers decrease, and the probability of flaking of the strengthened layer increases. It is proposed to perform calculations of gears with surface hardened teeth taking into account the wear of the hardened layer. Dependences have been obtained for estimating the probability of failure-free operation under the action of individual factors, for example, contact stresses, taking into account the wear of the teeth, and the probability of failure-free operation of the gear train as a whole.

Keywords: intensity of wear process, contact strength, contact pressure, probability of failure-free operation

В настоящее время зубчатые передачи рассчитываются по критериям усталостной контактной и изгибной прочности. Однако при работе в реальных условиях зубчатые колеса подвержены износу [1], который как сам может являться критерием отказа, так и влиять на контактную и изгибную прочность. Поэтому актуальной является разработка методов расчета зубчатых передач с учетом процесса изнашивания.

Цель исследования – определение влияния износа на контактную прочность в процессе моделирования работы зубчатых передач; получение зависимостей для оценки вероятности безотказ-

ной работы при совместном действии различных факторов, вызывающих повреждение деталей.

Экспериментальное исследование влияния интенсивности изнашивания на контактное выкрашивание было проведено при трении закаленных контрроликов по улучшенным образцам. Материал контрроликов – сталь 45. Объемная закалка 850–870 °С, отпуск – 180–200 °С, HRC 45.

Материал образцов – сталь 45. Термообработка: улучшенная закалка – 820–840 °С, отпуск – 520–530 °С, HRC 30.

Контактные напряжения рассчитаны по формуле Герца. При сжатии стальных

цилиндров, соприкасающихся по образующей, она имеет вид

$$p = 0,418 \sqrt{\frac{\vartheta \cdot E}{\rho_{\text{пр}}}}, \quad (1)$$

где ϑ – удельная нагрузка, Н/мм;
 $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости стали;
 $\rho_{\text{пр}}$ – приведенный радиус кривизны контактирующих роликов, мм.

Суммарная окружная скорость V_E равна сумме окружных скоростей роликов V_1 и V_2 . Относительное проскальзывание $L = V_2 - V_2/V_1$.

Измерение величины износа производилось периодически на аналитических весах с точностью измерения $1 \cdot 10^{-4}$ г.

Периодичность измерения зависела от интенсивности изнашивания. В конце испытаний величину износа контролировали по снятой профилограмме поверхности. Для образцов основной серии ($L = 17\%$), размеры которых приведены на рис. 1, массовый износ 1 мг материала приблизительно соответствовал линейному износу в 1 мкм.

Испытания проводились на испытательной установке с замкнутым контуром, внешняя схема которой представлена на рис. 2, предназначенной для испытаний износостойкости роликовых цилиндрических образцов. Установка позволяет изменять следующие параметры, влияющие на интенсивность изнашивания: суммарную окружную скорость V_{Σ} , скорость скольжения $V_{\text{ск}}$, напряжения в контуре p , температуру и расход подаваемого в контакт масла. Самоустанавливающийся ролик-образец помещается между тремя контрольными роликами, при этом верхний контрольный является – нажимным, а нижние контрольные – опорные.

Принудительное (с помощью зубчатой передачи) вращение под нагрузкой, варьируя скорость вращения и величину проскальзывания, позволяет моделировать работу зубчатых передач. Принципы моделирования работы зубчатых передач с помощью роликовых аналогий описаны в работе [2] и других работах.

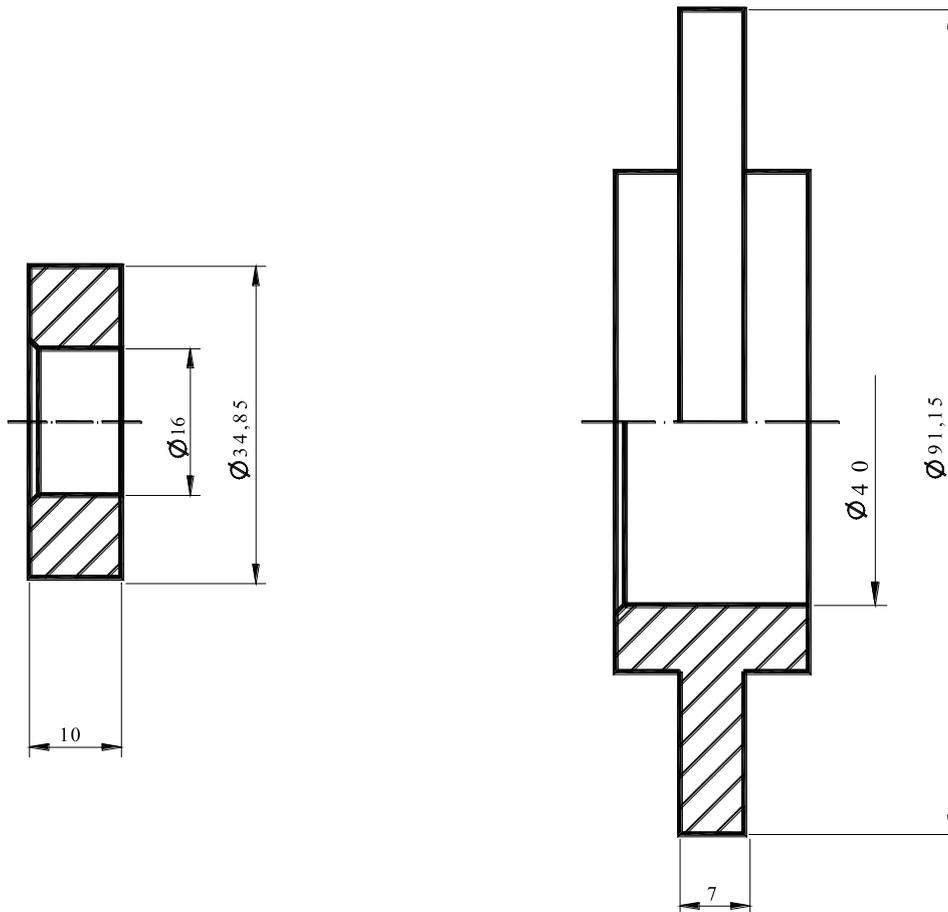


Рис. 1. Ролик – образец и контрольный

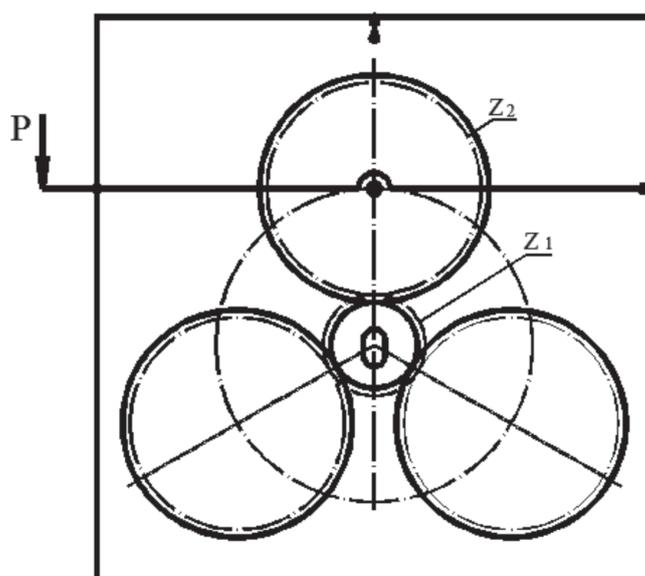


Рис. 2. Принципиальная схема установки с принудительным вращением роликов

В качестве критерия для определения числа циклов, соответствующих выкрашиванию, было принято появление начальных следов питтинга. Испытания проводились на четырех уровнях напряжений: $p = 652; 884; 1116; 1348$ МПа и трех уровнях скоростей: $V_{\Sigma} = 0,63; 1,26; 1,89$ м/с. Данные условия соответствовали режимам гидродинамического и смешанного трения [3]. Для каждой совокупности было испытано по 3 образца. Испытания дали следующие результаты. При напряжениях $p = 652$ МПа для всех V_{Σ} после $2 \cdot 10^6$ циклов, а для одного образца после 10^7 циклов выкрашивания, так как это напряжение меньше предела длительной прочности. При других уровнях напряжений выкрашивание возникло ранее, чем износ достигал значительной величины; при этом величина интенсивности изнашивания и износа не оказывала существенного влияния на сопротивление контактной усталости образцов. Об этом говорят полученные значения коэффициентов корреляции ρ , которые количественно характеризуют тесноту связи между случайными величинами: долговечностью образцов N и интенсивностью изнашивания J . Для $p = 884$ МПа при $V_{\Sigma} = 0,63; 1,26; 1,89$ м/с по результатам испытаний 9 образцов получили $\rho = 0,66$. Аналогично, при $p = 1116$ МПа значение $\rho = -0,374$ и при $p = 1348$ МПа значение $\rho = -0,65$. Полученные значения коэффициентов корреляции указывают на слабую функциональную связь между N и J , а различие знаков ρ говорит о трудности

установления вида этой связи или об отсутствии таковой вообще.

Отсутствие количественной связи между интенсивностью изнашивания и питтингом, по-видимому, можно объяснить следующим. Увеличение скорости изнашивания уменьшает вероятность питтинга из-за развития поверхностных трещин, однако само увеличение этой скорости может быть связано с ужесточением режима нагружения, например уменьшением толщины масляной пленки, а соответственно, увеличением динамической нагрузки и концентрации напряжений; при этом создаются более благоприятные условия для развития поверхностных трещин. При сравнительной малой интенсивности изнашивания, разрушения этих трещин вследствие износа не происходит. Увеличение скорости развития подповерхностных трещин и уменьшение вероятности питтинга из-за развития поверхностных трещин компенсируют друг друга. Иная картина наблюдается при значительном увеличении скорости износа, например, для неприработанных твердых контрольных при трении по улучшенным образцам. При этом процесс изнашивания носит уже в основном не усталостный характер; происходит микрорезание твердыми микронеровностями контрольных материала более мягких образцов. Величина интенсивности изнашивания при отсутствии приработки контрольных в зависимости от режима смазывания (жидкостное или граничное трение) может увеличиваться в десятки и сотни раз

по сравнению с приработанными. Например, при качении с проскальзыванием цементированных роликов по улучшенным образцам интенсивность изнашивания при $p = 884$ МПа и $V_{\Sigma} = 1,26$ м/с (что соответствует смешанному режиму трения) составила 856 мкм (10^6 циклов). Следы выкрашивания отсутствовали. В этом случае, как и в случае абразивного износа, из-за большой интенсивности изнашивания не успевают развиваться не только поверхностные, но и подповерхностные трещины. Аналогичные результаты были получены также в отдельных экспериментах при трении цементированных контрроликков по закаленным образцам. Можно принять, что изнашивание не оказывает значительного влияния на контактную усталость до тех пор, пока само не становится критерием отказа. Однако для деталей с поверхностными упрочнением поверхности изнашивание оказывает влияние на сопротивление контактной усталости в результате истирания тонких упрочненных слоев и дальнейшего выкрашивания лежащих ниже слоев, обладающих меньшим сопротивлением контактной усталости. Изменяющиеся по мере износа поля напряжений делают трудным определение наиболее опасной точки учета для нее всей совокупности возникающих в течении работы напряжений. Эти трудности увеличивают

изменение твердости и интенсивности изнашивания во время работы. С учетом того, что при разрушении рекомендовано принять за наиболее опасную – точку максимальных касательных напряжений в конце всего цикла нагружений (рис. 3).

В запас надежности пойдет то, что касательные напряжения в этой точке в течение всей работы были меньше максимальных и только в конце достигли максимальных значений. Допускаемые напряжения для этой точки, с учетом имеющегося запаса надежности, могут быть приняты в соответствии с твердостью поверхности, получившейся в результате износа.

При износе поверхностно-упрочненных поверхностей увеличивается также вероятность отслаивания упрочненного слоя из-за уменьшения его толщины. Поэтому, например, при расчете на предотвращение глубинного контактного разрушения по ГОСТ 21354-87 [4] при определении параметра:

$$\varphi = \frac{h_t \cdot 10^4}{\rho_{\text{пр}} \cdot H_k}, \quad (2)$$

учитывающего влияние толщины упрочненного слоя δ_y , более правильным будет подставить значение δ_y , полученное с учетом износа. Для оценки величины износа могут быть использованы зависимости [5].

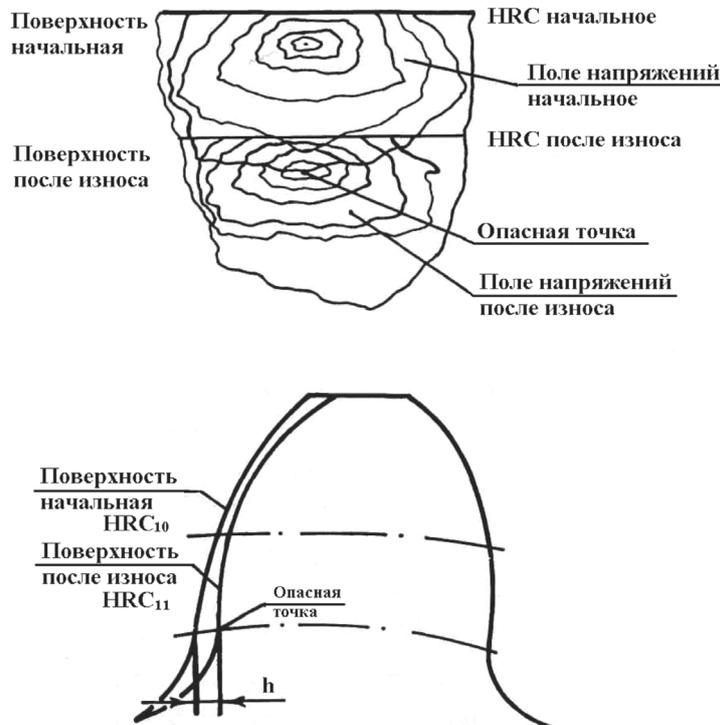


Рис. 3. Изменение положения опасной точки в процессе изнашивания

В случае совместного действия независимых причин, вызывающих отказы, вероятность безотказной работы:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (3)$$

где P_i – вероятность безотказной работы при действии i -ой причины.

Так как вероятность отказа вследствие износа влияет на вероятность отказа под

действием контактных или изгибающих напряжений, использовать эту зависимость напрямую нельзя.

Время безотказной работы τ (или число циклов N) при отказах вследствие износа, а также логарифм $\tau(N)$ при отказах из-за потери контактной или изгибной прочности имеют нормальное распределение.

Для анализа совместного распределения нормально распределенных величин применима зависимость Бернштейна:

$$f(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi \cdot S_{z_1} \cdot S_{z_2} \cdot \sqrt{1-\rho^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(\rho^2)} \left[\frac{(z_1-M_1)^2}{S_{z_1}^2} + \frac{(z_2-M_2)^2}{S_{z_2}^2} - 2\rho \cdot \frac{(z_1-M_1)(z_2-M_2)}{S_{z_1} \cdot S_{z_2}} \right]}, \quad (4)$$

где M_1 и M_2 – математические ожидания случайных величин z_1 и z_2 ;
 S_{z_1} и S_{z_2} – среднее квадратичное отклонение величин z_1 и z_2 ;
 ρ – коэффициент корреляций между z_1 и z_2 ;

$$\rho = \frac{cov(z_1, z_2)}{S_{z_1} \cdot S_{z_2}}, \quad (5)$$

где $cov(z_1, z_2)$ – ковариация случайных величин:

$$cov(z_1, z_2) = M(z_1 \cdot z_2) - M(z_1) \cdot M(z_2). \quad (6)$$

Плотность вероятности условного распределения случайной величины z_1 , т.е. плотность вероятности распределения z_1 при условии, что z_2 имеет плотность распределения $f(z_2)$;

$$f(z_1 / z_2) = f(z_1, z_2) / f(z_2). \quad (7)$$

Учитывая, что

$$f(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot f(z_2)} \cdot e^{-\frac{(z_1-M_1)^2}{2 \cdot S^2(z_1)}}, \quad (8)$$

из выражений (4), (7) и (8):

$$f(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S(z_2) \cdot \sqrt{1-\rho^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(S(z_2) \cdot \sqrt{1-\rho^2})^2} \left(z_2 - M_2 - \rho \frac{S(z_2)}{S(z_1)} (z_1 - M_1) \right)^2}. \quad (9)$$

Из (9) видно, что условное распределение $f(z_1/z_2)$ является нормальным с математическим ожиданием и средним квадратичным отклонением:

$$M(z_2 / z_1) = M_2 + \rho \frac{S(z_2)}{S(z_1)} \cdot (z_1 - M_1); \quad (10)$$

$$S(z_2 / z_1) = S(z_2) \cdot \sqrt{1-\rho^2}. \quad (11)$$

Выражения (9–11) дают возможность оценить параметры распределения логарифма времени τ (или числа циклов N) безотказной работы при отказах вследствие потери контактной или изгибной прочности в зависимости от износостойкости деталей. При этом они будут иметь вид

$$M(\lg N_0 / h) = \lg N_0 + \rho \frac{S(\lg N_0)}{S(h)} \cdot (h - M(h)); \quad (12)$$

$$S(\lg N_0 / h) = S(\lg N_0) \cdot \sqrt{1-\rho^2}. \quad (13)$$

Полученные параметры распределения можно в дальнейшем считать независимыми от износа.

По полученным параметрам условного распределения можно рассчитать вероятность безотказной работы при действии различных факторов, например изгибных или контактных напряжений, и вероятность безотказной работы зубчатой передачи в целом по формуле (3).

Список литературы

1. Проблемы оценки износа сопряжений зубчатых колес транспортных машин и энергетического оборудования /

А.В. Баранов [и др.] // Ползуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 99–100.

2. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: Справочник / В.С. Комбалов. – М.: Инновационное машиностроение, 2008. – 384 с.

3. Доценко А.И. Основы трибологии / А.И. Доценко, И.А. Буяновский. – М.: Инфра-М, 2014. – 336 с.

4. ГОСТ 21354-87 Передачи зубчатые цилиндрические внешнего зацепления. Расчет на прочность. – Взамен ГОСТ 21354-75; Введен с 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 129 с.

5. Дроздов Ю.Н. Прикладная трибология (трение, износ, смазка) / Ю.Н. Дроздов, Е.Г. Юдин, А.И. Белов. – М.: Эко-Пресс, 2010. – 603 с.

УДК 662.73

ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ БУРЫХ УГЛЕЙ ПУТЕМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ИНИЦИИРУЮЩИХ ДОБАВОК $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ И $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

¹Ларионов К.Б., ^{1,2}Громов А.А.

¹ФГАОУ ВО НИ «Томский политехнический университет

(национальный исследовательский университет)», Томск, e-mail: laryk070@gmail.com;

²НИТУ МИСИС (Национальный исследовательский технологический университет), Москва, e-mail: gromov@tpu.ru

Исследован процесс окисления бурых углей двух типов, модифицированных добавками $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (5 мас. %) и $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ (5 мас. %). Нанесение иницирующих добавок осуществлялось методом пропитки по влагеёмкости, что позволяет обеспечить равномерное распределение нитратов церия и меди в структуре образцов. Реакционная способность образцов была изучена методом термогравиметрического анализа при скорости нагрева 2,5 °С/мин в окислительной атмосфере в температурном диапазоне 25–600 °С. Установлено, что внесение иницирующих добавок приводит к существенному снижению температуры зажигания ($\Delta T_i = 20\div 55$ °С), сокращению времени разогрева образца до момента зажигания ($\Delta t_e = 2\div 22$ мин) и уменьшению общей продолжительности процесса горения ($\Delta t_r = 8\div 16$ мин). Установлен следующий ряд активности добавок: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 > \text{Ce}(\text{NO}_3)_3$. По данным масс-спектрометрического анализа, найденный ряд активности находится в корреляции с начальной температурой разложения нитратов (190–223 °С). Изучено влияние степени метаморфизма угля и содержания летучих веществ в исходном образце на характеристики процесса окисления. Обсужден возможный механизм действия нитратов металлов и получаемых нестехиометрических оксидов, промотирующих зажигание и ускоряющих процесс окисления бурых углей.

Ключевые слова: бурый уголь, температура зажигания, иницируемое окисление, нитрат меди, нитрат церия, ТГА, масс-спектрометрический анализ

CHANGE OF LIGNITE REACTIVITY BY INTEGRATION OF $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ AND $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ INITIATION ADDITIVES

¹Larionov K.B., ^{1,2}Gromov A.A.

¹NR Tomsk Polytechnic University (National Research University), Tomsk, e-mail: laryk070@gmail.com;

²NUST MISIS (National University of Sciences and Technology), Moscow, e-mail: gromov@tpu.ru

Process of oxidation of two types of brown coal modified by addition of $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (5 %wt.) and $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ (5 %wt.) has been researched. Application of initiation additives has been conducted by impregnation method, which makes it possible to ensure an even distribution of cerium and copper nitrates in the structure of the samples. Reactivity of the samples has been studied by thermogravimetric analysis at a heating rate of 2.5 °C/min in an oxidizing medium in a temperature range of 25–600 °C. It has been established that implementation of initiation additives leads to a significant reduction of ignition temperature ($\Delta T_i = 20\div 55$ °C), shortening of sample warm-up time till the ignition moment ($\Delta t_e = 2\div 22$ min) and decrease of total duration of the combustion process ($\Delta t_r = 8\div 16$ min). The following series of additives activity has been established: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 > \text{Ce}(\text{NO}_3)_3$. According to mass-spectrometric analysis, obtained activity series correlates with the initial decomposition temperature of nitrates (190–223 °C). Influence of coal metamorphism degree and content of volatile substances in the initial sample on characteristics of oxidation process has been studied. Possible nature of metal nitrates effect promoting ignition and accelerating the process of brown coal oxidation has been discussed.

Keywords: lignite, ignition temperature, initiated oxidation, copper nitrate, cerium nitrate, TGA, mass-spectrometric analysis

Самый простой и эффективный способ использования угля в энергетической отрасли – его прямое сжигание [1]. Один из подходов, направленных на интенсификацию процесса горения угля, заключается в использовании промотирующих агентов, позволяющих улучшить кинетические характеристики горения и повысить эффективность сгорания угля [2]. Существующий опыт исследований иницируемого горения твёрдых топлив основан на использовании оксидов щелочноземельных и переходных металлов [3–4], а также различных солей и щелочей [5–6].

Рядом исследователей показано, что использование соединений щелочных

и щелочноземельных металлов в качестве промотирующих добавок способствует ускорению процесса возгонки летучих веществ и снижению температуры воспламенения углей [7]. В присутствии добавок наблюдается интенсификация процессов термической деструкции угольной матрицы и дальнейшего окисления конденсированных продуктов [8]. Тем не менее использование добавок на основе щелочных и щелочноземельных металлов в энергетической отрасли ограничено высокой коррозионной активностью и высоким шлакообразованием [3].

Для повышения эффективности горения угля также используются оксиды редкозе-

мельных и переходных металлов [9]. Так, в работе [3] рассмотрено влияние добавок CeO_2 , Fe_2O_3 и совместного использования Fe_2O_3 и K_2CO_3 на кинетические характеристики горения углей различной степени метаморфизма. Результаты термического анализа показали, что совместная добавка ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$) оказывала положительное действие на процессы термической деструкции и горения различных видов твёрдого топлива. Отмечено, что наибольшие изменения в процессе горения угля с использованием оксидов металлов проявляются для высокоуглеродистых углей в высокотемпературной зоне (выше 550°C).

При этом многие нитраты характеризуются сильными окислительными свойствами, низкой температурой плавления (разложения) и прекрасной растворимостью в воде. Последнее значительно упрощает их нанесение методом пропитки на поверхность твёрдого топлива. Например, использование NiNO_3 в качестве иницирующей добавки приводило к максимальному снижению температуры зажигания углей (около 50°C), по сравнению с добавками оксидов металлов. К тому же разложение нитратов переходных металлов приводит к образованию соответствующих оксидов, способных катализировать процесс дальнейшего окисления угля [5].

Цель исследования

Экспериментальное определение изменения реакционной способности бурых углей, модифицированных нитратами цезия и меди (5 мас. %) методом ТГА и масс-спектрометрии.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных образцов были взяты бурые угли Бородинского (Образец УБ-1)

и Балахтинского (Образец УБ-2) разрезов Канско-Ачинского угольного бассейна.

Крупнодисперсные образцы ($d = 5\div 10$ мм), исходно взятые для эксперимента, измельчались в барабанной мельнице в следующем режиме помола: соотношение массы мелющих тел к материалу 1:1, время помола 9 часов с дальнейшим фракционированием ($d < 80$ мкм). Полученные микродисперсные порошки углей были предварительно высушены при температуре 105°C до постоянной массы.

Физико-химические характеристики подготовленных образцов были определены с помощью стандартных методик [10]. Результаты определения характеристик исходных образцов бурых углей представлены в таблице.

В качестве иницирующих добавок были взяты кристаллогидраты нитратов переходных металлов: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Краткая характеристика исходных соединений также представлена в таблице.

Для нанесения иницирующих добавок был выбран метод пропитки по влагоёмкости [11]. Для пропитки был использован водно-спиртовой раствор с объёмным соотношением $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{H}_2\text{O} = 50/50$, что позволило преодолеть гидрофобность исходных углей. Влагоёмкость высушенных образцов углей (в мл/г) определялась непосредственно перед нанесением пропиточного раствора (таблица). Затем приготовленный раствор наносился на ранее подготовленные порошки угля с помощью механического дозатора. Пропитанные порошки угля выдерживались в сушильном шкафу при температуре 105°C в течение 20 часов. Массовая доля добавок в модифицированных образцах (в пересчёте на сухую соль) составляла 5%.

Характеристики исходных образцов углей и реагентов

Характеристика	Образец бурого угля	
	УБ-1	УБ-2
Зольность, мас. %	4,5	3,6
Влажность, мас. %	2,2	1,8
Летучие вещества, мас. %	39,8	35,3
Углерод, мас. %	53,5	59,3
*Влагоёмкость, мл/г	3,2	3,0
Нитраты металлов	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Молярная масса, г/моль	434,22	241,59
Температура разложения, $^\circ\text{C}$	<200	<170
Растворимость в воде, г/мл	3,81	1,25

Примечание. * – измерено для водно-спиртовой смеси ($\text{H}_2\text{O}/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 50/50$).

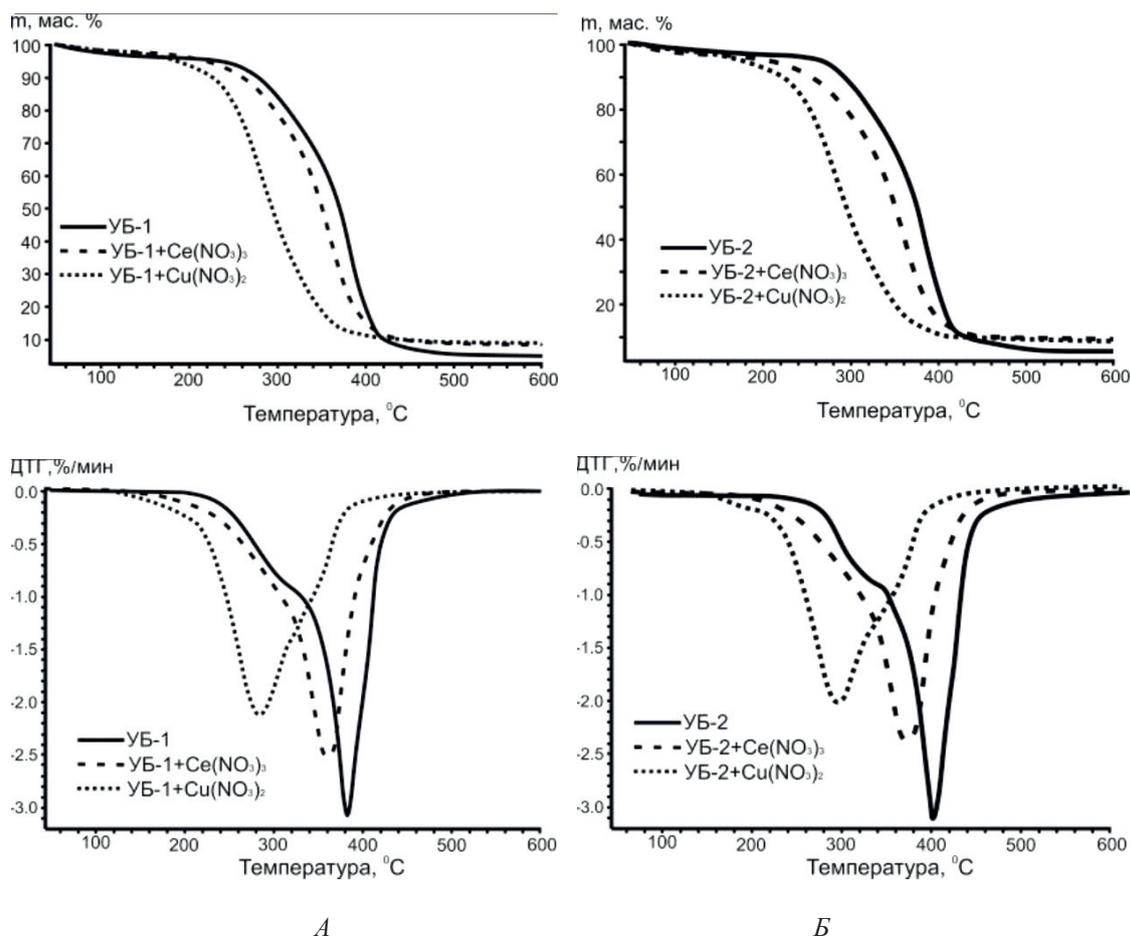


Рис. 1. ТГ и ДТГ-кривые процесса окисления исследуемых образцов углей.
 А – образцы серии УБ-1; Б – образцы серии УБ-2

Исследование процесса горения модифицированных образцов углей проводилось с помощью синхронного термического анализатора STA 449 С Jupiter (Netzsch, Germany). Все эксперименты осуществлялись при скорости нагрева 2,5 °С/мин в корундовом тигле с перфорированной крышкой в интервале температур 45–600 °С. Образец массой 7 мг помещался в поток смеси воздуха (60 мл/мин) и азота (10 мл/мин). Все эксперименты проводились в условиях атмосферного давления.

Для серии образцов УБ-1 было выполнено качественное определение состава газообразных продуктов окисления на выходе из термического анализатора. Анализ проводился с помощью сопрягаемого квадрупольного масс-спектрометра QMS 403 D Aeolos (Netzsch, Germany).

Характеристики процесса окисления модифицированных углей определялись с помощью графического метода, подробное описание которого представлено в нашей предыдущей работе [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования процесса окисления образцов методом ТГА представлены на рис. 1.

Сопоставляя полученные результаты (рис. 1), можно отметить, что исходные образцы бурых углей, УБ-1 и УБ-2, имеют схожий характер разложения и близкую температуру зажигания (T_i): 260 °С и 280 °С соответственно. Параметр T_f (момент полного разложения образца) для образцов сравнения также различается на 20 градусов: 500 °С (УБ-1) и 520 °С (УБ-2). Разница в значениях T_i и T_f возникает в результате небольшого различия в содержании летучих веществ и углерода в составе исходных образцов УБ-1 и УБ-2 (таблица).

Анализ ДТГ-профилей (рис. 1) позволяет выделить четыре стадии изменения массы образца: потеря влаги (до 100 °С); термическая деструкция частиц с выделением летучих соединений (100–260 °С); окисление летучих

соединений после их возгонки (260–360 °С) и разложение коксового остатка (в интервале 360–520 °С). Из данных на рис. 1 видно, что потеря массы образцов на 1-ой стадии процесса не превышает 2%, что объясняется использованием в эксперименте предварительно высушенных образцов. Как было сказано выше, в ходе второй стадии осуществляется эндотермический процесс деструкции бурого угля, который завершается воспламенением летучих веществ (стадия 3). Процесс горения сопровождается дальнейшей внутренней деструкцией частиц, что облегчает высвобождение летучих соединений из объёма. Таким образом, в результате протекания стадий 1–3 происходит существенное изменение структуры реагирующей части топлива с расширением внутренних трещин и пор, что приводит к интенсификации взаимодействия поверхности с окислительной средой.

Отметим, что на ДТГ-кривых модифицированных образцов углей невозможно выделить переход между 3-й и 4-й стадиями, поскольку окисление образующегося коксового остатка происходит параллельно с догоранием освобождающихся летучих компонентов (рис. 1).

Что касается модифицированных образцов (рис. 1), активная потеря массы для них наблюдается в температурной области 190–210 °С, что связано с разложением нанесённых нитратов металлов (таблица). Разложение нитратов на поверхности частиц угля способствует значительному сдвигу температуры зажигания в низкотемпературную область. При этом наибольшее изменение параметра T_i наблюдается для образцов, содержащих 5 мас. % $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, тогда как минимальный эффект зафиксирован для нитрата церия.

В целом протекание процесса окисления имеет схожий характер для обеих серий образцов. При этом для всех модифицированных образцов на первых этапах реакции, вместе со снижением температуры за-

жигания, отмечается увеличение скорости реакции (рис. 1). В то же время для углей с добавкой $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ при дальнейшем увеличении температуры скорость потери массы замедляется, и характер кривых становится аналогичным образцам сравнения.

На рис. 2 приведены масс-спектрометрические профили, соответствующие основным продуктам окисления (CO_2 ($m/z = 44$) и NO_x ($m/z = 30$)) на примере образцов серии УБ-1.

Выделение диоксида углерода ($m/z = 44$) – основного продукта окисления горючего вещества – характеризуется бимодальной кривой для образца, не содержащего добавок (УБ-1). Первый максимум (320 °С) связан с окислением десорбирующихся летучих веществ, а второй (380 °С) – с последующим окислением коксового остатка. Введение промотирующих добавок приводит к снижению температуры возгонки и воспламенения летучих веществ, и концентрационные кривые для CO_2 принимают мономодальный вид. Наибольший сдвиг максимума по температуре наблюдается для образца модифицированного добавкой нитрата меди ($\Delta T_{\text{CO}_2}^{\text{Cu}} = 97^\circ\text{C}$). Для образцов содержащих $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ данная величина составляет $\Delta T_{\text{CO}_2}^{\text{Ce}} = 42^\circ\text{C}$.

На рис. 2, Б, сопоставлены масс-спектрометрические данные по оксидам азота NO_x ($m/z = 30$) для разных добавок. Видно, что нанесение нитратов церия и меди приводит к существенным изменениям МС-профиля. В первую очередь следует отметить появление интенсивного широкого пика в низкотемпературной области (190–223 °С) для всех модифицированных образцов, что очевидно связано с деструкцией нанесённых нитратов (рис. 2). Характер выделения NO_x свидетельствует о том, что разложение $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ начинается уже при $\sim 130^\circ\text{C}$, что позволяет предположить определённую степень участия носителя (угля) в данном процессе.

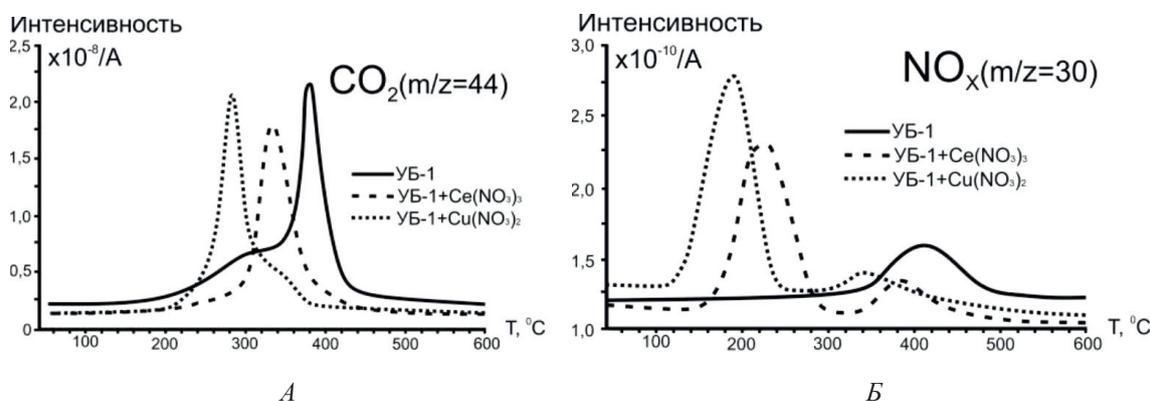
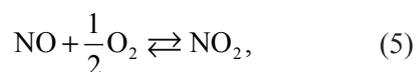
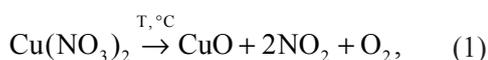


Рис. 2. МС-профили выделения CO_2 (А) и NO_x (Б) в составе продуктов окисления серии образцов УБ-1

Вторая, менее интенсивная, волна выделения NO_x имеет отношение к образованию оксидов азота в режиме пламени за счёт вовлечения молекулярного азота N_2 в процесс окисления (рис. 2). Следует подчеркнуть, что в данном случае также имеет место смещение второго пика ΔT_{NO_2} в область меньших температур ($410 \rightarrow 340^\circ\text{C}$), величина которого зависит от природы промотирующей добавки. Важно, что данный процесс сопровождается заметным уменьшением интенсивности образования NO_x , что следует из сопоставления данных на рис. 2, Б.

Таким образом, оксиды азота NO_x , образующиеся в результате разложения нанесённых нитратов, способствуют значительному ускорению процесса окисления углей, инициируя раннюю возгонку летучих соединений и их последующее загорание. Сопоставление результатов ДТГ и МС-анализа (рис. 2) позволяет заключить, что сдвиг температуры загорания ΔT_i находится в прямой корреляции с температурой разложения соответствующих нитратов металлов.

Рассматривая возможный механизм действия инициирующей добавки (на примере $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) на процесс окисления углей, следует упомянуть ряд ключевых уравнений реакций:



Во-первых, нагревание нитрата меди (до 170°C и выше) способствует его разложению по уравнению (1). В то же время, согласно данным МС-анализа, разложение нанесенной соли $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ начинается при более низкой температуре (130°C), что позволяет предположить участие углерода в данном процессе в качестве восстановителя (уравнение (2)). В результате разложения нитрата образуются оксиды азота NO и NO_2 , последний из которых выступает в роли сильного окислителя, промотирующего процесс горения углерода и летучих соединений

(уравнения (3) и (4)). Взаимодействие угля с диоксидом азота сопровождается образованием NO , который легко окисляется кислородом воздуха в соответствии с обратимой реакцией (5).

По завершению процесса разложения $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ образуется дисперсный нестехиометрический оксид меди CuO_x , равномерно распределённый в структуре образца. Высокая каталитическая активность оксида меди для процессов полного окисления органических субстратов и топлива хорошо известна [4], что позволяет рассматривать дальнейшее участие образующихся частиц CuO_x в качестве катализатора, ускоряющего процесс окисления бурого угля (уравнение (6)).

Заключение

В работе исследовано инициирующее действие нитратов церия и меди на реакционную способность бурых углей. Результаты исследования процесса окисления образцов методом ТГА позволили определить следующий порядок «активности» инициирующих добавок: $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 < \text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

Анализ характеристик процесса окисления показал, что использование инициирующих добавок способствует снижению температуры загорания T_i на $20\text{--}55^\circ\text{C}$ и уменьшению времени полного окисления образца t_f .

Было установлено, что использование нитратов металлов в качестве инициирующих добавок способствует снижению барьера реакций окисления и термической деструкции, что в конечном итоге приводит к значительному ускорению процесса горения в целом и его смещению в низкотемпературную область.

Выявленные закономерности инициируемого окисления бурого угля в присутствии нитратов металлов могут быть в дальнейшем использованы при разработке более эффективных методов сжигания твёрдого топлива.

Список литературы

1. Chang S.Y., Zhuo J.K., Meng S., Qin S.Y., Yao Q. Clean Coal Technologies in China: Current Status and Future Perspectives // Engineering. – 2016. – vol. 2. – P. 447–459.
2. Пармон В.Н. Каталитическое сжигание: достижения и проблемы / А.Д. Симонов, В.А. Садыков, С.Ф. Тихов // Физика горения и взрыва. – 2015. – № 2. – С. 1–9.
3. Gong X., Guo Z., Wang Z. Reactivity of pulverized coals during combustion catalyzed by CeO_2 and Fe_2O_3 // Combustion and Flame. – 2010. – vol. 157. – P. 351–356.
4. Wang Y., Wang J., Chen H., Yao M., Li Y. Preparation and NO_x -assisted soot oxidation activity of a $\text{CuO}\text{--}\text{CeO}_2$ mixed oxide catalyst // Chemical Engineering Science. – 2015. – vol. 135. – P. 294–300.

5. Zhao G.W., Yu W.Q., Xiao Y.H. Study on brown coal pyrolysis and catalytic pyrolysis // *Advanced Materials Research*. – 2011. – vol. 236–238. – P. 660–663.
6. Abbasi-Atibeh E., Yozgatligil A. A study on the effects of catalysts on pyrolysis and combustion characteristics of Turkish lignite in oxy-fuel conditions // *Fuel*. – 2014. – vol. 115. – P. 841–849.
7. Huang C.J., Wang S.J., Wu F., Zhu P., Zhou Z.H., Yi J.M. The effect of waste slag of the steel industry on pulverized coal combustion // *Energy Source, Part A*. – 2013. – vol. 35. – P. 1891–1897.
8. Cheng J., Zhou F., Xuan X., Liu J., Zhou J., Cen K. Comparison of the catalytic effects of eight industrial wastes rich in Na, Fe, Ca and Al on anthracite coal combustion // *Fuel*. – 2016. – 181. – P. 820–826.
9. Gong X., Guo Z., Wang Z. Variation on anthracite combustion efficiency with CeO₂ and Fe₂O₃ addition by Differential Thermal Analysis (DTA) // *Energy*. – 2010. – vol. 35. – P. 506–516.
10. Miroshnichenko D.V., Balaeva Y.S. Calculating the higher heat of coal combustion in the wet ash-free state // *Coke and Chemistry*. – 2013. – vol. 56. – P. 85–89.
11. Tokareva I.V., Mishakov I.V., Korneev D.V., Vedyagin A.A., Golokhvast K.S., Nanostructuring of the carbon macrofiber surface // *Nanotechnologies in Russia*. – 2015. – vol. 10. – P. 158–167.
12. Larionov K.B., Mishakov I.V., Gromov A.A., Zenkov A.V. Change of brown coal oxidation kinetic characteristics by promoting additives appending in the form of copper salts // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017. – 891(1). – 012239. DOI: 10.1088/1742-6596/891/1/012239.

УДК 624.012

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ФОРМООБРАЗУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Митасов В.М., Чхум А.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
Новосибирск, e-mail: mitassovv@gmail.ru, chhom_amnoth@yahoo.com*

В статье описываются проблемы изучения трещинообразования в железобетонных балках при длительных нагрузках на основе теории сопротивления железобетона (энергетический подход). Представлены экспериментальные исследования несущей способности железобетонных балок в виде пластмассовых пластин (искусственные трещины) и без пластмассовых пластин (искусственных трещин) с различными коэффициентами условий работы бетона $\gamma_{\text{бт}}$. Приводится таблица, включающая схемы нагружения балок, их поперечное сечение, а также различные параметры бетона и арматуры. Представленные исследования позволили оценить жесткость и трещиностойкость в железобетонных балках, изготовленных по вышеупомянутой методике при длительном действии нагрузки. Введение в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) в растянутую зону балок приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния конструкции и более «мягкому» характеру ее деформирования при трещинообразовании, в результате чего прогибы таких балок под нагрузкой значительно меньше прогибов балок без пластмассовых пластин (искусственных трещин). Трещинообразование железобетонных балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) под воздействием длительной нагрузки зависит от коэффициента условий работы бетона $\gamma_{\text{бт}}$, что использование методики в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) может иметь экономический эффект.

Ключевые слова: диаграммно-энергетический подход, трещинообразование, жесткость, длительные нагрузки, железобетонные балки

DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH FORMING ELEMENTS UNDER LONG-TERM LOADING

Mitasov V.M., Chkhum A.

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk,
e-mail: mitassovv@gmail.ru, chhom_amnoth@yahoo.com*

This paper deals to problems of studying cracks in reinforced concrete beams under long-term loading by fundamental of reinforced concrete resistance theory (energy approach) was describe. The experimental study of bearing capacity of reinforced concrete beams with the form of plastic plates (artificial cracks) and without form of plastic plates (artificial cracks) with different coefficients of concrete working conditions γ_{bc} . Tables were present, including of schematic beams loading, their cross-section, as well as various parameters of concrete and reinforced bar. The presents the research allowed to estimate influence of specified cracks in reinforced concrete beams on their rigidity and strength by the above method under long-term loading. The introduction with the form of plastic plates (artificial cracks) in to tensile zone, the beam was changed stress-strain state of the structure and more soft their character deformation at cracking, as a result of which the deflection of beams under loading are much less than deflections of beams without form of plastic plates (artificial cracks). Cracks of reinforced concrete beams in the form of plastic plates (artificial cracks) under the action of long-term loading depends on the coefficient of working conditions of concrete γ_{bc} , that use of the technique in the form of plastic plates (artificial cracks) can have an economic effect.

Keywords: diagram-energy approach, cracks, rigidity, long-term loading, reinforced concrete beams

Железобетонные конструкции в капитальном строительстве занимают ведущее место в общем объеме применяемых конструкций и материалов. В Камбодже в настоящее время существенно возросли объемы строительства жилых, общественных зданий и сооружений из монолитного бетона. Важной задачей является управление процессами трещинообразования бетона с учетом ползучести [1–3]. Деформация ползучести бетона в линейной области существенно зависит от комплекса факторов, которые условно можно разделить на две группы:

– технологического характера, связанные с условиями изготовления и твердения бетона;

– связанные с условиями загрузки бетонного элемента и работы бетона под нагрузкой (размеры сечения бетонного элемента, температурно-влажностные условия окружающей среды, возраст бетона в момент приложения нагрузки).

Балка – это один из основных конструктивных элементов зданий и сооружений, работающий на изгиб. Железобетонные балки подвержены трещинообразованию в растянутой зоне, что требует необходимости

усиления растянутых участков стальной арматурой. Арматура препятствует фрагментации балки и ограничивает величину раскрытия трещин. Процесс образования трещины протекает с очень большой скоростью, так что можно представить его как мгновенный разрыв бетона растянутой зоны, сопровождающийся колебанием балки.

Таким образом, вопрос перехода железобетона из сплошного состояния в состояние с трещиной остается до конца неизученным [4–6].

Актуальность и цели исследований

Образование трещин влияет на жесткость и деформативность конструкций (элементов), поэтому возникает необходимость дальнейшего совершенствования расчетного аппарата для сближения расчетных и фактических значений прогибов и параметров трещинообразования. Основная идея расчета по образованию трещин состояла в том, чтобы определить максимальные напряжения, возникающие в растянутой зоне перед образованием трещин, а также момент сопротивления с учетом неупругих свойств деформирования бетона.

К сожалению, исследование железобетонных конструкций на прочность, жесткость и трещиностойкость при длительном воздействии нагрузки еще мало изучено. На сегодняшний день остается неясным воздействие длительной нагрузки на балки, требует дальнейшего исследования прочность бетона в этих условиях.

Длительное воздействие нагрузки, вызывающей в материале появление микротрещин при начальном загрузении, показывает, что разрушение образца идет медленно в течение продолжительного времени. Опыты с бетоном показывают, что долговременная прочность бетона лежит выше границы R_f^0 , которая определяет прочность под воздействием длительной нагрузки. До сих пор нет единого мнения о величине предела длительной прочности бетона и влияющих на него факторов.

Цель нашей работы – изучить особенности деформирования балок и описать экспериментальные исследования несущей способности железобетонных балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без них с различными коэффициентами условий работы бетона γ_{bt} .

Особенностью деформирования железобетона под действием нагрузки является качественное изменение состояния при образовании трещин. Методы расчета, основанные на использовании диаграмм деформирования материалов, имеют общие основы для расчета по прочности, дефор-

мамациям, образованию и раскрытию трещин и основаны на использовании в расчетных моделях связи между напряжениями и деформациями в бетоне и арматуре.

В процессе эксперимента показано несколько вариантов испытаний железобетонных балок при воздействии длительной нагрузки в зависимости от коэффициента γ_{bt} . Основой разработки проведения модельного эксперимента для сравнительной оценки поведения балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без них под действием длительной нагрузки будет являться диаграммно-энергетическим подходом для расчета сечений железобетонных элементов. В исследованиях В.М. Митасова и В.В. Адищева отмечено, что состояние после образования трещины описывается следующим образом. После образования трещины в сечении происходит перераспределение усилий. Энергия растянутого бетона передается на арматуру, трещина растет по ширине и высоте, увлекая за собой пересекающую ее арматуру [7, с. 7]. Тогда энергия растянутого бетона определяется по формуле

$$\Delta W_{cr}^{bt} = \int_0^{h_0-x} b(y) \int_0^{\frac{\varepsilon_{bt} \cdot y}{h-x}} \psi(\varepsilon) d\varepsilon dy,$$

где ΔW_{cr}^{bt} – приращение энергии растянутого бетона с трещиной;

$b(y)$ – переменная ширина сечения;

$\psi(\varepsilon)$ – диаграмма деформирования бетона в координатах;

h_0 – рабочая высота сечения;

ε_{bt} – относительные деформации растяжения бетона;

x – высота сжатой зоны бетона;

y – расстояние от нейтрального слоя до рассматриваемого волокна.

Кроме того, экспериментальные данные Н.С. Михайловой наглядно показывают наличие участка с резким ростом деформаций в балках сплошного сечения на определенных этапах загрузки. Это говорит о процессе микротрещинообразования в растянутой зоне балки, что, с одной стороны, приводит к увеличению деформаций растянутых волокон и, соответственно, прогиба балок, а с другой стороны – уплотнению бетона в сжатой зоне. В свою очередь, уплотнение сжатой зоны приводит к изменению деформационных свойств сжатых волокон бетона (упрочнение), пусть и незначительного, но достаточного для появления большего сдерживающего усилия в сжатой зоне, чем первоначально, что приводит к остановке дальнейшего роста прогиба [8, с. 19].

Материалы и методы исследования

В процессе нашего эксперимента выполнено:

- разработана методика проведения модельного эксперимента для сравнительной оценки поведения балок с формообразующими элементами (искусственных трещин) и без них под действием длительной нагрузки;

- определены прогибы и деформации изгибаемых элементов, изготовленных с формообразующими элементами (искусственными трещинами) и без них;

- исследованы процессы образования и развития микротрещин в сжатой зоне бетона при длительном действии нагрузки;

Бетон для образцов готовили как в лабораторных, так и в заводских условиях на портландцементе марки 500 при В/Ц = 0,71; состав бетона 1:1,9:4 (по весу); кубиковая прочность на 28-е сутки – 13,85 МПа; прочность призм размерами 10*10*40 см – 11,48 МПа; расчетный пролет 78 см; арматура периодического профиля класса А400 диаметром 10 мм.

Формообразующие элементы (искусственные трещины) образованы установкой пластины толщиной 0,5 мм и высотой 30 мм на арматуру в зоне максимальных моментов.

В возрасте 28 суток балки, предназначенные для исследования влияния длительной нагрузки, устанавливали в устройств, создающие постоянную во времени нагрузку в виде одних сосредоточенных сил. Средние деформации сжатого бетона и растянутой арматуры измеряли в зоне чистого изгиба на базе 260 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,001; прогибы – измеряли прогибомеры Аистова с ценой деления 0,01 мм, установлены в плоскости среднего поперечного сечения балок. Армирование одиночное и защитный слой – 20 мм (рис. 1).

В ходе эксперимента перед бетонированием моделировали в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин), установленных в опалубку в середине пролета в зону чистого изгиба. Уплотнение бетонной смеси балок серии 1–3 производили на виброплощадке в несколько этапов.

С помощью рычага железобетонные балки испытывались длительной нагрузкой, как однопролетные шарнирно опертые балки, загруженные с одной сосредоточенными силами. В испытании использовались гири массой 20 кг. На рис. 2 представлена установка испытания железобетонных балок длительной нагрузкой.

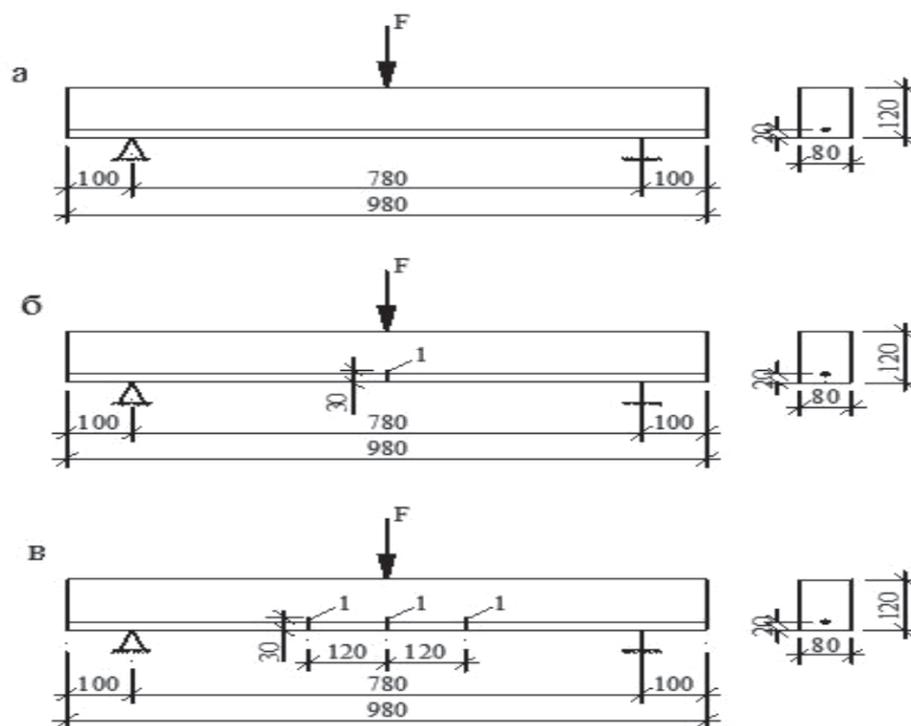


Рис. 1. Схема железобетонной балки: а – без пластмассовых пластин (искусственных трещин); б – с одной пластмассовой пластиной; в – с тремя пластмассовыми пластинами; 1 – пластмассовая пластина (искусственная трещина)

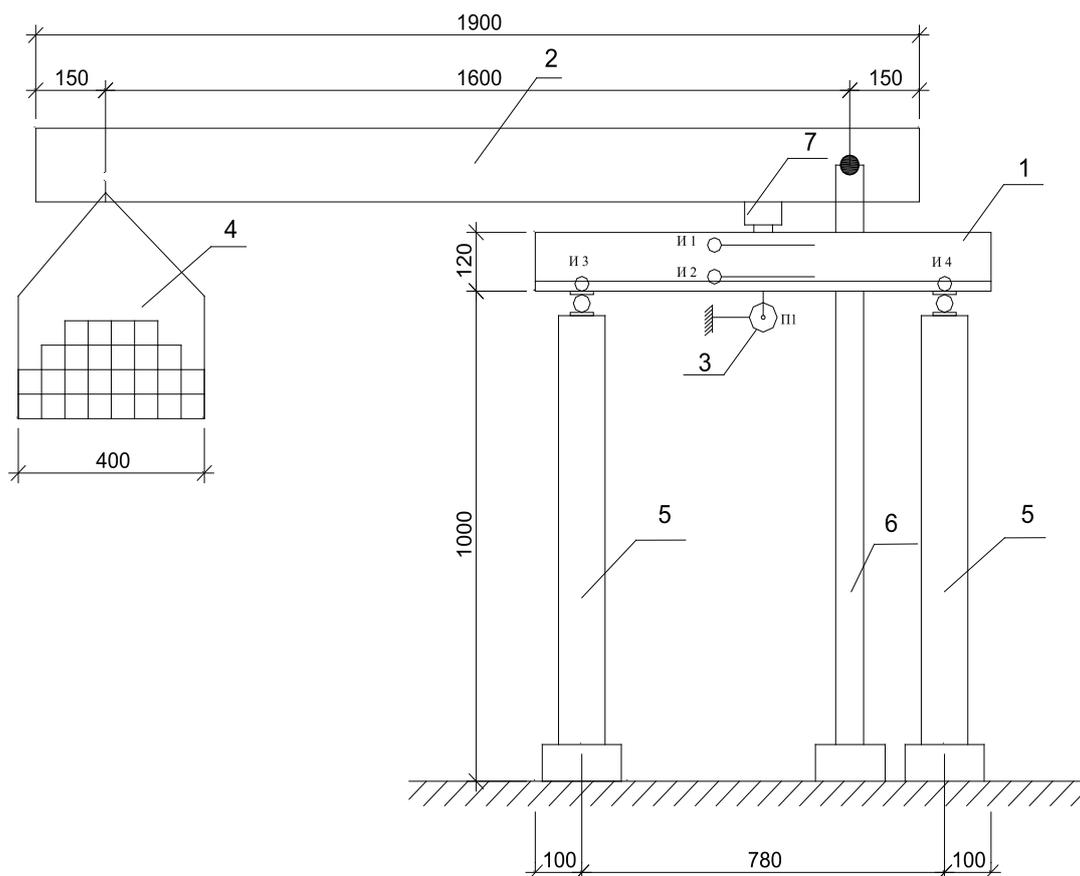


Рис. 2. Установка для испытания балок при длительных нагрузках: 1 – опытная балка; 2 – рычаг из швеллера; 3 – прогибомер; 4 – металлические грузы; 5 – стойки из металлических труб; 6 – стойки из швеллера; 7 – динамометр

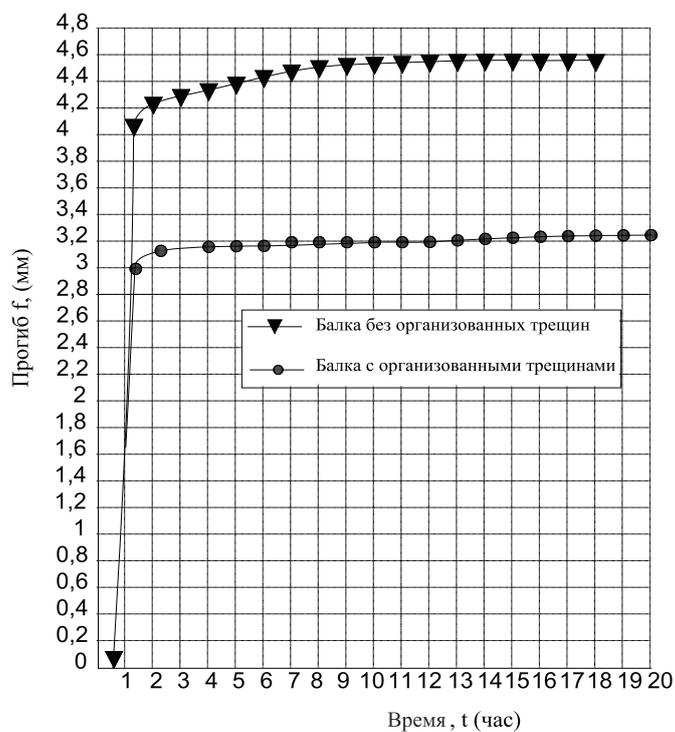


Рис. 3. Прогиб балок при длительной нагрузке [11]

Схема испытания балок

Серия балок	Схема балок	Сечение в пролете	Материалы			Коэффициенты γ_{bi}	Размеры поперечного сечения, мм	
			Арматуры		Бетон		h_0	b
			ds/μ, %	As, см ²				
1			1Ø10 0,98	0,785	11,5	0,85	100	80
2			1Ø10 0,98	0,785	11,5	0,90	100	80
3			1Ø10 0,98	0,785	11,5	0,95	100	80

В таблице показана схема испытания балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без них, их поперечное сечение, а также различные параметры бетона и арматуры.

По испытаниям железобетонных образцов балок построены графики деформаций и прогибов балок в зависимости от момента времени в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без

них с коэффициентами условий работы бетона γ_{br} .

Анализ полученных данных исследования показал хорошую согласованность с ранее проведенными исследованиями деформативности железобетонных балок [9, 10].

Выводы

Использование методики с применением формообразующих элементов (искусственные трещины) под воздействием длительной нагрузки позволяет перейти от прогнозирования трещинообразования при нагружении к регулируемому процессу и повышает надежность, долговечность, безаварийную эксплуатацию конструкций при минимальных затратах.

Список литературы

1. ACI 209.2R-08, Guide for Modeling a Calculation of Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. – 2008. – 48 p.
2. Bockhold J., Petryna Y. Creep influence on buckling resistance of reinforced concrete shells // *Computer structural*. – 2008. – vol. 86, № 7. – P. 702–713.
3. Wolfgang K. Viscous material behavior of solids – creep of polymer fiber reinforced concrete // *Central European congress of concrete engineering*. – 2009. – vol. 5, № 8. – P. 95–99.
4. Hua Zhu. Crack formation of steel reinforced concrete structure under stress in construction period // *Fracture and integrate structural*. – 2016. – vol. 36, № 25. – P. 191–200.
5. Oh H.K., Park S.M., Hong S.I. Hot Deformation and Cracking during Compression of 21-4N Steel // *Advanced Materials Research*. – 2015. – vol. 1102, № 48. – P. 12–21.
6. Tan K.H., Saha M.K. Long-term deflections of reinforced concrete beams externally bonded with FRP system // *Journal composite construction*. (ASCE). – 2006. – vol.10, № 6. – P. 474–482.
7. Митасов В.М. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона / В.М. Митасов, В.В. Адищев // *Изв. вузов. Строительство*. – 2010. – № 5. – С. 3–9.
8. Михайлова Н.С. Особенности деформирования железобетонных балок с организованными трещинами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 2008. – 24 с.
9. Пичкурова Н.С. Регулирование процессом трещинообразования в железобетонных конструкциях // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия»* (Новосибирск, 12–13 декабря 2014 г.). – Новосибирск: Международный научный институт «Education», 2014. – С. 57–61.
10. Митасов В.М. Конструкции с заранее организованными трещинами / В.М. Митасов, М.А. Логунова // *Вестник ТГАСУ*. – 2015. – № 1. – С. 115–121.
11. Митасов В.М. Железобетонные балки с организованными трещинами под воздействием длительной нагрузки / В.М. Митасов, М.А. Логунова, М.В. Шатохина // *Изв. вузов. Строительство*. – 2013. – № 10. – С. 5–10.

УДК 519.8:681.513

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОГО СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА В МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ

¹Певнева А.Г., ²Ананченко И.В.

¹ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,
Санкт-Петербург, e-mail: pevnevaa@inbox.ru;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)», Санкт-Петербург, e-mail: anantchenko@yandex.ru

Настоящая статья посвящена исследованию особенностей применения методов глобального случайного поиска в моделировании систем. Приведены примеры некоторых актуальных задач, требующих практического применения методов глобальной оптимизации. Тестирование алгоритмов глобального поиска на чувствительность к вариациям параметров в процессе вычислительного эксперимента является актуальной задачей. Рассмотрено два подхода к применению глобального случайного поиска в процессе моделирования систем. Особенностью глобального поиска при проектировании систем является необходимость тщательного исследования связи структурной устойчивости объектов, составляющих систему, и поведения целевой функции. Рассмотрена постановка задачи моделирования систем, состоящих из нескольких объектов различной природы, эволюция которых во времени описывается различными динамическими системами. Оптимизация проводится на отрезках интервала времени наблюдения, управляющими параметрами являются начальные значения искомых переменных. В качестве тестовой функции рассмотрена функция Розенброка от трех и четырех переменных. Вычислительные затраты при реализации алгоритма метода глобального поиска можно снизить, выполнив модификацию метода, в которой уменьшается число рассматриваемых траекторий за счет отсеивания «близких» и «похожих». Описывается выполненный вычислительный эксперимент для тестирования алгоритма математической модели производственной схемы, реализованной в системе имитационного моделирования производственных процессов, дополнительные модули были реализованы в виде динамической библиотеки.

Ключевые слова: методы глобального поиска, случайный поиск, моделирование систем, вычислительный эксперимент, тестирование алгоритма, глобальный случайный поиск

FEATURES OF APPLICATION OF METHODS OF GLOBAL RANDOM SEARCH IN SIMULATION SYSTEMS

¹Pevneva A.G., ²Ananchenko I.V.

¹Federal state budget military educational institution of higher professional education
«Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky» of the Ministry of defence
of the Russian Federation, St. Petersburg, e-mail: pevnevaa@inbox.ru;

²St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), St. Petersburg,
e-mail: anantchenko@yandex.ru

This article is devoted to investigation of peculiarities of application of methods of global random search in systems modeling. Examples of some actual problems requiring practical application of global optimization methods are given. Testing of global search algorithms for sensitivity to variations of parameters in the computational experiment is an urgent task. Two approaches to application of global random search in the process of systems modeling are considered. A feature of the global search in the design of systems is the need for a thorough study of the relationship of structural stability of the objects that make up the system, and the behavior of the target function. The statement of the problem of modeling systems consisting of several objects of different nature, the evolution of which is described in time by different dynamic systems. Optimization is carried out on the intervals of observation time, the control parameters are the initial values of the desired variables. As a test function, the Rosenbrock function from three and four variables is considered. Computational costs in the implementation of the algorithm of the global search method can be reduced by modifying the method in which the number of paths is reduced due to the removal of «close» and «similar». Describes a computational experiment to test the algorithm of the mathematical model of the production scheme implemented in the system of simulation modeling of production processes, additional modules were implemented in a dynamic link library.

Keywords: global search methods, random search, simulation systems, computational experiment, testing the algorithm, the global random search

Теория глобального поиска, в отличие от теории локальной оптимизации, не является завершённой и в настоящий момент проходит стадию становления. В связи с этим опубликовано весьма значительное количество сообщений о реализации различных алгоритмов: например, поисковая машина «Яндекс» по запросам, включающим ключевые слова «глобальная оптимизация», «ал-

горитмы мультистарта», «генетические алгоритмы», «глобальный случайный поиск», предоставляет более 15 млн ссылок только в русскоязычном сегменте глобальной сети Интернет. Однако анализ этой информации позволяет сделать вывод о недостаточном количестве систематизированного изложения основ теории поиска. В русскоязычной литературе исчерпывающий обзор глобаль-

ных методов дан в [1]. В списках русскоязычных литературных источников встречаются в среднем 2 ссылки на монографии, например [1, 2]. Причиной этого явления можно считать большую практическую значимость задачи глобального поиска в современных информационных технологиях и популярность простых с точки зрения возможности теоретического обоснования эмпирических алгоритмов, это, в частности, генетические алгоритмы и алгоритмы роя частиц [2]. Некоторые попытки классификации также предприняты авторами [3, 4]. Вместе с тем надо заметить, что математически строго обоснованные методы, изложенные, например, в монографиях [5, 6], не получили широкого распространения, в том числе из-за вычислительных ограничений, накладываемых на размерность задачи.

Методологически методы глобального поиска разделены на две группы: детерминированные и эмпирические методы [1, 3]. В настоящее время предпочтение отдается практически значимым методам из второй группы, а детерминированные алгоритмы служат своего рода «моделями», которые позволяют, например, выделить свойства функции цели или оценить время исполнения алгоритма. Рассмотренный в этой статье модифицированный случайный поиск является типичным представителем второй группы методов.

Некоторые актуальные задачи требующие практического применения методов глобальной оптимизации

Одной из причин популярности методов случайного глобального поиска является качественный рост технологий искусственного интеллекта на основе нейронных сетей. Развитие различных подходов в архитектуре нейрокомпьютеров требует модификации обучающих алгоритмов. Специфика оптимизации обучения нейронной сети состоит именно в большой размерности задачи, число параметров которой может превосходить 10^5 . Для получения удовлетворительных результатов требуемый объем памяти алгоритма должен линейно зависеть от числа параметров. Кроме этого, данная задача является многокритериальной, и окрестность определенного минимума должна быть достаточно большой. Такое условие заставляет предположить, что целевая функция оценки в окрестности глобального минимума становится «достаточно полой». Это делает невозможным применение методов наискорейшего спуска [7, 8].

Технологии нейронных сетей, по сути, предназначены для эффективного решения задачи распознавания образов. Задачи этого класса являются приоритетными в системах специального назначения. Однако специфич-

ность информационных систем в военной отрасли заключается не только в необходимости оперативного реагирования, надежной защиты и высокой точности обработки данных. Указанные требования в настоящее время предъявляются ко всем информационным системам. Для задач оптимизации систем специального назначения соблюдение этих требований носит императивный характер. В связи с этим в таких задачах вводятся дополнительные ограничения, усложняющие структуру множества оптимизации. По этой же причине задачи оптимизации систем специального назначения являются многокритериальными. Императивность ограничений влечет за собой жесткость модели, следовательно, неустойчивость найденного решения. Решение задачи определения многочисленных параметров системы, которая, по сути, является обратной задачей, будет весьма вариативным, независимо от математической модели системы [9].

Задача оптимизации производственной системы по экономическому критерию остается востребованной в области глобальной оптимизации. Из-за большого количества неопределенных параметров целевая функция является многоэкстремальной на множестве оптимизации. Кроме того, само множество оптимизации может иметь весьма сложную структуру, поэтому применение регулярных алгоритмов теории глобальной оптимизации невозможно [10]. Представляет теоретический и практический интерес рассмотрение вопроса о возможности модификаций представленного алгоритма в рамках схемы так называемых алгоритмов роя частиц. Заметим также, что представленный подход не теряет своей общности для решения задачи оптимизации системы специального назначения с учетом предполагаемой неустойчивости решения.

Идея модификации метода глобального поиска, снижающая вычислительные затраты при реализации алгоритма

Ниже кратко описана модификация алгоритма случайного поиска с направляющим конусом.

Применение марковских алгоритмов для поиска глобального экстремума на множестве X функции F подробно рассмотрено в [1]. Суть метода случайного поиска с направляющим конусом состоит в следующем: компоненты случайного вектора ξ_k размерности m должны лежать в некотором гиперконусе K с осью $(x_k, \min F(\xi_k^l))$ с центром в точке x_k , т.е. $\xi_k^l \in K \quad l=1..m$. Угол раскрытия гиперконуса φ может выбираться по некоторому распределению, но в данном исследовании этот параметр выбирается эмпирически.

Все модификации случайного поиска имеют своей целью уменьшение числа траекторий за счет отсеивания «близких» поисковых последовательностей [2, 9]. Интуитивно ясно, что правило отсеивания таких траекторий конструктивно учитывает возможность неустойчивого развития процесса поиска.

Для удобства изложения назовем последовательность $\{Y_k^{*(i)}\}_{k=1}^p$ полной траекторией поиска $T^{(i)}(p)$, исходящей из точки $\bar{x}^{-(i)}$, подпоследовательность этой последовательности есть частичная траектория. Точки $\bar{x}^{-(i)}$ назовем узлами траектории, а число узлов p – вместимостью траектории. Кроме этого, последовательность $\{x^{-(i)}\}_{k=1}^p$ назовем проекцией траектории на множество X .

На первом этапе генерируется m случайных векторов, равномерно распределенных на множестве X . Делается p_1 шагов случайного поиска с направляющим конусом, после этого выполняется следующая процедура сравнения. Если для некоторых подпоследовательностей $T^{(i)}(p)$ и $T^{(j)}(p)$ выполнено $|Y_k^{*(i)} - Y_k^{*(j)}| < r_y$, а для проекций выполнено $\|x^{-(i)} - x^{-(j)}\| < r_x$, то, если $Y_k^{*(i)} < Y_k^{*(j)}$, то по траектории $T^{(i)}(p_1)$ дальнейший поиск не ведется. Перспективной считается траектория $T^{(j)}(p_1)$.

Операции сравнения, произведенные не только над результатами вычисления целевой функции, но и над их проекциями на множество оптимизации позволяют выявить в рельефе поверхности поиска области «устойчивого изменения».

Если выполнено только неравенство для проекций, тогда при поиске по траектории $T^{(j)}(p_1)$ на следующем шаге увеличивается параметр, определяющий величину окрестности очередного узла x_k и угол раскрытия конуса φ , если это же неравенство выполнено для следующих n_1 шагов, то траектория $T^{(j)}(p_1)$ отсеивается как неперспективная. Это эмпирическое правило предназначено для выявления в рельефе целевой функции областей «крутых ступеней», т.е. резких скачков значений целевой функции. Именно это правило несет в себе смысловое объединение понятия «устойчивого развития» процесса глобального поиска.

$$S(\bar{x}) = (x_1 - x_2^2)^2 + (x_1 - 1)^2 + B(x_2 - x_3^2)^2 + (x_2 - 1)^2 + C(x_3 - x_4^2)^2 + (x_3 - 1)^2,$$

представляющая собой один из вариантов функции Розенброка, являющейся тестовой для алгоритмов глобальной оптимизации.

Применение глобального поиска при численном моделировании систем

Ниже рассмотрено два подхода к применению глобального случайного поиска в процессе моделирования систем. Под системой понимается совокупность n объектов, описанных математическими моделями $M_i(\bar{p}^{(i)}, \bar{x}^{(i)}) \rightarrow Y^{(i)}$, $i = 1..n$, при этом существуют хотя бы $(n/2 - 1)$ пар (i, j) , таких, что $\bar{x}^{(j)} = Y^{(i)}$.

Здесь \bar{p} – вектор параметров модели; \bar{x} – вектор влияющих факторов, $\bar{x}_k = (x_1, x_2, \dots, x_m)$. Каждая компонента этого вектора лежит в некотором промежутке варьирования $A_i \geq x_i \geq B_i$.

Оптимизационную задачу можно поставить следующими способами:

- Сформулировать критерий оптимизации (один или несколько) как функцию управляющих параметров моделей [9]. Эта функция представляет собой характеристику системы «в целом». Примером служат всевозможные критерии, имеющие экономический смысл [5].

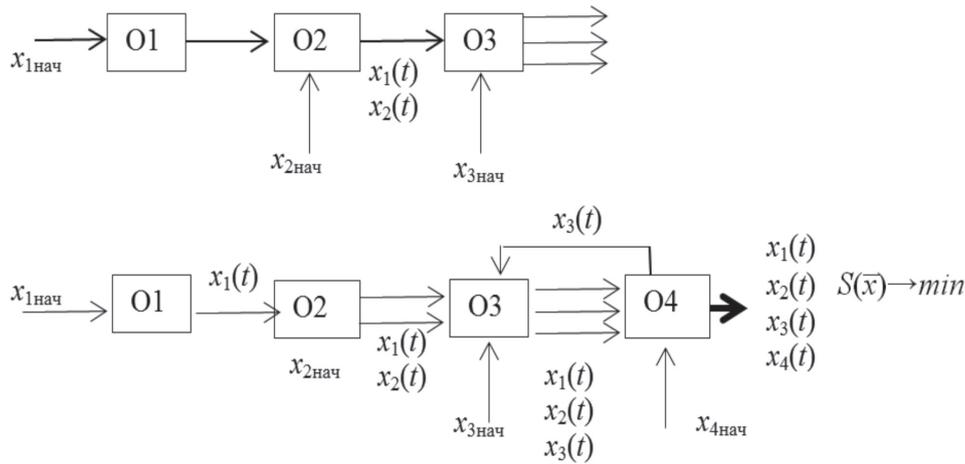
- Решать отдельные оптимизационные задачи для каждого объекта, исходя из условий его работы. В частности, для объекта, модель которого служит динамическая система, необходимо исследовать условия устойчивости и (или) решать задачу оптимального управления этим объектом. Общий критерий оптимальности тогда мог бы представлять собой мультипликативную функцию, объединяющую критерии каждого объекта.

Оба эти подхода требуют применения алгоритмов глобальной оптимизации, во-первых, из-за большой размерности вектора управляющих параметров, во-вторых, из-за возможных множественных рециклов в графе, представляющем схему связей объектов системы. Некоторые особенности расчетов химико-технологических систем представлены в [5, 9].

В качестве тестовой рассмотрена система объектов, которые описаны дифференциальными уравнениями с нелинейными коэффициентами, отражающими предполагаемые обратные связи.

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i(\bar{x})x_i + g(\bar{x}).$$

В качестве критерия оптимизации рассматривалась функция



Схемы объектов, соединенных в систему

Расчеты проводились для систем из трех или четырех объектов, эволюция которых описывается системой из уравнений с переменными коэффициентами F_i . Графы, представляющие схемы этих систем, включали рециклы (см. рисунок). Коэффициенты F_i имели вид линейных зависимостей.

По существу, в расчетах ставилась задача оптимизации функции $S(\bar{x})$ на разбиении временного интервала в системе объектов, эволюция которых моделируется различными системами уравнений. Так, O1 рассчитывался по известной логистической модели

$$\frac{dx_1}{dt} = (a - bx_1)x_1.$$

Объекты O2 и O3 по известной модели Лотка – Вольтерра. Требовалось определить такие начальные условия и такие моменты времени в развитии каждого объекта, при которых $S(\bar{x})$ достигает своего минимума.

Если потребовать выполнения условия $\frac{dx_i}{dt} = 0$, то задача сводится к задаче оптимизации с ограничениями типа равенств, может решаться известными методами.

Если же условие стационарности процесса не выполнено, то вычислительная задача сводится к многократному последовательному численному решению систем, таким образом, что начальные условия для второго и последующих объектов содержат в себе решения, найденные для предыдущего объекта. Количество решений задачи оптимизации, таким образом, связано с числом шагов в решении, определяющем изменение объекта, рассчитанного первым.

Таким образом, на каждой итерации поиска проводился полный расчет системы и вычисление значения критерия оптимизации. Очевидно, что объем вычислений для такой задачи весьма значителен, следовательно, параметры алгоритма оптимизации должны подбираться также очень тщательно.

В качестве алгоритма минимизации использовался рассмотренный выше метод модифицированного случайного поиска. Параметры модифицированного случайного поиска: угол раскрытия конуса φ , радиус окрестности очередного узла μ , число шагов до первого сравнения $p1$, а также величины R_x и R_y , определяющие близость траектории, варьировались в ходе вычислительного эксперимента. Выбор данного алгоритма обусловлен именно возможностью «отсечения» близких траекторий поиска.

Некоторые предварительные результаты и выводы

При расчете системы из трех последовательных объектов, которая является основой для расчета системы с рециклом (рисунок) в ходе оптимизации проявились следующие вычислительные проблемы:

- недостаточная точность определения минимума в ходе глобального поиска, требуется дополнительное уточнение результата локальными процедурами;

- взаимозависимость параметров μ и φ , эмпирически было определено следующее соотношение $\mu = 2,5k \cdot \sin(\varphi/2)$, где $k = 10^n$;

- применение простого генетического алгоритма для сравнительного анализа не привело к существенному улучшению ни в смысле точности поиска минимума, ни в смысле времени, затраченного на минимизацию.

При дополнении системы еще одним объектом и введении рецикла выявлена необходимость увеличения числа шагов p_1 поиска до сравнения траекторий при незначительном (0,5–5 %) изменении любого из начальных условий. Вместимость траектории, таким образом, увеличивается в среднем на 20 %, что является показателем довольно высокой чувствительности этого параметра. При изменении всех начальных условий в таких же пределах средняя вместимость траектории не изменяется.

Изменение параметров R_x и R_y не оказывает значительного влияния на вместимость траектории поиска, несмотря на то, что вычислительная погрешность, накапливаемая на каждом шаге, имеет значение именно при рассмотрении «близких» траекторий. Возможно, это объясняется «овражистым» рельефом целевой функции.

Заключение

Вычислительный эксперимент в рамках представленного подхода к моделированию систем является предварительным этапом в серии расчетов. Особенностью глобального поиска при проектировании систем является необходимость тщательного исследования связи структурной устойчивости объектов, составляющих систему, и поведения целевой функции. Эта задача, хотя и является алгоритмически более простой, чем известные задачи поиска оптимального управления, все же требует значительных вычислительных ресурсов. Среди алгоритмов глобальной оптимизации, объединенных методологией случайного поиска, нельзя однозначно указать наиболее эффек-

тивный подход для абсолютного большинства тестовых задач.

В целом направление исследований перспективно, поскольку является попыткой синтеза некоторых важных подходов в современном моделировании – системного анализа и глобального поиска.

Список литературы

1. Жиглявский А.А., Жилинскас А.Г. Методы поиска глобального оптимума – М.: – Наука, 1991. – 247 с.
2. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2009. – 272 с.
3. Ананченко И.В., Певнева А.Г. О проектировании системы вычислительного эксперимента для различных инженерных интерпретаций задачи глобальной // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 5, № 10. – С. 157–161.
4. Ананченко А.Г. Разработка алгоритмов и программных комплексов для оптимизации химико-технологических систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2004. – 19 с.
5. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб.: Наука, 2009. – 607 с.
6. Стронгин Р.Г. Численные методы в многоэкстремальных задачах. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1978. – 240 с.
7. Сергеев Я.Д., Квасов Д.Е. Краткое введение в теорию липшицевой глобальной оптимизации: учебное пособие. – Нижний Новгород: изд-во ННГУ, 2016. – 48 с.
8. Рутковская Д.Г. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы 2-е изд. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2013. – 384 с.
9. Ачасов О.Б., Буравлев А.И. Аналитическая модель оценки эффективности воздушно-космической обороны в условиях глобального удара высокоточным оружием // Вооружение и экономика. – 2014. – № 2 (27). – С. 10–20.
10. Холоднов В.А., Решетиловский В.П., Боровинская Е.С., Андреева В.П. Системный анализ и принятие решений. Математическое моделирование гидродинамической структуры однофазных потоков в химических реакторах: учеб. пособие. – СПб.: СПбГИ(ТУ), 2009. – 35 с.

УДК 629.3.01

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МАШИН**¹Рыжиков В.А., ²Туркеничева О.А., ²Приходько В.М.***¹Донской государственной технической университет, ИСОиП (филиал) ДГТУ,
Шахты, e-mail: rigikov54@mail.ru;**²Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
Ростов-на-Дону, e-mail: Olgat-59@rambler.ru*

Динамические знакопеременные нагрузки в трансмиссии машин, возникающие в процессе их работы, значительно влияют на надёжность узлов и их элементов. При работе машин с определённой скоростью возникают резонансные явления, когда частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных колебаний механической системы. В этом случае значительно возрастают вибрации, воспринимаемые рамой и элементами трансмиссии. Развивается принцип динамического поглощения колебаний в механических системах. Предлагаемое решение обеспечивает поглощение колебаний вблизи резонансных частот. В основу построения кинематической схемы положен принцип динамического поглощения колебаний. С учётом принятых допущений представлена математическая модель механической системы с динамическим поглотителем колебаний и получены аналитические решения для двух движущихся масс. Определены энергетические характеристики процесса динамического поглощения колебаний механической системы в области резонансных частот. Рассмотрен вопрос выбора оптимальных параметров поглотителя колебаний, с учётом минимизации динамических нагрузок в элементах машин. Рассмотрена конструкция экспериментальной установки. Приводятся результаты экспериментальных исследований устройства поглощения колебаний, которые показали его эффективность при работе механической системы в области резонансных частот. При проведении экспериментальных исследований моделировались условия возникновения резонанса в механической системе и его отсутствие при включении поглотителя колебаний.

Ключевые слова: механическая система, поглощение, колебания, экспериментальные исследования, параметры

OSCILLATORY PROCESSES IN MECHANICAL SYSTEMS OF MACHINES**¹Ryzhikova V.A., ²Turkenicheva O.A., ²Prikhodko V.M.***¹Don State Technical University, Isop (branch) DSTU, Shakhty, e-mail: rigikov54@mail.ru;**²Rostov State University of Railway Engineering, Rostov-on-don, e-mail: Olgat-59@rambler.ru*

The dynamic sign-variable loads in transmission of cars arising in the course of their work considerably influence reliability of nodes and their elements. During the operation of cars with defined speed, there are resonant phenomena when forced oscillation frequency matches the frequency of own fluctuations of mechanical system. In this case the vibrations perceived by a frame and elements of transmission considerably increase. Develops the principle of dynamic absorption of vibrations in mechanical systems. This solution ensures the absorption of vibrations near the resonance frequencies. The basis of kinematic schemes based on the principle of building dynamic absorption of vibrations. We consider the construction of the experimental setup. Contains the results of experimental research. Taking into account the accepted assumptions the mathematical model of mechanical system with the dynamic absorber of fluctuations is provided and analytical decisions for two moving masses are received. Power characteristics of process of dynamic absorption of fluctuations of mechanical system in the field of resonance frequencies are defined. The question of the choice of optimum parameters of the absorber of fluctuations, taking into account minimization of dynamic loads in elements of cars is considered. The design of experimental installation is considered. Results of pilot studies of the device of absorption of fluctuations which showed its efficiency during the work of mechanical system in the field of resonance frequencies are given. When conducting pilot studies conditions of emergence of a resonance in mechanical system and its absence were modelled at turning on of the absorber of fluctuations.

Keywords: mechanical system, absorption, vibrations experimental, research, options

Динамические нагрузки в трансмиссии машин, возникающие в процессе их работы, значительно влияют на надёжность узлов и их элементов. Возникновения колебательных процессов обусловлены как внутренними, так и внешними факторами [1]. К внутреннему фактору можно отнести работу двигателя и жёсткость элементов трансмиссии. В роли внешнего фактора выступают различные силовые воздействия на исполнительных элементах, связанные с условиями работы машины. Например, во время эксплуатации транспортного средства это

влияние связано с особенностями рельефа дорожного покрытия и его продольной кривизной.

При работе машин с определённой скоростью возникают резонансные явления в трансмиссии, когда частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных колебаний механической системы [1–2]. В этом случае значительно возрастают вибрации, воспринимаемые рамой и элементами трансмиссии [3]. Они являются вредным фактором для операторов и других людей, находящихся в непосредственной

близости от работающих объектов, и приводят к появлению дополнительных динамических нагрузок в механической системе.

Для поглощения колебаний вблизи резонансных частот механических систем, можно использовать динамический поглотитель колебаний углового типа [4, 5]. Динамический поглотитель представляет массу с моментом инерции J_n , закрепленную на металлоконструкции с помощью упругого элемента с приведенной жесткостью C_n . Величину момента инерции J_n и жесткость пружины C_n выбирают с учетом резонансной частоты трансмиссии ω из соотношения

$$\omega = \sqrt{\frac{C_n}{J_n}}$$

Согласно поставленным задачам методикой экспериментального исследования предусматривалась проверка работоспособности устройства гашения колебаний в трансмиссии машин и получение графиков переходных процессов в колебательной системе. Подтверждением работоспособности поглотителя колебаний будет являться его способность поглощения колебания в заданных режимах работы. При проведении испытаний моделировались условия возникновения резонанса в механической системе и его отсутствие при включении поглотителя колебаний.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Основной груз 11,

установлен на направляющих 6 и подвешен на пружинах 5. С помощью пружины 15 и троса 7, груз 11 через шарнир 13 кинематически связан с червячным колесом редуктора 8. К редуктору 8 подключен электродвигатель 9 с регулятором напряжения 10, установленный на раме 1. Вращательное движение вала электродвигателя 10 преобразовалось в поступательное движение груза 11. К грузу 11, совершающему поступательное движение в вертикальной плоскости, подвешен на пружине 14 дополнительный груз 12, служащий в качестве поглотителя колебаний. На грузе 11 установлен стержень с пером 4 самописца 3, фиксирующий его колебания на вращающемся барабане, имеющем электропривод 2, установленный на раме 1. На барабане самописца 3 закреплён лист бумаги, на котором осуществляется фиксирование графиков колебаний груза 11.

Для моделирования явления резонанса увеличивалась частота поступательного движения груза 11. Для этого при помощи регулятора напряжения 10 повышалось напряжение на обмотках электродвигателя 9 и увеличивалась его частота вращения до тех значений, при которых резко увеличивалась амплитуда колебаний груза 11. При проведении экспериментальных исследований фиксировались частота вращения электродвигателя 9 и амплитуды колебаний грузов 11 и 12.

На рис. 2 представлен общий вид экспериментальной установки.

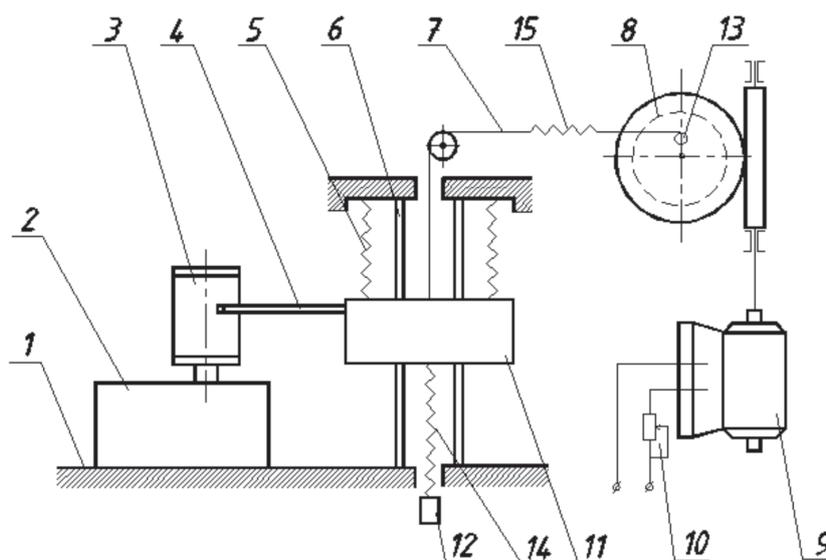


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – рама; 2 – привод барабана самописца; 3 – самописец; 4 – стержень с пером; 5 – пружина; 6 – направляющие; 7 – трос; 8 – редуктор; 9 – электродвигатель; 10 – регулятор напряжения; 11 – груз; 12 – груз поглотителя колебаний; 13 – шарнир; 14, 15 – пружины

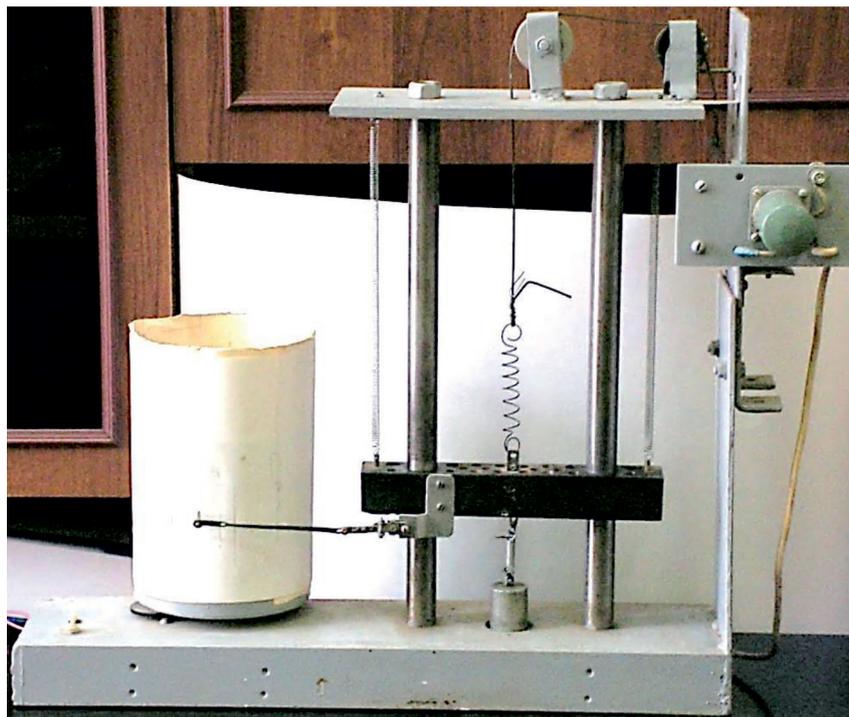


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

Кинетическая энергия системы равна

$$T = \frac{m_1}{2} \cdot \dot{X}_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot \dot{X}_2^2,$$

где m_1 – масса основного груза;
 m_2 – масса поглотителя колебаний;
 X_1 – перемещение основного груза;
 X_2 – перемещение дополнительного груза.
 Потенциальная энергия системы равна

$$\Pi = \frac{1}{2} C_1 (X_1)^2 + \frac{1}{2} C_2 (X_1 - X_2)^2,$$

где C_1 – жесткость пружин, на которых подвешен основной груз;
 C_2 – жесткость пружин, на которых подвешен дополнительный груз.

С учетом принятых допущений работа механической системы описывается системой дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода, которые имеют вид:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{X}_1 + C_1 X_1 + C_2 (X_1 - X_2) = F_B \sin \omega t; \\ m_2 \ddot{X}_2 - C_2 (X_1 - X_2) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где F_B – возмущающая сила;
 ω – частота колебаний внешних воздействий.

Вынуждающая сила F_B может быть определена с учетом жесткости C_0 пружины 15 и радиуса вращения R шарнира 13 (рис. 1):

$$F_B = C_0 R.$$

Собственные частоты колебаний $K_{1,2}$ механической системы можно определить из уравнения

$$(C_1 + C_2 - m_1 K^2)(C_2 - m_2 K^2) - C^2 = 0,$$

или $m^2 k^4 - 3Cmbk^2 + C^2 = 0$.

$$K_{1,2} = \frac{3Cm \pm \sqrt{9C^2 m^2 - 4C^2 m^2}}{2m^2}.$$

Частные решения уравнений (1) имеют вид

$$X_1 = A_1 \sin \omega t, X_2 = A_2 \sin \omega t.$$

Амплитуды вынужденных колебаний массы 1 и массы 2 соответственно будут:

$$A_1 = \frac{C_0 R (C_2 - m_2 \omega^2)}{(C_1 + C_2 - m_1 \omega^2)(C_3 - m_2 \omega^2) - C_2^2},$$

$$A_2 = \frac{C_0 R C_2}{(C_1 + C_2 - m_1 \omega^2)(C_3 - m_2 \omega^2) - C_2^2}.$$

При $C_2 - m_2 \omega^2 = 0$ амплитуда вынужденных колебаний массы m_1 равна нулю.

Для данной установки параметры динамического поглотителя колебаний определяются из соотношения

$$\omega = \sqrt{\frac{C_2}{m_2}}.$$

Фактическая сущность гашения колебаний состоит в том, что реакция присоединенной упругой связью груза в любой момент времени уравнивает присоединенную к объекту возмущающую силу, а потом объект совершает лишь свободные колебания с частотой

$$K = \sqrt{\frac{C_1}{m_1}}$$

Частное решение уравнения (1) имеет вид

$$X_i = \mu_i A_1 \sin(Kt + \Theta),$$

где $\mu_i = \frac{A_i}{A_1}$,

Θ – фазовый угол.

Так как различные виды демпфирования можно заменить эквивалентным вязким демпфированием, то можно использовать линейное дифференциальное уравнение для гармонического движения.

Работа, совершаемая возмущающей силой $Q \cdot \cos \omega t$ в течение одного цикла, при установившемся поведении системы будет равна

$$U_Q = \int_0^T Q(\cos \omega t) \dot{x} dt. \quad (2)$$

Скорость \dot{x} можно определить по формуле

$$\dot{x} = -A\omega \sin(\omega t - \Theta), \quad (3)$$

где A – амплитуда вынужденных колебаний; Подставив выражение (3) в (2), найдем

$$U_Q = -QA\omega \int_0^T (\cos \omega t)(\sin \omega t \cos \Theta - \cos \omega t \sin \Theta) dt. \quad (4)$$

В результате интегрирования выражения (4) получим

$$U_Q = \pi QA \sin \Theta.$$

Аналогично определяем рассеиваемую за один цикл работу демпфирующей силы $\mu \dot{x}$, где μ – коэффициент вязкого сопротивления:

$$U_C = \int_0^T \mu \dot{x}^2 dt. \quad (5)$$

Подставляя выражение (3) в (5), найдем

$$U_C = \mu \int_0^T A^2 \omega^2 \sin^2(\omega t - \Theta) dt. \quad (6)$$

Интегрируя выражение (6), определим величину энергии U_C :

$$U_C = \pi \mu A^2 \omega^2.$$

Таким образом, вносимая энергия U_Q увеличивается в зависимости от амплитуды A по линейному закону, тогда как рассеиваемая энергия U_C возрастает пропорционально квадрату амплитуды. Они будут равны в точке пересечения кривых функций A_0 для обоих видов энергии (рис. 3).

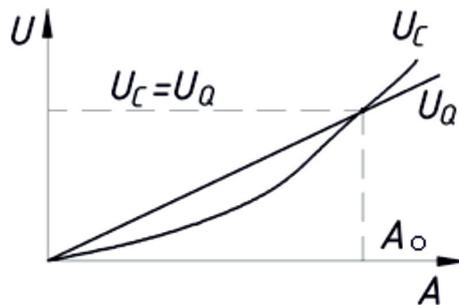


Рис. 3. Определение амплитуды колебаний при установившемся состоянии

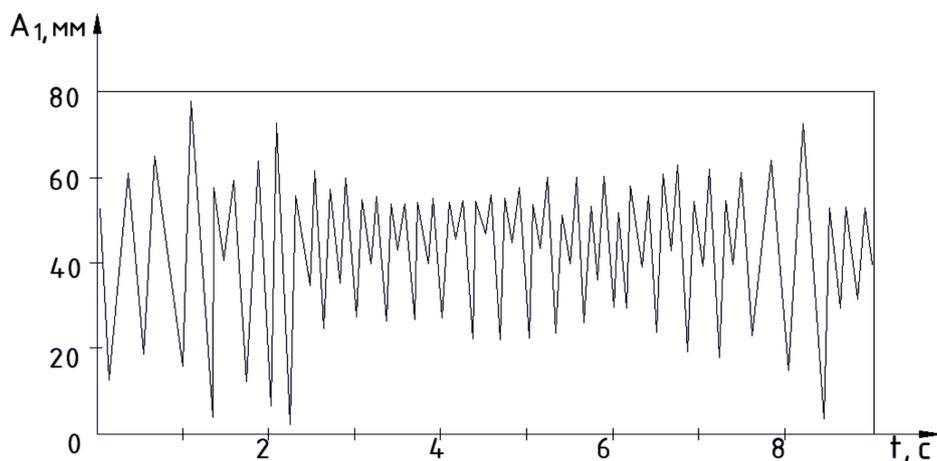


Рис. 4. Осциллограмма перемещений основной массы m_1 без использования поглотителя колебаний

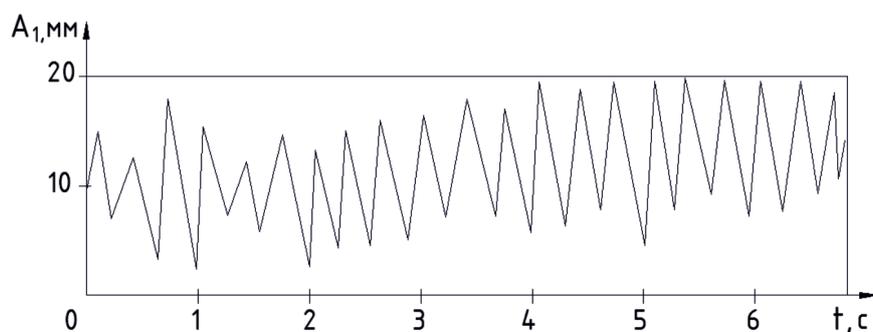


Рис. 5. Осциллограмма перемещений основной массы m_1 с использованием динамического поглотителя колебаний

Результаты экспериментальных исследований устройства поглощения колебаний показали его эффективность при работе механической системы в области резонансных частот. Настройка поглотителя колебаний сводилась к подбору массы груза m_2 при заданной жёсткости пружины C_2 . В результате проведённых экспериментальных исследований получены осциллограммы переходных процессов в системе при различных режимах работы.

На рис. 4 представлена осциллограмма перемещений основной массы m_1 без использования поглотителя колебаний. На рис. 5 представлена осциллограмма перемещений основной массы m_1 с использованием динамического поглотителя колебаний при действии вынуждающей силы с частотой $\omega = 2,8c - 1$.

Разность амплитуд колебаний массы m_1 с применением динамического поглотителя

инерционного типа по отношению к случаю, в котором он не применялся, составила $\Delta A_1 = 29$ мм. Применение динамического демпфирования позволяет снизить амплитуду колебаний на 81 % для данной модельной установки.

Заключение

1. Результаты экспериментальных исследований показали эффективность применения динамического поглотителя колебаний при работе механической системы в области резонансных частот.

2. Возможен выбор оптимальных параметров поглотителя колебаний с учётом минимизации динамических нагрузок в элементах машин.

3. Рассмотренное техническое решение позволяет снизить динамические нагрузки в узлах трансмиссии в зоне резонансных частот и повысить надёжность машин в целом.

Список литературы

1. Гусев А.С. Вероятностные методы в механике машин и конструкций. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 223 с.
2. Данилин А.Н., Козлов К.С. Моделирование нестационарных колебаний гасителей вибрации с учетом гистерезиса диссипации энергии // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 34–47.
3. Сальников В.И., Домнин Д.А. Динамический гаситель колебаний колеса автомобиля: компьютерный прогноз // Автомобильная промышленность: Научно-технический журнал. – 2005. – № 8. – С. 19–21.
4. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1969. – 396 с.
5. Ryzhikov V.A., Sapronov Y.G., Gorin S.L., Astatsurov Y.G. Dynamic damping torsional vibrations in the transmission of rear-wheel drive and all-wheel drive vehicles // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 10, № 12. – P. 5334–5337.
6. Степаненко Д.А., Рыжиков В.А. Гашение колебаний в трансмиссии автомобиля // Наука и инновации в области сервиса автотранспортных средств обеспечения безопасности дорожного движения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Б.Ю. Калмыкова [и др.]; «Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса». – Шахты: Издательство ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2013. – С. 73–76.

УДК 621.039.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ НА ОДНОПЕТЛЕВОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ**Сатаев А.А., Дунцев А.В., Воробьев Д.А., Красавин Н.А.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижегород, e-mail: sancho_3685@mail.ru*

Анализ механизмов смешения жидкостей различных по химическому составу, вязкости, температурам имеет важное значение в понимании процессов теплопереноса. Эти процессы оказывают существенное влияние на условия работы реакторной установки, ее нейтронную физику, гидравлику, безопасность, прочность. Настоящая статья посвящена исследованию процессов смешения неизотермических потоков на уменьшенной модели, имитирующей одну реакторную петлю водо-водяного реактора. При проведении экспериментов было исследовано распределение температур вдоль области смешения, образованной имитацией выемного блока (дырчатого листа). Основным методом исследования – это изучение полей распределения температуры в области смешения путем построения послойной (поуровневой) картины распределения температуры (осуществляется за счет установки датчиков на разной высоте), считанной в автоматическом режиме быстродействующей программой с термодатчиков (Т1-Т8), расположенных на пути смешения потоков. Полученные экспериментальные данные дают возможность проанализировать характер смешения, наличие больших температурных градиентов, застойных зон. Накоплен большой объем экспериментальных данных, впоследствии планируется их использование для сравнения с результатами, полученными в программных комплексах вычислительной гидродинамики (CFD). Это дает большую экспериментальную базу для их верификации, а также поиска путей возможной интенсификации этих процессов.

Ключевые слова: неизотермический поток, смешение, интенсификация, визуализация, теплоперенос, комплексы вычислительной гидродинамики (CFD)

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF MIXING NON-ISOTHERMAL FLOWS AT ONE-LOOP MODEL OF THE REACTOR PLANT**Sataev A.A., Duntsev A.V., Vorobev D.A., Krasavin N.A.***Federal State Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod, e-mail: sancho_3685@mail.ru*

Analysis of mechanisms of mixing of fluids of different chemical composition, viscosity, temperature is important in understanding the processes of heat and mass transfer. These processes have a significant impact on the working conditions of the reactor, its neutron physics, hydraulics, safety, strength. This article is devoted to study of processes of mixing of non-isothermal flow on the smaller models, one simulating the reactor loop in the pressurized-water reactor. In the experiments, it was investigated the temperature distribution along the mixing region formed by imitation removable core basket (perforated sheet). The main method of research is the study of the fields of temperature distribution in the mixing area by constructing a stratified (layered) model of temperature distribution. This is done by installing sensors at different heights. Sensors (T1-T8), located on the way of mixing flows, are read in the automatic mode, fast program. The obtained experimental data provide an opportunity to examine the nature of mixing, the presence of large temperature gradients and stagnant zones. We have accumulated a large amount of experimental data, it is also planned to use them for comparison with the results obtained by software of computational fluid dynamics (CFD). This gives you a large experimental database for the verification and search of ways of an intensification of these processes.

Keywords: non-isothermal flow, mixing, intensification, visualization, heat and mass transfer, programs of computational fluid dynamics (CFD)

Особенностью современного этапа развития науки и техники является стремление к повсеместной оптимизации конструкций путем снижения их массогабаритных характеристик, а также переходу от консервативного подхода (с большими коэффициентами запаса) к более лояльным, но в то же время без потерь, связанных с безопасностью. Эта тенденция не могла не затронуть и одну из самых перспективных и наукоемких отраслей – ядерную энергетику.

Моделирование процессов смешения жидкостей различных по температурам, вязкости, химическому составу имеет важное значение в понимании процессов тепло-

переноса. Эти процессы оказывают существенное влияние на условия работы реакторной установки, ее нейтронную физику, гидравлику, безопасность, прочность. Например, одной из таких важных проблем, оказывающих существенное влияние на материал корпуса, является определение термомеханических пульсаций. Их определение необходимо для оценки прочности и надежности элементов реакторной установки. Особенно важны места сварки главных патрубков и сварные швы обечаек конструкции реактора, парогенератора, компенсатора давления и других важных единиц оборудования. Пульсации температур при-

водят к неравномерной тепловой нагрузке на металлические изделия, приводя к усталостным разрушениям, трещинам и выходу элементов оборудования из строя [1]. В настоящее время в нашей стране, а особенно за рубежом разрабатываются программные средства, позволяющие описывать процессы смешения неизоотермических потоков. Актуальность применения CFD программ подтверждается большим числом научных публикаций по данной тематике и рядом специализированных научных конференций, посвященных этому вопросу. К наиболее значимым в этой области можно отнести работы, координируемые в рамках OECD/NEA (OECD / Nuclear Energy Agency) – в Европе, и в рамках программы CASL (Consortium for Advanced Simulation of Light Water Reactors) – в США. Так, начиная с 2002 года OECD/NEA проводит ежегодные конференции CFD4NRS (CFD for Nuclear Reactor Safety), посвященные задачам и проблемам использования CFD программ в атомной энергетике [2]. Наиболее значительных успехов в этой сфере достигли ученые из Германии (на модели Rossendorf Coolant Mixing Model (ROCOM) [3]). Не менее значимые результаты были также получены на установках Vattenfall (США), установке Fortum PTS (Финляндия), стенде ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (Россия).

Экспериментальные исследования потоковых процессов, пригодные для верификации CFD, стали возможными только в последнее время вследствие появления новых систем измерений, основанных на методе тепловизионной съёмки, использовании лазерной съёмки (PIV, PLIF), высокоскоростной видеокамеры, кондуктометрических методов и др. Все перечисленные методы не являются универсальными и требуют проведения большого объема работ по освоению и адаптации к условиям конкретных экспериментов.

Одним из экспериментальных методов, доступный относительно недавно, позволяющим измерять локальные характеристики в турбулентных потоках теплоносителя, является метод кондуктометрии с использованием датчиков различной пространственной конфигурации. Наиболее актуальные посвященные этому методу результаты описаны в работах [4, 5].

Методы компьютерного моделирования (вычислительная гидродинамика) базируются на определенных моделях. В общем виде эти модели описываются уравнением движения в форме Навье – Стокса и уравнением неразрывности, нерешаемыми в аналитическом виде. Один из подходов к моделированию процессов турбулент-

ного обмена основан на прямом численном решении системы дифференциальных уравнений движения и неразрывности, записанных для мгновенных (актуальных) значений параметров турбулентного потока [6]. Основные направления использования CFD программ для ядерной энергетики заключаются в анализе условий работы элементов оборудования, функционирующих в условиях термоциклических нагрузок, возникающих в результате воздействий течения неизоотермических потоков (смешение, стратификация, естественная конвекция, борное регулирование) [7], анализе поля температур на входе в активную зону в несимметричных режимах работы РУ, оптимизации алгоритмов работы реакторной установки. Также определенные проблемы возникают при переходных режимах реакторной установки. В работе [8] анализируется поведение активной зоны при поступлении в нее пробки из чистой воды во время стоянки остановленного реактора в условиях давления приблизительно 25 бар и естественной циркуляции.

Целью настоящей работы является исследование процессов смешения неизоотермических потоков на однопетлевой модели реакторной установки, имитирующей основное течение теплоносителя в современных водо-водяных реакторных установках. Кроме того, важной задачей является поиск средств для возможной интенсификации этого смешения, накопление экспериментальной базы для визуализации данных моделей в комплексах вычислительной гидродинамики (CFD). Научная новизна представленной работы заключается в том, что нами было рассмотрено распределение температур при смешении неизоотермических потоков, выявлены застойные зоны, неоднородности в смешении потоков. Полученные данные необходимы для создания верификационной базы современных комплексов CFD-моделирования, а также исследования закономерностей для создания математических моделей смешения неизоотермических потоков. Полученные данные возможно использовать для обоснования безопасности существующих проектов водо-водяных реакторных установок, а также в разработке новых. Но самое главное, что в дальнейшем нами будут опробованы различные способы интенсификации этого смешения (в рамках данной статьи не описываются).

Для исследования смешения неизоотермических потоков была предложена уменьшенная модель реакторной установки, представленная одной циркуляционной петлей (рис. 1). Активная зона реактора

моделируется дырчатым листом, являющимся частью выемного блока. Экспериментальный стенд состоит из следующих частей: 1 – исследуемая модель с 7 – крышкой с уплотнением, 2 – центробежный насос с частотным регулированием производительности (для создания циркуляции по замкнутой петле: насос – опускной участок – дырчатый лист-активная зона – насос), 3 – расходомеры (используются тахометрические расходомеры крыльчатого типа, предварительно градуированные на расход 0,5–15 л/мин), 4 – бак подготовки горячей воды, оснащенный 5 – сигнализатором уровня, нагрев осуществляется 6 – ТЭНом нагревательным.

Кроме того, стенд оснащен запорной ручной арматурой (вентили K1, K2, K3, K4, K5, K6), предназначенной для заполнения самой модели и бака подготовки горячей воды. Основной метод исследования – это изучение полей распределения температуры в области смешения путем построения послойной (поуровневой) картины распределения температуры (осуществляется за

счет установки датчиков на разной высоте), считанной с термодатчиков (T1–T8), расположенных на пути смешения потоков. Была создана специальная быстродействующая программа по опросу сразу нескольких датчиков (первая модификация 8 датчиков). На рис. 1 показана имитация основного тракта циркуляции, но возможно оснащение модели крышкой с возможностью подвода потока сверху, что имитирует аварийную проливку, а также парогенераторный режим. Заполнение модели осуществляется после открытия вентилей K3, K5, K6. Слив и расколаживание модели между экспериментами производится открытием вентиля K2. Заполнение бака подготовки горячей воды осуществляется после открытия вентилей K4, K5, K6, при закрытом вентиле K3. О заполнении бака сигнализирует звуковой сигнал сигнализатора уровня. Нагрев воды осуществляется с помощью ТЭНов, до определенной температуры установленной на терморегуляторе (по температуре T9), дополнительно дублируется показанием температуры T10.

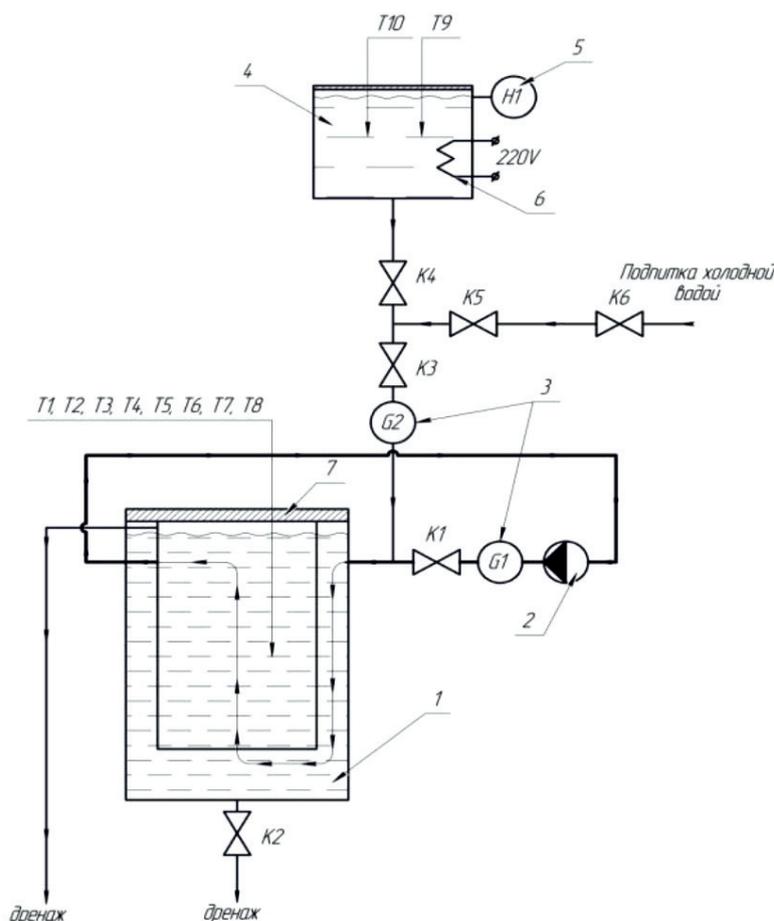


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

В данной работе описываются процессы, происходящие при смешении неизотермических потоков без использования принудительной циркуляции (центробежный насос отключен, вентиль К1 закрыт). При достижении заданной температуры (в данной работе $T_9 = T_{10} = 60 \pm 0,5^\circ\text{C}$), последовательно открываются вентили К4 и К3. Горячий поток с расходом G1 (определяется по показаниям расходомера) самотеком подается в модель, заполненную предварительно водой с меньшей температурой.

Для изучения поведения неизотермических потоков нами был использован метод температурного зондирования. В качестве зондов использовались датчики температуры Dallas Instruments. Располагаются они определенным образом (согласно рис. 3). Эти зонды имеют возможность изменять свое положение относительно вертикали (тем самым мы изменяем уровень измерения). Данные температурных показаний

считываются в автоматическом режиме, передаются в блок коммутации датчиков (контактные группы датчиков + подтягивающие резисторы, питание схемы), а затем обрабатываются микроконтроллером и отправляются на ПЭВМ для дальнейшей обработки. Микроконтроллер опрашивает за 1 секунду 8 датчиков. Схема работы представлена на рис. 2.

При проведении экспериментов было исследовано распределение температур вдоль области смешения, образованной имитацией выемного блока (дырчатого листа). Горячая среда была подготовлена в баке подготовки горячей воды, ее температура $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$. В модель она подается с расходом $G_2 = 3,7$ л/мин (полностью открытые вентили К3, К4). Датчики были расположены по определенной геометрии, показанной на рис. 3 (Т1-Т4 – периферийная зона, Т5-Т8 – центральная зона, причем повернуто относительно оси на угол 45° , для большего охвата исследуемой области).



Рис. 2. Принципиальная схема автоматической обработки и передачи экспериментальных данных

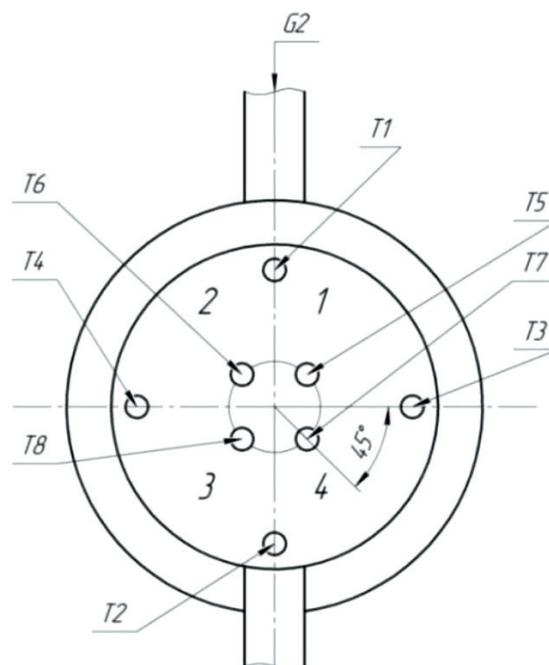


Рис. 3. Схема расположения датчиков (Т1-Т8) в экспериментальной модели

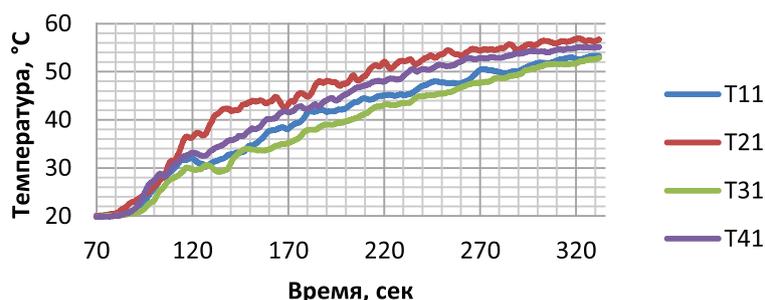


Рис. 4. График изменения температуры во времени на первом уровне измерений (расстояние 10 мм от дырчатого листа модели)

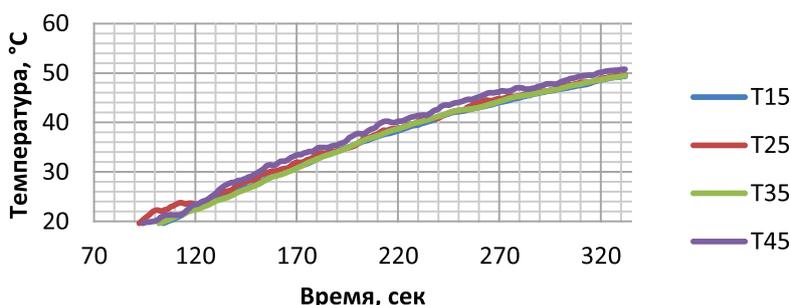


Рис. 5. График изменения температуры во времени на пятом уровне измерений (расстояние 170 мм от дырчатого листа модели)

На рис. 4 можно видеть изменение температуры во времени на первом уровне измерений (расстояние 10 мм от дырчатого листа модели), а на рис. 5 можно видеть изменение температуры во времени на пятом уровне измерений (максимальная высота – расстояние 170 мм от дырчатого листа модели). Уровней исследования может быть и больше, но в данной конфигурации их было выбрано 5. (Пояснение к рис. 4, 5: датчикам присваиваются индексы – T_{ij} , где i – порядковый номер датчика, j – номер соответствующего уровня измерения). Измерение температур происходит до полного опорожнения бака запаса горячей воды, что составляет (при расходе $G_2 = 3,7$ л/мин) около 300 с, а затем еще продолжается до наступления установившейся температуры, по показаниям датчиков T1–T8.

На рис. 5 показано изменение температур датчиков T1–T4, расположенных согласно рис. 3 на периферийной области. Из анализа графиков можно сделать вывод о неравномерности смешения при прохождении потоком выемного блока.

Так же можно судить о неравномерности смешения и образования застойной зоны в области 1 четверти, согласно рис. 3 (датчики T1 и T3). Градиент по температуре составляет в среднем от 4–10 °С. Если дополнительно сравнивать отдельно центральную область (датчики T5–T8), то в целом можно судить о равномерности

смешения (градиенты не более 1–2 °С на 1–5 уровнях). Центральная область не претерпевает серьезных изменений.

В результате проделанной работы было построено послойное распределение температуры в области смешения неизотермических потоков в модели, имитирующей одну реакторную петлю. Стенд прошел испытания, показал стабильную работу на разных режимах. Была найдена застойная зона (зона с неравномерным смешением и большими градиентами по температуре) в области 1 четверти. В дальнейшем планируется изменение конфигурации датчиков и более детальное исследование полученной области. Следующим этапом будет являться исследование воздействия на смешение принудительной циркуляции (с использованием центробежного насоса), а также проведение экспериментов с меньшими тепловыми перепадами. Затем полученные данные будут верифицироваться и сравниваться с результатами, полученными в программных комплексах вычислительной гидродинамики (CFD). Впоследствии, этими данными можно оперировать для нахождения путей модернизации существующих ядерных энергетических установок (конструкции корпуса, организации подвода теплоносителя), обоснования их безопасности, а также создания новых установок с лучшими характеристиками.

Список литературы

1. Сатаев А.А., Дунцев А.В. Визуализация процессов смешения неизотермических потоков // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17687> (дата обращения: 11.01.2018).
2. Актуальные вопросы развития экспериментальной базы данных для верификации CFD программ при их использовании в атомной энергетике / М.А. Большухин [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 2(99). – С. 117–125.
3. Hohne T., Kliem S. Coolant mixing studies of natural circulation flows at the ROCOM test facility using ANSYS ANSYS-CFX // CFD4NRS, Garching, Germany, Proceedings. – 2006. – P. 23.
4. Особенности применения пространственных кондуктометрических датчиков при моделировании смешения потоков теплоносителя в элементах оборудования ядерных энергетических установок / А.А. Баринов [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 247–255.
5. Разработка и адаптация вихреразрешающей измерительной системы для проведения верификационных экспериментов на крупномасштабной модели ядерного реактора / С.М. Дмитриев [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т. 8, № 3. – С. 203–213.
6. Ковальногов Н.Н. Прикладная механика жидкости и газа / Н.Н. Ковальногов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2010. – 219 с.
7. Исследование перемешивания теплоносителя в опускной камере реактора / Е.А. Лисенков [и др.] // Вопросы атомной науки и техники Серия: «Обеспечение безопасности АЭС». – 2008. – № 23. – С. 3–17.
8. Kuoranta J. Поведение активной зоны реактора ВВЭР-440 на АЭС Ловииза при неполном перемешивании раствора бора во время останова в условиях естественной циркуляции // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: материалы 9-ой междунар. науч. конф. (Подольск, 19–22 мая 2015 г.). – Подольск, 2015. URL: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2015/autorun/index-ru.htm> (дата обращения: 11.01.2018).

УДК 004.89:004.912

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЕКТОРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТЕНТНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ФИЛЬМОВ

Федоренко В.И., Киреев В.С.

ФГАОУ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва,
e-mail: vladfedorenko94@gmail.com, vskireev@mephi.ru

Рекомендательные системы становятся незаменимыми компонентами любой веб-системы, предлагающей пользователям контент. Одной из актуальных задач в области построения контентной фильтрации является задача автоматического формирования признаковового описания объектов системы. Для составления признаков текста, например аннотации фильма, требуется специальный метод предобработки – векторизация. В данной работе приводится сравнение методов построения векторных репрезентаций текстов на естественном языке для повышения качества рекомендаций фильмов. Описываются современные методы векторизации, такие как «мешок слов», латентно-семантическое индексирование, основанное на сингулярной декомпозиции. Так же предложен подход построения персональных рекомендаций на основе модели дистрибутивной семантики word2vec. Предложенный подход оценивается с помощью известных метрик качества машинного обучения – F-меры и других, а также перекрёстной проверки на 5 блоках. В качестве данных для экспериментов был выбран набор MovieLens, содержащий 1 млн пользовательских оценок. Для составления текстового корпуса использовались данные IMDb, по более чем 500 тыс. фильмов. Приведены полученные с помощью предложенного подхода семантически близкие слова и выработанные таким образом ключевые слова для фильмов разных жанров.

Ключевые слова: word2vec, векторные представления текстов, рекомендательные системы, контентная фильтрация, анализ текстов на естественном языке

TEXT EMBEDDINGS FOR CONTENT-BASED RECOMMENDATIONS

Fedorenko V.I., Kireev V.S.

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
Moscow, e-mail: vladfedorenko94@gmail.com, vskireev@mephi.ru

Recommender systems are becoming indispensable components of any web-based system, offering users of the content. One of the actual tasks in the field of content filtering is the problem of automatic formation of a feature description of the system objects. To compile features of the text, for example, the annotation of the film requires a special method of pre-processing – vectorization. This paper presents a comparison of methods for constructing vector representations of natural language texts to improve the quality of film recommendations. Describes modern methods of vectorization, such as «bag of words» latent semantic indexing based on singular value decomposition. Also, the approach of building personal recommendations based on the model of word2vec distributive semantics is proposed. The proposed approach is evaluated using the well-known quality metrics machine learning F-measure, as well as cross-validation for 5 blocks. A set of MovieLens containing 1 million user ratings was chosen as the data for experiments. IMDb data for more than 500 thousand films were used to compile the text body. The author presents the semantically close words obtained with the help of the proposed approach and the keywords developed in this way for films of different genres.

Keywords: word2vec, text embeddings, recommender systems, content-based filtering, natural language processing

В настоящее время существенно растут объёмы информации и количество услуг, доступных пользователям. Количество услуг настолько велико, что пользователь физически не способен рассмотреть все доступные предложения. Поэтому рекомендательные системы становятся одним из незаменимых компонентов веб-приложений, предлагающих пользователю услуги.

Одной из актуальных задач в области рекомендательных систем является выделение признакововых описаний объектов. В данной работе рассмотрены методы построения векторных представлений текстов на естественном языке для увеличения качества контентной рекомендательной системы для фильмов на основе их сюжетных

аннотаций, а также предложен подход построения контентных рекомендаций на основе модели word2vec.

Задача построения персональных рекомендаций

Франческо Ричи определил рекомендательные системы как методы и инструменты для предложения пользователям объектов для их использования. Формально задача ставится следующим образом: имеется множество пользователей $u_i \in U (i=1..n)$, множество объектов $i_j \in I (j=1..m)$ и множество оценок $r_{ij} \in R$. Необходимо для пользователя U' предложить набор объектов $\{i_j\}' \subseteq I$ так, чтобы максимизировать функ-

ционал качества Q . Бизнес-смысл данной метрики зависит от конкретной постановки задачи: данная метрика может отвечать как за удовлетворённость пользователя, так и за максимизацию прибыли владельца услуг.

Контентная фильтрация. Главная идея метода контентной фильтрации заключается в том, что пользователям интересны объекты, похожие на те, что им уже были интересны. В рамках подхода предполагается наличие полуформализованного признакового описания объектов рекомендаций, на основе которых возможно их взаимное сравнение и установление «похожести», например в случае книг, характеризовать и сравнивать объекты можно на основе аннотаций, жанра, автора, тематики, года издания и т.п. История пользовательской активности формирует профиль, в котором содержится информация о его предпочтениях [1]. Для определения сходства между векторами объектов чаще всего используется косинусное расстояние, принимающие значения в отрезке $[0, 1]$:

$$\cos(x, y) = \frac{AB}{A B} = \frac{\sum_i A_i B_i}{\sqrt{\sum_i A_i^2} \sqrt{\sum_i B_i^2}}. \quad (1)$$

Если компоненты вектора не являются вещественными числами, то для оценки сходства можно выбрать расстояние Хемминга, определяемое как количество компонент, в которых различаются значения векторов

$$H(x, y) = \sum_{i=1}^n [x_i \neq y_i]. \quad (2)$$

Метрики качества персональных рекомендаций. Наиболее распространенными метриками оценки качества рекомендательных систем являются точность и полнота [2]. Точность (*precision*) определяется как доля интересных пользователю объектов среди предложенных рекомендаций. Полнота (*recall*) определяется, как доля рекомендованных объектов среди всех интересных пользователю. В теории можно рекомендовать пользователю все объекты системы и получить идеальную полноту, на практике размер рекомендательного блока ограничен и поэтому для оценки фиксируют число k – размер блока рекомендаций и рассматривают точность и полноту $ap@k$ на k отобранных объектах. Итоговое качество модели определяется как среднее $ap@k$ по всем объектам – *MeanAveragePrecision@k*.

В целях учёта обеих характеристик для оценки также используют F_1 -меру, равную среднему гармоническому полноты и точности:

$$F_1 = 2 \frac{precision \cdot recall}{precision + recall}. \quad (3)$$

Альтернативным способом оценки модели является оценка качества восстановления рейтингов, которыми пользователь оценил объекты. В данном случае чаще всего рассматривается среднеквадратичное отклонение RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in R} (\hat{r}_{ij} - r_{ij})^2}{n}}, \quad (4)$$

где n – число оценок.

Способы представления текстов на естественном языке

Основными сущностями при построении векторных представлений текстов на естественном языке являются токен t , документ d , корпус D и словарь V . Токеном называется элементарная единица текста, как правило, токены являются словами. Документом называется упорядоченный набор токенов, документом может являться статья, предложение, отзыв, описание услуги. Корпусом называется совокупность всех доступных документов. Словарём называют множество всех уникальных токенов, встречающихся в корпусе. Каждому токеноу ставится в соответствие уникальный индекс от 1 до $|V|$, таким образом, после процедуры построения словаря доступны два отображения: индекс \rightarrow токен, токен \rightarrow индекс

Для уменьшения размера словаря, сокращения количества вычислений и улучшения качества векторных представлений текстов на естественном языке используют методы предобработки текстов, такие как нормализация токенов, использование n -грамм и удаление слишком редких и слишком частых слов.

Стеммингом называется эвристическая процедура отбрасывания окончания слова и суффиксов. По сути, стемминг является определением неизменяющейся части слова. Альтернативным, более точным подходом является лемматизация, включающая в себя использование лексикографических словарей и морфологического анализа. Лемматизация является более вычислительно дорогостоящей операцией, чем стемминг [3].

Существуют слова, которые часто встречаются в тексте, но не несут серьёзной смысловой нагрузки, к таким словам относятся предлоги, союзы, слова-обороты. В области анализа текстов на естественном языке их принято называть стоп-словами. Другой крайностью являются слишком редкие слова, которые встречаются недостаточ-

но часто для корректной оценки значимости токена в документе.

Помимо анализа токенов, часто рассматриваются n -граммы – последовательности из n подряд идущих токенов. Наиболее часто на практике используются биграммы и триграммы.

Модель мешка слов. Одним из наиболее простых методов представлений текстов на естественном языке является подход «мешок слов». Название «мешок» происходит из-за игнорирования порядка токенов в рассматриваемом документе. Так, два документа, отличающиеся лишь порядком токенов, будут иметь одинаковые векторы. Считается, что человек способен определить тематику текста, даже если слова будут перемешаны случайным образом. Каждый документ представляется вектором размерности $|V|$, где i -ая компонента вектора является счетчиком встречаемости i -ого токена в рассматриваемом документе, если какой-либо токен не встретился в рассматриваемом документе, то соответствующая компонента будет равна нулю.

TF-IDF. TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) является модификацией мешка слов, в основу которой положено предположение, что токены в документе имеют разную значимость, и если слово встречается в небольшом числе документов, то оно является важным для них. TF вычисляется, как доля документов, в которых присутствует токен, а IDF как инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в документах коллекции. Вес токена в документе вычисляется как произведение TF*IDF.

$$tf(t, d) = \frac{n_t}{\sum_k n_k}, \quad (5)$$

$$idf(t, D) = \log \frac{|D|}{|\{d_i \in D | t_i \in d_i\}|}, \quad (6)$$

$$tfidf(t, d, D) = tf(t, d) \cdot idf(t, D). \quad (7)$$

Тематическое моделирование

Тематическое моделирование является способом построения модели коллекции текстовых документов, которая определяет, к каким темам относится каждый из документов. Одной из первых моделей, предложенных в области тематического моделирования, является метод Latent Semantic Indexing (LSI), который заключается в усеченном SVD-разложении матрицы мешка слов до матрицы ранга d ($d \ll |D|$). После данного преобразования вектор документа будет состоять из d компонент и i -ая компо-

нента интерпретируется как степень наличия тематики в документе.

Одним из главных недостатков латентно-семантического индексирования является несоответствие вероятностной модели реальности. Задача построения вероятностно-тематической модели коллекции сводится к оценке параметров распределения

$$p(w, t) = \sum_{t \in T} p(t) p(w|t) p(d|t), \quad (8)$$

где $p(t)$ – неизвестное априорное распределение тем во всей коллекции, $p(d)$ – априорное распределение на множестве документов, а $p(w)$ – априорное распределение на множестве слов.

В 2003 г. была предложена модель Latent Dirichlet Allocation [4], в которую было добавлено предположение о том, что распределение тематик по документам $p(t|d)$ и распределение слов по тематикам $p(w|t)$ порождены распределениями $Dir(\theta, \alpha)$ и $Dir(\theta, \beta)$.

Модель характеризуется количеством тематик T и параметрами распределений α и β .

Модели дистрибутивной семантики. В 2010 г. Томашом Миколовым была предложена модель дистрибутивной семантики word2vec [5], основывающаяся на гипотезе, что контекст слова определяется его окружением. Существуют две разновидности модели word2vec – Continuous Bag of Words и SkipGram. Первая решает задачу предсказания слова w_i на основании контекста (ближайших слов), вторая модель является противоположной – зная слово w_i , найти его контекст. Данная задача ставится как максимизация средней лог-вероятности нахождения слова в контексте:

$$\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \sum_{0 < |j| \leq c} \log p(w_{t+j} | w_t). \quad (9)$$

Наиболее распространенным способом получения вектора документа является суммирование или усреднение векторов слов, из которых состоит документ [6, 7].

Позже Томаш Миколов разработал идею word2vec и предложил модель paragraph2vec [8], в которую помимо векторов слов входят векторы документа. Были предложены две модели – Distributed Memory и Distributed Bag of Words. Модель DM прогнозирует слово по известным предшествующим словам и вектору документа, DBOW прогнозирует случайные группы слов в абзаце только на основании вектора документа. Следует отметить также и отечественные работы по применению word2vec, в том числе работу [9] по повышению качества рекомендаций за счёт генерации искусственных негативных примеров в коллаборативной фильтрации.

Результаты исследования и их обсуждение

Предлагаемый подход состоит в построении word2vec-модели Distributed Bag-of-Words и усреднении векторов слов из описаний для построения признаковового описания рассматриваемого объекта. В данной работе подход тестируется в задаче рекомендаций фильмов.

Для проведения экспериментов был выбран набор данных MovieLens 1M [10]. Данный набор содержит данные о 1 000 000 оценок 6040 пользователей 3952 фильмам. Матрица оценок содержит 4,19% ненулевых элементов. Для каждого фильма через IMDB API была получена его сюжетная аннотация. Помимо этого, для увеличения размера корпуса и, как следствие, улучшения векторных представлений текстов, были взяты дополнительные сюжетные аннотации 500 тыс. других фильмов.

Все тексты были предварительно обработаны, приведены к нижнему регистру, кроме того были отброшены стоп-слова, которые встречались более чем в 50% документов, а также выброшены слова, встречавшиеся менее чем в 1% документов.

Для обучения модели word2vec была выбрана размерность 300, длина контекста – 8.

Ниже представлена таблица, в которой для некоторых слов подобраны семантически близкие слова. Полученная таблица свидетельствует о высоком качестве векторных представлений слов.

Для построения вероятностно-тематической модели LDA было выбрано 50 тематик.

В табл. 2 представлены ключевые слова для некоторых тематик, построенной LDA-модели.

TF-IDF модель была построена с использованием биграмм и триграмм.

В качестве признаков описаний объектов использовались векторы, полученные различными моделями представления текстов на естественном языке:

- TF-IDF;
- LSI с размерностью 50 тематик;
- LDA с размерностью 50 тематик;
- word2vec с размерностью вектора 300

и усреднением векторов слов;

Оценка проводилась при помощи перекрёстной проверки на 5 блоках, для оценки близости векторов использовалось косинусное расстояние. Измерение качества полученных моделей проводилось с использованием метрик $RMSE$, $F_1@5$ и $F_1@10$.



Иллюстрация шагов предложенного алгоритма

Таблица 1

Семантически близкие слова, полученные моделью word2vec

Titanic	Расстояние	Terminator	Расстояние	Godfather	Расстояние	Casino	Расстояние
RMS	0,790201	Half-Life	0,691311	Exorcist	0,674286	roadhouse	0,727415
Lusitania	0,687613	Aquaman	0,682283	Bastard	0,670992	nightclub	0,724142
Hindenburg	0,670862	Mutant	0,669808	Corleone	0,663091	hotel	0,70251
HMS	0,670684	Filter	0,666307	Sopranos	0,654051	bank	0,698563
liner	0,662014	Predator	0,663646	Hobo	0,653354	racetrack	0,678729
USS	0,658244	X-Men	0,661398	Rockers	0,633333	marina	0,678018
Vasa	0,640993	Puppets	0,658903	Ghoulash	0,62528	club	0,674167
S.S.	0,636868	Blade	0,656534	Notorious	0,620483	bar	0,669398
Flight	0,631798	Returns	0,649444	Imposter	0,619021	saloon	0,662977
submarine	0,630688	PS2	0,645625	Disciples	0,614807	casinos	0,651787

Таблица 2

Ключевые слова для некоторых тематик, полученных LDA-моделью

№	Ключевые слова	Вероятная тематика
1	film, movi, stori, play, show, perform, charact, scene, music, star, follow, includ, peopl, around, end, song, first, band, act, role	Театр/драма
2	polic, kill, murder, offic, prison, arrestm investig, man, gang, case, death, crime, one, drug, shoot, killer, crimin, detect, escap, suspect	Криминал/триллер
3	war, american, forc, state, soldier, armi, unit, order, offic, german, govern, british, world, command, general, men, captain, group, agent, militari	Военные фильмы
4	tell, go, ask, see, say, leav, back, day, get, call, goe, come, home, next, want, find, night, one, know, time	Не поддаётся интерпретации
5	use, ship, destroy, island, human, earth, crew, attack, discov, world, control, escap, power, one, alien, monster, caus, find, time, rescu	Приключенческие фильмы
6	king, power, kill, find, use, one, evil, return, take, villag, save, princ, magic, howev, queen, order, fight, name, world, death	Исторические драмы

Таблица 3

Результаты перекрёстной проверки качества модели контентных рекомендаций

	<i>RMSE</i>	$F_1@5$	$F_1@10$
TF-IDF	0,9587	0,4509	0,5298
TF-IDF с n-граммами	0,9242	0,4684	0,5361
LSI	0,8913	0,4645	0,5393
LDA	0,9102	0,4715	0,5469
word2vec	0,8798	0,5056	0,5757

Представлена табл. 3 с результатами оценки качества модели на перекрёстной проверке по пяти блокам для рассматриваемых метрик.

Как видно из табл. 3, предложенный подход показывал высокое качество рекомендаций. Однако, так как данный подход был опробован только на описаниях фильмов, требуется провести дополнительные исследования данного подхода на других тематиках.

Заключение

В данной работе были рассмотрены способы построения контентных рекомендаций фильмов на основе различных методов построения векторных представлений текстов на естественном языке, а также предложена модель построения контентных рекомендаций на основе модели word2vec. Предложенный подход показал высокое качество в задаче рекомендаций фильмов на наборе данных MovieLens 1M.

Список литературы

1. Pazzani M., Billsus D. Content-based recommendation systems // The adaptive web. – 2007. – С. 325–341.

2. Said A. et al. Recommender systems evaluation // Workshop on Recommendation Utility Evaluation: Beyond RMSE, RUE 2012-Workshop at the 6th ACM International Conference on Recommender Systems, RecSys 2012. – 2012. – С. 21–23.

3. Palmer D.D. Text preprocessing // Handbook of Natural Language Processing, Second Edition. – Chapman and Hall/CRC, 2010. – С. 9–30.

4. Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I. Latent dirichlet allocation // Journal of machine Learning research. – 2003. – Т. 3, № Jan. – С. 993–1022.

5. Mikolov T. et al. Distributed representations of words and phrases and their compositionality // Advances in neural information processing systems. – 2013. – С. 3111–3119.

6. Musto C. et al. Word Embedding Techniques for Content-based Recommender Systems: An Empirical Evaluation // RecSys Posters. – 2015. URL: http://ceur-ws.org/Vol-1441/recsys2015_poster23.pdf (дата обращения: 15.01.2018).

7. Kusner M. et al. From word embeddings to document distances // International Conference on Machine Learning. – 2015. – С. 957–966.

8. Le Q.V., Mikolov T. Distributed Representations of Sentences and Documents // ICML. – 2014. – Т. 14. – С. 1188–1196.

9. Беляков Д.Е., Кантор В.В. Исследование эффекта добавления негативного сэмплирования при обучении факторизационных машин в задачах построения рекомендательных систем // Информационные процессы. – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 159–163.

10. Harper F.M., Konstan J.A. The movielens datasets: History and context // ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS). – 2016. – Т. 5, № 4. – С. 19.

УДК 654.071.13:004

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Хорольский В.Я., Аникуев С.В., Федосеева Т.С., Шемякин В.Н., Шарипов И.К.

*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,
Ставрополь, e-mail: f.tatyana.s@mail.ru*

Несмотря на повсеместное развитие информационных технологий во всех сферах человеческой деятельности, большая часть функционала сотрудников электросетевых предприятий не автоматизирована, в связи с чем они вынуждены зачастую принимать решения либо на основе своего опыта, либо вручную прорабатывать огромное количество справочной документации. В настоящей статье предлагается комплекс программных средств, позволяющий устранить недостатки автоматизированных систем управления электросетевыми предприятиями, имеющихся на современном рынке. Разработанный программный комплекс позволяет выполнять в автоматическом режиме такие функции, как определение числа ремонтных бригад, необходимых для устранения поломки в кратчайшие сроки, определение параметров того или иного оборудования, расчет надежности электрооборудования, используемого на электросетевом предприятии. Описаны алгоритмы работы разработанных программ, благодаря которым будет улучшена эффективность работы сотрудников и эффективность работы предприятия в целом.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, автоматизация, оптимальное управление, промышленные предприятия, управление технологическими процессами, информационные технологии, расчет надежности электрооборудования

SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATION OF ACTIVITIES OF OFFICIALS OF POWER GRID ENTERPRISES

Khorolskiy V.Ya., Anikuev S.V., Fedoseeva T.S., Shemyakin V.N., Sharipov I.K.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Stavropol State Agrarian University», Stavropol, e-mail: f.tatyana.s@mail.ru*

Despite the widespread development of information technologies in all spheres of human activities, a large part of the functionality of employees of power grid companies are not automated, therefore they are often forced to make decisions based on either my experience, or is forced to manually work through a huge amount of help documentation. In this article we propose a set of software tools to address the shortcomings of automated control systems of power grid enterprises available on the market today. The developed program complex allows to perform in automatic mode, functions such as determination of the number of repair crews required to eliminate breakdowns in the shortest possible time, the determination of the parameters of the equipment, calculation of reliability of electrical equipment used in power grid enterprise. Describes the algorithms developed programmes that will be improved employee productivity and the efficiency of the enterprise as a whole.

Keywords: automated control systems, automation, optimal control of industrial enterprises, control of technological processes, information technology, calculation of reliability of electrical equipment

Существующие на сегодняшний день автоматизированные системы управления деятельностью должностных лиц электросетевого предприятия имеют серьезные недостатки, которые снижают эффективность работы сотрудников предприятия и эффективность функционирования предприятия в целом. К основным недостаткам относятся следующие:

- отсутствуют механизмы научно обоснованного выбора количества ремонтных бригад;

- нет возможности автоматизировать процедуру выбора необходимого оборудования в той или иной ситуации ввиду отсутствия электронных баз данных для электросетевого оборудования;

- процедура расчета надежности по статистическим данным об отказах электрооборудования не автоматизирована;

- не автоматизированы крайне времязатратные процессы планирования (такие как процедуры технического обслуживания и ремонта).

Для решения данных проблем нами разработан программный комплекс, позволяющий автоматизировать деятельность должностных лиц электросетевых предприятий. За основу принята структура автоматизированного рабочего места руководителя электротехнической службы [1]. Структурная схема комплекса, полученного нами в процессе доработки указанной схемы, представлена на рис. 1.

В электроэнергетике значительная часть отказов связана с перерывами в подаче электроэнергии, которые вызывают значительные экономические потери. Также зачастую отсутствуют механизмы научно обоснованного выбора количества ремонтных бригад.



Рис. 1. Структурная схема программного комплекса для автоматизации деятельности должностных лиц электросетевого предприятия: ППРЭ – планово-предупредительный ремонт электрооборудования; ТОР – техническое обслуживание и ремонт

Предположим, что устранением текущих неисправностей занимается местный обслуживающий персонал, а дополнительные бригады привлекаются только для определенного объема повреждений. Тогда мы вправе рассматривать систему массового обслуживания как систему с отказом. Для электроэнергетики Северного Кавказа типичное среднее время устранения одной неисправности составляет 3,33 ч [2]. Пусть интенсивность потока отключения варьирует в диапазоне от 0,1 до 10 (0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; ..., 10), а число ремонтных бригад в зависимости от ситуации от 1 до 40. В качестве показателей эффективности будем рассматривать: вероятность обслуживания ($P_{\text{обс}}$) и коэффициент занятости персонала (k_3):

$$P_{\text{обс}} = 1 - p_n = p_0 \frac{p^n}{n!}, \quad (1)$$

$$k_3 = \frac{k}{n} = \frac{\rho(1 - p^n)}{n}. \quad (2)$$

Нами была разработана программа для двухкритериальной оптимизации при вы-

боре числа ремонтных бригад в электрических сетях, которая автоматически производит расчет и выдает результат расчета в виде таблицы (рис. 2). На этот программный продукт нами получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [3].

По результатам расчетов программный продукт автоматически строит график следующего вида (рис. 3).

Проследив динамику изменения показателей: вероятность обслуживания ($P_{\text{обс}}$) и коэффициент занятости персонала (k_3), можно сделать вывод о том, что число ремонтных бригад будет оптимальным в том случае, когда вероятность обслуживания и коэффициент занятости будут равны при постоянных значениях $\lambda = \text{const}$ и $t_{\text{обс}} = \text{const}$. Таким образом, условием оптимальности рассматриваемой задачи являются $n_{\text{опт}} = 4$ и $P_{\text{обс}} = 0,67$.

На графике (рис. 3) показана кривая оптимальных значений количества каналов обслуживания при постоянных значениях $\lambda = \text{const}$, $t_{\text{обс}} = \text{const}$ и $P_{\text{обс}} = k_3$ [4].

Результат	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Результат	0.1	0.750	0.950	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	0.25	0.548	0.841	0.958	0.991	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	0.5	0.375	0.658	0.840	0.938	0.980	0.994	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	1	0.251	0.439	0.616	0.758	0.861	0.928	0.967	0.986	0.995	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	2	0.131	0.257	0.377	0.491	0.596	0.690	0.772	0.841	0.895	0.934	0.962	0.979	0.989	0.995	0.998	0.999
	3	0.091	0.180	0.268	0.354	0.436	0.516	0.591	0.662	0.727	0.786	0.837	0.881	0.916	0.943	0.964	0.978
	4	0.070	0.139	0.207	0.275	0.341	0.406	0.469	0.531	0.590	0.647	0.701	0.751	0.796	0.838	0.874	0.905
	5	0.057	0.113	0.169	0.224	0.279	0.333	0.387	0.439	0.491	0.541	0.590	0.637	0.683	0.726	0.767	0.805
	6	0.048	0.095	0.142	0.189	0.236	0.282	0.328	0.373	0.418	0.462	0.506	0.549	0.590	0.631	0.671	0.709
	7	0.041	0.082	0.123	0.164	0.204	0.244	0.284	0.324	0.364	0.403	0.441	0.480	0.517	0.554	0.591	0.627
	8	0.036	0.072	0.108	0.144	0.180	0.215	0.251	0.286	0.321	0.356	0.391	0.425	0.459	0.493	0.526	0.559
	9	0.032	0.065	0.097	0.129	0.161	0.193	0.224	0.256	0.288	0.319	0.350	0.381	0.412	0.443	0.473	0.503
	10	0.029	0.058	0.087	0.116	0.145	0.174	0.203	0.232	0.260	0.289	0.317	0.345	0.374	0.402	0.429	0.457
Кз	0.1	0.250	0.160	0.111	0.083	0.067	0.055	0.048	0.042	0.037	0.033	0.030	0.028	0.026	0.024	0.022	0.021
	0.25	0.454	0.350	0.266	0.206	0.166	0.139	0.119	0.104	0.092	0.083	0.076	0.069	0.064	0.059	0.055	0.052
	0.5	0.625	0.548	0.466	0.390	0.326	0.276	0.238	0.208	0.185	0.166	0.151	0.139	0.128	0.119	0.111	0.104
	1	0.769	0.730	0.684	0.631	0.573	0.515	0.460	0.411	0.368	0.332	0.303	0.277	0.256	0.238	0.222	0.208
	2	0.869	0.855	0.838	0.817	0.794	0.766	0.735	0.700	0.662	0.622	0.582	0.543	0.507	0.473	0.443	0.416
	3	0.909	0.902	0.893	0.883	0.872	0.859	0.844	0.827	0.807	0.785	0.760	0.733	0.704	0.673	0.642	0.611
	4	0.950	0.926	0.921	0.915	0.909	0.901	0.895	0.884	0.874	0.862	0.848	0.833	0.816	0.797	0.776	0.753
	5	0.943	0.940	0.937	0.933	0.929	0.925	0.920	0.914	0.908	0.901	0.895	0.885	0.875	0.864	0.851	0.837
	6	0.951	0.950	0.948	0.945	0.943	0.939	0.936	0.932	0.928	0.924	0.919	0.914	0.907	0.901	0.893	0.885

Рис. 2. Фрагмент таблицы с результатами расчета

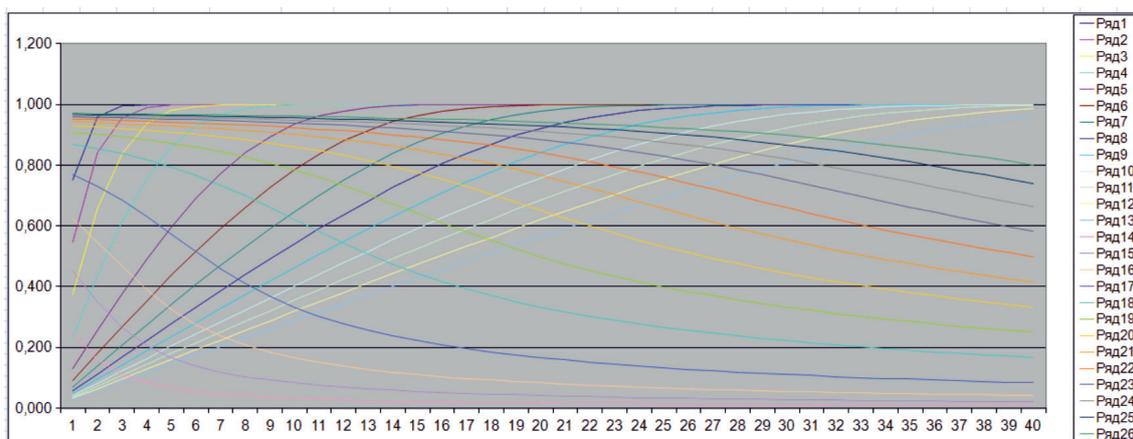


Рис. 3. Зависимость вероятности обслуживания и коэффициента занятости от числа ремонтных бригад

Полученные кривые позволяют сделать вывод о том, что при уменьшении числа каналов и потока заявок вероятность обслуживания и коэффициент занятости уменьшаются. Особенно это характерно для небольших значений n и λ [5].

Еще одна острая проблема – отсутствие электронных баз данных используемого оборудования, в связи с чем руководителям приходится вручную перерабатывать огромное количество справочной документации, что приводит к снижению эффективности работы предприятия. На сегодняшний день нами частично разработана база данных по электрооборудованию, где особое внимание нами было уделено опорам ЛЭП, потому что они являются одним из основных видов электрооборудования, используемым электросетевыми предприятиями. Данный программный продукт позволяет автоматически осуществлять процесс выбора необходимого оборудования по заданному критерию.

В практике работы районных электрических сетей ведутся специальные журна-

лы, в которых фиксируются сведения об отказах электрооборудования. В этой документации учитываются такие параметры, как тип оборудования, марка оборудования, время наступления его отказа, а также время восстановления работоспособного состояния оборудования. При этом к журналам предъявляется следующее требование: их форма должна предусматривать возможность обработки данных на персональном компьютере [6].

Причины отказов электрооборудования определяются посредством сбора и обработки информации об этих отказах, помимо этого происходит корректировка данных об интенсивностях отказов типовых элементов электрооборудования, на основании этих данных оптимизируется работа электросетевых предприятий по созданию необходимого резервного фонда оборудования. Эти статистические данные учитываются при расчете сроков проведения технических обслуживаний и ремонтов и расчете численности необходимого обслуживающего персонала.

Процедура расчета надежности по имеющимся статистическим данным может реализовываться как во время испытаний оборудования на надежность, так и на основе опыта его эксплуатации на протяжении определенного временного интервала.

Определение вида функции распределения и параметров распределения исследуемой случайной величины является наиболее типичной постановкой задачи при экспериментальной оценке надежности [7].

Процедура обработки используемого статистического материала включает в себя несколько этапов: на первом создается таблица, в которую заносят информацию о потоке отказов, на втором, на основе анализируемой информации, строится вариационный ряд, в котором случайная величина располагается в порядке возрастания.

Однако при наличии большого количества наблюдений этот вариационный ряд становится довольно неудобным для занесения в него статистических сведений.

Весь диапазон полученных значений случайной величины в этом случае делится на интервалы и производится подсчет количества членов выборки, приходящихся на каждый интервал. Полученное число делится на общее число наблюдений. Затем определяется частота, соответствующая каждому интервалу:

$$p_i^* = \Delta n_i / N, \quad (3)$$

где N – суммарное количество наблюдений; Δn_i – общее число отключений, наблюдаемое в данном интервале.

На следующем этапе на базе сформированного статистического ряда строится гистограмма, по оси абсцисс которой откладываются разряды.

Далее, анализируя вид полученной гистограммы, строится гипотеза о предполагаемом законе распределения для случайной величины и в соответствии с этим законом определяются ее основные параметры. Впоследствии рассчитывается теоретическая вероятность попадания анализируемой случайной величины в каждый интервал, и по полученным данным происходит построение теоретической кривой.

Однако при анализе полученных гистограммы и выравнивающей её кривой можно заметить, что между ними имеется определенная погрешность. В реальных условиях избежать этого невозможно. Поэтому остро встает вопрос о необходимости согласования теоретических и реальных данных. Для решения этой задачи осуществляется проверка по так называемым критериям согласия. Наилучшие результаты в этом плане дают критерии Колмогорова и χ^2 -Пирсона.

В случае использования первого из перечисленных критериев в качестве меры расхождения между теоретическим и статистическим распределением рассматривается максимальное значение модуля разности между теоретической и экспериментальной кривыми. Тогда, условие согласованности определяется следующей формулой:

$$\Delta x = \Delta F \sqrt{N} \leq 1, \quad (4)$$

где $\Delta F = \max|F^*(t) - F(t)|$ – максимальное отклонение экспериментальной кривой от кривой, построенной по теоретическим данным;

N – суммарное количество анализируемых экспериментальных данных.

Но указанный критерий имеет недостаток: для его использования необходимо знать не только вид функции распределения, но и её параметры, что далеко не всегда можно реализовать в реальных условиях, а если опираться только на статистические данные, можно получить абсолютно неверные результаты.

Второй критерий не требует построения самого закона распределения случайной величины. Для его использования достаточно задаться только общим видом функции распределения, а числовые параметры, которые в нее входят, можно определить экспериментальным путем.

Далее определяется мера расхождения по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\Delta n_i - N p_i)^2}{N p_i}, \quad (5)$$

где k – полное число интервалов полученного ряда;

p_i – вероятность попадания случайной величины в i -й интервал, которая вычисляется для использования теоретического распределения;

N – суммарное количество проведенных испытаний.

Для применения критерия Пирсона необходимым условием является, чтобы $N \geq 50 \dots 60$, $k > 6 \dots 8$. При этом распределение Пирсона зависит от числа степеней свободы $s = k - z - 1$, где z – общее число рассчитываемых параметров распределения [8].

Для того чтобы проверить гипотезу об экспоненциальном законе распределения случайной величины, под которой будем понимать время восстановления, нужно определить следующие параметры:

Среднее время восстановления оборудования:

$$T_B^* = \sum_{i=1}^k \bar{t}_i p_i^*. \quad (6)$$

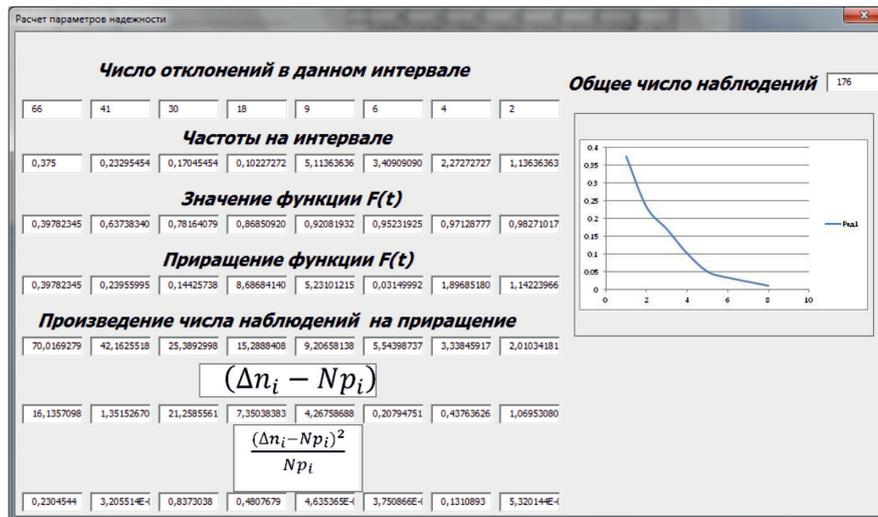


Рис. 4. Интерфейс программы для расчета надежности по статистическим данным об отказах электрооборудования

Задаться значениями теоретической кривой, которая строится по следующему закону:

$$F(t) = Q(t) = 1 - e^{-t/T_B^*} \quad (7)$$

При этом поэтапно рассчитываются промежуточные величины, которые необходимы для получения критерия. Для решения этой задачи используются величины p_i , которые равны приращению рассматриваемой функции распределения $F(t)$ на i -м анализируемом участке (рис. 4).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 \frac{(\Delta n_i - N p_i)^2}{N p_i} \quad (8)$$

По результатам вышеизложенных исследований нами разработан программный продукт в среде Visual Basic for Application, который позволяет произвести все вышеуказанные вычисления, опираясь на исходные данные об отказах электрооборудования (рис. 4). На этот программный продукт нами подана заявка и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [9].

Таким образом, проведя анализ имеющихся сегодня на рынке автоматизированных систем управления электросетевыми предприятиями, авторы сделали вывод, что они имеют ряд недостатков, из-за чего должностным лицам приходится принимать важные решения, например такие как, определение числа ремонтных бригад, необходимых для устранения отказов в кратчайшие сроки, определение параметров того или иного оборудования, используемого на предприятии, и ряд других, основываясь на своем личном опыте, либо им приходится вручную перера-

батывать огромное количество справочной документации, что приводит к снижению эффективности их работы. Предлагаемые в данной статье программные продукты позволяют устранить эти недостатки и, соответственно, вывести автоматизацию электросетевых предприятий на новый уровень.

Список литературы

1. Основные научно-технические требования к созданию и развитию автоматизированных систем управления районов электрических сетей (АСУ РЭС). – М.: РАО ЕЭС России, ВНИИЭ, 1996. – 67 с.
2. Хорольский В.Я., Аникуев С.В., Федосеева Т.С., Шарипов И.К. Вероятностно-статистическая оценка аварийных выключений в городских электрических сетях // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17054> (дата обращения: 30.01.2018).
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014662096. Программа для двухкритериальной оптимизации при выборе числа ремонтных бригад в электрических сетях / Хорольский В.Я., Аникуев С.В., Воронников И.Н., Федосеева Т.С., Мастепаненко М.А., Шарипов И.К. Заявка № 2014619981; заявл. 06.10.14; опубл. 24.11.14.
4. Секушин Н.А. Автоматизированное управление предприятием: учеб. пособие / Н.А. Секушин. – Сыктывкар: ЛСИ, 2013. – 42 с.
5. Основные положения по созданию автоматизированных систем управления предприятий электрических сетей (АСУ ПЭС). – М., Минэнерго СССР, ВНИИЭ, ГВЦ, ЦДУ ЕЭС СССР, Энергосетьпроект, Союзтехэнерго под руководством Главного конструктора ИОАСУ-Энергия А.Ф. Дьякова, 1989. – 21 с.
6. Яшура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник / А.И. Яшура. – М.: ЭНАС, 2010. – 504 с.
7. Помогаев Ю.М. Эксплуатация электрооборудования на предприятиях агропромышленного комплекса: учебное пособие / Помогаев Ю.М., Пархоменко Г.А., Коробов Г.В.: под общ. ред. Пархоменко Г.А. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – 414 с.
8. Система показателей для технико-экономической оценки дипломных проектов [Электронный ресурс]. – URL: <http://rushkolnik.ru/docs/index-37594896.html> (дата обращения 30.01.2018).
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617795. Расчет надежности по статистическим данным об отказах электрооборудования / Хорольский В.Я., Аникуев С.В., Воронников И.Н., Федосеева Т.С., Мастепаненко М.А., Шарипов И.К. Заявка № 2014615548; заявл. 10.06.14; опубл. 04.08.14.

УДК 691.49

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВТОРИЧНОГО ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ АРБОЛИТА

¹Шевченко В.А., ¹Лебедева Т.Г., ¹Киселев В.П., ²Чупрова Н.А.,
¹Иванова Л.А., ¹Терехова И.И.

¹ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kafsmi@mail.ru;

²ФГАОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнёва», Красноярск

В настоящей статье приведены данные по исследованию свойств вторичного древесного заполнителя на основе отработанных древесно-стружечных плит, который можно использовать в технологии арболита и изделий из него. Традиционный древесный заполнитель, получаемый из обычной древесины, характеризуется повышенной химической активностью по отношению к цементному вяжущему за счет содержания в древесине экстрактивных веществ, отрицательно влияющих на процесс гидратации вяжущего. Заменить традиционный заполнитель можно вторичным, получаемым при переработке древесно-стружечных плит. Значительный объем отработанных древесно-стружечных плит образуется при переконфигурировании мебели в образовательных, учебных, офисных и других учреждениях. Проведенными исследованиями установлено, что в сравнении с традиционным древесным заполнителем, получаемым из неделовой древесины, вторичный заполнитель из отработанных древесно-стружечных плит имеет оптимальный зерновой состав согласно нормативным документам, регламентирующим требования к сырьевым материалам для арболита. Так же методами физико-химического анализа было установлено, что во вторичном заполнителе из отработанных древесно-стружечных плит после длительного срока их эксплуатации в значительно меньшем количестве присутствуют экстрактивные вещества, отрицательно влияющие на процесс гидратации цементного вяжущего, чем в свежем древесном заполнителе. На безопасность использования вторичного заполнителя указывает тот факт, что в нем практически отсутствует формальдегид, содержащийся в связующих смолах, которые применяются в технологии древесно-стружечных плит.

Ключевые слова: арболит, вторичный древесный заполнитель, древесно-стружечные плиты, экстрактивные вещества

INVESTIGATION OF SECONDARY WOOD FILLER FOR WOOD-WOOL SLAB

¹Shevchenko V.A., ¹Lebedeva T.G., ¹Kiselev V.P., ²Chuprova N.A.,
¹Ivanova L.A., ¹Terekhova I.I.

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kafsmi@mail.ru;

²Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk

This article is data on the properties of the secondary wood filler based on waste wood chipboards, which can be used in technology of wood-wool slab and product from it. Traditional wood filler obtained from a conventional timber is characterized by increased chemical activity with respect to cement binders due to content of the wood extractives, adversely affecting the binder hydration process. Replace the traditional aggregate can be secondary, obtained during the processing of chipboard. A significant amount of waste chipboard formed by exchange furniture for educational, training, office and other institutions. Research evidence that, compared with traditional wood filler derived from non-timber, from spent secondary filler flakeboards has an optimum grain structure according to the regulations governing the requirements to raw materials for wood-wool slab. As methods of physico-chemical analysis, it was found that in the secondary aggregate of waste chipboard after a long period of operation considerably fewer extractives present adversely affecting the hydration process of the cement binder than in the fresh wood filler. The safety of use of secondary aggregate is indicated by the fact that there are practically formaldehyde contained in the binder resin, which are used in the technology of chipboard.

Keywords: wood-wool slab, secondary wood filler, chipboard, extractives

Одной из актуальных задач промышленности строительных материалов является расширение номенклатуры местной продукции за счет вторичного использования попутных продуктов различных отраслей промышленности и жизнедеятельности человека. Таким востребованным строительным материалом, потребность в котором значительно возрастает в период массового малоэтажного жилищного строительства, можно считать арболит, или деревобетон, получаемый на основе древесного заполнителя и минеральных вяжущих по тех-

нологии, традиционной для изготовления изделий из различных видов цементных бетонов. Арболит используется как стеновой материал для возведения несущих стен малоэтажных зданий и для устройства межкомнатных перегородок.

В традиционной технологии изготовления арболита в качестве заполнителя используются древесная щепа и опилки, получаемые из неделовой древесины и отходов деревообрабатывающей промышленности. Этот заполнитель, получаемый из различных древесных пород, наряду с присущими

ему положительными свойствами, такими, как низкая плотность при достаточной прочности, хорошая смачиваемость, легкость обработки, имеет существенное отрицательное качество – повышенную химическую активность, обусловленную наличием в составе древесины легкогидролизуемых и экстрактивных веществ, так называемых «цементных ядов». Легкогидролизуемые вещества представлены легкорастворимыми простейшими сахарами: сахарозой, глюкозой, фруктозой. В результате адсорбции и под влиянием молекулярных сил сцепления они ориентируются вокруг цементных зерен, образуя мельчайшее покрытие – адсорбционный слой. Частицы цемента, покрытые такой защитной оболочкой, теряют способность сцепляться друг с другом под влиянием молекулярных сил. Образованная оболочка затрудняет доступ воды к зернам цемента и отвод продуктов гидратации от них, что приводит к торможению гидролиза и гидратации цемента, а при определенной концентрации углеводов – к прекращению этих процессов [1].

В состав экстрактивных веществ входят алифатические и ароматические кислоты и их соли, спирты, фенолы, альдегиды, сложные и простые эфиры, пигменты, то есть комплекс соединений, образующихся в растительной клетке в результате ее жизнедеятельности. Экстрактивные вещества придают древесине характерные свойства – цвет, запах, вкус, сопротивляемость насекомым и грибам – и также оказывают действие, препятствующее протеканию в вяжущем процессах гидролиза и гидратации [2].

Для получения высококачественных древесно-цементных композиций содержащиеся в древесине легкогидролизуемые и экстрактивные вещества необходимо локализовать, для чего наполнитель предварительно обрабатывают специальными веществами – минерализаторами, которые частично удаляют из древесины нежелательные соединения или переводят простейшие сахара в нерастворимые или безвредные для минерального вяжущего соединения [1]. Минерализация предполагает использование достаточно сложных технологических процессов, требующих многоступенчатой обработки наполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки.

В качестве альтернативы традиционной технологии арболита на первичном древесном наполнителе возможно использование вторичного древесного наполнителя, в частности – щепы, полученной из отслуживших свой срок древесно-стружечных плит. Объ-

ем таких отходов постоянно увеличивает-ся при перекомплектовании мебели в различных учреждениях. Кроме этого, при изготовлении древесно-стружечных плит образуется определенный объем некондиционных изделий, которые также можно использовать для дальнейшей переработки на вторичный наполнитель.

Цель работы заключалась в исследовании свойств вторичного древесного наполнителя с точки зрения использования его в технологии арболита.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследований в работе использовали древесную щепу, полученную из отслуживших свой срок древесно-стружечных плит. Для сравнения исследовали свойства свежей древесной щепы, полученной из неделовой древесины традиционным путем в качестве наполнителя для арболита, и щепу, полученную из свежих древесно-стружечных плит.

Физико-механические свойства древесного наполнителя и содержание в нем экстрактивных веществ определяли согласно ГОСТ 54854-2011 «Арболит и изделия из него».

Количественный химический анализ растительного сырья проводили в определенной последовательности. В подготовленном для анализа сырье устанавливали содержание влаги, зольных компонентов и азотсодержащих веществ. Остальные компоненты определяли в сырье, предварительно освобожденном от липидов экстракцией органическими растворителями, чаще всего этиловым эфиром, спиртом, этилацетатом, изопропанолом и др. [2].

Количество легкогидролизуемых веществ в наполнителе определяли методом, основанном на восстановлении сахарами основной соли двухвалентной меди до ее закиси. Согласно этому методу, содержание сахара определяют по количеству перманганата калия, пошедшего на титрование двухвалентного железа, образовавшегося в результате реакции трехвалентного железа с закисью меди.

Метод основан на процессе экстракции веществ при нагревании материала с органическим растворителем. В ходе эксперимента была произведена количественная оценка экстрактивных веществ по аликвоте и проведен сравнительный анализ древесного сырья.

Для идентификации связующего, используемого при производстве древесностружечных плит, была проведена ИК-спектроскопия образцов древесного наполнителя. Оценка химической структуры древесно-стружечных плит проводилась на

ИК-спектрометре Thermo Scientific Nicolet 380. Для повышения точности полученных результатов образцы древесных плит перед исследованием были тонко измельчены до получения пылевидной фракции.

Количественное содержание формальдегида определяли методом WKI, основанным на адсорбции формальдегида водой. Согласно этой методике испытуемые образцы подвешивались в стеклянной емкости над поверхностью воды. Емкости с образцами помещались в термощкаф с температурой 40 ± 1 °C на 24 часа. После этого пробы воды смешивали с раствором щелочи (NaOH), добавляли в избытке титрованный раствор йода (раствор окрасился в бледно-желтый цвет) и после выдержки подкисляли серной кислотой, а затем титровали избыток йода раствором тиосульфата натрия до появления светло-желтой окраски. Добавив несколько капель раствора крахмала, продолжали титровать до бледно-синей окраски, при этом титрование заканчивали, когда добавление последней капли тиосульфата натрия полностью обесцвечивало раствор. Количество формальдегида (X), в мг/100г плиты, вычисляли по формуле

$$X = \frac{0,75(b-a) \cdot (100+W)}{m},$$

где b – количество 0,01 N раствора тиосульфата натрия, пошедшего на титрование контрольного опыта, мл;

a – количество 0,01 N раствора тиосульфата натрия, пошедшего на титрование избытка йода, мл;

m – масса пробы заполнителя до испытания, г;

W – влажность пробы заполнителя.

Физико-химические исследования вторичного заполнителя были проведены в Центре коллективного пользования Сибирского федерального университета и на кафедре химической технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного университета науки и технологий, сотрудникам которых авторы выражают искреннюю благодарность.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным требованием по физико-механическим характеристикам, которое предъявляется к древесному заполнителю для арболита, является его гранулометрический (фракционный) состав: по длине размеры частиц не должны превышать 40, по ширине 10, по толщине 5 мм [3].

В исследованиях фракционный состав вторичного древесного заполнителя определяли рассевом навески на механических лабораторных анализаторах с движением сит в горизонтальной плоскости. Рассортированные фракции (остаток на ситах) взвешивали с погрешностью до 1 г и определяли процентное содержание каждой фракции. Результаты отсева приведены в табл. 1.

Таблица 1

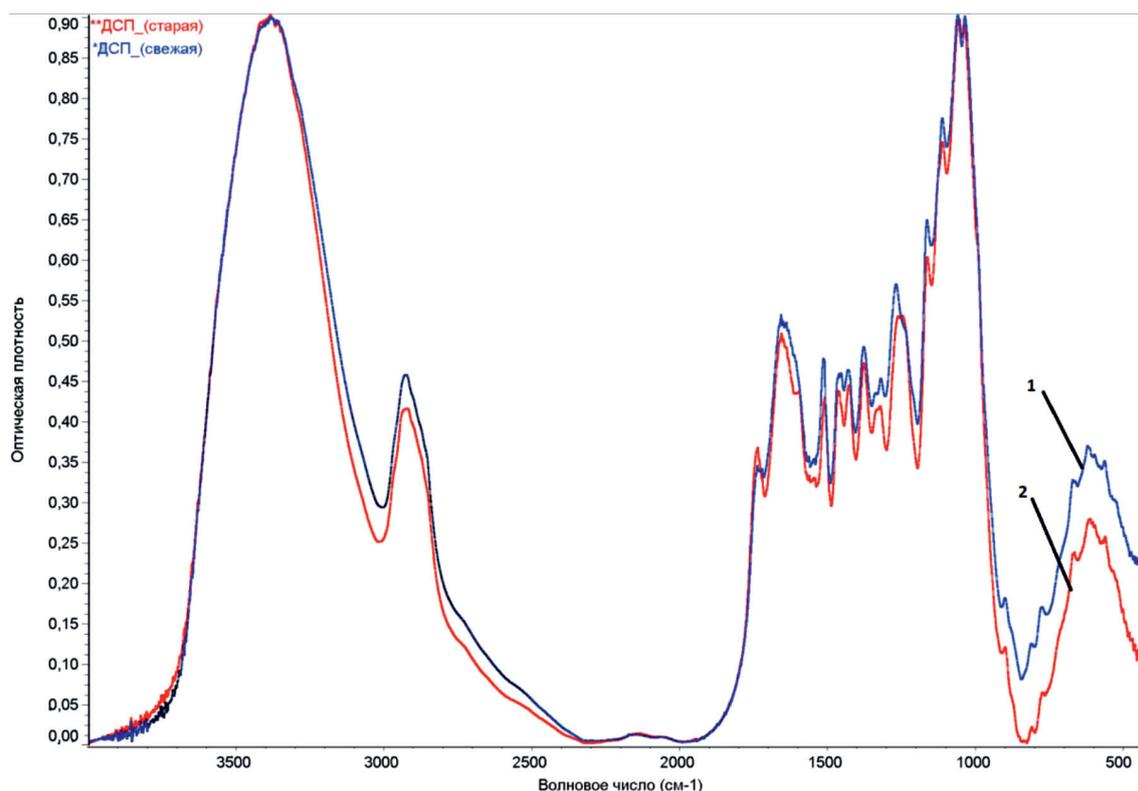
Фракционный состав вторичного древесного заполнителя

Размеры отверстий контрольного сита, мм	Частный остаток		Полный остаток, %	Требования ГОСТ 19222
	г	%		
20	0		0	До 5
10	202	20,2	20,2	От 20 до 40
5	434	43,4	63,6	От 40 до 75
2,5	277	27,7	91,3	От 90 до 100
менее 2,5	87	8,7	100	До 10

Таблица 2

Анализ химического состава древесного заполнителя

	Показатель	Вид древесного заполнителя		
		традиционный	вторичный из отработанных ДСП	из свежизготовленных ДСП
1	Влажность, %	5,65	5,04	3,2
2	Коеф. сухости	0,94	0,95	0,97
3	Масса веществ растворимых в горячей воде, г	0,026	0,008	0,016
4	Количество экстрактивных веществ, %	16,48	6,28	8,53
5	ЛГП (легкогидролизуемые вещества), %	13,47	20,05	14,74
6	ТГП (трудногидролизуемые вещества), %	41,06	43,9	39,48
7	Лигнин, %	29,1	28,6	33,95
8	Всего, %	98,51	99,20	96,7



ИК-спектры заполнителя из ДСП: 1 – свежееизготовленной; 2 – отработанной

Как видно из представленных данных, по фракционному составу вторичный наполнитель является пригодным для использования в составе арболита. Насыпная плотность наполнителя из переработанных ДСП составила 211 кг/м³, что также свидетельствует о его пригодности для изготовления арболита.

Для определения химического состава вторичного древесного наполнителя был произведен анализ содержания в нем легко-, трудногидролизуемых и экстрактивных веществ в сравнении с традиционным древесным наполнителем и с древесной щепой из свежееизготовленных ДСП. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Как показывают представленные данные, вторичный наполнитель содержит почти в три раза меньше экстрактивных веществ, наиболее нежелательных в составе древесно-цементных композиций, поэтому с этой точки зрения использовать вторичный наполнитель в составе арболита взамен традиционного, требующего предварительной обработки, предпочтительней.

На следующей стадии исследований была произведена санитарно-гигиеническая оценка вторичного древесного наполнителя на предмет наличия в нем формальдегида,

как одного из компонентов синтетических смол, используемых при изготовлении древесно-стружечных плит. Формальдегид представляет собой бесцветный газ с резким запахом, легко растворим в воде, обладающий раздражающим действием на органы дыхания, глаза и кожный покров, а также аллергенным и мутационным эффектами [4].

В соответствии с ГОСТ 10632-2014 принята классификация древесно-стружечных плит по выделению формальдегида, согласно которой выделяют следующие классы эмиссии: E3 – выше 30 мг/100 г сухой плиты; E2 – от 10 до 30 мг/100 г сухой плиты; E1 – от 5 до 10 мг/100 г сухой плиты; E0 – от 0,5 до 5 мг/100 г сухой плиты [5].

Качественный анализ наполнителя был произведен методом ИК-спектроскопии.

Полученные ИК-спектры древесного наполнителя из отработанных и свежееизготовленных ДСП представлены на рисунке.

Идентичность пиков указывает на то, что в обеих пробах ДСП присутствуют одинаковые связующие вещества, соответствующие волновому числу альдегидов (1765–1645 см⁻¹), а разная высота пиков свидетельствует о том, что связи молекул являются менее прочными вследствие

превращения формальдегидной смолы в трехмерные полимеры в образце из отработанных ДСП, что позволяет предположить меньшее содержание в нем формальдегида.

Количественным анализом было подтверждено это предположение, так как в заполнителе из отработанных ДСП содержание формальдегида составило 4,8 мг/100 г сухой плиты, что соответствует классу эмиссии по выделению формальдегида E0, а в свежизготовленных ДСП класс эмиссии составляет E2 при содержании формальдегида 15,5 мг/100 г сухой плиты.

Выводы

По результатам проведенных исследований было установлено следующее:

1. Вторичный древесный наполнитель по физико-механическим характеристикам соответствует требованиям ГОСТ.

2. По химическому составу (наличие экстрактивных веществ) наполнитель из отработанных древесно-стружечных плит отличается значительно низким (почти в 3 раза) их содержанием, что позволяет его

использовать в технологии арболита без дополнительной предварительной обработки.

3. С точки зрения санитарно-гигиенических требований (по содержанию остаточного формальдегида) вторичный древесный наполнитель соответствует классу эмиссии E0.

4. По совокупности физико-механических свойств и химического состава вторичный древесный наполнитель из отработанных древесно-стружечных плит может быть рекомендован для использования в технологии арболита и изделий из него.

Список литературы

1. Чижова М.А. Технология композиционных материалов и изделий: учеб. пособие / А.П. Чижов, А.И. Криворотова. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 59 с.

2. Рязанова Т.В. Химия древесины: учебное пособие для студентов вузов / Т.В. Рязанова. – Красноярск: СибГТУ, 2011. – 159 с.

3. ГОСТ 54854-2011. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 24 с.

4. Захарова А.В. Влияние формальдегида на организм / А.В. Захарова // Международный студенческий научный вестник. – 2014. – № 3. URL: <https://www.eduherald.ru/article/view?id=11900> (дата обращения: 30.01.2018).

5. ГОСТ 10632-2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 11 с.

УДК 379.821

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГРАММЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФИЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНЫХ УСЛУГ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ

Агеева Г.Ф., Сафиуллина А.А.

ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма»,
Казань, e-mail: ageevagf@list.ru

Дополнительное образование – это важная составляющая часть системы школьного образования, что позволяет расширить знания о возможностях и потенциале школьников и создавать предпосылки формирования круга нового общения, что позволяет в полной мере использовать все возможности и потенциал школьного образования за счет расширения и углубления школьных знаний в деятельности различной направленности. Для любой общеобразовательной организации, предоставляющей услуги, на первом месте стоит их высокое качество и удовлетворенность ими потребителей, а именно школьников. Функция качества предлагаемых услуг представляет собой формализованное описание зависимости его восприятия и оценки в целом от восприятия. Таким образом, одной из важнейших задач образовательного учреждения является повышение и улучшение качества дополнительного образования. В рамках нашего исследования была апробирована программа улучшения качества предоставления дополнительных физкультурно-спортивных услуг, включающая в себя комплекс мероприятий физкультурно-спортивной направленности, мастер-классы от действующих спортсменов по различным видам спорта, беседы с действующими спортсменами и регулярные встречи администрации учебного заведения с родителями и педагогическим составом лицея. Таким образом, в результате проведения мероприятий удалось повысить коэффициент качества по следующим параметрам: «подбор средств, методов, методических приемов обучения, тренировки и оздоровления» и «новаторство, успешность, известность, престижность, узнаваемость общеобразовательного учреждения».

Ключевые слова: дополнительное образование, программа, дети школьного возраста, основные и дополнительные физкультурно-спортивные услуги, качество физкультурно-спортивных услуг, структурная схема

EFFICIENCY OF THE PROGRAM FOR IMPROVING THE QUALITY OF ADDITIONAL HEALTH-RELATED AND SPORTS SERVICES OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Ageeva G.F., Safiullina A.A.

Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, e-mail: ageevagf@list.ru

Additional education is an important part of the school education system. It allows to expand knowledge of school students' opportunities and potential and creates prerequisites for forming a new communication circle that allow full use of all all possibilities and potential of school education by deepening and expanding school knowledge in activities of a different orientation. For any general education organization, which provide services their high quality and customer satisfaction with services are on first place, especially school students. Quality function of offered services is a formal description dependence of his perception and assessment as a whole from perception. Thus, one of the most important tasks of an educational organization is to improve the quality of additional education. As part of our research a quality improvement program quality of providing additional sports services was tested. It included: master classes from existing athletes in various sports, conversations with active athletes and regular meetings of the administration of the educational institution with the parents and the pedagogical staff of the Lyceum. As a result of the activities, it was possible to increase the quality factor by the following parameters: «selection of means, methods, methodical methods of training, rehabilitation, training» and «innovation, success, fame, prestige, recognition of the educational institution».

Keywords: additional education, program, school-age children, basic and additional health-related and sports services, quality health-related and sports services, structural scheme

В настоящее время к качеству образования предъявляются новые требования, которые рассматриваются как социальная категория, определяющая результативность и состояние образовательного процесса в системе школьного образования, а также его соответствие ожиданиям и потребностям различных социальных групп [1]. В связи с этим одной из главных задач совершенствования региональной образовательной системы является анализ качества дополнительного образования, так как диагностика на данный мо-

мент является обязательным компонентом любой образовательной системы [2].

Дополнительное образование школьников является одним из ведущих факторов развития личности. Оно включает в себя развитие интересов и индивидуальных способностей школьника, гражданское воспитание, допрофессиональную и начальную профессиональную подготовку, подготовку к самостоятельной жизни, обучение досуговой деятельности, формирование готовности к непрерывному образованию, иными словами охваты-

вает все сферы жизнедеятельности растущего человека [3, 4].

Общеобразовательные учреждения предоставляют услуги по основным и дополнительным образовательным програм-

мам, общеобразовательным программам повышенного уровня, преподаванию специальных курсов, индивидуальным и групповым занятиям, факультативным курсам по выбору [5].

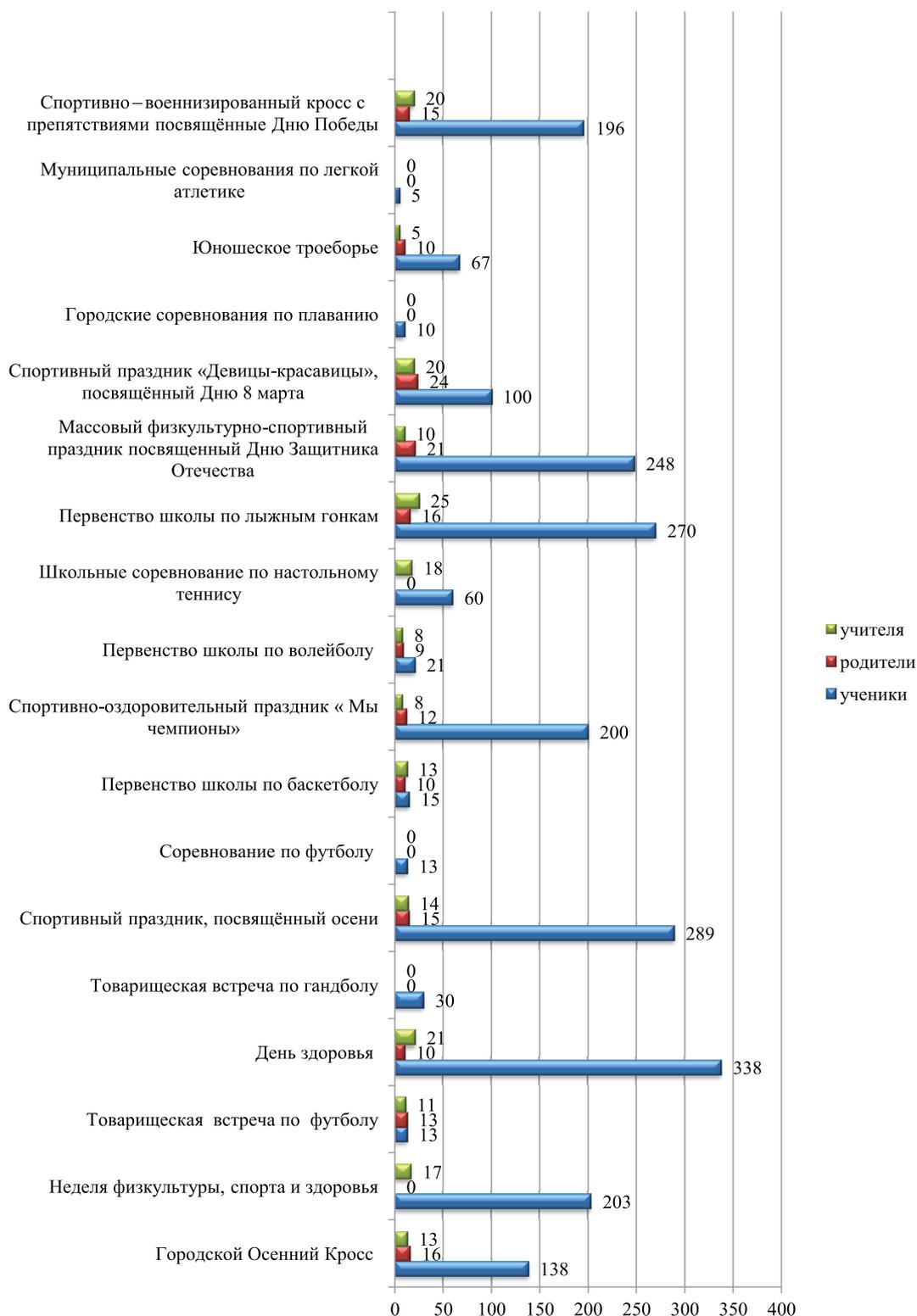


Рис. 1. Количество участников в физкультурно-спортивных и массовых мероприятиях

Цель исследования: изучить эффективность влияния программы повышения качества дополнительных физкультурно-спортивных услуг, предоставляемых образовательным учреждением.

Задачи исследования

1. Определить качество дополнительных физкультурно-спортивных услуг по концептуальной модели SERVQUAL.

2. Разработать и апробировать программу повышения качества дополнительных физкультурно-спортивных услуг образовательного учреждения.

3. Разработать структурную схему «Дерево качества» по оценке качества физкультурно-спортивной деятельности образовательных школ и оценить качество рассматриваемых услуг образовательных школ.

В ходе исследования применялись следующие методы исследования: анализ научно-методической литературы, анкетирование, математическая обработка полученных данных.

Проведенный анализ физкультурно-спортивной деятельности образовательного учреждения включал в себя:

1) описание дополнительных физкультурно-спортивных услуг, предоставляемых образовательным учреждением в 2014–2017 гг., в ходе которого было выявлено, что наиболее посещаемыми дополнительными физкультурно-спортивными занятиями были в 2014/2015 гг. – баскетбол, в 2015/2016 гг. – национальная борьба и в 2016/2017 гг. – армспорт. В среднем в 2014/2015, 2015/2016 и 2016/2017 уч.г., дополнительные занятия посещали 21%, 22% и 27% учеников из общего числа учащихся лицея соответственно;

2) определение целевых установок к дополнительным физкультурно-спортивным занятиям. Так в 2014/2017 гг. первостепенными побуждающими мотивами к занятиям физической культурой и спортом у учеников лицея являются мотивы «Хочу быть здоровым», «Просто интересно» и «Нравится быть спортсменом»;

3) анкетирование родителей учеников (2014–2017 гг.), по результатам которого было выявлено, что 35% родителей на вопрос «При каких условиях вы готовы оплачивать допол-

нительные занятия и покупку экипировки для занятий спортом и физической культурой вашего ребенка?» ответили «Главное, чтобы нравилось ребенку», а 38% – волнует качество предоставляемых услуг.

С целью выявления качества физкультурно-спортивных услуг, а именно удовлетворенности или неудовлетворенности потребителей, была использована концептуальная модель SERVQUAL [2]. Анкета была модифицирована к специфике деятельности образовательных учреждений, предоставляющих дополнительные физкультурно-спортивные услуги, и включала в себя 13 вопросов по пяти критериям: «материальность», «отзывчивость», «сочувствие», «надежность», «убежденность».

Совместно с учителями и администрацией лицея была разработана программа по повышению качества предоставления дополнительных физкультурно-спортивных услуг, которая включала в себя комплекс мероприятий физкультурно-спортивной направленности, мастер классы от действующих спортсменов по различным видам спорта, беседы с действующими спортсменами и регулярные встречи администрации учебного заведения с родителями и педагогическим составом лицея. Главной задачей программы было – повысить интерес учащихся к дополнительным занятиям физической культурой и спортом (рис. 1, таблица).

Блок 1. «Физкультурно-оздоровительные и спортивно-массовые мероприятия» включал 22 мероприятия и 18 из них реализовано на момент завершения исследования. Участие учеников, учителей-предметников и родителей учащихся в мероприятиях представлено на рис. 1.

В рамках блока 2 программы «Тематические беседы с учениками Лицея» было проведено три беседы на следующие темы: «О физических качествах и общих правилах определения уровня их развития», «Новые и популярные виды спорта, современные тенденции в спортивном мире», и «Самостоятельная организация активного отдыха и досуга». В мероприятиях приняли участие 198 учеников. Беседы были проведены совместно с учителями физической культуры.

Участие в мероприятиях в рамках реализации программы по повышению качества дополнительных физкультурно-спортивных услуг

№ п/п	Блок	Количество мероприятий	Количество участников
1	Физкультурно-спортивно-массовые мероприятия	18	350
2	Беседы с действующими спортсменами	3	210
3	Мастер-классы с действующими спортсменами	4	5

Блок 3 программы включал три мастер-класса от действующих спортсменов.

На основе анкеты, которая позволила узнать мнение учеников о качестве дополнительных физкультурно-спортивных услуг, а именно удовлетворенности или их неудовлетворенности, лежит концептуальная модель SERVQUAL. Анкета была адаптирована к специфике деятельности образовательных учреждений, предоставляющих дополнительные физкультурно-спортивные услуги, и требованиям методики оценки качества предоставляемых услуг, для дальнейшего построения структурной схемы показателей качества услуг учреждения, предоставляющей физкультурно-спортивные услуги, «Дерево качества».

«Дерево качества» состоит из 6 разделов, которые также подразделяются на части, для более глубокого анализа качества предоставляемых услуг (рис. 2).

На рис. 2 видно, что пяти критериям соответствуют десять параметров, которые позволяют более подробно рассмотреть критерии концептуальной модели

SERVQUAL и позволяют оценить качество рассматриваемых услуг, а также увидеть их «слабые» и «сильные» стороны. Это облегчает построение плана по проведению ряда мероприятий по устранению недочетов и тем самым повышению качества услуг.

По полученным данным была построена структурная схема показателей качества услуг учреждения, предоставляющей физкультурно-спортивные услуги «Дерево качества» для лицея-интерната (рис. 3). Как видно из рисунка, коэффициент качества услуг имеет значения, которые имеют незначительное отрицательное отклонение от нормы по таким параметрам, как «подбор средств, методов, методических приемов обучения, оздоровления, тренировки», «характер физической (объем, интенсивность, тип) нагрузки», «результативность и надежность процессов обучения и тренировки», «профильная специализация и уровень квалификации тренеров», «профессионализм и коммуникативные способности тренерско-преподавательского состава», «эффективное разрешение проблем учеников».

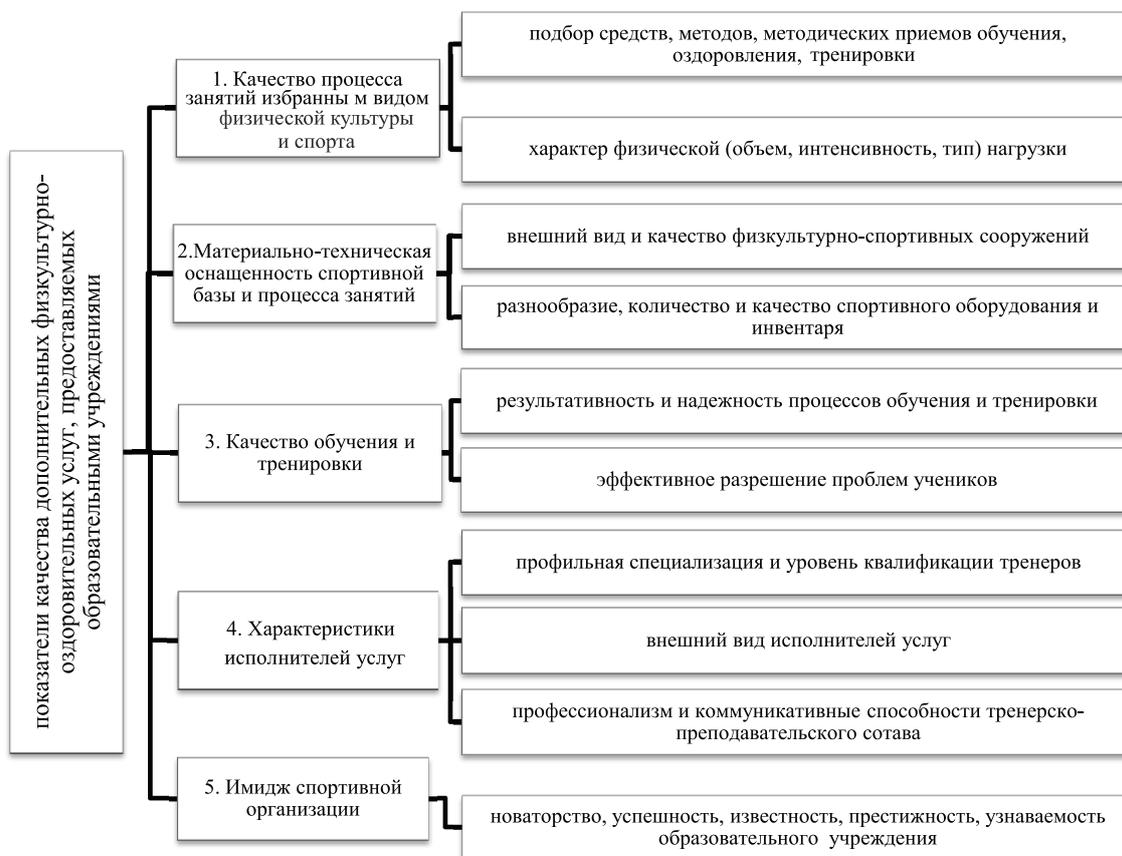


Рис. 2. Структурная схема показателей качества услуг учреждения, предоставляющего физкультурно-спортивные услуги – «Дерево качества»



Рис. 3. Структурная схема показателей качества услуг учреждения, предоставляющего физкультурно-спортивные услуги, «Дерево качества» для лицея-интерната в 2015/2016 уч.г.

По таким параметрам, как «внешний вид исполнителей услуг», «разнообразие, количество и качество спортивного оборудования и инвентаря», «новаторство, успешность, известность, престижность, узнаваемость образовательного учреждения», коэффициент качества услуг имеет значение, имеющее значительное отрицательное отклонение от нормы.

На рис. 4 представлена структурная схема показателей качества услуг учреждения, предоставляющей физкультурно-спортивные услуги «Дерево качества» для лицея-интерната, которая была построена по итогам внедрения программы по повышению качества дополнительных физкультурно-спортивных услуг.

По представленному на рис. 4 «Дереву качества» видно, что по четырем показателям качества услуг, таким как: «подбор средств, методов, методических приемов обучения, оздоровления, тренировки», «ре-

зультативность и надежность процессов обучения и тренировки», «эффективное разрешение проблем учеников» и «новаторство, успешность, известность, престижность, узнаваемость образовательного учреждения», произошли положительные изменения.

Показатели по таким параметрам, как «характер физической нагрузки», «внешний вид и качество физкультурно-спортивных сооружений», «разнообразие, количество и качество спортивного оборудования и инвентаря», «профильная специализация и уровень квалификации тренеров», «внешний вид исполнителей услуг», «профессионализм и коммуникативные способности тренерско-преподавательского состава», имеют отрицательное значение.

По остальным параметрам структурной схемы показателей качества услуг значительных изменений не произошло.

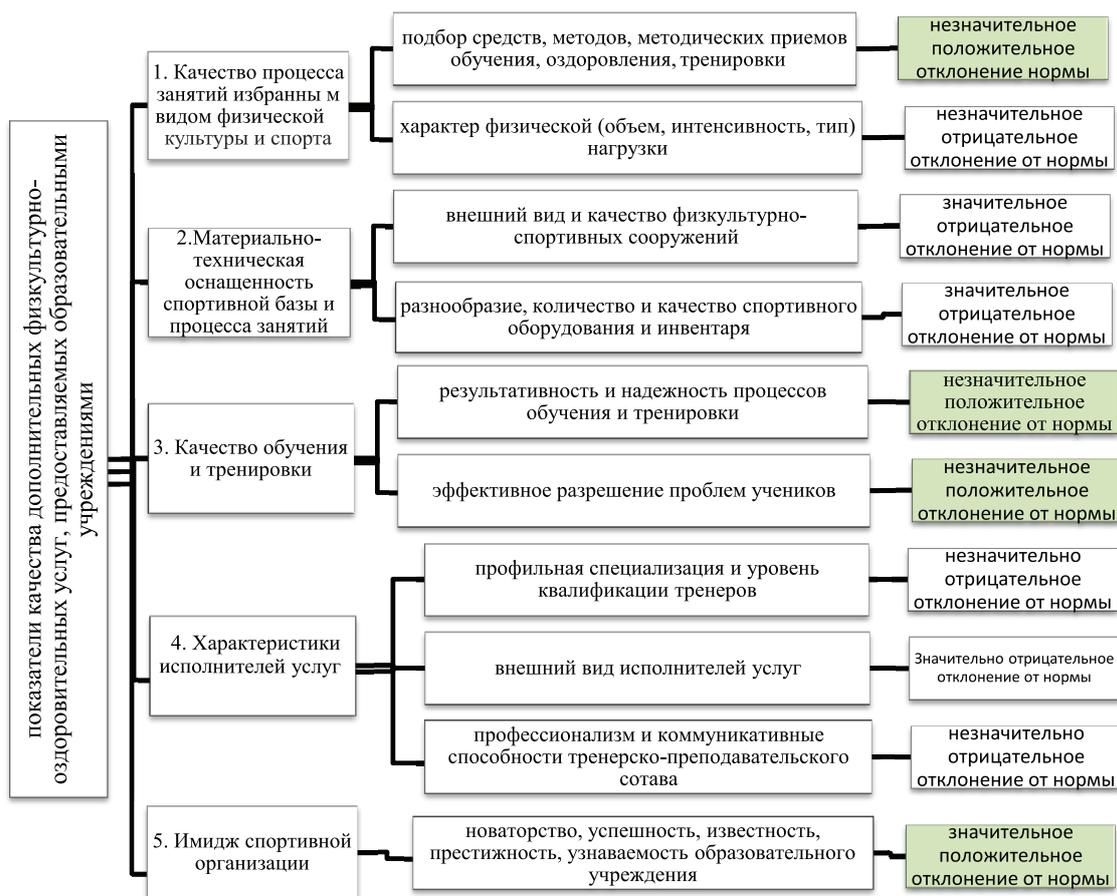


Рис. 4. Структурная схема показателей качества услуг учреждения, предоставляющего физкультурно-спортивные услуги, «Дерево качества» для лицея-интерната в 2016/2017 уч.г.

Проведенная оценка качества дополнительных физкультурно-оздоровительных и спортивных занятий, предоставляемых образовательными учреждениями, позволила получить следующие результаты: показатели уровня качества дополнительного физкультурно-оздоровительного и спортивного образования, предоставляемого образовательным учреждением в начале 2014/2015, 2015/2016 и 2016/2017 учебных годов существенных различий не имеют. За весь период проведения исследования показатели изменились следующим образом: по критерию «материальность» с «-0,9» до «-0,79»; по критерию «надежность» с «-0,54» до «0,3», по критерию «отзывчивость» от «-0,3» до «0,11» и по критерию «сочувствие» от «-0,76» до «0,3», а по критерию «убежденность» показатель с «-0,91» до «0».

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что в результате проведения мероприятий в рамках программы по повышению качества дополнительных физкультурно-спортивных услуг удалось повысить коэффициент качества по

следующим параметрам: «подбор средств, методов, методических приемов обучения, оздоровления, тренировки» и «новаторство, успешность, известность, престижность, узнаваемость образовательного учреждения», а по остальным параметрам структурной схемы показателей качества услуг учреждения значительных изменений не произошло.

Список литературы

- Ageyeva G. Substantiating the influence of the quality of physical culture, health-related and sports services of educational institutions on purchase of services by indirect customers / G. Ageyeva, A. Safiullina // Теория и методика физического воспитания и спорта. – 2015. – Т. 2015, № 1. – С. 77–80.
- Дурович А.П. Маркетинговые исследования в туризме / А.П. Дурович. – СПб.: Питер, 2008. – 384 с.
- Степанова О.Н. Маркетинг в физкультурно-спортивной деятельности / О.Н. Степанова. – М.: Советский спорт, 2008. – 480 с.: ил.
- Мальхина Л.Б. Проблемы управления качеством образования в учреждении дополнительного образования детей / Л.Б. Мальхина // Вестник ПСТГУ IV: Педагогика. Психология. – 2009. – Вып. 2 (13). – С. 88–96.
- Кавера В.А. Современные педагогические технологии в системе дополнительного образования детей / В.А. Кавера // Труды Санкт-Петербургского государственного института культуры: Народное образование. Педагогика. – 2013. – С. 159–170.

УДК 378.147

ТЕЗАУРУСНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЛЕКСИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Заровняева С.С.

Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: silka86@mail.ru

В статье рассматривается тезаурусный подход к формированию лексической компетенции студентов технического вуза. Данный подход позволяет упорядочить и нормализовать лексику по теме специальности и выявить систему понятий данной области знаний. В статье дается определение понятию «тезаурус». Описывается терминологический словарь тезаурусного типа для студентов по направлению «Нефтегазовое дело». Традиционно словарь делится на четыре части: классификационную, контекстуальную, идеографическую и алфавитный указатель. Классификационная часть содержит логико-семантические структуры тем и подтем, в контекстуальной части приводятся определения ведущих слов-понятий, идеографическая часть представлена набором словарно-понятийных статей, а алфавитный указатель представляет собой алфавитный перечень всех знаменательных слов, входящих в состав терминов тезауруса. Данная статья позволяет сделать вывод о том, что терминологический словарь тезаурусного типа ускоряет и облегчает процесс запоминания специальной терминологии на иностранном и родном языках.

Ключевые слова: лексическая компетенция, нефтегазовое дело, тезаурус, тезаурусный подход, терминологический словарь тезаурусного типа, структура словаря

THESAURUS APPROACH TO LEXICAL COMPETENCE FORMATION OF STUDENTS OF TECHNICAL INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION

Zarovnyaeva S.S.

Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, e-mail: silka86@mail.ru

This article discusses the thesaurus approach to the lexical competence formation of students of technical institutions of higher education. This approach allows to order and normalize vocabulary on the subject of specialty and to reveal the system of concepts of this field of knowledge. The article defines the concept of «thesaurus». The author describes the terminological dictionary of the thesaurus type for students of «Oil and gas business». Traditionally, the dictionary is divided into four parts: classification, contextual, ideographic and alphabetical index. The classification part contains the logico-semantic structures of themes and sub-topics, in the contextual part the definitions of the leading words-concepts are given, the ideographic part is represented by a set of vocabulary-conceptual articles, and the alphabetic index represents an alphabetical list of all significant words that make up the terms of the thesaurus. This article allows to conclude that the terminological dictionary of the thesaurus type expedites and facilitates the process of memorizing special terminology in foreign and native languages.

Keywords: lexical competence, oil and gas business, thesaurus, thesaurus approach, terminological dictionary of the thesaurus type, structure of the dictionary

В методике преподавания иностранного языка проблема лексики как средства коммуникации всегда остается актуальной, так как лексическая компетенция является базовой частью при обучении иностранному языку (К.В. Александров, И. Бризе, И.Е. Зуева, А.Н. Шамов и др.). Вслед за А.Н. Шамовым К.В. Александров рассматривает лексическую компетенцию как способность человека определять контекстуальное значение слова, сравнивать объем его значения в двух языках, понимать структуру значения слова и выделять специфически национальное в значении слова на основе лексических знаний, навыков, умений, а также личного языкового и речевого опыта [1].

Лексическая компетенция формируется специальной лексической стратегией. При этом следует учитывать следующие два условия: первое условие связано с организацией и запоминанием лексического

материала на основе специальных приемов, основанных на учете особенностей когнитивной деятельности обучаемых; второе условие обеспечивает усвоение лексических единиц, семантической информации о них, отработку практических действий со словом на разных уровнях сложности, выработку навыков по комбинированному использованию данных единиц в самых разных ситуациях речевого общения [2]. В преподавательской деятельности для реализации данных условий мы применяем тезаурусный подход.

Тезаурусный подход позволяет упорядочить и нормализовать лексику по теме специальности и выявить систему понятий данной области знаний.

Центральным понятием данного подхода является тезаурус (от греч. thesaurus – сокровище, сокровищница). В современной науке понятие «тезаурус» не имеет однозначного определения и рассматрива-

ется учеными в разных областях знания. Сделав контент-анализ трудов по тезаурусу, мы понимаем под этим понятием некий «словарь, который в явном виде фиксирует семантические отношения между составляющими его единицами» [3, с. 148], создавая тем самым «идеальную картину мира» [4, с. 120].

Терминологический тезаурус играет важную роль в процессе построения особой концептуально-информационной модели окружающей действительности в человеческом сознании, так как тезаурус является открытой и подвижной системой значений, хранящейся в памяти индивида [5]. Через тезаурус обучающегося может быть описано его языковое сознание. А.А. Залевская по этому поводу пишет, что тезаурус – это сокровищница «взаимосвязанных продуктов переработки разностороннего опыта взаимодействия человека с окружающим его миром» [6, с. 56].

Ю.Н. Караулов утверждает, что тезаурус компактно обобщает «ассоциативно-дивергентные связи слов и увеличивает размерность семантического пространства лексики, задавая его четырьмя измерениями. Каждое из этих измерений (концепт – концепт, концепт – знак, знак – концепт, знак – знак) пронизывает лексику насквозь, а в своей совокупности они позволяют охватить весь словарный состав и найти определенное место каждому слову языка, с учетом его синонимических, антонимических, и прочих отношений» [3, с. 168].

Таким образом, тезаурус как оптимальный способ организации совокупности понятий той или иной области знаний со всей относящейся к ним лексикой позволяет тематически представить и классифицировать терминологию конкретной области знания и отразить взаимоотношения и взаимосвязи между терминами, создавая, таким образом, целостную картину мира предметной области.

В терминологических словарях тезаурусного типа лексические единицы образуют вокруг каждого ведущего понятия термина особую группу, или множество (семантическое поле), которое характеризует само понятие.

Ассоциативно и ситуационно связанные слова способствуют скорейшему запоминанию лексической единицы и выработке умения интуитивно правильно употреблять слова в соответствии с коммуникативной ситуацией [7]. Так как у обучающегося при чтении текста по своей специальности срабатывает способность создания когнитивного образа о предмете, обозначаемого термином, т.е. он понимает, о чем он читает,

и одновременно срабатывает оперативный образ термина в контексте. В данном случае языковая картина мира представляется словесными знаками полнозначных лексем, зашифрованных в определенную систему знаков и символов, которыми и являются термины [8].

На сегодняшний день перед преподавателями иностранного языка стоит задача, чтобы студенты технического вуза обладали определенными лексическими знаниями, умениями и навыками для формирования их профессиональной лексической компетенции. При достижении данной цели нами обозначены некоторые проблемы:

- 1) разноразличия студенческой аудитории;
- 2) отсутствие опыта работы у студентов с иностранным вокабуляром по специальности;
- 3) недостаточная обеспеченность специальными терминологическими словарями тезаурусного типа по профессиональной деятельности (в частности, в сфере нефтегазового дела).

При чтении и переводе специальных текстов студенты встречаются с рядом сложностей:

- 1) нефтегазовая сфера включает в себя множество терминов из разных областей знания, например геологии (*claystone* – аргиллит, *geochronology* – геохронология, *net pay* – нефтенасыщенная толщина и т.д.), химии (*organic compound* – органическое соединение, *nitrogen* – азот, *hydrocarbon* – углеводород и т.д.), экономики (*fuel-energy complex* – топливно-энергетический комплекс, *market niche* – рыночная ниша и т.д.) и др.;

- 2) многие термины английского языка в нефтегазовой сфере произошли на основе общеупотребительной лексики, например слово *string* в бытовом употреблении означает «веревку, ряд, последовательность», в контексте нефтегазового текста переводится как «колонна буровых труб»; слово *well*, которое мы привыкли употреблять как «хорошо; верно», в нефтегазовой сфере означает «буровую скважину»; слово «*barrel*», которое переводится как «бочка, бочонок», имеет значение меры вместимости «баррель»; слово *collar* – это никакой не «воротник», а «утяжелённая буровая труба»; термин «*mousehole*» никак не связан с мышами, а означает «шурф под одну трубку (под полом буровой вышки)», *fishing jobs* это не «рыбалка», как переводят многие студенты, а «ловильные работы (в скважине)», площадку для верхового называют *monkeyboard*, термин *pig* не имеет никакого отношения к «свинье», а означает «скребок для чистки труб» и др.

Таблица 1

Логико-семантическая структура темы «Нефтегазовая промышленность»

Нефтегазовая промышленность Oil and Gas industry	
Блок геологии и нефтедобычи Upstream	Блок нефтепереработки, транспортировки и продажи Downstream
Поисково-разведочные работы Exploration	Переработка Refinement
Добыча Extraction	Транспортировка Transportation
	Продажа Selling

Исходя из вышеуказанных проблем авторы разработали учебный терминологический словарь тезаурусного типа для студентов по направлению «Нефтегазовое дело» Политехнического института (филиала) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» в г. Мирном республики Саха (Якутия). При составлении терминологического словаря тезаурусного типа авторы опираются на принципы, предложенные Т.С. Серовой, согласно которым, в словаре представлены ключевые лексические единицы предметной области вместе с их взаимосвязями [7]. Отметим, что при составлении учебного терминологического словаря тезаурусного типа следует применить интегрированный подход, который объединяет разные области знания в целостную систему.

Разрабатываемый учебный словарь тезаурусного типа ориентирован на студентов-билингвов, у которых родной язык – якутский. В большинстве школ республики Саха (Якутия) учителя преподают некоторые предметы на двух языках (якутском и русском), чтобы избежать трудностей понимания учебного материала обучающимися. При поступлении в высшее учебное заведение возникает проблема языкового барьера при освоении понятийно-терминологического аппарата технических дисциплин, что влияет на успешность обучения профессиональному иностранному языку в дальнейшем [9]. Авторы полностью согласны с убеждением о том, что процесс усвоения языка будет эффективным в том случае, если в сознании студента устанавливаются прочные связи между новым словом и его эквивалентом в родном языке [10]. Таким образом, определения ведущих слов-понятий в учебном терминологическом словаре тезаурусного типа на якутском языке служат в качестве вспомогательного средства.

Традиционно структура словаря тезаурусного типа состоит из четырех частей:

1. Классификационная часть, которая содержит логико-семантические структуры

тем и подтем. Классификационная схема делит всю совокупность понятий на крупные и понятийные зоны и системно упорядочивает их. Такая схема дает возможность студентам ознакомиться с ключевой лексикой и способствует формированию представления о теме, а также играет важную роль в развитии зрительного смыслового вербального восприятия (табл. 1).

Логико-семантические структуры тем и подтем формируются в результате анализа, чтения и перевода текстов по специальности. В данной статье нами представлена логико-семантическая структура темы «Нефтегазовая промышленность» на русском и английском языках, где основные этапы деятельности разделены по блокам. Как показывает опыт, студентам бывает сложно переводить на русский язык термины *upstream* и *downstream*, так как эти термины были введены англо-американскими нефтегазовыми компаниями, которые разделяют всю нефтегазовую промышленность на секторы (блоки). Весь путь нефти от поиска месторождений до бензоколонки представляется как нисходящий поток, где операции по поиску и разработке месторождений находятся в самом начале, то есть вверху цепочки, отсюда название *upstream* (*up* – верх, *stream* – поток (англ. яз.)), и все, что относится к переработке и сбыту первичного продукта, полученного на стадии *upstream*, вплоть до выдачи готового продукта потребителю называют *downstream* (*down* – вниз, *stream* – поток (англ. яз.)). Таким образом, студентам визуально становится ясной вся схема нефтегазовой отрасли, это позволяет легко ориентироваться в текстах и запомнить ключевые термины.

2. Контекстуальная часть, где приводятся определения ведущих слов-понятий. Главной функцией этой части является раскрытие значения термина, что способствует формированию терминологической компетенции будущего специалиста (табл. 2).

Таблица 2

Дефиниции ключевых понятий темы «Геологоразведочные работы»
на русском, английском и якутском языках

Английский язык	Русский язык	Якутский язык
Oilfield – an area under the Earth's surface where there is a large amount of oil [11]	Нефтяное месторождение – совокупность залежей нефти, приуроченных к одной или нескольким ловушкам, контролируемым единым структурным элементом и расположенным на одной локальной площади [12]	Нефтээх сир – нефть, гааз үөскээбит сирэ.*
Natural gas – gas, found underground, which is used as a fuel [11]	Природный газ – встречающаяся в природе легковоспламеняющаяся газообразная смесь углеводородов, образовавшаяся в процессе геологических преобразований в «ловушке» между осадочными породами. Используется как топливо, а также в производстве пластмассы, медикаментов, антифриза и красителей [12]	Айылҕа гааһа – сир анныгар органической веществеволар сытыйылыларыттан үөскээбит гааз.*
Seismic exploration – the use of seismic surveying and explosion seismology in prospecting for oil, gas or other mineral sources [13]	Сейсмическая разведка – группа методов разведочной геофизики, основана на наблюдении процессов распространения искусственно возбуждаемых упругих волн. Используется для изучения строения земной коры, поисков и подготовки к разведочному бурению нефтеносных структур и др. [12]	Сейсмическэй чинчийии – сир анныгар баар хостонор баайдары дэлби эстэриитүмүгэр тахсыбыт долгуннарынан чинчийии.*

Примечание. *определения, введенные автором.

Таблица 3

Словарно-понятийная статья «Геологоразведочные работы»

Поисково-разведочные работы Exploration			
Цель (Goal) Поиск нефтегазовых месторождений (search for oil-field)	Этапы (Stages) Региональный (regional) Поисковый (search) Разведочный (exploration)	Методы разведки (Methods of exploration) Сейморазведка (seismic exploration) Электроразведка (electrical exploration) Магниторазведка (magnetic exploration)	Места работы (Work locations) Джунгли (jungle) Морское побережье (coast) Осадочные породы (sedimentary rocks) Остров (island) Порода (rock) Пустыня (desert) Степь (prairie) Тундра (tundra)
Профессии (Jobs) Взрывник (shooter) Водитель (driver) Геолог (geologist) Геофизик (geophysicist) Геохимик (geochemist) Землемер, геодезист (surveyor) Сейсмический оператор (seismic operator)	Действия (Actions) Анализировать (analyze) Бурить (drill) Взрывать (detonate, shoot) Записывать (record) Искать (search for, look for) Исследовать (survey) Копать (dig) Отражать (reflect) Очищать (clean)	Инструменты (Tools) Буровое долото (drill bits) Взрывчатка (explosive) Гаечный ключ (spanner) Гидравлический (hydraulic) Зубило (chisel) Механический (mechanical) Трубные ключи (pipe wrenches) Клещи (pliers) Компас (compass) Молоток (hammer) Нивелир (level) Палатка (tent) Переходной ниппель (swage) Рулетка (reel) Скребок (pig) Трубные ключи (tongs) ...	Транспортные средства (Transportation facilities) Вертолет (helicopter) Гидрофон (hydrophone) Грузовик (truck) Приёмник (receiver) Самолет (plane) Сейсмическое судно (seismic ship) Сейсмическая станция на грузовике (thumper truck)

3. Идеографическая часть, представленная набором словарно-понятийных статей (СПС). Эта часть является центральной в тезаурусе, в которой под каждым понятием сгруппирована вся относящаяся к нему лексика, т.е. словарно-понятийная статья представляет собой семантическое поле. Для составления СПС следует использовать учебники по специальности, энциклопедии, справочники, электронные ресурсы, так как СПС является важным видом смешанной информационной основы иноязычной речевой деятельности и одним из способов систематизации лексики, позволяющей отразить в полной мере лексические средства, логические связи и отношения, существующие в реальной действительности [14]. Т.С. Серова утверждает, что «освоение потенциального окружения ключевого термина дает возможность полнее раскрыть содержание читаемого текста и более точно выразить мысль в процессе формулирования собственного высказывания. Чем больше число отношений выявлено, тем полнее раскрытие содержания ключевого термина, обозначающего понятие, и тем успешнее усвоение лексики» [7, с. 143] (табл. 3).

4. Алфавитный указатель слов, где дается алфавитный перечень всех знаменательных слов, входящих в состав терминов тезауруса [14, 15].

Таким образом, тезаурусный подход в обучении иностранному языку позволяет упорядочить и нормализовать лексику по теме специальности и выявить систему понятий данной области знаний, а учебный терминологический словарь тезаурусного типа является важным средством достижения эффективной коммуникации будущих специалистов по своей профессиональной сфере.

Список литературы

1. Александров К.В. Мультимедийный комплекс в обучении иноязычной лексике: теоретические и практические аспекты / К.В. Александров. – Н. Новгород: ГОУ ВПО «Нижегородский государственный лингвистический университет им. Н.А. Добролюбова», 2010. – 182 с.
2. Багметова Н.В. Формирование лексической компетенции у студентов технических вузов при обучении иноязычной коммуникации / Н.В. Багметова, Н.А. Пром // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2014. – № 5. – С. 115–117.
3. Караулов Ю.Н. Лингвистическое конструирование и тезаурус литературного языка / Ю.Н. Караулов. – М.: Наука, 1981. – 366 с.
4. Серова Т.С. Иноязычный экологический лексикон тезаурусного типа как средство формирования категориально-понятийного аппарата будущих специалистов / Т.С. Серова, Л.П. Шишкина // Сибирский педагогический журнал. – 2010. – № 2. – С. 117–132.
5. Ким М. Теория и практика массовой информации: учебник для вузов. Стандарт третьего поколения / М. Ким. – СПб.: Питер, 2017. – 304 с.
6. Залевская А.А. Слово в лексиконе человека: Психолингвистическое исследование / А.А. Залевская. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1990. – 208 с.
7. Серова Т.С. Функции учебного терминологического словаря как средства формирования иноязычной речевой лексической компетенции / Т.С. Серова, Г.Р. Чайникова // Язык и культура. – 2015. – С. 139–145.
8. Мейрамова С.А. Тезаурусно-целевой подход в обучении терминологической лексике с помощью компьютерных технологий [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ayk.gov.tr> (дата обращения: 03.01.2018).
9. Заровняева С.С. К проблеме обучения якутскоговорящих студентов технического вуза иностранному языку в условиях субординативной триглоссии / С.С. Заровняева // Наука и инновационные разработки – Северу: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию Политех. ин-та (филиал) СВФУ им. М.С. Аммосова в г. Мирном: сб. докл., Мирный, 2014 / Общ. ред. А.А. Гольдман, И.В. Зырянов, И.С. Томский; МПТИ (ф) СВФУ, Муниц. образ. «Мирнинский р-н», АК «АЛРОСА» (ОАО). – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 455–457.
10. Гальскова Н.Д. Теория обучения иностранным языкам. Лингводидактика и методика: учеб. пособие для студ. лингв. ун-тов и фак. ин. яз. высш. пед. учеб. заведений / Н.Д. Гальскова, Н.И. Гез. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 336 с.
11. Cambridge Advanced Learner's Dictionary [Электронный ресурс]. – URL: <https://dictionary.cambridge.org> (дата обращения 25.01.2018).
12. Энциклопедии & Словари [Электронный ресурс]. – URL: <http://enc-dic.com> (дата обращения 25.01.2018).
13. Белоусов В.С. Нефтегазовая промышленность / В.С. Белоусов. – М.: ООО «ТехИнпут», 2004. – 404 с.
14. Чайникова Г.Р. Учебный электронный словарь тезаурусного типа как средство формирования информационной основы речевой деятельности / Г.Р. Чайникова // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2013. – № 9 (27). – С. 183–188.
15. Грин-Гриневич С.В. Терминоведение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / С.В. Грин-Гриневич. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.

УДК 37.014:373

ОСОБЕННОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ШКОЛ С НИЗКИМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБУЧЕНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОПАРКОВ

Ильясов Д.Ф., Кеспиков В.Н., Солодкова М.И., Данельченко Т.А.

ГБУ ДПО «Челябинский институт переподготовки и повышения квалификации работников образования», Челябинск, e-mail: metod-08@mail.ru

Статья подготовлена в аспекте разработки организационно-педагогических механизмов поддержки школ с низкими результатами обучения и выравнивания возможностей учащихся на получение качественно-образовательного образования. Осуществляется анализ сложившихся подходов к идентификации школ, демонстрирующих устойчиво низкие образовательные результаты, и разработке адресных мер их поддержки. Исходя из изучения содержания реализуемых в массовой практике адресных программ поддержки отмечается нивелирование роли и значения педагогической работы с низкомотивированными учащимися, формирования у них учебно-познавательной мотивации и ценностного отношения к учебной деятельности. Для преодоления такой тенденции предложено активнее использовать педагогические возможности образовательных технопарков и вовлекать в их деятельность в качестве резидентов школы с низкими результатами обучения. Раскрываются особенности организации учебно-познавательной деятельности учащихся в рамках образовательного технопарка. Определяются условия насыщения учебно-познавательной деятельности низкомотивированных учащихся конкретными и понятными практическими приложениями, демонстрации практики применения академических знаний в реальных условиях промышленного и сельскохозяйственного производства. Обсуждаются расширяющиеся возможности школ в использовании методов и средств профориентационной работы в условиях образовательного технопарка. Особое внимание уделяется анализу возможностей образовательного технопарка в обогащении свободного от учебной деятельности времени учащихся. Подчеркивается значение педагогически целесообразной организации свободного времени учащихся для профилактики асоциального поведения.

Ключевые слова: школы с низкими результатами обучения, образовательный технопарк, адресные программы поддержки, учащиеся, учебно-познавательная деятельность, профориентационная работа, организация свободного времени учащихся

INVOLVEMENT FEATURES OF SCHOOLS WITH LOW LEARNING OUTCOMES IN ACTIVITY OF EDUCATIONAL TECHNOLOGICAL CLUSTER

Ilyasov D.F., Kespikov V.N., Solodkova M.I., Danelchenko T.A.

Chelyabinsk Institute of Retraining and Improvement of Professional Skill of Educators, Chelyabinsk, e-mail: metod-08@mail.ru

The article is prepared in the aspect of developing organizational and pedagogical mechanisms for supporting schools with low learning outcomes and equalizing the opportunities for students to receive quality education. The analysis of the existing approaches to the identification of schools demonstrating consistently low educational outcomes and the development of targeted measures of support is realized. Proceeding from the study of contents of targeted support programs implemented in mass practice, the role and importance of pedagogical work with low-motivated students are noted, their educational and cognitive motivation and value attitude to learning activity are formed. Active use of pedagogical capabilities of educational technological cluster and involvement in their activities as residents of a school with low learning outcomes is proposed to overcome this tendency. The features of the organization of educational and cognitive activity of students within the educational technological cluster are revealed. The conditions for the saturation of the educational and cognitive activity of low-motivated students with concrete and understandable practical applications, demonstrating the practice of applying academic knowledge in the real conditions of industrial and agricultural production are determined. Expanding opportunities for schools to use methods and tools for vocational guidance in the conditions of educational technological cluster are justified. Particular attention is paid to the analysis of the possibilities of educational technological cluster in enriching students' free time from academic activity. The importance of pedagogically expedient organization of students' free time for the prevention of antisocial behavior is underlined.

Keywords: schools with low learning outcomes, educational technological cluster, targeted support programs, students, educational activities, vocational guidance work, free time organization for students

В рамках обеспечения в общеобразовательных организациях Российской Федерации современного качества общего образования выделено еще одно сравнительно новое направление. Формально оно выражается в осуществлении мер поддержки общеобразовательных организаций, в которых на протяжении нескольких лет обучающиеся показывают устойчиво низкие образовательные результаты, и находят вы-

ражение в мероприятиях Федеральной целевой программы развития образования на 2016–2020 гг. [1]. В социально-педагогическом плане это направление символизирует наметившуюся тенденцию в выравнивании шансов детей на получение качественного образования [2].

Предпосылками для этого, по мнению многих экспертов, служат рекомендации, адресованные Федеральному собранию

Российской Федерации, Министерству образования и науки Российской Федерации, а также региональным и муниципальным органам исполнительной власти и подготовленные по результатам слушаний в Общественной палате. Их тематика была связана с разработкой нормативных и организационно-управленческих инструментов, обеспечивающих равные возможности детей на получение образования, отвечающего современным требованиям качества. Основная смысловая установка общественных слушаний сводилась к целесообразности создания национальной стратегии, направленной на создание условий для получения всеми детьми качественного образования.

Отметим, что обсуждение проблемы выравнивания шансов детей на качественное образование активно обсуждается и в научной литературе. Например, Г.Р. Хамзина говорит о селективной функции современной провинциальной школы, преграждающей обучающемуся дорогу к восходящей социальной мобильности. Автор приводит данные, убеждающие в том, что расположенные в малых городах и сельской местности школы обеспечивают менее качественное осуществление образовательных услуг в силу ряда объективных причин. Соответственно, выпускники таких школ «менее подготовлены... не выдерживают конкурсы в престижные учебные заведения...» [3, с. 60].

Анализируя возможности применения зарубежного опыта в осуществлении компенсирующего обучения, А.Н. Джурицкий указывает на характерные для российских школ неподготовленность педагогического корпуса к данному виду педагогической деятельности и слабое материальное обеспечение. При этом в аспекте выравнивания шансов детей на качественное образование он называет практику «преференций для отстающих детей», поддержку общеобразовательных школ в сельской местности, повышение окладов специалистов, которые работают со сложным контингентом обучающихся [4, с. 191].

О наличии потенциальной возможности обеспечивать современный уровень качества образования абсолютно любой школой, в том числе пребывающей в «сложных социальных контекстах», говорит Т.А. Поцукова [5]. Для этого должна быть определена и системно реализована соответствующая образовательная стратегия, относящаяся как к региональному, так и муниципальному уровню. Ее основу, по замыслу автора, составляет региональная программа, предполагающая активное профессиональное взаимодействие педагогов успешных обра-

зовательных организаций и неэффективно работающих, демонстрирующих устойчиво низкие образовательные результаты. Отметим, что формат такого взаимодействия описывается Т.А. Поцуковой с использованием механизма наставничества [5].

Сложившиеся в отечественной системе образования подходы к линейному рейтингованию (выстраиванию линейных рейтингов) на основе «простых» оснований, например по результатам среднего балла школьников по ЕГЭ, получили объективную критику И.А. Вальдмана [6]. Автор, на наш взгляд, вполне правдоподобно описывает характерную для общего образования ситуацию, при которой с использованием упрощенных идентификационных процедур определяют и, соответственно, поощряют сильные школы и, напротив, наказывают аутсайдеров. Эту последнюю позицию И.А. Вальдман вполне точно охарактеризовал как «забвение слабых». Собственно поэтому перспективной представляется постановка им вопроса – «не пора ли менять приоритеты?» [6]. Следует полностью согласиться с автором в том, что подобные подходы совершенно не учитывают контексты, в которых работает школа, и социальные условия, которые ее окружают. Как легко предположить, это не имеет ничего общего с решением задачи выравнивания шансов детей на получение качественного образования.

Итак, анализ научной литературы, а также сложившейся практики управления общим образованием показывает, что проблема создания равных возможностей для получения качественного образования всеми детьми выдвигается сегодня на передний план. В организационно-управленческом аспекте это находит воплощение в создании и реализации адресных программ поддержки школ, которые демонстрируют устойчиво низкие результаты обучения школьников. При этом установлено влияние неблагоприятного социального окружения школы на снижение качества образования в ней. Более того, получил обоснование тот факт, что основная часть школ-аутсайдеров, как правило, характеризуется неблагоприятным социальным бэкграундом. Именно поэтому при разработке программ поддержки слабых школ должна учитываться и специфика окружающих школу условий. Наконец, конструктивным следует считать предложение относительно совершенствования инструментария для идентификации таких школ, не сводя его только к оцениванию академических знаний учащихся.

Конкретизируя предмет данной статьи, авторы хотели бы обратиться к определению оснований, которые могут быть

положены в основу разработки программ поддержки школ с низкими результатами обучения. Авторы считают нужным отметить, что используемое словосочетание «школа с низкими результатами обучения» вполне допускает и тот случай, когда речь идет о школе, функционирующей в неблагоприятных социальных условиях. Даже если на данный момент такая школа не показывает низкие образовательные результаты, все равно она находится в зоне риска. Соответственно, программы поддержки в таких случаях нужны, и они будут выполнять превентивную функцию.

Важно сказать о том, что сегодня практика разработки и реализации программ поддержки (адресных программ, модельных программ) получила широкое распространение в большинстве субъектов Российской Федерации. Предлагаются различные модели поддержки, которые в общем плане сводятся к идентификации слабых школ и определению на этой основе комплексов организационно-управленческих и педагогических мероприятий. При этом активно обсуждаются возможности механизмов сетевого взаимодействия, партнерства, наставничества. Считается, что в такой системе поддержки значительное место может быть отведено школам-лидерам, которые готовы оказывать помощь школам-аутсайдерам на систематической основе.

Мы полагаем, что указанные подходы могут действительно способствовать решению задачи выравнивания шансов детей на качественное образование при соблюдении ряда условий. Во-первых, речь должна идти о включении в соответствующие адресные программы поддержки таких мероприятий (организационно-управленческих, педагогических и методических), которые, с одной стороны, способствуют повышению качества образования, а с другой стороны, не приводят к иждивенческим настроениям. Иными словами, срок действия адресной программы должен быть достаточно коротким, чтобы не провоцировать появление эффекта привыкания. Во-вторых, реализуя методологию управленческого содействия, на которой, по нашему мнению, собственно, и должны основываться адресные программы поддержки, принципиально важно учитывать стремление, инициативы и настроения самой школы-аутсайдера. В противном случае такая программа вряд ли будет носить адресный характер. Здесь же отметим, что следует учитывать и проявляющуюся готовность данной школы самостоятельно решать возникающие проблемы. В-третьих, в содержании адресных программ поддерж-

ки непременно должен быть усилен блок психолого-педагогических мероприятий, прежде всего связанных с развитием учебно-познавательной мотивации учащихся и формированием у них ценностного отношения к учебной деятельности. Такой вывод основан на результатах многочисленных эмпирических исследований, которые указывают на наличие в слабых школах большого удельного веса низкомотивированных учащихся.

Практическая педагогика характеризуется большим арсеналом эффективных методов, приемов и средств работы с низкомотивированными учащимися. Одним из основных механизмов, который позволяет аккумулировать такие педагогические решения и, одновременно, согласуется с методологией проектирования адресных программ поддержки, является вовлечение слабых школ в деятельность образовательных технопарков.

Образовательные технопарки символизируют относительно новое направление в отечественном образовании, которое отражает интеграционные процессы в экономической сфере и опирается на эффективный западный опыт объединения ресурсных возможностей производства, науки и образования. В основе создания образовательных технопарков находится методология технопаркового движения [7; 8; 9], делающего ставку на технологизацию знаний и изобретений и наделение последних коммерческими свойствами.

Основной формой интеграции производства, науки и образования выступают технологические парки. При этом, как показывают исследования, позитивно оценивается роль государственных структур в обеспечении такой интеграции [7; 10]. Это объясняется тем, что государство обладает большими возможностями, чем кто-либо другой, влиять на становление инновационного климата, осуществлять нормативное сопровождение технопаркового движения, поддерживать и стимулировать наиболее активных субъектов технологических парков. Специалисты также отмечают преимущества государственных структур в продвижении инновационных технологических решений, которые характеризуются длительным сроком окупаемости или имеют межведомственный характер происхождения. Также называется роль государства в осуществлении защиты интеллектуальной собственности, являющейся непременным атрибутом деятельности технологических парков.

Правительство Челябинской области также занимает активную позицию в ко-

ординации усилий и интеграции возможностей регионального производства, науки и образования. В стратегии, относящейся к инновационной деятельности в Челябинском регионе, определены перспективы создания и поддержки технопарковых структур производственной и научно-производственной направленности [11]. Кроме того, сделан особый акцент на поддержку практики создания в Челябинской области образовательных технологических парков (технопарков). Их задача связывается с максимально более полным сближением интересов, целевых установок и ценностей образовательных организаций, науки, а также региональных промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Смысл такого сближения находит воплощение в поиске эффективных решений по созданию и продвижению инновационных продуктов. Педагогический контекст создания таких образовательных технопарков заключается в их возможностях для становления активной социальной позиции и формирования патриотических чувств школьников, находящих выражение в их дальнейшем профессиональном самоопределении. Примечательно, что речь идет о самоопределении в мире профессий, которые ценны и важны для развития экономики региона.

В настоящее время в Челябинской области успешно функционируют несколько образовательных технопарков. Имеются примеры результативного участия образовательных организаций Челябинской области в деятельности образовательных технопарков [12]. Это позволяет говорить о возможности и целесообразности вовлечения школ с низкими результатами обучения в образовательные технопарки в качестве резидентов.

Ранее мы уже отмечали, что вовлечение слабых школ в деятельность образовательных технопарков имеет цель педагогической поддержки низкомотивированных учащихся, что является одной из причин низких образовательных результатов. Поэтому далее мы охарактеризуем особенности включения школ-аутсайдеров в образовательные технопарки.

Прежде всего, отметим, что низкие результаты обучения школьников не являются препятствием для включения образовательной организации в деятельность образовательного технопарка. Главное здесь – это желание администрации изменить неблагоприятную картину образовательных результатов, а также готовность педагогического коллектива к поиску новых форм и способов формирования у учащихся

учебно-познавательной мотивации, ценностного отношения к учебной деятельности. При таком положении дел появляется реальная возможность обогатить содержание учебно-познавательной деятельности учащихся (в том числе низкомотивированных) конкретными и понятными практическими приложениями. Кроме того, формы и методы учебно-познавательной деятельности учащихся в рамках образовательного технопарка менее академичны и в большей степени отвечают деятельностным принципам. В результате можно ожидать, что исследовательские и проектные методы учебной работы будут более интересны для учащихся с разным уровнем учебной подготовки. Учащиеся получают возможность своими глазами увидеть реальные примеры применения академических знаний из школьных учебников в конкретных условиях промышленного или сельскохозяйственного производства, бизнеса и т.п. При содействии школьных учителей учащиеся смогут увидеть образцы применения научных знаний для повышения эффективности производственных операций, повышения качества изготавливаемой на предприятиях продукции.

Есть основания утверждать, что такая организация учебно-познавательной деятельности в рамках образовательного технопарка сможет повлиять на учебно-познавательную мотивацию учащихся. В основе такой трансформации лежит психологический механизм интериоризации ценностей, при котором внешние атрибуты учебно-познавательной деятельности переводятся во внутренний план и получают осмысление, а в отдельных случаях – и индивидуальную интерпретацию. В результате можно ожидать более интенсивное развитие у учащихся мотивации и интереса к школьному обучению.

Вовлечение слабых школ в деятельность образовательного технопарка существенно расширяет их возможности в осуществлении профессиональной ориентации учащихся. Методы и средства профориентационной работы в таком случае становятся значительно более разнообразными и практикоориентированными. Разнообразие может быть обеспечено за счет активного использования методики разработки экскурсионно-познавательных маршрутов, которая основывается на методологии образовательного туризма [13; 14]. В случае образовательного технопарка речь идет о разновидности образовательного туризма – профессиональном туризме, при котором у его участников появляется возможность получить более полные и точные

представления о будущей профессии. Причем такие представления не ограничиваются характером осуществляемой профессиональной деятельности и содержанием выполняемых носителями таких профессий трудовых действий. Данные представления могут быть связаны и с социальным аспектом будущей профессиональной деятельности, возможностями карьерного продвижения и самореализации в ней. На этапе проектирования экскурсионно-познавательных маршрутов могут быть предусмотрены методы и приемы знакомства учащихся и с принятой на соответствующих предприятиях корпоративной культурой, практикой социальной поддержки рабочих и служащих. Эти представления, дополняющие реальные эпизоды протекания производственных и технологических процессов, позволят им увидеть в будущей профессиональной деятельности новые привлекательные и социально значимые смыслы. Такая организация профориентационной работы в условиях образовательного технопарка будет способствовать, по нашему глубокому убеждению, изменению отношения учащихся к академическим знаниям, приведет к стимулированию у них желания хорошо учиться.

Наконец, еще одна особенность вовлечения слабых школ в деятельность образовательных технопарков заключается в обогащении и педагогически целесообразной организации свободного времени учащихся. Образовательный технопарк обладает реальной возможностью вовлечения учащихся в различные виды социально полезной деятельности. Например, речь может идти об организации социально значимой трудовой деятельности. Проектирование ее на профессионально высоком уровне будет способствовать расширению пространства трудовой активности учащихся. Оно будет насыщаться привлекательными для учащихся смыслами, что, в свою очередь, приведет к нейтрализации факторов, которые побуждают учащихся к асоциальному поведению. Отметим, что последнее обстоятельство является наиболее ценным при организации педагогической работы с детьми, состоящими на различных видах педагогического учета. Опять же подчеркнем, что смещение фокуса интересов учащихся на социально полезные виды деятельности в рамках образовательного технопарка должно непременно положительно отразиться на качестве их учебно-познавательной деятельности.

Таким образом, в статье изложен новый взгляд на решение актуальной для

системы общего образования задачи организационно-управленческой и педагогической поддержки школ, показывающих устойчиво низкие образовательные результаты. Обосновано, что решение этой задачи определяется приоритетами государственной образовательной политики в части выравнивания шансов детей на получение качественного общего образования. Осуществлен анализ формирующейся в Российской Федерации практики разработки и реализации адресных программ поддержки школ, на протяжении нескольких лет демонстрирующих низкие результаты обучения учащихся. Определены педагогические возможности образовательных технопарков для формирования ценностного отношения к учебной деятельности у низкомотивированных учащихся. Раскрыты особенности вовлечения слабых школ в деятельность образовательных технопарков на примере Челябинской области. Охарактеризованы продуктивные методы и приемы насыщения учебно-познавательной деятельности низкомотивированных учащихся конкретными и понятными практическими приложениями. Обоснованы возможности школы как резидента образовательного технопарка в осуществлении профориентационной работы с учащимися. Описаны способы педагогически целесообразной организации свободного времени учащихся в условиях образовательного технопарка.

Список литературы

1. О Федеральной целевой программе развития образования на 2016–2020 годы: Постановление Правительства РФ от 23.05.2015 № 497 (ред. от 22.11.2017) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_180188/ (дата обращения: 11.02.2018).
2. Выравнивание шансов детей на качественное образование: сб. материалов / Комиссия Общественной палаты Российской Федерации по развитию образования. – М.: Изд. дом ВШЭ, 2012. – 208 с.
3. Хамзина Г.Р. Образование и жизненный старт как определяющие факторы социальной мобильности // Интеграция образования. – 2005. – № 1/2. – С. 56–61.
4. Джурицкий А.Н. Компенсирующее обучение как стратегия качественного общего образования: зарубежный опыт // Сибирский педагогический журнал. – 2015. – № 3. – С. 184–192.
5. Поцукова Т.А. Повышение качества образования в школах со стабильно низкими образовательными результатами // Сибирский учитель. – 2017. – № 5 (114). – С. 26–35.
6. Вальдман И.А. Поддержка сильных и забвение слабых: не пора ли менять приоритеты? // Народное образование. – 2012. – № 5. – С. 36–43.
7. Бильдина О.В. Государственная поддержка технопарков как организационной формы развития инновационной сферы национальной экономики: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / О.В. Бильдина. – Москва, 2007. – 209 с.
8. Комарова М.И. Роль технопарков в региональной экономике / М.И. Комарова, Н.Г. Харитоновна // Вестник

Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 13 (132). – С. 233–237.

9. Тюрина В.Ю. Технопарк – важный элемент инфраструктуры национальной инновационной системы / В.Ю. Тюрина, А.А. Ипполитова // Известия Саратовского ун-та. Сер. Экономика. Управление. Право. – 2014. – Т. 14, вып. 4. – С. 615–620.

10. Чудайкин А.П. Формирование маркетинговой стратегии регионального технопарка: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / А.П. Чудайкин. – Москва, 2015. – 187 с.

11. Распоряжение Правительства Челябинской области от 12.10.2012 года № 260-рп «Об утверждении Стратегии развития инновационной деятельности в Челябинской области до 2020 года» [Электронный ресурс]. – URL: <http://pravmin74.ru/npa/rasporyazhenie-pravitelstva-chelyabinskoy-oblasti-ot-12-oktyabrya-2012-goda-no-260-rp-ob> (дата обращения: 18.02.2018).

12. Научно-методическое сопровождение муниципальных моделей образовательного технопарка «ГЕМП» / под ред. М.И. Солодковой, Н.В. Каменковой. – Челябинск: ЧИППКРО, 2017. – 80 с.

13. Костенко О.А. Раннее личностное и профессиональное самоопределение сельских школьников средствами образовательного туризма [Электронный ресурс] / О.А. Костенко, А.А. Севрюкова, Д.Ф. Ильясов, Н.П. Костина // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=27244> (дата обращения: 24.02.2018).

14. Экскурсионно-познавательные маршруты как средство раннего личностного профессионального самоопределения обучающихся: методические рекомендации для педагогических работников образовательных организаций / Д.Ф. Ильясов, О.А. Костенко, А.А. Севрюкова и др. – Челябинск: ЧИППКРО, 2016. – 48 с.

УДК 373.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХОМОТОРНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ДЕТЕЙ СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

Тугулева Г.В., Ильина Г.В.

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

Определены показатели диагностики взаимосвязи психофизического и интеллектуального развития; описаны особенности нарушений развития психомоторных способностей детей старшего дошкольного возраста с интеллектуальной недостаточностью. Описанный метод корреляционного анализа результатов экспериментального исследования позволил выявить взаимосвязь между отдельными физическими качествами, психофизиологическими свойствами, личностными качествами и показателями познавательной сферы обследуемого контингента дошкольников. Полученные результаты подтвердили необходимость сопряженного психомоторного развития детей с интеллектуальной недостаточностью и определили направления психолого-педагогического воздействия на дошкольников в процессе развития и коррекции: своевременная дифференциальная диагностика психомоторного развития детей на всех этапах дошкольного возраста с целью выявления особенностей нарушения психомоторных функций у детей с разным уровнем интеллектуального развития; дифференциально-индивидуальная работа по физическому воспитанию детей, которая учитывает уровень физического развития и степень эмоционально-поведенческих реакций ребенка на физическую нагрузку; систематическое включение в физкультурную деятельность детей коррекционных мероприятий; реализация здоровьесберегающих развивающих технологий во время образовательной деятельности детей; интенсификация психомоторного развития детей, влияющего на произвольную регуляцию движений и аффективно-поведенческих реакций; интеграция элементов сопряженного психомоторного развития в домашние условия с целью вовлечения родителей в коррекционно-развивающую работу и для стимуляции самостоятельной двигательной деятельности детей сенсорной направленности.

Ключевые слова: психомоторное развитие, интеллектуальная недостаточность, диагностика, физическое и интеллектуальное развитие детей дошкольного возраста, физкультурная деятельность

THE RESEARCH OF MENTAL AND PHYSICAL DEVELOPMENT OF PRESCHOOL CHILDREN WITH INTELLECTUAL INSUFFICIENCY

Tuguleva G.V., Ilina G.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: garomi@rambler.ru

Indicators of diagnostics of interrelation of mental, physical and intellectual development are defined; features of violations of development of psychomotor abilities of children of the advanced preschool age with intellectual insufficiency are described. The described method of the correlation analysis of results of pilot study allowed to reveal interrelation between separate physical qualities, physiological properties and indicators of the informative sphere of the examined contingent of preschool children. The received results confirmed need of the interfaced mental and physical development of children with intellectual insufficiency and defined the directions of psychological and pedagogical impact on preschool children in development and correction: timely differential diagnostics of development of children at all stages of preschool age for identification of violations of mental and motive functions at children with the different level of intellectual development; individual work on physical training of children which considers the level of physical development and extent of emotional reactions of the child to physical activity; systematic inclusion in sports activity of children of correctional actions for development of attention, memory, cogitative operations and imagination; realization of the developing technologies during educational activity of children; an intensification of the physical development of children influencing any regulation of movements and affective reactions of behavior; integration of elements of the interfaced mental and physical development into house conditions, for the purpose of involvement of parents in the correctional developing work and for stimulation of independent motive activity of children of touch orientation.

Keywords: mental and physical development, intellectual insufficiency, diagnostics, physical and intellectual development of children of preschool age, sports activity

Нарушение интеллектуального развития, или интеллектуальная недостаточность — один из наиболее сложных видов дизонтогении, характеризующийся недоразвитием высших психических функций, что выражается в стойком нарушении познавательной деятельности вследствие тотального органического поражения коры головного мозга в перинатальный (внутриутробный) период и в раннем детстве [1]. Необходимость из-

учения интеллектуальной недостаточности как вида дизонтогенеза развития в дошкольном возрасте продиктована прежде всего потребностями практики: поиском причин задержки в развитии и необучаемости детей и, как следствие, неуспеваемости в начальных школах и способов их устранения в условиях инклюзивного образования, а также необходимостью своевременной дифференциальной диагностики психичес-

ских состояний, при которых наблюдаются нарушения познавательной деятельности детей. Решение поставленной проблемы дополняет современные теоретико-методические представления об основных подходах к психическому и физическому развитию детей с интеллектуальной недостаточностью, а в практическом плане позволяет:

1) определить показатели и сформировать диагностический комплекс оценки уровня развития психомоторных способностей у дошкольников с интеллектуальной недостаточностью;

2) выявить особенности нарушений развития психомоторных функций у дошкольников с различным уровнем интеллектуального развития (с нормальным интеллектуальным развитием, задержкой психического развития, интеллектуальной недостаточностью);

3) обосновать направления сопряженного психомоторного развития детей с интеллектуальной недостаточностью в процессе развития и коррекции.

Психомоторное развитие мы определяем как комплексный процесс развития психических функций (сенсорных, интеллектуальных, речевых, эмоциональных) и моторных функций (физических качеств) в определенных формах двигательной (физкультурной) деятельности [2]. По мнению Г.Г. Попова, формирование психомоторных способностей – это активный психолого-педагогический процесс, направленный на изучение структуры психомоторных задатков и развитие компонентов общих способностей к определенной двигательной деятельности [3, с. 31–35].

Двигательная деятельность в период детства находится в прямопорциональной взаимосвязи с перестройкой психических процессов. В исследованиях (Н.Л. Белопольская, С.Г. Шевченко, Д.В. Григорьев, Г.В. Ильина, Т.Г. Неретина и др.) показано, что уровень развития психомоторных способностей детей зависит от состояния их сенсомоторных функций, от сформированности пространственно-временных представлений, речевого развития. Среди характеристик сенсорно-перцептивной, познавательной сферы и физического развития детей с замедленным физическим развитием и особыми возможностями здоровья выделяются:

– несформированность сенсомоторных, интеллектуальных, речевых, эмоциональных предпосылок к различным видам деятельности (Т.А. Власова, К.С. Лебединская, В.И. Лубовский, Р.И. Лалаева и др.);

– быстрая утомляемость, неустойчивость эмоционально-волевой сферы, колебания ра-

ботоспособности (М.Ш. Адилова, Е.М. Мاستюкова, Г.А. Бутко, Н.П. Горбунов и др.);

– низкие показатели физического развития и физической подготовленности, моторная неловкость, недостаточная координация движений, слабая переключаемость с одного движения на другое (Г.Г. Попов, Г.В. Ильина, Г.В. Тугулева);

– ниже возрастной нормы сформированы двигательные навыки, которые необходимы для пространственной ориентировки детей: в собственном теле, в схеме противоположного предмета или тела, в окружающем пространстве, на плоскости листа;

– уровень развития психомоторных способностей детей с нарушением психического развития зависит от состояния их сенсомоторных функций, от сформированности представлений об окружающем мире, пространственно-временных представлений, речевого развития и т.д. (Н.Л. Белопольская, С.Г. Шевченко, Д.В. Григорьев и др.);

– слабая координация движений обеих рук, нарушена зрительно-двигательная координация, снижена двигательная память (М.Ш. Адилова, Н.П. Вайзман, Г.А. Бутко, В.М. Мозговой и др.);

– замедленность образования у таких детей сложных условных связей в процессе координации движений, слабостью замыкательной функции коры головного мозга. Наиболее сложными для них являются упражнения, требующие координации движений четырех конечностей по перекрестному типу (И.Ю. Горская, В.М. Мозговой).

Для нас важными являются результаты исследований Г.Г. Попова, определившего структуру психофизической и интеллектуальной подготовленности дошкольников и выявившего корреляционную зависимость между уровнем развития физических качеств и психическими процессами детей дошкольного возраста [4]. Наше исследование показало, что для нормативного психического развития в дошкольном возрасте важна активизация сенсорной и двигательной (моторной) деятельности детей, а степень ее сформированности непосредственно влияет на характер отклоняющегося развития. Считаем актуальным: создание методики психолого-педагогического тестирования уровня психофизического и интеллектуального развития дошкольников; создание методики, включающей специально подобранные формы, средства и методы педагогического воздействия на дошкольников с интеллектуальной недостаточностью (ИН) в процессе развития, воспитания и коррекции; подготовку педагогов, студентов к осуществлению диагностической и коррекционно-развивающей

работы с данной категорией детей и реализации методики.

Разработке методов коррекции нарушений у детей должно предшествовать выявление основных характеристик физической, интеллектуальной и психической сфер детей без отклонений, а также направленность их реакций на педагогические (физкультурные) воздействия. Мы согласны с мнением Г.Г. Попова, что для разработки методов сопряженного психомоторного развития детей с интеллектуальной недостаточностью важно «определить факторную структуру комплекса психофизической, интеллектуальной и личностной подготовленности старших дошкольников и уровень взаимосвязи его отдельных составляющих. Исследование иерархической структуры необходимо, во-первых, для убежденности в своевременности развития конкретного физического качества или психологического свойства, во-вторых, для контроля и коррекции уровня их развития и, в-третьих, определения достаточности этого уровня» [4].

Для определения уровня развития сенсомоторных способностей детей нами был разработан комплекс диагностируемых психофизических показателей, включающий: физические качества (быстрота, ловкость, сила, выносливость, гибкость, равновесие, мелкая моторика, обучаемость действиям при помощи педагога); психические процессы (восприятие, зрительное внимание, зрительная и слуховая память, речевое развитие, наглядно-образное мышление, воображение). Мы считаем, что диагностика необходима, поскольку связана с коррекционной и развивающей работой, направлена на решение следующих задач: определить степень соответствия уровня развития возрастным нормам; выявить индивидуальные особенности развития личности ребенка; разработать содержание необходимой коррекционно-развивающей работы; оценить эффективность методов и средств, используемых педагогами в процессе психолого-педагогического сопровождения развития дошкольников.

Экспериментальные исследования проводились в дошкольном учреждении компенсирующего вида. В них приняли участие две опытные группы детей 5,5–6,5 лет с замедленным психическим развитием и легкой степенью интеллектуальной недостаточности. Экспериментальная группа детей ($n = 30$) занималась по образовательной программе учреждения с фрагментарными (от 3 до 10 минут) включениями физкультурных и дидактических средств, направленных на развитие и диагностику исследуемого психофизического комплекса. При

выборе развивающих средств, диагностических методик и проведении обследования учитывались предварительные результаты научно-исследовательской практики студентов, а именно особенности организации и этапов проведения [5], а также результаты изучения особенностей детей с нарушением психического развития воспитанников детского дома [6].

Для определения взаимосвязей отдельных составляющих физического и психического развития дошкольников применялся корреляционный анализ. Используемый статистический метод корреляционного анализа результатов экспериментальной и контрольной групп позволил выявить взаимосвязь между отдельными физическими качествами, психофизиологическими свойствами и показателями познавательной сферы обследуемого контингента дошкольников. В таблице представлена корреляционная матрица исследуемых показателей сенсомоторных способностей детей.

Так, большинство переменных физической подготовленности тесно коррелируют между собой: быстрота – ловкость; быстрота – сила; быстрота – обучаемость; выносливость – обучаемость; ловкость – обучаемость; мелкая моторика – обучаемость. Значительной, на наш взгляд, следует признать связь таких физических качеств, как быстрота, ловкость, обучаемость двигательным действиям и координированность мелкой моторики. Можно констатировать, что на обучаемость детей двигательными действиями существенное влияние оказывает уровень развития физических качеств ребенка, которые в свою очередь развиваются в процессе физкультурной деятельности. Данный показатель является очень важным при изучении психомоторных способностей детей с интеллектуальной недостаточностью, как индикатор включения психических процессов и активизации деятельности мозга. Необходимо отметить зависимость физического качества ловкости от показателей психического развития. Выделенное физическое качество коррелирует с результатами теста по определению уровня наглядно-образного мышления, зрительной памяти, логичности мышления и зрительного внимания. Мы предполагаем, что ловкость как способность к овладению новыми двигательными действиями тесно связана с обучаемостью двигательным навыкам необходимых для координации движений и ориентировки в пространстве. Кроме этого для развития познавательных процессов детей с интеллектуальной недостаточностью можно применять традиционные средства физического воспитания, а именно подвижные игры, кинезиологические упражнения.

Корреляционная матрица исследуемых показателей сенсомоторных способностей детей старшего дошкольного возраста

№	Исследуемые показатели	Исследуемые показатели												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Быстрота	*												
2	Сила	-0,70	*											
3	Выносливость	0,00	-0,08	*										
4	Ловкость	0,59	-0,52	-0,25	*									
5	Гибкость	-0,47	0,29	-0,03	0,41	*								
6	Мелкая моторика	-0,3	0,03	0,33	0,04	0,36	*							
7	Равновесие	-0,49	0,19	0,24	0,27	-0,13	-0,35	*						
8	Восприятие	0,32	-0,18	0,22	0,48	0,04	0,54	0,11	*					
9	Внимание зрительное	-0,08	0,05	-0,54	-0,61	0,16	-0,14	-0,52	-0,52	*				
10	Наглядно-образное мышление	-0,30	0,22	0,16	-0,57	-0,17	0,36	0,41	0,33	0,51	*			
11	Речевое развитие	-0,21	0,26	-0,29	-0,47	0,11	0,51	-0,20	0,71	0,12	-0,15	*		
12	Воображение	-0,20	0,19	0,21	-0,48	0,63	-0,17	0,02	0,14	0,36	0,18	0,33	*	
13	Память зрительная Память слуховая	-0,21	0,4	-0,19	-0,53	0,09	0,60	0,46	0,37	0,71	0,52	0,41	0,58	*
		0,3	0,22	0,11	0,04	-0,03	0,15	-0,28	-0,17	-0,01	-0,8	-0,19	0,09	
14	Обучаемость	0,61	-0,21	0,68	0,56	-0,19	0,59	-0,32	0,29	0,33	0,49	0,29	0,43	0,84

Примечание. Коэффициенты корреляции показывают на существенную взаимосвязь при 5% уровне значимости, если $r \leq 0,44$, и при 1% уровне значимости, если $r \leq 0,56$.

Исследование в очередной раз подтвердило тесную взаимосвязь между развитием мелкой моторики и уровнем развития речи, а также перцептивным развитием детей. Также высокая степень корреляции отмечена у зрительного внимания и физических качеств выносливость и равновесие. Отмеченный коэффициент корреляции указывает на зависимость устойчивости внимания от уравновешенности нервных процессов возбуждения-торможения и уровня общей работоспособности. Существенная взаимосвязь между зрительной памятью и мелкой моторикой, а также наглядно-образным мышлением показала значимость использования разнообразных специальных физических упражнений, а также включение пальчиковой гимнастики, лепки, арт-терапии, веревочно-узелковой терапии в непосредственно образовательную деятельность детей исследуемой категории. Прямая связь между обучаемостью двигательным действиям, ловкостью, устойчивостью зрительного внимания, наглядно-образным мышлением показывает на возможность воздействия одними средствами на весь коррелируемый комплекс

показателей. Однако развитие физических качеств и психических свойств, не имеющих между собой существенных корреляционных связей, необходимо осуществлять по специально разработанным методикам направленного воздействия на физиологические механизмы их проявления. При этом, мы согласны с мнением Г.Г. Попова, что направленность физической подготовки на выносливость и силу неизбежно будет являться сбивающим фактором для развития тех функций и систем организма дошкольника, которые находятся в данном возрасте в стадии их естественного становления [4]. В связи с этим мера уровня развития силы и выносливости должна определяться объективно складывающимися условиями такого необходимого фона работоспособности, который был бы достаточным для генетических особенностей роста и развития ребенка.

При интерпретации полученных результатов, необходимо обратить внимание на прямо пропорциональную связь психических процессов: восприятие – речевое развитие; зрительное внимание – зрительная память, наглядно-образное мышление; зри-

тельная память – воображение; воображение – восприятие. Это следует соотносить с закономерностями психофизиологического развития детского организма и генетической обусловленностью развития организма в период детства.

Выявленные взаимосвязи между исследуемыми показателями дают возможность педагогу определить направленность воздействия применяемых средств и методов на повышение уровня психического развития детей с ЗПР и ИН, посредством правильно построенной физкультурной деятельности в условиях дошкольного учреждения. По окончании исследования была проведена работа с родителями, которая показала заинтересованность и готовность получить психолого-педагогическую поддержку и методическое обеспечение развивающей работы с детьми в домашних условиях. Результаты проведенного исследования могут учитываться: при планировании коррекционно-развивающей работы; при выборе эффективных средств физической культуры и психотерапевтических методик; при дифференцированном и индивидуальном подходе к детям; для сопряженного решения педагогических задач; при подготовке педагогов дошкольного и специального образования, способных осуществлять педагогическую деятельность в условиях инклюзивного образования.

Полученные результаты определили направления психолого-педагогической работы по сопряженному психомоторному развитию детей с интеллектуальной недостаточностью:

– своевременная дифференциальная диагностика психомоторного развития детей на всех этапах дошкольного возраста с целью выявления особенностей нарушения психомоторных функций у детей с разным уровнем интеллектуального развития;

– дифференциально-индивидуальная работа по физическому воспитанию детей, которая учитывает уровень физического развития и степень эмоционально-поведенческих реакций ребенка на физическую нагрузку;

– систематическое включение в физкультурную деятельность детей коррекционных мероприятий по формированию пространственных представлений, развитию внимания, памяти, мыслительных операций и воображения;

– реализация здоровьесберегающих развивающих технологий во время образовательной деятельности детей, таких как специфические виды оздоровительных гимнастик: дыхательная, психогимнастика, кинезиологические упражнения;

– интенсификация психомоторного развития детей, влияющего на произвольную регуляцию движений и аффективно-поведенческих реакций;

– интеграция элементов сопряженного психомоторного развития в домашние условия с целью вовлечения родителей в коррекционно-развивающую работу и для стимуляции самостоятельной двигательной деятельности детей сенсорной направленности.

Список литературы

1. Тугулева Г.В., Яковлева Л.Я. Основы специальной педагогики и психологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2017.
2. Ильина Г.В., Тугулева Г.В., Яковлева Л.А. Психомоторное развитие детей дошкольного возраста средствами физической культуры в условиях инклюзивного образования // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 2.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26301> (дата обращения: 04.02.2018).
3. Попов Г.Г. Физкультурная деятельность дошкольников (социальное и биологическое основание) // Здоровье дошкольника. – 2008. – № 1. – С. 31–35.
4. Попов Г.Г. Коррекция и структура психофизической и интеллектуальной подготовленности дошкольников средствами физической культуры // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2009. – № 2. – С. 60–64.
5. Психологическая практика в вузе: учебно-методическое пособие / Н.Г. Баженова, Е.С. Шарыгина, В.В. Чурилов; под ред. Баженовой Н.Г. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – 102 с.
6. Неретина Т.Г., Овсянникова Е.А., Клевесенкова С.В., Камышева О.В. Особенности коррекционно-образовательной работы с воспитанниками детского дома // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2016. – № 3–2 (57). – С. 202–204.