Международная Объединенная Академия Наук

НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Сборник научных трудов

**по материалам
XIV международной научной конференции**

10 апреля 2019 г.

Часть 4

Екатеринбург 2019

УДК 001.1
ББК 60

НЗ4

Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов, по материалам XIV международной научно-практической конференции 10 апреля 2019 г. Часть 4 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019. - 100с.

SPLN 001-000001-0434-SR
DOI 10.18411/sr-10-04-2019-p4
IDSP sciencerussia-10-04-2019-p4

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XIV международную научно-практическую конференцию **Наука России: Цели и задачи**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Электронная версия сборника доступна на сайте научно-издательского центра «Л-Журнал». Сайт центра: science-russia.ru

УДК 001.1
ББК 60

SPLN 001-000001-0434-SR

<http://science-russia.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ XV. МАТЕМАТИКА	5
Андрианов А.В., Зикий А.Н., Падалко А.Д. Задающий генератор для передатчика скользящих помех	5
РАЗДЕЛ XVI. ХИМИЯ	9
Мамедова Ф.С., Аббасов А.Д. Ресурсы подземных вод нахчыванской автономной республики и их химико-экологические особенности	9
Фолманис Г.Э. Получения коллоидных растворов красного и серого селена	16
РАЗДЕЛ XVII. ФИЗИКА.....	20
Гаджиева Г.С. , Казымова Ф.А., Ибрагимова Т.Ш., Тагиев О.Б. Расчет параметров метода термического высвечивания и ловушечных уровней в кристаллах $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$	20
Лин Э.Э. Кластерный механизм стохастической кинетики образования мутационных белковых наночастиц и мезообъектов	25
РАЗДЕЛ XVIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	33
Ахметгалиев А.И., Гафаров Ф.М., Ситдикова Ф.Б. Анализ тональности текстов с использованием нейросетевых моделей	33
Бондаренко И.Б., Мишина Н.С., Мишин Я.Д. Формализация модели многоагентной иерархической системы посредством теории нечетких множеств	41
Звонарева Г.А., Копец М.Ю., Тухбатуллин В.В. Организация многоканальной передачи данных в специализированной вычислительной системе	45
РАЗДЕЛ XIX. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	54
Багайсков Ю.С. Исследование механизма упругого деформирования материала абразивных шевров на полимерных связках	54
Веретенников А.Н., Турченков Д.А., Рогов Р.А., Лоскутов А.С., Котенев М.А. Современные системы САПР в изучении технических дисциплин	57
Горбатовский А.А. Исследование устойчивости вращающегося диска	60

Грибкова И.Н. К вопросу о связи β -глюканов ячменного пивоваренного солода и качества пива	63
Денисламов И.З., Файрушин Е.В. Применение попутного нефтяного газа в качестве энергоносителя на нефтяном промысле.....	67
Захаров М.А. Изучение физико-химического состава древесины сливы и вишни в рамках оценки их пригодности для выдержки плодовых дистиллятов.....	71
Корчагина М.В., Киреев С.О., Носов Д.В. Конструкция станка качалки двойного действия для одновременно-раздельной эксплуатацией пластов	74
Соловьёв В.Г., Шувалова Е.А., Морозов И.В., Золотарев М.Е. Особенности применения фиброволокна в бетонных конструкциях.....	78
Терентьев В.Б. Экспериментальное определение вероятностных показателей авиационной техники.....	82
Федюкович Н.С. Анализ эффективности ряда технических мероприятий повышения пропускной способности воздушных линий напряжением 10КВ.....	86
Шевченко Ю.С., Шайдурова Т.В. О рекультивации горнорудных отвалов в проблеме возвращения нарушенных земель в сельское хозяйство	93
Шихов А.И., Дунаева Е.Н. Методы неразрушающего контроля строительных объектов	96

РАЗДЕЛ XV. МАТЕМАТИКА

Андрианов А.В., Зикий А.Н., Падалко А.Д.
Задающий генератор для передатчика скользящих помех

АО «Таганрогский НИИ связи»
Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного
федерального университета
(Россия, Таганрог)

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-64

idsp: sciencerussia-10-04-2019-64

Аннотация

Проведено экспериментальное исследование транзисторного генератора с варикапной перестройкой. Приведены принципиальная схема, дано краткое описание конструкции и методика эксперимента. В качестве результатов эксперимента даны:

- зависимость частоты от управляющего напряжения (модуляционная характеристика)
- зависимость мощности от управляющего напряжения (паразитная амплитудная модуляция)
- спектр выходного сигнала в полосе 500 МГц.

Ключевые слова: Генератор ЧМ сигналов, генератор, управляемый напряжением, модуляционная характеристика, спектр выходного сигнала.

Введение

Одним из важнейших узлов передатчика скользящих помех является задающий генератор, так как он обеспечивает ряд основных технических параметров передатчика:

- диапазон рабочих частот;
- девиацию частоты;
- стабильность частоты настройки;
- линейность модуляционной характеристики;

По перестраиваемым генераторам имеется обширная литература, в том числе монографии [1,2], учебные пособия [3,4], статьи [5-7], изобретения [8], реклама, однако продолжается их совершенствование, в том числе для расширения диапазона рабочих частот, повышения мощности и линейности, а также улучшения других параметров.

Схема и конструкция

Объектом исследования в данной работе является транзисторный генератор с варикапной перестройкой, изготовленный по гибридной технологии [4]. К нему предъявляются следующие требования:

- центральная частота 750 МГц;
- выходная мощность не менее 13 дБм;
- максимальная девиация частоты не менее 9 МГц
- неравномерность выходной мощности не более 1 дБ;

Схема генератора приведена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Принципиальная схема генератора

В качестве объекта испытаний использовался транзисторный автогенератор с заземленным коллектором и резонансными отрезками микрополосковых линий в цепи базы и в цепи эмиттера. Цепь электрической подстройки частоты, содержащая варикап VD, два резистора R1, R2, один терморезистор R3, два конденсатора постоянной емкости C1, C2 и один подстроечный конденсатор C7, подключена к базе транзистора VT1, через отрезок микрополосковой линии. Выход автогенератора оформлен в виде направленного ответвителя и П-образного резистивного аттенуатора из базовой цепи. Транзистор VT1 запитан со стороны эмиттера через резистор R4 и фильтр нижних частот, содержащий два отрезка высокоомной микрополосковой линии и два блокировочных конденсатора C3 и C4.

Режим работы транзистора по постоянному току обеспечивается базовым делителем напряжения, содержащим R5, R6, R8 и терморезистор R7, а также фильтр нижних частот из двух отрезков высокоомной микрополосковой линии и двух блокировочных конденсаторов C5 и C6.

Генератор имеет достаточно традиционную конструкцию. Основные электрические элементы размещены на диэлектрической плате из поликора размером 30×48×1 мм. Плата помещена в корпус чашечного типа, закрытого герметично запаиваемой крышкой. В качестве выходного соединителя используется коаксиально-микрополосковый переход типа СРГ50 – 751ФВ. Напряжения питания, управления и модуляции подаются через стеклянные изоляторы типа ИСПП.

Экспериментальное исследование

Эксперимент проводился на установке, содержащей источники питания постоянного тока типа Б5-70, Б5-47, анализатор спектра типа МХА, комплект кабелей и переходов. Структурная схема измерительной установки показана на рисунке 2.

Рисунок 2 - Структурная схема измерительной установки

Управляющее напряжение на варикапе менялось от 1 до 15В с шагом 1В. Результаты измерения выходной мощности и частоты заносились в таблицу 1. По данным таблицы 1 построены графики на рисунке 3. Из этих графиков видно, что модуляционная характеристика монотонна в пределах изменения управляющего напряжения от 7 до 15 В. Кроме того, выходная мощность достаточно стабильна в пределах от 15 до 16 дБм.

На рисунке 4 можно видеть спектр выходного сигнала генератора. Генератор достаточно чувствителен к наводкам и помехам, поэтому в конструкции передатчика должны быть помехоподавляющие фильтры (конденсаторы) по цепям управления и питания, а также экран для этих цепей.

Таблица 1.

Зависимость мощности и частоты ГУН от управляющего напряжения

$U_{упр}, В$	$P_{вых}, дБм$	$F_{вых}, МГц$
-1	15,33	744,50
-2	15,33	744,50
-3	15,77	744,57
-4	15,93	744,64
-5	16,01	744,85
-6	16,10	745,13
-7	16,15	745,53
-8	16,15	746,69
-9	16,05	748,21
-10	16,04	749,45
-11	16,00	750,43
-12	15,95	751,45
-13	15,90	752,29
-14	15,83	753,13
-15	15,76	753,85

Рисунок 3 – Зависимость выходной частоты и мощности от управляющего напряжения

Рисунок 4 – Спектр выходного сигнала ГУН

Выводы

1. Среднее значение частоты 750 МГц, средняя выходная мощность 15, 75дБм.
2. Диапазон изменения частоты (максимальная девиация) равен 9 МГц при изменении управляющего напряжения на варикапе от 7 до 15 В.
3. Перепад мощности составляет 1дБ.
4. Нелинейность модуляционной характеристики позволяет применять этот ГУН в качестве задающего генератора передатчика скользящих помех.

1. Grebennikov Andrew RF and Microwave Transistor Oscillator Design. John Wiley & Son's Ltd. England, 2007, – 441 p.
2. Ali Hajimiri Low Noise Oscillators. N,Y.et al. Kluwer Academic Publishers, 1999. – 207 p.
3. Белов Леонид Алексеевич Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты. Учебное пособие / М.: Издательский дом МЭИ, 2010, - 320 с.
4. Зикий Анатолий Николаевич, Помазанов Александр Васильевич Стабильность частоты генераторов СВЧ. Учебное пособие / Ростов-на-Дону-Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 138 с.
5. Авдеев Андрей Викторович Экспериментальное исследование генератора на диоде Ганна с варакторной перестройкой частоты / Авдеев Андрей Викторович, Беляев Денис Владимирович, Додаев Сергей Эрнестович, Зикий Анатолий Николаевич / Известия ЮФУ. Серия «Технические науки», 2008, №3, с. 174-178.
6. Зикий Анатолий Николаевич, Марченко Александр Геннадьевич, Помазанов Александр Васильевич, Модуляционные характеристики генераторов ЧМ сигналов. Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2001, №3, с. 36-39.
7. Додаев Сергей Эрнестович, Зикий Анатолий Николаевич, Помазанов Александр Васильевич, Румянцев Константин Евгеньевич Имитатор ЧМ сигналов со встроенным девиометром. Авиакосмическое приборостроение, 2005, №6, с. 16-19.
8. Горбатенко Александр Юрьевич, Зикий Анатолий Николаевич, Помазанов Александр Васильевич, Мазин Евгений Георгиевич Генератор ЧМ сигналов. А.С.СССР №1.667.845, Опул. 15.09.1991, Бюл. №34, М.кл. НОЗ с 3/08.

РАЗДЕЛ XVI. ХИМИЯ

Мамедова Ф.С., Аббасов А.Д.

Ресурсы подземных вод нахчыванской автономной республики и их химико-экологические особенности*Институт Природных Ресурсов Нахчыванского отделения НАН Азербайджан
(Азербайджан, Нахчыван)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-65

idsp: sciencerussia-10-04-2019-65

Аннотация

В статье приводится характеристика формирования и распространения ресурсов подземных вод, расположенных в различных частях Нахчыванской Автономной Республики. Изучены основные виды ресурсов подземных вод (минеральных, солоноватых, пресных и термальных) по основным гидрогеологическим пунктам региона. Также проведено научное исследование, геохимические аспекты и рассмотрены вопросы решения химико-экологических проблем, возникающие в гидросфере в процессе использования водных ресурсов региона.

Ключевые слова: водные ресурсы, подземные воды, коэффициент водной миграции, макроэлементы, микроэлементы, гидрохимические процессы.

Abstract

The paper describes the formation and distribution of groundwater resources located in various parts of the Nakhchivan Autonomous Republic. The main types of groundwater resources (mineral, brackish, fresh and thermal) have been studied at the main hydrogeological points of this region. Also a scientific study has been carried out, geochemical aspects have been studied, and issues of solving chemical and environmental problems arising in the hydrosphere during the use process of the region's water resources have been considered.

Key words: water resources, groundwater, coefficient of water migration, macroelements, microelements, hydrochemical processes

Высокие горы, окружающие Нахчыванскую Автономную Республику с запада и востока, а также в определенной степени и с юга, препятствуют проникновению на территорию влажных воздушных масс. Изменения климата по высотным поясам меняют как отдельные метеорологические элементы, так и режим питания и течения рек. В то же время это создает прямую пропорциональность с полноводностью рек. На территории автономной республики длина рек, другим словом, путь, пройденный водной массой, уменьшается по направлению с запада на восток. Реки автономной республики (за исключением реки Арпачай), с различными по площади бассейнами (от 9 до 1630 км²), имеют одинаковый период полноводности [2]. Основным источником ресурсов для всех рек региона являются подземные воды. Реки, на протяжении 6-8 месяцев на 30-45% питаются подземными водами. В то же время гидрологический режим рек влияет на положение уровней подземных вод и их химизм в полосе шириной от 0,2-0,5 км (в песчано-глинистых отложениях) до 2-6 км в хорошо проницаемых породах [1]. Колебания уровня подземных вод в речной долине с некоторым отставанием отражают колебания уровня реки. Поэтому подземная гидросфера является одним из основных источников хозяйственно-питьевых, минеральных, промышленных, оросительных и других вод. Режим подземных вод-это изменение во времени их уровня, химического состава, температуры и расхода. Показателями

режима являются установление высокого и низкого уровня, дебита скважин и родников, скорость подъема и спада уровня и дебита, амплитуда колебаний, характер и пределы изменений общей минерализации и типов химического состава, связь режима с различными факторами.

Выяснение закономерностей формирования их химического состава в сложных гидродинамических условиях является одной из наиболее важных проблем при использовании подземных вод в народном хозяйстве. В естественных условиях для подземных вод характерен ненарушенный (естественный) режим, который формируется в основном под влиянием метеорологических, гидрологических и геологических факторов. Метеорологические факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление)-основные в формировании режима грунтовых вод [3]. Они вызывают сезонные и годовые (многолетние) колебания уровня, а также изменения химизма, температуры и расхода грунтовых вод.

Также, инженерно-строительная деятельность человека и другие техногенные причины изменяют естественные режимобразующие факторы и способствуют возникновению новых искусственных (или нарушенных) режимов подземных вод.

Под балансом подземных вод понимают соотношение между приходом и расходом подземных вод на данном участке за определенное время. Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны, и если первый отражает изменение количества и качества подземных вод во времени, то второй-результат этого изменения [4]. Баланс может составляться для крупных территорий или для отдельных участков (поля орошения и фильтрации, групповые водозаборы и т.д.). Участки, где проводятся измерения прихода и расхода подземных вод, называют балансовыми. С помощью баланса характеризуют водообеспеченность района и возможности ежегодного пополнения запасов подземных вод, изучают причины потопления территорий, прогнозируют изменение уровня подземных вод [6]. Для решения этих вопросов необходимы данные о составляющих баланса: приходных и расходных. Приходная часть баланса грунтовых вод под влиянием естественных режимобразующих факторов складывается из следующих составляющих: инфильтрации атмосферных осадков (А); конденсации водяных паров (К); подземного притока (П). Подземный приток в свою очередь включает боковой приток (П), фильтрационные поступления из поверхностных водных источников (реки, озера) (П₂) и приток из нижележащего водоносного горизонта (П₃). Расходная часть баланса складывается из испарения (И) и подземного стока (С). Испарение (И) включает расход воды за счет испарения с поверхности грунтовых вод и транспирации воды растительностью. Подземный сток (С) представляется боковым оттоком (С₁) и притоком в нижележащий водоносный горизонт (С₂). Балансовое уравнение грунтовых вод за время t имеет вид:

$\Delta W = A + K + \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 - I - C_1 - C_2$, где ΔW – изменение запасов грунтовых вод за время t.

Если на территории участка проводились режимные наблюдения за уровнем грунтовых вод, баланс грунтовых вод может быть выражен уравнением:

$\mu \Delta h = A + K + \Pi - I - C$, где Δh – среднее изменение уровня за время t; μ – коэффициент водоотдачи (при Δh с минусом) и недостаток насыщения (при Δh с плюсом).

Величина $\mu \Delta h$ изменяется по сезонам и в многолетнем цикле. Она может быть положительной при подъеме уровня грунтовых вод и отрицательной при его опускании. [8] предложил оценивать интенсивность миграции химических элементов с помощью особого показателя коэффициента водной миграции (K_x), равного отношению содержания элементов в минеральном остатке воды к его содержанию в водовмещающих породах. Содержание элементов в водах обычно выражают в граммах на литр, в породах - в процентах. В результате формула для расчета K_x имеет следующий вид:

$K_x = m_x \cdot 100 / a \cdot n_x$, где m_x - содержание элементов в воде в г/л (или мг/л); n_x - его содержание в

конкретных горных породах или кларк в литосфере, в массовых процентах; a - минеральных

остаток воды в г/л (или мг/л); $m_x \cdot 100 / a$ - содержание элемента x в минеральном остатке изучаемой воды. При оперировании кларками, K_x представляют собой кларк концентрации элемента в минеральном остатке воды. Кларк концентрации химического элемента - отношение его содержания в данной системе к кларку в литосфере.

Экспериментальная часть

Для всех образцов воды определена степень минерализации, жесткость, количество ионов магния, кальция, сумма натрия и калия, гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов и pH среды. Концентрация указанных компонентов в воде выражена в мг-экв/л и мг/л. Общая жесткость воды определена титрованием пробы исследуемой воды раствором трилона Б с использованием в качестве индикатора кислотного хрома темно-синего в среде аммиачного буферного раствора [7]. Общая жесткость рассчитывалась по формуле $C = N_{tr-B} \cdot K \cdot 1000 / V_{H_2O}$ (мг-экв/л), где N_{tr-B} и V_{tr-B} - нормальность раствора трилона Б и объем, израсходованный на титрование (мл), K - поправочный коэффициент, V_{H_2O} - объем воды (аликвоты), взятой для анализа (мл). Кальций и магний определены титрованием раствором трилона Б с использованием в качестве индикатора мурексиды (для Ca^{2+}) и эриохрома черного Т (для Mg^{2+}) в среде аммиачного буферного раствора. Количество этих элементов рассчитано по формуле:

$$X_{Ca} = V_1 \cdot M \cdot 40,08 \cdot 1000 / V,$$

$$X_{Mg} = V_1 \cdot M \cdot 24,32 \cdot 1000 / V,$$

где M - молярность раствора трилона Б, V_1 - объем раствора трилона Б израсходованный на титрование (мл), V - объем воды, взятой для анализа (мл).

Количество ионов хлорида определялось параллельно двумя способами - растворами $Hg_2(NO_3)_2$ и $AgNO_3$ с использованием дифенилкарбазона и хромата калия в качестве индикаторов, а количество HCO_3^- -ионов определено титрованием стандартным раствором 0,1 N HCl пробы воды. Количество сульфат-ионов также определялось двумя способами: а) Титрование проведено при pH примерно 3,5 в смеси воды и метилового спирта (50:50). Сульфат бария осаждается в виде хлопьевидного осадка, обладающего высокой адсорбирующей способностью. В качестве индикатора был использован ализариновый красный S. В растворе этот индикатор имеет желтую окраску, а на поверхности осадка при добавлении небольшого избытка бария образует розовый комплекс. Изменение окраски резкое и отчетливое [8]; б) В более легком йодометрическом способе определения сульфат-ионов, при прибавлении хромовокислого бария в анализируемую воду, выделяют хромовую кислоту в эквивалентном количестве сульфат-иону, который содержится в исследуемой воде. Образовавшуюся хромовую кислоту определяют йодометрически, оттитровывая выделившийся йод гипосульфитом. При этом 96 г SO_4^{2-} соответствуют трем нормальностям $Na_2S_2O_3$ или 32 г SO_4^{2-} соответствуют одной нормальности $Na_2S_2O_3$ [9]. Количество ионов Cl^- , HCO_3^- рассчитано по формуле $X = N \cdot V \cdot E_A / 1000 V_A$. В этой формуле N и V - нормальность титранта и объем, израсходованный на титрование (мл), E_A и V_A - эквивалент определяемого компонента и объем, взятый для анализа (мл), V - объем раствора, предусмотренный для анализа (мл). Содержание бора, брома и иода определено по методам, приведенным в [10]. Общее количество ионов Na^+ и K^+ в нескольких образцах найдено методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре марки Thermo Scientific iCE 3500, а в остальных методом экстраполяции. pH воды проверен с помощью иономера EV-74. Общая степень минерализации определена с помощью взвешивания на аналитических весах сухой массы, полученной после испарения пробы воды объемом 100 мл.

Результаты и обсуждений

Известно, что подземные воды, насыщая покровные слои осадочных пород, формируют гранитные и осадочные слои как в породах, так и в верхних слоях мантии [9]. Физикохимические свойства водоносных комплексов, возникающих в это время, оказывают значительное влияние на формирование микроэлементов в составе подземных вод. В Нахчыванской Автономной Республике интенсивное формирование подземных вод также связано с наличием на территории сложных гидрогеологических условий. На территории автономной республики, имеющей более 250-ти источников минеральных вод, генезис полезных ископаемых, объем и состав водного слоя, окружающего их в различные геологические периоды, играет решающую роль в образовании минеральных вод и формировании состава их микроэлементов. Распределение микроэлементов в подземных водах зависит от структурно-тектонических условий и в различных регионах автономной республики имеет свои особенности [5]. В первом типе регионов водоносные комплексы имеют несущий характер, а подземные воды слабо сообщаются с атмосферой. Сюда относятся более нагруженные части платформ, межгорные прогибы. В водах регионов этого типа создаются благоприятные условия для скопления микроэлементов. К территориям, относящимся к регионам первого типа в Нахчыванской Автономной Республике принадлежат горные области Ордубадского района. Водопад Пазмари, расположенный на реке Айчынгыл, начинающейся от одноименного перевала Зангезурского хребта, является одним из самых крупных водопадов Азербайджана по скорости, силе и расходу потока воды. Относительная высота водопада, протекающего по узкой каньоновидной долине, составляет 16 метров, среднегодовой расход воды – 1,34 м³/сек. Определено, что состав воды гидрокарбонатно-кальциевый, степень минерализации 90 мг/л. Для 29 источников минеральной воды на территории характерны слабая минерализация, наличие газа, щелочность, низкая температура и хороший вкус. Территория Ордубадского района богата проявлениями и залежами полезных руд золота, серебра, меди, молибдена, вольфрама, других металлов, поэтому и минеральные воды здесь богаты этими микрокомпонентами.

Для регионов второго типа в связи с постоянным испарением характерно относительно интенсивное формирование подземных вод в результате активного влияния атмосферных факторов на водоносные комплексы [10]. На горных территориях Джульфинского и Шахбузского районов автономной республики преобладают свойства регионов второго типа. Исследования показывают, что на этих территориях водоносные комплексы имеют несущий характер, что отчетливо проявляется в подземных водах региона. Воды минеральных источников, число которых в Джульфинском районе составляет 75, в Шахбузском – 50, характеризуются пресностью и низкой степенью минерализации.

В регионах третьего типа по причине более сложных гидрогеологических условий происходит регулирование положительных и отрицательных изменений. Гидрохимические свойства этих вод, богатых микроэлементами многообразны. Сюда относятся крайние части платформ, направленные вверх разломы, территории в окрестностях гор. К регионам третьего типа относятся территории Бабекского, частично Джульфинского, Кенгерлинского и Шарур-Садаракского районов с их минеральными водами, артезианскими бассейнами, родниками и ключами. Наглядным подтверждением этого является богатый микроэлементный состав (бром, бор, йод, мышьяк, сурьма, висмут и др.) вод этого типа. Ниже приведены сравнительные характеристики химических составов и физико-химические особенности подземных вод различных источников указанных районов региона.

Коэффициент водной миграции позволил выразить интенсивность миграции элементов независимо от миграции хлора, для которого ранее принималась во всех случаях интенсивность миграции 100 %. В табл.1 приведены K_x для некоторых

распространенных и редких элементов (величина α -средний минеральный остаток вод по С.Щварцеву составляет 0,43 г/л.

Таблица 1

Интенсивность миграции элементов в подземных водах

Элемент	Содержание элементов m_x в подземных водах зоны гипер генеза по С.Л. Щварцеву, г/л	Содержание элементов n_x в литосфере по А.П.Виноградову, %	Коэффициент водной миграции, K_x
Cl	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	644
Br	$1,83 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	203
J	$1,61 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	99,0
Mg	$1,86 \cdot 10^{-2}$	1,87	2,30
Ca	$4,3 \cdot 10^{-2}$	2,96	3,30
Na	$4,55 \cdot 10^{-2}$	2,50	4,20
F	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	1,60
Zn	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,94
Sr	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	1,20
Mo	$2,06 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	4,40
K	$4,59 \cdot 10^{-3}$	2,50	0,43
P	$5,75 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-2}$	0,14
Mn	$4,94 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,11
Ni	$3,31 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	0,13
Cu	$5,58 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	0,27
Fe	$5,47 \cdot 10^{-4}$	4,65	0,02
Al	$2,79 \cdot 10^{-4}$	8,05	0,008
Ti	$1,04 \cdot 10^{-3}$	0,45	0,005
Cr	$2,90 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	0,08
V	$2,06 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-3}$	0,05

Как видно из табл.1, несмотря на резко различное содержание в подземных водах хлора, брома и йода, они мигрируют с близкой интенсивностью. Так же относится к кальцию, магнию, натрию (распространенные элементы) и к цинку, стронцию, молибдену (редкие элементы). Таким образом, коэффициент водной миграции позволяет сравнивать интенсивность миграции распространенных и редких элементов.

Таблица 2

Физико-химические показатели некоторых источников Бабекского района

Название источника	Химический состав	T, °C	M, мг/л	pH	D м³/день
Джагри	CO ₂ 1,3 $\frac{HCO_3 53 Cl 26 SO_4 11}{(Na+K) 47 Ca 33 Mg 20}$	18	4,1	6,4	26
Асхаби-кахф	CO ₂ 1,0 $\frac{HCO_3 38 Cl 33 SO_4 32}{(Na+K) 56 Ca 28 Mg 16}$	22	4,7	6,3	259
Гызылванг	CO ₂ 0,7 $\frac{SO_4 80 Cl 20}{(Na+K) 35 Ca 35 Mg 20}$	18	5,2	6,8	5,0
Гуюлудаг	CO ₂ 0,8 $\frac{HCO_3 43 Cl 29 SO_4 27}{(Na+K) 78 Mg 15}$	18	5,5	6,6	172
Сираб 12	CO ₂ 1,3 $\frac{HCO_3 79 SO_4 14}{Ca 52 (Na+K) 27 Mg 21}$	20	3,0	6,5	1470
Сираб 8	CO ₂ 1,2 $\frac{HCO_3 80 Cl 19}{(Na+K) 62 Ca 15}$	26	6,0	6,8	160
Сираб 4	CO ₂ 0,9 As 2,1 $\frac{Cl 54 HCO_3 45}{(Na+K) 95 Mg 3}$	29	29,7	6,6	95
Вайхыр 12	CO ₂ 1,3 $\frac{HCO_3 49 Cl 41 SO_4 9}{(Na+K) 65 Ca 23 Mg 12}$	19,9	6,9	6,5	270
Вайхыр 7	CO ₂ 1,3 $\frac{HCO_3 79 SO_4 18 Cl 13}{Ca 44 (Na+K) 39 Mg 17}$	20,4	4,5	6,5	175

Таблица 3

Физико-химические показатели некоторых источников Джульфинского района

Название источника	Химический состав	T, °C	M, мг/л	pH	D м ³ /день
Башкент	CO ₂ 1,5 $\frac{\text{HCO}_3 85 \text{ SO}_4 11}{\text{Ca} 49 (\text{Na} + \text{K}) 26 \text{ Mg} 25}$	16	2,0	7,3	16
Дарыдаг	As 22мг/л CO ₂ 0,8 $\frac{\text{HCO}_3 29 \text{ Cl} 64}{(\text{Na} + \text{K}) 93}$	50	22,0	6,6	4507
Даралик	CO ₂ 1,3 $\frac{\text{HCO}_3 72 \text{ Cl} 18}{\text{Ca} 37 \text{ Mg} 25 (\text{Na} + \text{K}) 38}$	20	3,6	6,4	150
Дарашам	CO ₂ 1,3 $\frac{\text{HCO}_3 62 \text{ SO}_4 20 \text{ Cl} 19}{\text{Ca} 47 \text{ Mg} 29 (\text{Na} + \text{K}) 24}$	22	2,5	6,6	200
Динге	CO ₂ 0,7 $\frac{\text{HCO}_3 72 \text{ SO}_4 25}{\text{Mg} 39 \text{ Ca} 33 (\text{Na} + \text{K}) 28}$	17	1,2	6,3	15
Арафса	CO ₂ 1,3 $\frac{\text{HCO}_3 87}{(\text{Na} + \text{K}) 58 \text{ Ca} 22 \text{ Mg} 21}$	14,5	4,3	6,3	25
Гулустан	CO ₂ 2,0 $\frac{\text{HCO}_3 71 \text{ Cl} 16}{(\text{Na} + \text{K}) 38 \text{ Ca} 37 \text{ Mg} 25}$	21`	3,4	6,4	250
Гави	CO ₂ 1,7 $\frac{\text{HCO}_3 79 \text{ c}}{\text{Ca} 42 (\text{Na} + \text{K}) 38 \text{ Mg} 18}$	12	2,0	6,6	70
Хошкешин	CO ₂ 2,0 $\frac{\text{HCO}_3 71 \text{ Cl} 16}{(\text{Na} + \text{K}) 38 \text{ Ca} 37 \text{ Mg} 25}$	25	8,6	6,4	35
Газанчы	CO ₂ 1,5 $\frac{\text{HCO}_3 71 \text{ SO}_4 20}{(\text{Na} + \text{K}) 38 \text{ Ca} 36 \text{ Mg} 27}$	19	4,5	6,4	15
Лекетаг	CO ₂ 1,5 $\frac{\text{HCO}_3 71 \text{ SO}_4 20}{(\text{Na} + \text{K}) 38 \text{ Ca} 36 \text{ Mg} 27}$	17	1,7	6,7	400

Таблица 4

Физико-химические показатели некоторых источников Шахбузского района

Название источника	Химический состав	T, °C	M, мг/л	pH	D м ³ /день
Аметист дереси	$\frac{\text{HCO}_3 72 \text{ SO}_4 14}{\text{Ca} 45 (\text{Na} + \text{K}) 31 \text{ Mg} 24}$	12,8	3,2	6,5	12,0
Бадамлы 4	CO ₂ 1,2 $\frac{\text{HCO}_3 71 \text{ Cl} 24 \text{ SO}_4 5,0}{(\text{Na} + \text{K}) 54 \text{ Ca} 34 \text{ Mg} 12}$	22,0	4,7	6,5	172
Бадамлы 5	CO ₂ 0,4 $\frac{\text{HCO}_3 65 \text{ SO}_4 21 \text{ Cl} 1,3}{(\text{Na} + \text{K}) 41 \text{ Ca} 35 \text{ Mg} 24}$	17	6,9	6,4	650
Батабат 1	CO ₂ 1,3 $\frac{\text{HCO}_3 85 \text{ SO}_4 11}{\text{Ca} 49 (\text{Na} + \text{K}) 26 \text{ Mg} 25}$	16	2,0	7,6	16,0
Батабат 2	CO ₂ 0,7 $\frac{\text{SO}_4 65 \text{ HCO}_3 30}{\text{Ca} 39 (\text{Na} + \text{K}) 36 \text{ Mg} 25}$	8,0	1,3	6,5	3,8
Биченек	CO ₂ 0,7 $\frac{\text{HCO}_3 85 \text{ SO}_4 20}{(\text{Na} + \text{K}) 74 \text{ Ca} 19}$	10,0	4,1	6,7	12,0
Гирдесер	CO ₂ 1,2 $\frac{\text{SO}_4 47 \text{ HCO}_3 45}{\text{Mg} 47 \text{ Ca} 31 (\text{Na} + \text{K}) 21}$	16,6	3,7	6,4	10,0
Гомур	CO ₂ 1,3 $\frac{\text{HCO}_3 74 \text{ Cl} 13}{\text{Ca} 33 (\text{Na} + \text{K}) 32 \text{ Mg} 30}$	20	3,9	6,6	230
Карвансарай	H ₂ S 600 $\frac{\text{SO}_4 78 \text{ HCO}_3 21}{\text{Ca} 58 (\text{Na} + \text{K}) 21 \text{ Mg} 21}$	80	1,4	8,0	50
Галейли	CO ₂ 1,7 $\frac{\text{HCO}_3 93}{\text{Ca} 52 \text{ Mg} 24 (\text{Na} + \text{K}) 23}$	12	2,6	6,5	28

Таблица 5

Физико-химические показатели некоторых источников Ордубадского района

Название источника	Химический состав	T, °C	M, мг/л	pH	D м ³ /день
Билев	CO ₂ 1,5 $\frac{\text{HCO}_3 75 \text{ SO}_4 14}{(\text{Na} + \text{K}) 57 \text{ Ca} 32}$	18,5	2,0	5,9	20,0
Бист	CO ₂ 1,1 $\frac{\text{HCO}_3 76 \text{ SO}_4 14}{\text{Ca} 61 \text{ Mg} 33}$	18	3,9	5,6	35

Десте	CO_2 0,7 $\frac{\text{HCO}_3\ 61\ \text{SO}_4\ 32}{\text{Ca}\ 61(\text{Na}+\text{K})21\ \text{Mg}\ 18}$	18	1,4	6,5	15
Елехи	CO_2 1,3 $\frac{\text{HCO}_3\ 79\ \text{SO}_4\ 12}{(\text{Na}+\text{K})38\ \text{Ca}\ 33\ \text{Mg}\ 28}$	13,5	3,6	6,1	21
Гензе	CO_2 0,22 $\frac{\text{HCO}_3\ 53\ \text{SO}_4\ 30\ \text{Cl}\ 17}{(\text{Na}+\text{K})41\ \text{Mg}38\ \text{Ca}21}$	15	5,6	7,5	160
Килит	CO_2 0,7 $\frac{\text{HCO}_3\ 87}{\text{Ca}\ 60\ \text{Mg}\ 30}$	16	2,2	6,5	20
Котам	CO_2 1,0 $\frac{\text{HCO}_3\ 91}{\text{Ca}\ 85(\text{Na}+\text{K})10}$	15	1,8	7,7	25
Назирваз	CO_2 1,4 $\frac{\text{HCO}_3\ 68\ \text{SO}_4\ 21}{(\text{Na}+\text{K})36\text{Ca}\ 35\ \text{Mg}\ 29}$	15	1,5	6,2	330
Нуснус	CO_2 0,8 $\frac{\text{HCO}_3\ 87\ \text{SO}_4\ 10}{\text{Ca}\ 81\ \text{Mg}\ 17}$	12	0,6	6,2	100
Парага	CO_2 1,8 $\frac{\text{SO}_4\ 85\ \text{HCO}_3\ 13}{\text{Ca}\ 77\ \text{Mg}\ 20}$	13	1,7	6,5	90

Как видно из этих таблиц, при переходе из равнинных территорий (Бабекский район) к горным (Джувльфинский и Ордубадский районы) состав, минерализация и жесткость исследуемых вод закономерно изменяется (уменьшается). В Ордубадских источниках сульфат-ионы или не встречаются, или встречаются их следы в мизерном количестве. Эти воды различаются от подземных вод остальных регионов Нахчыванской Автономной Республики необычной мягкостью. В Ордубадском и Шахбузском районах кратковременного питания достигают минимальная минерализация 1-10 мг/л и наблюдается в весеннее и летнее время (результат разбавление талыми водами). Наиболее характерны ионы HCO_3^- и Ca^{2+} . Максимальная минерализация в провинции сезонного питания наблюдается в предвесеннее и летнее время, в провинции круглогодичного питания- в летне-осеннее время, совпадая с минимальным уровнем грунтовых вод. Колебания минерализации от 10-400 мг/л в равнинных зонах Джувльфинского района до 20-1000 мг/л, в горных территориях растёт содержание SO_4^{2-} и Na^+ -ионов. В равнинных территориях характеризуется преобладанием испарения над питанием грунтовых вод, их выпариванием и снижением уровня. В результате происходит накопление солей в зоне аэрации и увеличение минерализации грунтовых вод. В периоды зимнего и весеннего питания инфильтрующиеся воды растворяют эти соли и ещё более повышают минерализацию. Преобладают Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} -ионы. Суммируя все вышесказанные можно прийти к заключению, что одним из главных природных богатств региона являются его курортно-лечебный климат и минеральные лечебные источники, не уступающие по лечебным свойствам мировым аналогам.

Таким образом, для автономной республики изучение гидрохимических свойств источников минеральных вод с одной стороны дает возможность диагностики их ресурсного потенциала, а с другой – возможность более эффективного использования этих вод.

1. Аббасов А., Мамедова Ф., Гейдарова Ф. Геохимия и особенности распространения природных вод в Нахчыванской Автономной Республике, Нахчыван, 2015, 286 с.
2. Казымов М.Г., Мамедова Ф.С. Водные ресурсы Нахчыванской Автономной Республики, Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус», Киев, 2017, с. 57-63.
3. Бабаев А.М. / Минеральные воды горно-складчатых областей Азербайджана. Баку: Чашыюглы, 2000, 384 с.
4. Анзельм А.К., Эсанбеков Ю.М. Влияние режима грунтовых вод на мелиоративное состояние орошаемых земель // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование, 2016, с.361-364
5. Калачева Г.Е., Котенко А.Г. Химический состав вод и условия формирования верхне-юрских термальных источников. // Вестник Краунц.Науки о Земле, 2013, №2, Вып.22, с.5-68
6. Михеев А.В. Гидрогеология, Ульяновск: УлГТУ, 2010, 200 с.
7. Пономарева В.Д., Иванов Л.И. / Практикум по аналитической химии. М.: Высшая Школа, 1983, 271с.
8. Фритц Дж., Шенк Г. / Количественный анализ. М.: Мир, 1978, 557 с.

9. Строганов Н.С., Бузинова Н.С. / Практическое руководства по гидрохимии 2-е издание, М.: МГУ, 1980, 196 с.
10. Резняков А.А., Муликовская П.Е., Соколов Ю.И. / Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970, 488 с.
11. Посохов Е.В. / Формирование химического состава подземных вод (основные факторы), Л.: ГИ, 1969, 335 с.
12. Черданцев В.А., Пивон Ю.И. / Методические указания по дисциплине: «Гидрология». Новосибирск НГАЭиУ, 2004, 112 с.

Фолманис Г.Э.

Получения коллоидных растворов красного и серого селена

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-66

idsp: sciencerussia-10-04-2019-66

Селен – следовой минерал. Известны три модификации селена: красный аморфный селен, серая форма с гексагональной структурой и моноклинные красные кристаллы. В земной коре селен составляет порядка 500 мг/т. Содержание селена в продуктах зависит от количества минерала в почве. Почти 1 миллиард человек во всем мире страдают от дефицита селена [1,2]. В Российской Федерации низкие уровни селена в почвах отмечаются в Бурятии, Иркутской и Читинской областей. Микроэлемент селен важен для человека. Он обладает антиоксидантными свойствами и повышает иммунитет. Селен также помогает бороться с хронической астмой, с инфекционными заболеваниями и поддерживает функции щитовидной железы. Исследования американских ученых показали, что селен может применяться для профилактики широкого заболеваний спектра заболеваний [3]. Тибетская медицина предусматривает употребление с пищей селена, что приводит к долгожительству и омоложению организма. Согласно рекомендациям ВОЗ норма потребления селена для взрослого человека составляет около 70-100 мкг/день. Потребность в селене возрастает при лечении вирусных инфекций и может составить до 600 мкг в день.

Функциональные продукты питания играет важную роль в профилактике и лечении заболеваний наряду с традиционным медикаментозным лечением [4]. Для обеспечения физиологических потребностей организма человека перспективно применение элементарного (нульвалентного) селена в наноразмерном состоянии [5]. Значительный научно-практический интерес имеет создание новых лекарственных форм, содержащих селен. Лекарственные формы, как правило, готовят на основе коллоидных растворов биологически активных веществ [6]. Известны перспективные технологические процессы приготовления коллоидных растворов селена, в том числе лазерной абляции и ультразвуковым диспергированием [7,8].

Целью данной работы – получение коллоидных растворов красного и серого селена для приготовления наноразмерных экологически чистых биопрепаратов.

Экспериментальная часть

Мишенью в работе служили гранулы элементарного селена марки ОСЧ (ГОСТ 5.1489-72). Коллоидный раствор создавали в бидистиллированной воде (ТУ 6-09-2502-77), причем жидкость принудительно не перемешивалась. Водородный показатель (рН) исходной бидистиллированной воды равнялся 6,2. Для его приготовления применяли твердотельный лазер с кристаллом иттрий-алюминиевого граната, легированные неодимом, длина волны излучения составляла 1064 нм, энергия в импульсе 2,50 Дж и длительность импульса 12 нс. Частота следования импульсов порядка 1 Гц. А также использовали ультразвуковую ванну УЗВ-1,3 (“Сапфир”, Россия) с рабочей частотой 35 кГц при мощности генератора 50 Вт. В неё помещали кварцевый сосуд с гранулами селена. Концентрация селена в коллоидном растворе измеряли методом атомно-

эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС с ИНП) на приборе ULTIMA 2 (Horiba Jobin-Yvon, Франция). Распределение частиц по размерам оценивали методом динамического рассеяния света (ДРС) при помощи прибора Zetasizer Nano ZS (Malvern, Великобритания). Дзета-потенциал частиц селена в водной среде определяли тем же прибором. Известно, что в результате теплового движения частицы дисперсной фазы в коллоидных системах совершают хаотические движения, изменяя направление $\sim 10^{14}$ раз в секунду, поэтому на приборе ДРС проводили 5 последовательных измерений. Водородный показатель измеряли при помощи прибора pH-метр S220-Kit (Mettler Toledo, Швейцария).

Результаты и обсуждение

Распределение частиц по размерам в приготовленном лазерной абляцией коллоидном растворе селена приведено на рис. 1. Времени процесса образуются частицы селена размером несколько более 100 нм. На рисунке цифрами показана последовательность измерений. По интенсивности сигнала видно, что он с последующими измерениями перемещается в область более высоких значений размеров, по числу частиц – наблюдается иная последовательность. В [9] показано, что облучение коллоидного раствора селена лазерными импульсами приводит к фрагментации частиц дисперсной фазы, таким образом, распределение по размерам частиц смещается в меньшую сторону (см. рис. 1 б). Из того же рисунка видно, что происходит более значительное изменение размеров именно меньших по сравнению с крупными частицами. Это видно по областям I и II. Уменьшение меньших частиц над крупными частицами превалирует, интенсивность ведет себе соответственно. Она сдвигается в сторону больших значений, то есть область II превалирует над I.

Дзета-потенциал водного коллоидного раствора селена составляет порядка -14,6 мВ, pH = 4,92. На рис. 2 приведена электронограмма аморфного селена.

Рис. 1. Распределение частиц по размерам во время лазерной абляции селена в водной среде: а – с учетом интенсивности сигнала; б – с учетом количества частиц. Стрелками показана последовательность измерений.

Рис. 2. Электронограмма наноразмерного красного аморфного селена.

Приготовление лазерной абляцией коллоидного раствора селена с концентрацией 3,5 мг/л занимает несколько минут. Наноразмерный селен имеет аморфную структуру и коллоидный раствор окрашен в красный цвет.

Распределение в коллоидном растворе частиц селена по размерам, полученном диспергированием в ультразвуковой ванне, приведено на рис. 3. По интенсивности сигнала видно, что сигнал с последующими измерениями перемещается в область более высоких значений размеров, по числу частиц – наблюдается иная последовательность, зависимость сдвигается в сторону меньших размеров. Во время диспергирования в ванне в распределении частиц виден один пик среднего размера частиц со значением выше размеров 100 нм.

Рис. 3. Распределение частиц по размерам во время диспергирования селена в ультразвуковой ванне в водной среде: а – с учетом интенсивности сигнала; б – количества частиц селена. Стрелками показана последовательность измерений.

Рис. 4. Электронограмма наноразмерного кристаллического серого селена.

Во время диспергирования в ультразвуковой ванне определенное значение имеет материал сосуда, в котором осуществляется процесс [10]. Опыт проводили в кварцевом сосуде марки КУ-1 (ГОСТ 15130-86). Согласно значению дзета-потенциала в кварцевом сосуде коллоидный раствор селена наиболее устойчив -14,2 мВ, рН = 6,14. На рис. 4 представлена электронограмма кристаллического селена.

Приготовление коллоидного раствора селена с концентрацией 3,5 мг/л в ультразвуковой ванне занимает порядка 15 часов. Наноразмерный селен имеет кристаллическую структуру, и коллоидный раствор окрашен в серый цвет

Выводы

Под воздействием лазерного импульса образуются аморфные частицы селена, скорость распыления достаточно высока для кристаллизации вещества. Уменьшение скорости распыления приводит к образованию вещества с кристаллической структурой. В

ультразвуковой ванне при меньших скоростях поступления селена в жидкую фазу протекает процесс кристаллизации селена.

Государственное задание № 075-00746-19-00.

1. <https://foodismedicine.ru/selen-polza-i-vred-dlya-organizma/>
2. Третьяк Л.Н., Герасимов Е.М. Специфика влияния селена на организм человека и животных (Применительно к проблеме создания селеносодержащих продуктов питания). // Вестник Оренбургский государственный университет, 2007, №12, с. 136-145.
3. CIS 77-155. Selenium. // DC, National Academy of Sciens. Washington, 1976, 203 p.
4. Гаделева Х.К. Функциональные продукты питания. М.: КноРус, 2017, с. 304.
5. Мирошниченко М. В. Изучение закономерностей синтеза и разработка технологии концентрата наночастиц нульвалентного селена для новых профилактических продуктов. Автореферат диссертации на соискание кандидата технических наук, Ставрополь, 2013, с. 138.
6. Хинт И.А. О четвёртом компоненте технологии. Научно-информационный сборник СКТБ «Дезинтегратор». Таллин: «Валгус», 1980. С. 66.
7. Barcikowski S., Devesa F., Moldenhauer K.J. Impact and structure of literature on nanoparticle generation by laser ablation in liquids. // Nanopart. Res., 2009, 11 1883. DOI 10.1007/s11051-009-9765-0.
8. Geganken A. Using sonochemistry for the fabrication of nanomaterials // Ultrasonics Sonochemistry, 2004, vol. 11, p. 47-55.
9. Тананаев И.Г., Ролдугин В.И., Фолманис Г.Э., Коваленко Л.В., Казилин Е.Е., Федотов М.А., Волченкова В.А. Фрагментация дисперсной фазы селена лазерным импульсами. // Физика и химия обработки материалов, 2016, № 5, с. 23-26.
10. Фолманис Г.Э., Федотов М.А., Коваленко Л.В., Ролдугин В.И., Тананаев И.Г. Влияние стенки сосуда на диспергирование селена в ультразвуковой ванне. // ФизХОМ, 2018, № 1, с. 88-92.

РАЗДЕЛ XVII. ФИЗИКА

Гаджиева Г.С.¹, Казымова Ф.А.¹, Ибрагимова Т.Ш.¹, Тагиев О.Б.^{1,2}Расчет параметров метода термического высвечивания и ловушечных уровней в кристаллах $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$ ¹Институт Физики Национальной Академии Наук²Флиал Московского Государственного Университета им. М.В.Ломоносова в г.Баку (Азербайджан, Баку)

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-67

idsp: sciencerussia-10-04-2019-67

Аннотация

В диапазоне температур 110-310 К при различных скоростях нагрева с помощью кривых термического высвечивания исследована термолюминесценция кристаллов $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$. Определены энергия тепловой ионизации, частотный фактор, рассчитаны параметры метода термовысвечивания (дисперсия, разрешающая способность, светосила). Показано, что с увеличением скорости нагрева образцов интенсивность термолюминесценции растет и максимумы кривых свечения смещаются в сторону высоких температур.

Ключевые слова: метод термовысвечивания, термолюминесценция, дисперсия, разрешающая способность, светосила.

Abstract

The thermoluminescence of $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$ crystal was investigated in the temperature range 110–310 K at various heating rates using thermo-lighting curves. The thermal ionization energy, frequency factor were determined and the parameters of thermo-lighting method (dispersion, resolution, light power) were calculated. It was shown that, the thermoluminescence intensity increases and the maxima of the emission curves shift toward higher temperatures with an increase in the heating rate of the samples.

Keywords: thermo-lighting method, thermoluminescence, heating rate, dispersion, resolution, light power.

Люминесценция ионов Er^{3+} исследована в различных кристаллических матрицах. Особый интерес представляет излучение Er^{3+} , обусловленное внутривалентными переходами $4f$ - электронов в области 1530-1560 нм [1], перспективное для использования в волоконно-оптической связи. Материалы, содержащие Er^{3+} , могут использоваться для изготовления планарных оптических усилителей и лазеров.

Соединение $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}$ принадлежит к обширному классу веществ с общей формулой $\text{AB}_2\text{C}_4\text{VI}$ ($\text{A}=\text{Eu}, \text{Yb}, \text{Sm}$; $\text{B}=\text{Al}, \text{Ga}, \text{In}$; $\text{C}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) и относится к тетрагональной сингонии (пространственная группа Fddd), с параметрами кристаллической решетки следующие: $a=20,716\text{Å}$, $b=20,404\text{Å}$ и $c=12,200\text{Å}$ [2].

В работе [3-8] приводятся результаты исследований фото-термолюминесценции, зависимости интенсивности люминесценции от температуры, возбуждающего излучения в кристаллах $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}$.

Представленная нами настоящая работа посвящена исследованию термолюминесценции (ТЛ) в кристаллах $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$ при помощи кривых термического высвечивания, на основании которых делается расчет некоторых параметров ловушечных уровней и метода термовысвечивания.

Исследуемые кристаллы EuGa_2S_4 синтезировались из бинарных соединений EuS и Ga_2S_3 , взятых в стехиометрических соотношениях в откаченных до $\sim 10^{-4} \div 10^{-5}$ мм.рт.ст. кварцевых ампулах методом твердотельной реакции. В качестве активатора использовался Er с концентрацией $\sim 7\%$, который вводился в шихту в виде фторидов эрбия (ErF_3). Синтез проводился при температуре 1400K в течение 10 часов, после чего образец помещался в среду H_2S , что способствовало улучшенному размещению ионов Er^{3+} в матрице. Термолюминесценция исследована по методике, описанной в работе [9]. Образцы возбуждались ртутной лампой ПРК4 в течение 3 мин при температуре жидкого азота. Кривые термовысвечивания записывались при различных скоростях нагрева в температурном интервале 110-310K.

Рис.1. Простая зонная модель кристаллов $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$

На рис.1 приведена простая зонная модель кристаллов $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$, поясняющая механизм термовысвечивания. При поглощении фотона $h\nu$ атомы активатора А возбуждаются: электроны с примесного уровня А переходят в зону проводимости (переход 1) и становятся свободными. Захватываясь ловушками Л_1 и Л_2 , электроны теряют свою подвижность, а вместе с ней и способность рекомбинировать с ионом активатора. Для освобождения электронов из ловушек требуется затратить энергию E_t , которую они получают при нагреве кристалла. При этом электроны, переходя в зону проводимости, начинают блуждать по объему кристалла до тех пор, пока не будут рекомбинировать с ионом активатора (переход 2), что и приводит к высвечиванию кристалла.

На рис.2. представлен спектр ТЛ кристаллов $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$, снятый при различных скоростях их нагрева, а на рис.3 показан общий вид этого спектра. Видно, что спектр имеет вид широкой полосы и охватывает область температур 110-310K. Положение температуры максимума T_m спектра зависит от скорости нагрева β . При этом интенсивность (I) и полуширина (δ) растут. Для скоростей нагрева 0,26; 0,67; 1,35; 1,96 К/сек T_m принимает значения 184, 194, 202, 215 К, соответственно. Полученные результаты измерений были анализированы на основе теории и модели, описанные в работах [10-14], согласно которым наблюдаемые максимумы характерны для тройных щелочноземельных и редкоземельных халкогенидов, входящих в группу $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{III}}_2\text{C}_4^{\text{VI}}$. Установлено, что спектры ТЛ обусловлены электронными ловушками с квазинепрерывным распределением уровней в интервале энергий 0,1-0,3эВ. Отметим, что на кривой ТЛ с высоко температурной стороны при $\beta=0,67\text{K/s}$ наблюдается слабый

пик при 221К, который легко устраняется методом термической очистки, предложенным в работе [15].

По полученным экспериментальным результатам можно определить ряд весьма важных параметров центров захвата: энергию тепловой ионизации (E_t), частотный фактор (p_0), полуширину спектра ТЛ (δ) и др. Из уравнения кривой термовысвечивания для интенсивности [9,16]

$$I = n_0 p_0 \exp \left\{ -\frac{E_t}{kT} - \frac{p_0}{\beta_0} \int_0^T \exp \left(-\frac{E_t}{kT} \right) dT \right\}, \quad (1)$$

Где n_0 – полная светосумма, запасаемая на уровнях захвата данной глубины; p_0 – частотный фактор-величина, пропорциональная частоте эффективных соударений, способных освобождать электроны с уровней захвата; E_t – энергия тепловой ионизации (глубина уровня захвата); k – постоянная Больцмана ($0,86 \cdot 10^{-4} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$); T – абсолютная температура.

В предположении наличия уровней одной глубины и без учета повторных прилипания электронов (мономолекулярный характер кинетики высвечивания), можно рассчитать представляющие интерес величины метода термовысвечивания: дисперсию, разрешающую способность и светосилу.

Согласно [9] за дисперсию метода термовысвечивания принимают величину $D = dT_m / dE_t$, которая характеризует, насколько далеко расположены друг от друга максимумы пиков термовысвечивания T_m при определенной разности тепловых энергий ионизации соответствующих центров захвата. При условии $dI/dT_{T=T_m} = 0$ из выражения (1) получается, что

$$E_t = kT_m \ln \left(\frac{p_0}{\beta_0} \frac{kT_m^2}{E_t} \right) \quad (2)$$

Заменив

$$\frac{kT_m^2}{E_t} = T_2 - T_m = \delta_2 \quad (3)$$

Из (2) следует, что

$$E_t = kT_m \ln \left(\frac{p_0}{\beta_0} \delta_2 \right) \quad (4)$$

Следовательно

$$D = \frac{dT_m}{dE_t} \cong \frac{1}{k} \frac{1}{\ln \left(\frac{p_0}{\beta_0} \delta_2 \right)} \quad (5)$$

Здесь T_2 – температура на спадающей части пика термовысвечивания, при которой $I = 0.5I_m$, β_0 – скорость нагрева образца (К/с); δ_2 – полуширина спектра с высокотемпературной стороны.

Так как величина p_0 считается постоянной для данного фосфора [16] (она мало изменяется с температурой), то согласно (4) дисперсия метода практически постоянна по всему энергетическому спектру при постоянной β_0 и δ_2 .

Разрешающую способность метода термовысвечивания характеризуют величиной $R = D/\delta$. Пренебрегая асимметрией пиков термовысвечивания при $I = 0.5I_m$ и полагая $\delta \sim 2\delta_2$, из (3) и (4) получают, что

$$R = \frac{1}{2E_t} \ln \left(\frac{p_0}{\beta_0} \delta_2 \right) \quad (6)$$

Из (6) следует, что разрешающая способность метода непостоянна по энергетическому спектру: при увеличении E_t разрешающая способность уменьшается. Из выражений (6) и (4) можно рассчитывать величину минимальной разности E_t , которая еще может быть разрешена методом термовысвечивания:

$$\Delta E_t = R^{-1} = 2kT_m \quad (7)$$

Отсюда

$$R = \frac{1}{2kT_m} \quad (8)$$

За светосилу метода термовысвечивания принимают величину $P = I_m/n_0$. Из (3) и (4), пренебрегая асимметрией пиков термовысвечивания, имеем:

$$I_m = n_0 \beta_0 \frac{k}{2E_t} \ln \left(\frac{p_0}{\beta_0} \delta_2 \right) \quad (9)$$

Следовательно,

$$P = \frac{I_m}{n_0} = \beta_0 \frac{k}{2E_t} \ln \left(\frac{p_0}{\beta_0} \delta_2 \right) \quad (10)$$

Отсюда следует, что светосила метода непостоянна по энергетическому спектру: при увеличении E_t светосила уменьшается.

Из сравнения выражений (5), (6), (8) и (10) можно установить связь между D , R и P :

$$R = \frac{1}{2kT_m} \quad (11)$$

$$D = \frac{1}{2E_t R k} \quad (12)$$

$$P = R \beta_0 k \quad (13)$$

Чтобы рассчитать величины D , R , P необходимо сначала вычислить E_t и p_0 , для чего были предложены разные независимые способы, одним из которых является нахождение их по двум разным скоростям [11,16]. Действительно, обозначив через β_1 скорость нагревания образца в одном опыте и через T_{m1} положение максимума интенсивности свечения при этой скорости и соответственно через β_2 и T_{m2} те же величины для второго опыта будем иметь [11,16]:

$$E_t = \frac{kT_{m1}}{T_{m1}-T_{m2}} \cdot \ln \frac{\beta_1 T_{m2}^2}{\beta_2 T_{m1}^2} \quad (14)$$

$$\ln p_0 = \ln \frac{E_t}{k} + 2 \frac{T_{m2} \ln T_{m2} - T_{m1} \ln T_{m1}}{T_{m1} - T_{m2}} + \frac{T_{m1} \ln \beta_1 - T_{m2} \ln \beta_2}{T_{m1} - T_{m2}} \quad (15)$$

Результаты вычислений по этим формулам приведены в таблице 1.

В работах [16] и [17] приведены другие формулы для нахождения E_t и p_0 , а именно:

$E_t = AkT_m$, в которой $A=15$ согласно нашим вычислениям и $A=15 \div 30$ согласно [18] и

$$\ln \frac{p_0 T_m}{\beta} = \frac{E_t}{kT_m} + \ln \frac{E_t}{kT_m} \quad (16)$$

Определенные по этим формулам численные значения E_t и p_0 показаны в таблице 2.

Энергия тепловой активации E_t была определена и по начальному росту интенсивности кривых ТЛ, которая изменяется с температурой по закону $I = I_0 e^{-E_t/kT}$. Построенная в координатах $\ln I$ от $1/T$ зависимость I от T изображается прямой линией (рис.4), наклон которой дает значение $E_t = 0,2 \div 0,3$ эВ. Перекрывание близкорасположенных ловушечных уровней, к сожалению, затруднило оценить параметры их сечения захвата.

Наконец, после того как были вычислены значения E_t и p_0 , а также полуширина $\delta_2 = \frac{kT_m^2}{E_t}$ и полная полуширина $W = 2,2982$, при которых $I = 0,5 I_m$, рассчитаны дисперсия (D), разрешающая способность (R) и светосила (P) по вышеприведенным формулам (5), (6), (10) и (12) (таблица 2).

Таким образом, в кристаллах $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$ с помощью кривых термического высвечивания исследована термолюминесценция при различных скоростях нагрева. Определены энергия тепловой ионизации, частотный фактор, рассчитаны параметры метода термовысвечивания (дисперсия, разрешающая способность, светосила). Показано, что с увеличением скорости нагрева образцов интенсивность термолюминесценции растет и максимумы кривых свечения смещаются в сторону высоких температур.

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки
при Президенте Азербайджанской Республики-Грант
№ EIF-BGM-3-BRFTF-2+/2017-15/01/1*

1. Георгобиани А. Н., Тагиев Б. Г., Джаббаров Р. Б., Абушов С. А., Казымова Ф. А., Бартоу К., Беналлул П., Салманов В. М. Люминесценция кристаллов $\text{MII Ga}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$ (MII — Eu, Yb, Ca). // ЖПС, 2007, 74, 3, 5 332-336.
2. Roques R., Rimet R., Declercq J.P. et Germain G. Determination de la structure cristalline de EuGa_2S_4 . // Acta. Cryst., 1979. B.35, p.555-557.
3. Абдуллаев Г.Б., Тагиев О.Б., Нифтиев Г.М., Алиев О.М. Фотолюминесценция монокристаллов EuGa_2S_4 . // ЖПС, 1985, 53, в.1, с.157.
4. Tagiev O.B., Niftiev G.M., Askerov I.M. The Frenkel thermal –field emission EuGa_2S_4 . // Phys.stat.sol.(a), 1983, 78, №1, k43-k46.
5. Tagiev O.B., Ibragimova G.I.N. Optical properties of EuGa_2S_4 . // Phys.Stat.sol.(a), 1986, 97, №1, k 49-k 52.
6. Георгобиани А.Н., Тагиев Б.Г., Тагиев О.Б., Абушов С.А., Казымова Ф.А., Гашимова Т.Ш., С.Сююнь (Xu Xurong). Температурные зависимости фотолюминесценции и времени жизни возбужденных состояний ионов Eu^{2+} в EuGa_2S_4 и $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$ // Неорг.мат. 2009, т.45, №2, с.152-158.
7. Barthou C., Benalloul P., Tagiev B.G., Tagiev O.B., et.al. Energy transfers between Eu^{2+} and Er^{3+} in EuGa_2S_4 : Er. // J. of Physics: Condensed matter. 2004, 16, p.8075-8084.
8. Георгобиани А.Н., Абушов С.А., Казымова Ф.А., Тагиев Б.Г., Тагиев О.Б., Беналоул П., Бартоу К. Люминесценция $\text{EuGa}_2\text{S}_4:\text{Er}^{3+}$. // Неорг.мат. 2006, т.42, №11, с. 1304-1307.
9. Луцик Ч.Б. К теории термического высвечивания. // Док. АН СССР 1955, т.101, №4, с.641-644.
10. Rao D.R. On the Analysis of Thermoluminescence Glow Pattern. // Phys. Stat. sol.(a), 1974, v.22, p.337-340.
11. Гороховатский Ю.А., Бордовский Г.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков. // Москва «Наука», 1991, 245с.
12. Mentel A. New Kind of Calculation of Thermoluminescence Parameters. // J. Phys. Stat. sol. (a), 1992, 130, k169-k172.
13. Георгобиани А.Н., Эмиров Ю.Н., Грузинцев А.Н., Зобов Е.М. и др. Термолюминесценция тиагалатов CaGa_2S_4 с примесью Eu. // Кр соб. по физ. ФИАН N.1, 2001, с.3-9.
14. Асадов Е.Г., Казымова Ф.А., Ибрагимова Т.Ш., Тагиев К.О. Термостимулированная люминесценция кристалла $\text{Ca}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$. Письма в ЖТФ, 2017, т.43, вып.4, с.39-46.
15. Nikolas K.H., Woods J. Brit. J.Appl.Phys., 1964, 15, 783.
16. Парфианович И.А. Об определении энергетической глубины уровней захвата электронов в кристаллофосфорах. // ЖЭТФ, 1954, 26, №6, с.696-702.
17. Randall J.T., Wilkins M.N.F. Phosphorescence and electron traps. // Proc. Roy. Soc. London, 1945.-V.A184.-P.366-389.
18. Boer K.W., Oberlander S., Voigt J. Uber die Auswertung von leitfähigkeitsglowkurwen. // Ann. Phys. (Germany), 1958, F.7, Bd.2 No. 3/4, p. 130-145.

Лин Э.Э.

Кластерный механизм стохастической кинетики образования мутационных белковых наночастиц и мезообъектов*Российский федеральный ядерный центр
(Россия, Саров)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-68

idsp: sciencerussia-10-04-2019-68

Аннотация

В целях создания и исследования биологических материалов рассмотрен возможный кластерный механизм образования мутационных белковых наночастиц и мезообъектов (клеток и органелл). Полученные результаты, вытекающие из соотношения неопределенностей «координата–импульс» в пространстве размеров объектов – молекулярных кластеров, указывают на возможность случайного образования в системе, первоначально состоявшей из молекул аминокислот (зародышей), наноструктурированных квазикристаллических форм, соответствующих по размерам жизненно важным белкам и клеткам и не связанных с предварительным образованием полипептидных наноцепочек. Разработанный кинетический подход может оказаться полезным при решении задач лабораторного моделирования поведения биологических систем в различных условиях.

Ключевые слова: кластерный механизм, кинетика образования, белковые наночастицы, мезообъекты, пространство размеров, соотношение неопределенностей, мутации

Введение

Одним из актуальных направлений нанонауки и нанотехнологии является создание и исследование биологических материалов, в частности, исследование физических механизмов биосинтеза белка [1, 2]. В соответствии с результатами исследований общепринятая схема построения белков выглядит таким образом, что из наноцепей с пептидными C–N связями (первичные структуры) в результате скручиваний и взаимного расположения различных полипептидов в присутствии молекул нуклеиновых кислот образуется объемно-упакованная наночастица, представляющая собой аperiодический кристалл с заданным биологическим кодом.

Вместе с тем, в работах [3, 4] рассмотрена возможность другой схемы образования биологических наночастиц, в которой, в результате колебательно-вращательных взаимодействий молекул аминокислот, может осуществляться их прямая объемная поликонденсация. Затравочными центрами поликонденсации могут являться молекулы нуклеиновых кислот, около которых группируются молекулы аминокислот в определенном порядке, задаваемом предпочтительным образованием в объеме системы C–N-связей, как наиболее коротких и прочных по сравнению со связями C–C и C–O. В предложенном подходе к рассмотрению подобного механизма синтеза белковых наночастиц принцип неопределенности допускает возможность мутаций биологических объектов на молекулярном уровне.

В данной работе проведено уточнение и расширение сформированных в [3, 4] модельных представлений о кластерном механизме стохастической кинетики образования мутационных белковых наночастиц, а также мезообъектов – клеток и органелл.

Методология

Процесс необратимой агрегации объектов будем описывать в терминах волны $\varphi(a, t)$ плотности распределения в пространстве размеров кластеров a , распространяющейся с течением времени t в сторону их увеличения. Такой

одномерный подход позволяет не учитывать отклонение геометрической формы объекта от идеальной. Исходя из вытекающего из теоремы Фурье универсального соотношения для полуширины волнового пакета и полуширины спектральной линии $\Delta a \cdot \Delta k \geq 1/4\pi$ [5] (k – волновое число), справедливого для волны любой физической природы, можно записать следующее соотношение неопределенностей для координаты и импульса в пространстве размеров кластеров:

$$\Delta a \cdot \Delta p \cong \frac{\hbar}{2}. \quad (1)$$

Здесь $\Delta p \sim p = m \Delta a / \Delta t$ – неопределенность импульса, $m = \alpha \rho a^3 \cong m_0 (a/a_0)^3$ – масса кластера, α – геометрический фактор, ρ – плотность вещества кластера, m_0, a_0 – масса и размер зародыша, $\hbar$ – приведенная постоянная Планка. Неопределенность импульса по порядку величины равна самому импульсу, т. е. взаимодействие объектов либо имеет место, либо его нет. Физический смысл соотношения (1) заключается в том, что в течение промежутка времени $\Delta t = t_i$ элементарного (единичного) акта взаимодействия объектов точный размер кластера не может быть определен до тех пор, пока это взаимодействие не завершится либо захватом одного объекта другим, либо их частичным или полным разрушением, либо упругим рассеянием. Это связано с тем, что до окончания рассматриваемого элементарного акта невозможно определить, к какому из объектов относится каждый из их взаимодействующих поверхностных элементов, из которых состоит рассматриваемая среда. В данном случае такими элементами являются молекулы аминокислот – зародыши биологических объектов. Это означает, что принцип неопределенности допускает мутации биологических объектов на молекулярном уровне.

Эволюция функции плотности распределения $\varphi(a, t)$ в течение стохастического процесса агрегации может быть описана в диффузионном приближении с помощью кинетического уравнения Фоккера-Планка, записанного для пространства размеров кластеров:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial a} [v \varphi] - \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial a^2} [\eta \varphi] = 0. \quad (2)$$

Здесь $v = \langle da \rangle / dt$, $\eta = \langle (da)^2 \rangle / dt = \hbar / 2m$ – средняя скорость кинематического переноса φ и коэффициент диффузии в пространстве a соответственно. Линеаризация кинетического уравнения Фоккера-Планка (2) позволяет установить основные свойства функции плотности распределения кластеров по размерам и получить выражения для асимптотических законов роста среднего размера больших кластеров ($\langle a \rangle \gg a_0$) со временем. Полученное в [3, 4] решение линеаризованного уравнения (2) методом Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна дает следующую формулу для относительной плотности распределения объектов по размерам:

$$P \approx \xi^{-3/4} \cos \frac{2\sqrt{2}}{5} \frac{\lambda}{\beta^{1/2}} \left[(\xi)^{5/2} - 1 \right]. \quad (3)$$

Здесь $\xi = a/a_0$, $\beta \approx \hbar t_i / 2m_0 a_0^2$, λ – «произвольное» действительное число, приблизительное значение которого установлено путем сшивки решения для малых с размером зародыша и равно $\sqrt{15/2}$. Пространственный сомножитель функции φ нормирован на «амплитуду» для зародыша $(\beta/2)^{1/4} (1/\lambda)^{1/2}$. Формула (3) указывает на

существование дискретного набора наиболее вероятных размеров кластеров $\xi_n = a_n/a_0$:

$$\xi_n = \left(1 + \frac{5}{2\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\beta}}{\lambda} \pi n \right)^{2/5}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Общий закон роста среднего размера $\langle a \rangle$ имеет следующий вид:

$$\langle a \rangle = a_0 K \left(\frac{t}{t_i} \right)^Z. \quad (5)$$

Здесь K, Z – константы. Приблизительный закон роста среднего размера больших кластеров в результате захвата ими зародышей записывается как

$$\langle a \rangle \approx a_0 \left(\frac{5t}{2\sqrt{2}t_{un}^{cn}} \right)^{2/5}, t_{un}^{cn} = a_0 \left(\frac{m_0 t_s}{\hbar} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Здесь t_{un}^{cn} – единица времени при малом потоке зародышей на кластер, t_s – время диффузии зародыша по поверхности кластера вплоть до образования устойчивых связей (время «захвата» зародыша). В случае большого потока зародышей, а также в процессах взаимодействия между большими кластерами можно полагать, что $\Delta t \equiv t_i = 2\langle a \rangle / c_0$, где c_0 – эффективная скорость распространения колебаний в структуре кластера ("скорость звука"). Тогда можно записать закон роста среднего размера:

$$\langle a \rangle \approx a_0 \left(\frac{3t}{2t_{un}^{cl}} \right)^{1/3}, t_{un}^{cl} = a_0 \left(\frac{a_0 m_0}{\hbar c_0} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Здесь t_{un}^{cl} – единица времени в процессах взаимодействия больших кластеров.

В ряде задач, связанных с исследованиями высокоинтенсивных процессов с большой энергетикой (например, в условиях повышенных температур T среды), величину промежутка времени Δt элементарного акта взаимодействия целесообразно определить, исходя из правила Гейзенберга:

$$\Delta t \equiv \hbar / \Delta E. \quad (8)$$

Здесь ΔE – ширина уровня энергии изолированного возбужденного состояния квантово-механической системы. Подставляя выражение (8) в соотношение (1), переписанное для среднего размера $\langle a \rangle$, и учитывая, что средний размер изменяется со временем непрерывно, получаем следующую цепочку дифференциальных соотношений:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \langle a \rangle}{\Delta t} &\equiv \left(\frac{a_0^3 \Delta E}{2m_0} \right)^{1/2} \frac{1}{\langle a \rangle^{3/2}} \equiv \frac{d\langle a \rangle}{dt} \\ \rightarrow \langle a \rangle^{3/2} d\langle a \rangle &\equiv \left(\frac{a_0^3 \Delta E}{2m_0} \right)^{1/2} dt. \end{aligned} \quad (9)$$

Величина ΔE определяется природой объектов и режимом процесса и может зависеть от среднего размера $\langle a \rangle$ области возбуждения. Решая дифференциальное

соотношение (9) в квадратурах, можно найти приближительные законы роста среднего размера $\langle a \rangle$ со временем в высокоинтенсивных процессах агрегации объектов.

На основе соотношения (1) и условия сохранения массы $\rho a^3 + \rho a_0^3 = \rho(a + \Delta a)^3$ в единичном элементарном акте взаимодействия кластера с зародышем получено выражение для максимального размера объекта:

$$a_{\max} \approx \frac{2}{9} \alpha \frac{\rho}{\hbar} \frac{a_0^6}{\Delta t_{\min}} = \frac{2}{9} \frac{m_0}{\hbar} \frac{a_0^3}{\Delta t_{\min}} \quad (10)$$

Здесь $\Delta t_{\min} \equiv t_i$ – минимальный промежуток времени элементарного акта взаимодействия объектов, определяемый физической природой процесса.

В случае линейных (нитевидных) наноструктур (нановолокон) из соотношения (1) и условия сохранения массы в элементарном акте присоединения зародыша к свободному окончанию нити $m_0(d^2 \langle l \rangle / a_0^3) + m_0 = m_0(d^2 (\langle l \rangle + \Delta \langle l \rangle) / a_0^3)$ можно получить следующие выражения для определения характерных величин толщины d и длины l сплошных нановолокон:

$$d = a_0 \left(\frac{2m_0 a_0^2}{\hbar t_i} \right)^{1/4}, \quad \langle l \rangle = \left(\frac{\hbar}{m_0} t \right)^{1/2}. \quad (11)$$

В случае полых (трубчатых) нановолокон диаметр определяется по аналогии с одноболоочечной углеродной нанотрубкой [6] по следующей формуле:

$$d \approx a_0^2 \sqrt{\frac{2m_0}{\pi^2 \hbar t_i}}. \quad (12)$$

Результаты расчетов и их обсуждение

В расчетах в качестве зародышей рассматривались молекулы аминокислот глицина ($m_0 = 1,25 \cdot 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,42$ нм), аланина ($m_0 = 1,49 \cdot 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,47$ нм), валина ($m_0 = 1,95 \cdot 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,54$ нм) и триптофана ($m_0 = 3,4 \cdot 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,67$ нм) [1]. Для основного уровня $E_r^{(j=1)}$ вращательных энергий связей С–С, С–О и С–N имеем:

$$t_i \equiv t_r = \frac{\hbar}{E_r^{(j=1)}} = \frac{1}{4\pi B_e c}.$$

Здесь B_e – вращательная постоянная [7]. Для указанных связей величины вращательной постоянной лежат в малом интервале $(1,817 - 1,93) \cdot 10^2 \text{ м}^{-1}$ поэтому для определения параметра времени была взята средняя величина $B_e = 1,88 \cdot 10^2 \text{ м}^{-1}$, что дает $t_i \equiv t_r = 1,4 \cdot 10^{-12}$ с. Для основного уровня $E_v^{(v=0)}$ колебательных энергий связей С–С, С–О и С–N имеем:

$$t_i \equiv t_v = \frac{\hbar}{E_v^{(v=0)}} = \frac{2}{\omega_e c}.$$

Здесь ω_e – волновое число собственных колебаний, которое для указанных связей приблизительно равно $\omega_e \approx 2 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ [7]. Отсюда получаем $t_i \equiv t_v \approx 3,3 \cdot 10^{-14}$ с.

Совокупность расчетов [4], проведенных по формулам (3), (4) для всех упомянутых выше зародышей при параметре времени $t_i \equiv t_r$, соответствующем основному вращательному уровню, позволяет выделить следующие характерные окрестности размеров и наиболее вероятные («магические») размеры: $a_{\text{mag}}^r = (1,4 - 1,7)$,

(2.2–2.5), (2.7–2.9–3.3), (4–4.6–4.7), (5–5.5–5.6), (6–6.7–7), (8–8.5), 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 нм. Эти размеры по величине соответствуют белкам миоглобину, инсулину, лизоциму, гемоглобину, альбумину, липопротеинам, апоферритину, лурназину [1, 2, 8].

Ниже приведены зависимости [4] средних размеров биологических наночастиц и мезообъектов, рассчитанных по формулам (6), (7), переписанным в виде (13), (14), а также по формулам, полученным из уравнения (9) для режимов малого потока зародышей (15), касательных взаимодействий объектов (16) и одновременного возбуждения всей системы объектов (17). Формулы (6), (7) в дебаевском приближении переписываются следующим образом: для малого потока зародышей

$$\langle a \rangle_{sf} \approx \left(\frac{75k\theta_D}{8\pi\rho} \right)^{1/5} t^{2/5}, \quad (13)$$

для большого потока зародышей

$$\langle a \rangle_{lf} \approx \left(\frac{27k\theta_D a_0}{2 \cdot 6^{1/3} \pi^{5/3} \rho} \right)^{1/6} t^{1/3}. \quad (14)$$

Было принято, что дебаевский параметр θ_D приблизительно соответствует осредненной характеристической температуре θ_v колебаний растяжения связей С–С, С–О, С–N около 1500 К [9]. При высокоинтенсивных процессах законы роста записываются следующим образом: для малого потока зародышей

$$\langle a \rangle_{sf} \approx \left(\frac{75k_B T a_0^3}{m_0} \right)^{1/5} t^{2/5}, \quad (15)$$

для касательных взаимодействий

$$\langle a \rangle_{sm} \approx \left(\frac{27k_B T a_0}{4m_0} \right)^{1/3} t^{2/3}, \quad (16)$$

для одновременного возбуждения

$$\langle a \rangle_{sa} \approx \left(\frac{3k_B T}{m_0} \right)^{1/2} t. \quad (17)$$

Зависимости (13), (14) и зависимость (15) при $T = 310$ К в диапазоне [2] времени конформационных движений $t \approx 10^{-10} - 10^{-7}$ с охватывают характерные размеры [1, 2] белковых наночастиц от ≈ 2 нм до ≈ 60 нм. Касательные взаимодействия молекул, возникающие при сдвиговых процессах в результате механических воздействий на систему, приводят к значительному увеличению размеров рассматриваемых биологических объектов (до 800 нм при $t \approx 10^{-7}$ с); а мгновенное возбуждение всей системы, возникающее, например, при поглощении энергии излучений различной природы, приводит к образованию липопротеинов низкой плотности (≈ 20 нм при $t \approx 10^{-10}$ с) и лейкоцитов (≈ 20 мкм при $t \approx 10^{-7}$ с).

Если предположить, что для формирования толщины нановолокна достаточно колебания одной «крайней» связи углерода (при отрыве радикала ОН) и $t_i \equiv t_v \approx 3,3 \cdot 10^{-14}$ с, то из (11) получаем в случае наиболее длинной молекулы зародыша – триптофана, что $d \approx 11$ нм. Это приблизительно соответствует толщине сплошной нейрофибриллы человека – нейрофиламента, равной около 10 нм [10]. По формуле (12)

получаем, что если в качестве зародышей рассматривать молекулы аланина, то в случае колебательного взаимодействия $d \approx 20$ нм. Это приблизительно соответствует диаметру трубчатой нейрофибриллы человека, составляющему 20-25 нм [10]. По формуле (11) получаем, что для образования нейроволокон длиной $\langle l \rangle \approx 300$ нм требуется время порядка 100 мкс.

На Рис. 1 приведены расчетные зависимости (10) максимальных размеров биологических наночастиц и мезообъектов от размеров зародышей в основном и в первом возбужденном состояниях на вращательных и колебательных уровнях. Можно видеть, что в основном состоянии вращательные движения молекул аминокислот позволяют образоваться нанообъектам, включающим в себя кристаллические скелеты белков, рибосом [1], а также бактерий (архей) [11]. Колебательные взаимодействия этих же молекул в основном состоянии могут создавать кристаллические скелеты органоидов – структур в клетках, находящихся вне ядра. Это могут быть лизосомы ($a \approx 0,7$ мкм [1]), в которых происходит переваривание макромолекул (пищи), а также митохондрии ($a \approx 1$ мкм [12]), обеспечивающие клеточное «дыхание», т.е. окисление переваренной пищи и выделение энергии. Более того, становится возможным образование клеток. Можно полагать, что переход от основного вращательного состояния, характерного для условий в «холодном» космосе, когда колебания молекул заморожены, в основное колебательное состояние, характерное для земных условий, когда в окружающей среде есть кислород, является исходным толчком для начала «белковой» жизни на Земле.

Рис. 1. Расчетные зависимости максимальных размеров биологических наночастиц и мезообъектов от размеров зародышей:

1 – вращательные уровни, $j = 1$ – основное состояние, $j = 2$ – первое возбужденное состояние; 2 – колебательные уровни, $v = 0$ – основное состояние, $v = 1$ – первое возбужденное состояние.

Если молекулы аминокислот окажутся в возбужденном состоянии, то размеры значительно возрастут. Например, при переходе молекул с первого вращательного уровня ($j=1$) на второй ($j=2$), или с «нулевого» колебательного уровня ($v=0$) на первый ($v=1$) максимальные размеры увеличатся в 3 раза, т. к. энергия вращений «квантуется» как $E_r = j(j+1)B_e 2\pi\hbar c$, $j = 1, 2, 3, \dots$, а энергия колебаний «квантуется» приблизительно как $E_v \approx (v + \frac{1}{2})\hbar\omega_e c$, $v = 0, 1, 2, 3, \dots$ (для рассматриваемых связей коэффициенты ангармоничности колебаний малы [7]). Формально это означает, что при вращательных движениях в случае зародышей – молекул глицина достигается размер около 40 нм, соответствующий рибосоме эукариотов, а в случае зародышей – молекул триптофана достигается размер около 450 нм, соответствующий наноархеоту [13]. При колебательных движениях в случае зародыша – аланина достигается размер около 3 мкм, соответствующий тромбоциту [1], а в случае зародыша – триптофана достигается

размер около 20 мкм. Последнее означает, что в системе могут образоваться лейкоциты, размеры которых лежат в диапазоне 8–15 мкм [1]. На втором уровне колебаний ($\nu=2$) размеры лейкоцитов могут достигаться в случае зародышей – молекул валина.

В плане возникновения жизни на Земле можно отметить, что в экстремальных природных условиях (например, при ударе метеоритов, в жерлах вулканов, в гидротермальных источниках и т.п.), при которых молекулы аминокислот разрушаются, зародышами биологических структур могут быть обломки молекул. Например, если разрушается молекула триптофана, то в качестве зародыша можно рассматривать «объемный» атомный кластер $C_3H_6NO_2$ с молекулярной массой $M = 88$ и размером 0,34 нм. В этом случае из формулы (10) получаем, что наибольший размер объектов равен 0,4 мкм ($\Delta t_{\min} = 2\pi\hbar/k_B\theta_\nu \approx 3 \cdot 10^{-14}$ с). Эта величина соответствует размеру наноархеота [13]. Если же в качестве зародышей рассматривать обломки молекулы глицина [1] с разорванной C–C-связью: кластеры CH_4N ($M = 30$) и CHO_2 ($M = 45$) с размерами около 0,20 нм, то из формулы (10) получаем, что максимальные размеры объектов равны $a_{\max} \approx 30$ и 45 нм соответственно. Формально эти величины соответствуют рибосомам [14], внутри которых происходит биосинтез белка, обнаруженным в клетках всех без исключения живых организмов (бактерий, растений и животных).

Полученные результаты, вытекающие из соотношения неопределенностей «координата–импульс» в пространстве размеров объектов – молекулярных кластеров, указывают на возможность случайного образования в системе молекул аминокислот (зародышей) квазикристаллических наночастиц и мезообъектов, соответствующих по размерам жизненно важным белкам и клеткам. Эти «неправильные» (мутационные) объекты могут вырастать на тех или иных центрах кристаллизации без образования полипептидных связей, т.е. без формирования «правильного» биологического кода. При этом возможно образование и рост подобных наночастиц и мезообъектов на фрагментах разрушенных белков и клеток как на центрах кристаллизации. Всё это находится в соответствии с общеизвестными представлениями о мутациях биологических структур на молекулярном уровне. Отмеченное выше увеличение размеров белковых наночастиц и мезообъектов при мгновенном возбуждении биологической системы не противоречит известным медицинским фактам образования мутаций, опухолей, а также развития атеросклероза и лейкоза под действием проникающих в организм излучений [15].

Все используемые формулы, выведенные из соотношений неопределенности (1) и (8), соответствуют условию сохранения массы в элементарном акте взаимодействия зародыша с объектом и не связаны с условием сохранения массы во всей системе. Система может быть незамкнутой, что соответствует общей природе биологических процессов [16]. Полученные результаты могут оказаться полезными при решении задач лабораторного моделирования поведения биологических систем в различных условиях. В частности, из формулы (10) получаем, что максимальный размер объектов, образующихся из молекул триптофана при их колебательных взаимодействиях, составляет около 7 мкм. Эта величина приблизительно соответствует характерным размерам одноклеточных грибов – дрожжей (длина 8–10 мкм, ширина 2–7 мкм [17]). Отсюда возникает вопрос о возможности образования мутационных биологических объектов при производстве искусственных дрожжей. Открытым также остается вопрос о существовании кремнийсодержащих биологических структур с рассчитанными в [18] размерами в нанометричном и мезоскопическом масштабах.

Заключение

Предложенный кластерный механизм кинетики образования из молекул аминокислот белковых наночастиц и мезообъектов отражает ее стохастическую природу, связанную с принципом неопределенности. В данном модельном представлении это делает возможным существование мутаций биологических систем на молекулярном уровне. Полученные результаты, вытекающие из соотношения неопределенностей «координата–импульс» в пространстве размеров объектов – молекулярных кластеров, указывают на возможность случайного образования в системе, первоначально состоявшей из молекул аминокислот (зародышей), наноструктурированных квазикристаллических форм, соответствующих по размерам жизненно важным белкам и клеткам и не связанных с предварительным образованием полипептидных наноцепочек. Разработанный кинетический подход может оказаться полезным при решении задач лабораторного моделирования поведения биологических систем в различных условиях.

1. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнология. – Москва: Техносфера, 2007. С. 269-290.
2. Суздалев И.П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. С. 462-484.
3. Lin E.E. Kinetics of Formation of Objects Revealing Quantum Properties. Wuhan: Scientific Research Publishing, Inc., 2016. 80 pp.
4. Лин Э.Э. Асимптотическая кинетика образования объектов с квантовыми свойствами: монография. – Саратов: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. 193 с.
5. Ферми Э. Квантовая механика (конспект лекций). – М.: Мир, 1968. С. 357-359.
6. Лин Э.Э. О кинетике роста однооболочечной углеродной нанотрубки // Доклады Академии Наук. 2001. Т. 389. № 6. С. 757-758.
7. Краткий справочник физико-химических величин. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. 232 с.
8. Mann S. Life as a Nanoscale Phenomenon // Angewadte Chemie International Edition. 2008. Vol. 47. Pp. 5306-5320.
9. Цянь Сюэ-сень. Физическая механика. М.: Наука, 1965. 544 с.
10. Костюк П. Г. Нейрофибриллы // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1974. Т. 17. С. 1244.
11. Noel K. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology – US: Springer, 2005. P. 21-6.
12. Палкина Н.Л. Митохондрия // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1974. Т. 16. С. 997-999.
13. Huber H. et al. A new Phylum of Archaea represented by a nanosized symbiont // Nature. 2002. Vol. 417. Issue 6884. Pp. 63-67.
14. Гаврилова Л. П., Спирин А. С. Рибосомы // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1975. Т. 22. С. 337-239.
15. Биологическое действие ионизирующих излучений // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1970. Т. 3. С. 1020-1025.
16. Волькенштейн М. В.. Молекулярная биофизика. М.: «Наука», 1975. 616 с.
17. Литвинов М. А. Дрожжи // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1972. Т. 8. С. 1508.
18. Lin E. E. Revealing the Uncertainty and Absolute Certainty Principles in the Kinetics of Objects Formation // World Journal of Mechanics. 2018. V. 8. No 4. Pp. 82-93.

РАЗДЕЛ XVIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ахметгалиев А.И., Гафаров Ф.М., Ситдикова Ф.Б.

Анализ тональности текстов с использованием нейросетевых моделей

Казанский федеральный университет
(Россия, Казань)

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-69

idsp: sciencerussia-10-04-2019-69

Аннотация

В статье рассматриваются методы решения задачи анализа тональности текстов на основе нейросетевых моделей обработки естественного языка. В статье рассмотрены методы, создающие векторное представление слов в n -мерном векторном пространстве, в основе которых лежат технологии «Word2Vec», «GloVe», «FastText». Подходы используются в задачах классификации, анализа тональности, исправления опечаток, рекомендательных системах. Представлены результаты сравнения классификаций в задаче анализа тональности многослойного персептрона, сверточной и рекуррентной нейронной сети, деревьев решений (случайный лес), метода опорных векторов (SVM), наивного байесовского классификатора (NB), метода k -ближних соседей (K-NN). Результаты классификации представлены для трех наборов данных: сообщения в твиттере, отзывы на различные товары и услуги, русскоязычные новости.

Ключевые слова: анализ тональности, Word2Vec, GloVe, FastText, векторное представление слов, рекуррентные нейронные сети, сверточные нейронные сети.

Введение

Анализ тональности текста представляет из себя класс методов обработки естественного языка, предназначенных для автоматизированного распознавания в текстах эмоционально окрашенной лексики и эмоциональной оценки (положительной, негативной, нейтральной) [1]. В данной статье анализ тональности рассматривается как частный случай классификации документов. Классификация документов — одна из задач информационного поиска, заключающаяся в отнесении документа к одной из нескольких категорий на основании содержания документа [2].

Определение анализа тональности текстов имеет важное практическое применение в различных направлениях человеческой деятельности: ведении бизнеса, определении политических и экономических стратегий, в оценке качества выпускаемой продукции и услуг в социальных сетях, блогах целевых сайтов. Понимание того, насколько негативно или позитивно люди реагируют на произведенный товар или услугу, позволяет оценивать будущую успешность продаж на рынке, а также анализировать качество проведенных PR-компаний. Многим крупным производителям необходимо бывает оценивать, как их бренд воспринимается потребителями.

Анализ тональности текста также можно активно использовать при определении отношения населения к различным проводимым правительством реформам или мнения электората по поводу того или иного кандидата в руководящую должность. Таким образом, анализ тональности текстов — мощнейший инструмент в руках ученых, бизнесменов и политиков.

Методы

Методы машинного обучения рассматривают анализ тональности как задачу классификации текста. В этих методах извлекаются такие функции, как

униграммы, биграммы, вложения слов сначала из текста, или векторизуются слова, а затем документы. Элементы передаются в такие модели классификации, как SVM,

Из рис. 2 визуализации видно, что слово «нравится» и «отрицание» имеют большее косинусное расстояние чем, «популярный» и «нравится». Топ 5 слов, близких к слову «интересный»: [('неплохой', 0.7640383243560791), ('забавный', 0.7558714151382446), ('любопытный', 0.7503457069396973), ('познавательный', 0.7198209762573242), ('прикольный', 0.7184607982635498)]

FastText. FastText – способ построения векторного представления от компании facebook. В FastText, как и в модели Word2Vec, используются подходы skip-gram или cbow. Главная идея такая же, как и в Word2Vec: максимизировать вероятность (softmax) встретить центральное слово с контекстным или наоборот, пробегая по корпусу с заданной шириной окна. Основное отличие FastText от word2vec или Glove — это то, что каждое слово представляется в виде набора символов n-грамм. Приведем пример при n=3, слово «школа» разбивается на следующие 3-граммы <шк, шко, кол, ола, ла>. Авторы FastText рекомендуют выбирать n от 3 до 6, оптимальное n зависит от языка, корпуса и задачи. Пусть у нас имеется словарь $G_w \subset \{1, \dots, G\}$ n-грамм, тогда мы связываем векторное представление z_g с каждым n-граммом g. И представляем слово как сумму векторных представлений его n-грамм [5]. Тогда близость двух слов в FastText определяется как

$$s(w, c) = \sum_{g \in G_w} z_g^T v_c$$

Обучение в FastText происходит быстрее, чем в модели word2vec.

Рис.3 Визуализация векторов слов FastText схожих со словами «технологии», «плохой», «средний», «нравится», «мрак».

Топ 5 слов, близких к слову «хороший» в FastText, обученном на новостном корпусе: [('отличный', 0.7849140167236328), ('неплохой', 0.7302890419960022), ('плохой', 0.7082219123840332), ('превосходный', 0.6944824457168579), ('прекрасный', 0.6733499765396118)]

GloVe. Global Vectors, представляет собой модель для распределенного векторного представления слов. Является алгоритмом обучения без учителя. Обучение выполняется на агрегированной глобальной частотной матрице слов (co-occurrence matrix), которая строится из корпуса. GloVe так же, как и Word2Vec позволяет находить слова близкие по смыслу, т.е вектора-слов близких по значению будут находиться рядом в векторном пространстве. На первом этапе строится так называемая co-occurrence

векторов SVM [8], Метод k -ближайших соседей (k -NN), Случайный лес (Random Forest), наивный байсовский классификатор (Naive Bayes). В качестве классификаторов использовались сверточные и рекуррентные нейронные сети. Сверточная сеть показывает хорошие результаты в распознавании изображений и на данный момент активно используется в задачах обработки естественного языка.

Рассмотрим, как используются CNN в задаче классификации документов. Пусть мы построили векторное представление слов для каждого термина из словаря используя одну из моделей Word2Vec, GloVe или FastText. Составляем из этих векторов-слов матрицу — так называемый embedding слой, для каждого документа из обучающей выборки. Так как CNN принимает на вход матрицу фиксированной длины, мы обрезаем наши документы до фиксированной длины. Если при анализе количество слов превышало высоту матрицы, оставшиеся слова отбрасывались. Длина документа подбирается так, чтобы покрывался большой процент всех слов текстов в сформированном корпусе. Таким образом, размерности матрицы $n \times k$, n — фиксированное количество слов в документе, k — размерность вектора. В работе были использованы различные архитектуры сверточных нейронных сетей. Одна из наиболее точных оказалась сеть, в которой использовались фильтры размерности от 2-5 по 10 сверточных слоев для каждого фильтра. После сверточных слоев применялась операция max-pooling. Далее осуществлялась конкатенация слоев в общий вектор, который подавался на вход в полносвязный слой из 40 нейронов [9,10].

Рис.5. CNN. При классификации используются свертки размерности 1

Использовалось 10 эпох обучения и дополнительные 5 с весами эпохи, в которой сеть получила наибольший f1-score. Объем обучающей и тестовой выборки был 80 и 20 процентов соответственно. И размер валидационной выборки брался 25% от обучающей. В качестве классификатора так же использовалась сеть долгой краткосрочной памяти (Long Short Term Memory network LSTM) - разновидность рекуррентной нейронной сети. Она сохраняет и учитывает предшествующую информацию. На вход сети RNN передается некоторая последовательность. Запоминание означает, что RNN выполняет одну и ту же задачу для каждого элемента последовательности. Где каждый выход зависит от предыдущих вычислений. Длина временных шагов определяется длиной ввода. Например, если обрабатываемая последовательность слов является предложением из 4 слов RNN будет развернут в нейронную сеть с 4 временными слоями. Один слой соответствует слову. Последовательность векторов слов документа подавалась на вход LSTM, где число временных слоев совпадало с фиксированным размером терминов в документе. Для обучения сетей RNN необходимо большое количество данных. Сеть RNN склонна к переобучению, поэтому количество эпох обучения выбирается небольшое [11].

Результаты

Эксперименты в классификации анализа тональности проводились на 3-х различных наборах данных, которые описаны ниже.

Выборка отзывов. Для сбора отзывов был написан бот, который собирал с сайта [igescommend.ru](https://www.igescommend.ru) текстовые отзывы, проходя по различным категориям: кино, книги, автомобили, красота и здоровье, туризм, техника, животные. У каждого отзыва был рейтинг от 1 до 5. Отзывы, имеющие рейтинг меньше 4, относились к классу негативных, остальные относились к положительным. Таким образом была собрана выборка из 47847 отзывов. Из отзывов отбиралась наиболее значимая часть (выводы и резюме). Обучающая выборка составила 27759 примера, валидационная выборка составила 9253 примеров. Перед обучением из выборки удаляются лишние символы, слова не несущие смысловой нагрузки (стоп-слова), например, частицы, предлоги, знаки препинания и символы из других языков. Все слова приводились к нижнему регистру, к нормальной форме с помощью специальных морфологических анализаторов. При тестировании данные проходят, тот же алгоритм предобработки, что и обучающие данные. Для каждого отзыва был найден агрегированный вектор для всех типов векторизации слов, описанных в работе W2V, FastText, GloVe. Так же использовались статистические методы Bag of Words, TF-IDF, n-grams. Результаты классификации отзывов представлены в таблице. В качестве метрики качества классификации использовался F1-score.

Таблица 1

F1-score для набора данных отзывов

	Bag of Words	N - grams	TF-IDF	W2V (avg)	FastText (avg)	GloVe (avg)
MLP	0.65	0.73	0.81	0.78	0.77	0.76
RF	0.62	0.72	0.79	0.76	0.74	0.75
NB	0.62	0.72	0.74	0.74	0.73	0.73
KNN	0.64	0.73	0.77	0.75	0.73	0.74
SVC	0.65	0.74	0.81	0.78	0.77	0.77
CNN	0.64	0.72	0.78	0.81	0.80	0.78
RNN (LSTM)	0.62	0.70	0.75	0.76	0.75	0.75

Таким образом, наиболее точной оказалась классификация с методами TF-IDF, с классификатором SVC (метод опорных векторов) и векторным представлением Word2Vec в связке со сверточной нейронной сетью. Они выдали лучший F1-score. Рекуррентная нейронная сеть выдавала не самый лучший результат, поскольку ей для обучения необходимо намного больше данных для обучения, чем другим классификаторам.

Выборка новостей. Выборка новостей был найдена на соревновании по машинному обучению [kaggle.com](https://www.kaggle.com) [12], датасет был разделен на 3 класса: негативная, позитивная, положительная новость. В выборке преобладали данные с нейтральными новостями, поэтому было добавлена часть негативных новостей из рубрики происшествия из новостного портала Риа-новости. Обучающая выборка составляла 18798 новости. Лучший результат дал статистический метод TF-IDF с вектором опорных векторов SVM.

Таблица 2

F1-score для набора данных новостей

	Bag of Words	N - grams	TF-IDF	W2V (avg)	FastText (avg)	GloVe (avg)
MLP	0.55	0.63	0.72	0.73	0.71	0.67

RF	0.53	0.62	0.70	0.71	0.70	0.68
NB	0.52	0.62	0.68	0.72	0.69	0.69
KNN	0.54	0.63	0.69	0.70	0.70	0.69
SVC	0.55	0.64	0.77	0.73	0.73	0.70
CNN	0.52	0.62	0.70	0.73	0.73	0.72
RNN (LSTM)	0.52	0.60	0.65	0.66	0.63	0.62

Рис.6 Матрица ошибок для выборки новостей классификатора SVM

Как можно видеть из матрицы ошибок, чаще всего ошибки случаются при классификации нейтральных новостей. Классификатор относит нейтральную новость к положительной или отрицательной, поскольку определение анализа тональности является относительно субъективной классификацией, так как даже человек не всегда корректно справляется с этой задачей. Но классификатор с минимальной ошибкой отличает негативную новость от положительной.

Выборка сообщений твиттера. Выборка русскоязычных сообщений социальной сети твиттер была найдена в [13]. Она содержит 15 миллионов записей, полученных с помощью API Twitter. На нем были обучены векторные представления слов для W2V, FastText, GloVe. Размер обучающей выборки 183 521 твит.

Таблица 3

F1-score для набора данных твиттера

	Bag of Words	N - grams	TF-IDF	W2V (avg)	FastText (avg)	GloVe (avg)
MLP	0.63	0.65	0.75	0.75	0.75	0.74
RF	0.62	0.64	0.74	0.74	0.74	0.73
NB	0.62	0.64	0.74	0.73	0.72	0.74
KNN	0.60	0.63	0.73	0.74	0.73	0.73
SVC	0.63	0.65	0.76	0.75	0.75	0.74
CNN	0.62	0.62	0.74	0.77	0.77	0.74
RNN (LSTM)	0.61	0.60	0.72	0.76	0.75	0.74

Таким образом, наилучший F1-score 0.77 показала сверточная нейронная сеть с векторным представлением W2V. Также близкий результат показала SVC со статическим TF-IDF. Наборы данных могут содержать ошибки аннотации, то есть примеры из выборки содержат экземпляры, размеченные некорректно, что влияет на точность классификации.

Заключение и выводы.

В работе были рассмотрены методы решения задачи классификации документов, в частности, задача определения тональности текстов. Сравнивались стандартные статистические модели с современными моделями векторных представлений слов, таких как Word2Vec, FastText, Glove. Были получены векторные представления слов на различных русскоязычных корпусах. Были проверены свойства векторов на нахождение похожих слов по значению. В работе использовались 3 обучающие выборки: выборка отзывов на различные товары и услуги, выборка сообщений твиттера, выборка новостей.

В задаче анализа тональности сравнивались различные виды классификаторов: MLP (многослойная нейронная сеть), Random Forest (Случайный лес), NB (Наивный байесовский классификатор), KNN (метод к-ближних соседей), SVM (метод опорных векторов), CNN (сверточная нейронная сеть), LSTM (рекуррентная сеть с долгой краткосрочной памятью).

Результаты показали, что сверточная нейронная сеть со связкой Word2Vec показывает наилучшую точность (F1-score) на средних по размеру выборках. Близкий по точности результат дают так же FastText и Glove. Статистический метод TF-IDF также дает хорошую точность в связке с методом опорных векторов SVM на всех наборах данных, используемых в работе. Таким образом, статистические методы не всегда уступают методам, основанным на векторном представлении слов. Заметим, что определение тональности является по своей сути субъективной задачей. Классификаторы обучаются в соответствии с интуицией пользователя, который эти данные разметил. Поэтому в задаче определения тональности текстов приемлемой точностью считается F1-score больше 0.70. Превзойти такую точность в данной работе удалось на всех представленных обучающих выборках.

1. Свободная энциклопедия Википедия. Анализ тональности текста. [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Анализ_тональности_текста (дата обращения: 31.03.19).
2. Свободная энциклопедия Википедия, "Классификация документов " [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Классификация_документов (дата обращения: 31.03.19).
3. Data Review, "Анализ тональности текста: концепции, методы, области применения" [Электронный ресурс] <http://datareview.info/article/analiz-tonalnosti-teksta-kontseptsiya-metodyi-oblasti-primeneniya/> (дата обращения: 31.03.19).
4. Mikolov T. et al. Distributed Representations of Words and Phrases and Their Compositionality //Advances in Neural Information Processing Systems. —2013. — Pp. 3111- 3119.
5. Piotr Bojanowski, Edouard Grave, Armand Joulin, Tomas Mikolov. Enriching Word Vectors with Subword Infomation [Электронный ресурс] <https://arxiv.org/abs/1607.04606> (дата обращения: 31.03.19).
6. Armand Joulin, Edouard Grave, Piotr Bojanowski, Tomas Mikolov, Bag of Tricks for Efficient Text Classification [Электронный ресурс] <https://arxiv.org/abs/1607.01759> (дата обращения: 31.03.19).
7. Jeffrey Pennington, Richard Socher, Christopher D. Manning. GloVe: Global Vectors for Word Representation [Электронный ресурс] <https://www.aclweb.org/anthology/D14-1162> (дата обращения: 31.03.19).
8. Christopher M. Bishop. Pattern recognition and machine learning, 2006.
9. Zhang Y., Wallace B. A Sensitivity Analysis of (and Practitioners' Guide to) Convolutional Neural Networks for Sentence Classification [Электронный ресурс] <https://arxiv.org/pdf/1510.03820.pdf> (дата обращения: 31.03.19).
10. Yoon K. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification. [Электронный ресурс] <https://www.aclweb.org/anthology/D14-1181.pdf> (дата обращения: 31.03.19).
11. Lei Zhang, Shuai Wang, Bing Liu. Deep learning for sentiment analysis: A survey. // In Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, p. 1253. Wiley Online Library [Электронный ресурс] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.1253> (дата обращения: 31.03.19).
12. Sentiment Analysis in Russian [Электронный ресурс] <https://www.kaggle.com/c/sentiment-analysis-in-russian/leaderboard> (дата обращения: 31.03.19).
13. Рубцова Ю.В. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора // Программные продукты и системы. – 2015. – №1(109) – С.72-78. [Электронный ресурс] <http://study.mokoron.com> (дата обращения: 31.03.19).

Бондаренко И.Б., Мишина Н.С., Мишин Я.Д.
Формализация модели многоагентной иерархической системы посредством
теории нечетких множеств

*Университет информационных технологий, механики и оптики
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-70

idsp: sciencerrussia-10-04-2019-70

Практически каждая система, как природного происхождения, так и созданная человеком, так или иначе содержит в своей основе некоторую иерархию. Подобное структурирование процесса функционирования позволяет не только упорядочить имеющиеся представления об этой системе, но и определить роль каждого ее элемента, а также взаимодействие этих элементов между собой. Определенная иерархия формируется не только в рамках государства, общества, коллектива, но и переносится на искусственно создаваемые механизмы, призванные решать поставленные перед ними задачи. Проблемой в данном случае является то, каким образом данная иерархическая структура будет формализована, поскольку важно не только удовлетворить все требования к правилам построения иерархических систем, но и предусмотреть возможность автоматизации процедуры принятия решений поставленной задачи в условиях изменяющихся внешних параметров.

На сегодняшний день в рамках теории принятия решений существует большое количество работ, которые посвящены как построению сложных технических систем, [2, 4-5], так и развитию методов принятия решений, к каковым относятся:

- методы анализа иерархий и аналитических сетей;
- методы комбинаторно-морфологического анализа и синтеза систем;
- методы эволюционного проектирования [1];
- методы теории полезности и теории игр и др.

Однако, основной проблемой всех вышеперечисленных методов заключается в том, что все они оперируют довольно точными формулировками, не предполагающими наличия каких-либо неточностей, в то время как сама естественная сущность любой иерархической системы подразумевает наличие определенного рода условностей. Например, в рамках некой неавтоматизированной иерархической структуры, осуществляющий технологический процесс сборки изделия Y , подразумевается не только строгое выполнение каждым из элементов определенного действия, но и некоторое взаимодействие между ними, причем данное взаимодействие может быть как прямым (получение неоконченного изделия для выполнения следующего этапа сборки), так и косвенным (консультация по поводу последующей сборки изделия), которое необязательно будет происходить постоянно, при этом нет гарантии в том, что каждый раз оно будет осуществляться одинаково.

В то же время, при создании автоматизированной иерархической системы, состоящей из группы взаимоподчиненных интеллектуальных агентов, осуществляются попытки искоренения этих условностей и формирования некой строгой последовательности действий и подчиненности элементов, в результате чего теряется ее гибкость к постоянно возникающим новым условиям функционирования.

Все вышесказанное формирует потребность в использовании при описании сложных технических систем такой теории, которая учитывала бы все происходящие в рамках выполняемых в них действий условия и могла бы подстраиваться под них, т.е. которая сделала бы ее более устойчивой к изменениям внешней среды. Методом решения данной проблемы служит применение теории нечетких множеств для построения модели иерархической системы.

Пусть U – универсальное множество, и X – множество в пространстве U , такое, что для любого $X \subset U$ выполняется условие $X \cap U = X$ [6]. Тогда в общем виде (рис. 1) иерархическая структура данного множества будет представлена следующим образом:

$$X = \{x_{101}, x_{211}, \dots, x_{21j2}, \dots, x_{ik1}, \dots, x_{ikji}\}, \quad (1)$$

где x_{ikjn} – элемент иерархической системы;

i – уровень иерархии, $i=1 \dots I$;

k – указатель на подчиняющий узел, $k=1 \dots K$;

ji – порядковый номер элемента, $j=1 \dots J$.

Рис. 1

Таким образом, получаем некоторую модель системы, состоящей из N элементов, взаимосвязанных между собой прямой иерархической структурой. Одновременно с этим, мы поставили перед моделью определенный набор ограничений, препятствующих иной взаимосвязи элементов, если это не будет предусмотрено заранее. В свою очередь, на практике нередки случаи, когда элементы, хотя и имеют некоторые связи, но воздействуют друг на друга либо непостоянно, либо с неполной силой, т.е. без указания на какое-либо определенное действие, а с возможностью действия, исходя из сложившихся внешних и внутренних условий. По сути, абсолютно любой элемент иерархической системы может так или иначе взаимодействовать с абсолютно любым другим элементом этой же иерархической системы. Например, рассмотрим, как частный случай, набор элементов низшей ступени иерархии $x_{ik1}, x_{ik2}, \dots, x_{ikji-1}, x_{ikji}$ (рис. 2).

Рис. 2

Если опустить тот факт, что все они подчиняются некоторому общему узловому элементу $x_{i-1 k-1 j(i-1)}$, и попробовать представить взаимосвязь между ними, то можно обнаружить, что довольно сложно на этапе проектирования системы заранее решить,

каким образом тот или иной элемент будет взаимодействовать с другими элементами того же уровня иерархии и даже того же подчиняющего узла. Поэтому уже заранее следует учесть предположение, что потенциально каждый из этих элементов может взаимодействовать друг с другом (рис. 3).

Рис. 3

Представим, что каждый элемент множества $\{x_{ik1}, x_{ik2}, \dots, x_{ikj-1}, x_{ikji}\}$ содержит информацию друг о друге. В таком случае целесообразным было бы представить каждый элемент в виде функции:

$$X_{ikji} = \{x_{ik1}, x_{ik2}, \dots, x_{ikj-1}, x_{ikji}\} \quad (2)$$

Как можно заметить, каждый элемент узла представлен одновременно и множеством, и параметром, которые, хотя и привязаны к одной и той же структурной единице, однако рассматриваются с совершенно разных позиций. Так, данная запись означает, каждый элемент является не только частью некоторого множества, но и сам имеет представление о данном множестве. В тоже время, данная информация является для него исчерпывающей, а потому важно определить, насколько тесной будет взаимосвязь этого элемента с другими элементами узла. Для этого следует ввести такое понятие, как степень принадлежности $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji})$ (при этом $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) = [0..1]$), которое отражало бы, каким образом остальные элементы узла $x_{i-1k-1j(i-1)}$ связаны с указанным элементом. В общем виде это выглядело бы следующим образом:

$$X_{ikji} = \{x_{ik1} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ik1}), x_{ik2} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ik2}), \dots, x_{ikj-1} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ikj-1}), x_{ikji} | \mu_{X_{ikji}}(x_{ikji})\} \quad (3)$$

При этом в каждом таком наборе параметров, в том случае, если и функция, и переменная будут указывать на один и тот же элемент, функция принадлежности $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) = 1$. В остальных случаях $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) \leq 1$, при этом знак равенства здесь будет говорить о том, что некоторые элементы данного узла полностью идентичны.

Если настроить работу памяти элементов таким образом, чтобы функция элемента выступала лишь в качестве носителя нечеткого множества, тогда в тех случаях, когда $\mu_{X_{ikji}}(x_{ikji}) = 0$, элемент просто перестает ею учитываться. Так, если окажется, что ни один из заявленных одноуровневых элементов не взаимодействует с элементом x_{ikji} (рис. 4), тогда носитель X_{ikji} «забудет» о существовании других элементов и будет действовать в рамках решаемой им задачи индивидуально. В то же время, обнуленные параметры не влияют на текущую деятельность элемента, однако,

если значение кого-либо из них станет больше нуля, этот параметр будет снова учитываться при выполнении последующих действий.

В общем виде, как уже заявлялось ранее, можно предположить, что абсолютно каждый элемент иерархической системы может взаимодействовать с абсолютно любым другим ее элементом в различной степени близости, а потому граф, который описывал бы данную взаимосвязь, представлял бы собой разветвленную сеть с низкой степенью информативности, а равенство отличалось бы громоздкостью. По этой причине наиболее наглядно описать взаимосвязь любого элемента иерархической системы с остальными ее элементами можно было бы с помощью графика, схематично представленного на рисунке 5 и подчиняемого следующему правилу: степень принадлежности $\mu_{x_{ikji}}(x_{ikji})$ обратно пропорциональна количеству элементов.

Рис. 4

Действительно, иерархическая система, как правило, содержит довольно мало (или же не содержит вовсе) абсолютно одинаковых элементов, в то время как количество элементов, с которыми взаимодействие вообще отсутствует, составляет абсолютное большинство.

Рис. 5

В настоящее время перед представленной моделью стоят следующие основные проблемы:

1. Отсутствие описания принципа функционирования элемента иерархической структуры с учетом степеней взаимодействия с другими ее составляющими, без которого система в настоящее время представляется статической, а не динамической сущностью.

2. Необходима разработка алгоритма принятия решений о наиболее оптимальном взаимодействии элементов между собой с целью решения поставленных перед иерархической системой задач.

3. Внедрение α -уровней в рамки формирующейся нечеткой модели позволило бы сформировать систему приоритетов при взаимодействии между элементами иерархии, независимую от ее уровней (но, в основном, следующую им), однако в настоящее время формализация представленной идеи не произведена.

4. Основным недостатком служит субъективность выбора набора правил и параметров функций принадлежности входных переменных, которая может серьезно сказаться на результате, и сложности корректировки этих параметров на основе экспериментальных данных [6]. С этими проблемами позволили бы справиться нейро-нечеткие системы, которые необходимо интегрировать в рамки формирующейся в настоящее время модели.

В целом же, как можно заметить, теория нечетких множеств позволяет в довольно гибкой форме описать иерархическую структуру, что не только увеличивает удобство ее восприятия, но и позволяет оперативно реорганизовывать систему под изменяющиеся условия существования. В случае же автоматизации данного процесса можно получить систему, способную на самостоятельную перенастройку в режиме реального времени.

1. Бондаренко И. Б., Шиманчук С. Н., Назарова В. В. Использование моделей эволюции для управления мутациями генетического алгоритма при оптимизации многопараметрической функции // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 660—665.
2. Алиев, Р. А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р. А. Алиев, Н. М. Абдинеев, М. М. Шахназаров. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
3. Дубов Ю. А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
4. Колмогоров, А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. – М.: Физматгиз, 1968. – 494 с.
5. Мелихов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
6. Чернов, В. Г. Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив / В. Г. Чернов. – Владимир:, 2005. – 106 с.

Звонарева Г.А.¹, Копец М.Ю.², Тухбатуллин В.В.¹

**Организация многоканальной передачи данных в специализированной
вычислительной системе**

¹Московский авиационный институт (НИИУ)

²АО «НПО «Электронное приборостроение»
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-71

idsp: sciencerussia-10-04-2019-71

Аннотация

Рассматриваются аспекты разработки программного обеспечения для организации многоканальной передачи данных от множества параллельно обрабатывающих информацию цифровых сигнальных процессоров серии TMS320C64xx со сверхдлинным набором команд к ядру ЭВМ специального назначения через магистраль VME. При этом представляется организация блочного метода передачи по прерываниям и потокового метода под управлением контроллера прямого доступа к памяти в условиях необходимости решения задачи диспетчеризации запросов на ввод/вывод как в пределах одного агрегирующего несколько сигнальных процессоров узла с помощью контроллера Ad6414, так и задачи арбитража магистрали VME между данными узлами посредством контроллера Tundra Ts148. Отладка и тестирование программного обеспечения проводилась в среде разработчика Borland C++ Builder 6.0 с использованием набора

разработки драйверов для Windows окружения Driver Development Kit 7.1.0 и WinDbg и на аппаратно-программном комплексе.

Ключевые слова: многоканальная передача данных, ЭВМ специального назначения, блочный метод передачи данных по прерываниям, потоковый метод передачи данных под управлением контроллера прямого доступа к памяти, DSP, VME.

Abstract

Herein are presented development aspects of software for organization of multichannel data transmission from a parallel processing set of TMS320C64xx generation digital signal processors based on Very Long Instruction Word architecture to random-access memory of a specialized computational facility via a VME bus. On top of it, the organization of block-oriented transmission method with usage of interrupts and stream-oriented transmission method under control of Direct Memory Access controller have been reviewed in the conditions of the need for the input/output request dispatching both within the one board aggregating several signal processors under control of Ad6414 controller and within the task of VME bus arbitration of such boards by means of Tundra Tsi148 controller. Developed software was debugged and tested in Borland C Builder 6.0 developer environment with usage of Windows Driver Development Kit 7.1.0 and WinDbg and on a hardware-software complex.

Keywords: multichannel data transmission, specialized computational facility, block-oriented transmission method with usage of interrupts, stream-oriented transmission method under control of Direct Memory Access controller, DSP, VME.

Список основных специальных терминов и сокращений

DSP (англ. Digital Signal Processor) – цифровой процессор обработки сигналов (ЦПОС);

VME (англ. Versa Module Europa bus) – стандарт организации шины передачи данных;

DMA (англ. Direct Memory Access) – прямой доступ к памяти;

PnP (англ. Plug And Play) – технология, предназначенная для быстрого определения и конфигурирования устройств в компьютере;

IRP (англ. Input/Output Request Packet) – пакет запроса на ввод/вывод;

IRQL (англ. Interrupt Request Level) – механизм программно-аппаратной приоритизации;

PDO (англ. Physical Device Object) – объект физического устройства;

FDO (англ. Functional Device Object) – объект функционального устройства;

HAL (англ. Hardware Abstraction Layer) – слой аппаратных абстракций;

ПО – программное обеспечение;

ЦП – центральный процессор;

ОП – оперативная память.

Современные вычислительные системы с многоканальной передачей информации на базе технологий цифровой обработки сигналов находят все большее применение при решении задач специального назначения. При этом программная и аппаратная архитектура данных систем определяется характерным образом необходимостью соответствия предъявляемым к ним требованиям, а также напрямую связана с самим технологическим процессом параллельного формирования, обработки и передачи потоковых данных от множества цифровых источников к главному узлу специализированной ЭВМ за конечный промежуток времени. Успешное выполнение данного процесса обеспечивается последовательным решением специфических подзадач, реализуемых конкретными этапами обработки информации на протяжении всего тракта данных (канала).

Применение универсально программируемых специализированных DSP в качестве данных цифровых источников позволяет обеспечить выполнение всех характерных потребностей распределенного процесса подготовки информации на начальных этапах ее обработки в виде разделенных независимых потоков данных. Необходимость обработки большого количества таких потоков обуславливает трудности их вывода на центральный узел сбора информации через общую шину, ведя к аппаратному усложнению вычислительной системы за счет ввода промежуточных узлов контроля передаваемой информацией в виде отдельных контроллеров на тракте данных. Усложненная инфраструктура выдвигает новые требования по синхронизации взаимодействия DSP источника и приемника, централизованно осуществляющего последующую обработку цифровой информации на процессорном модуле ЭВМ специального назначения на основе комплексного программного обеспечения. Таким образом, при разработке данного ПО поднимаются не только вопросы программного представления процесса передачи данных, но и организации многоуровневой иерархии доступа с учетом арбитража и аппаратных особенностей на соответствующих уровнях-контроллерах при помощи событий-прерываний, вопросы реализации блочного метода передачи с использованием прерываний под управлением ЦП и потоковой передачи под управлением специализированного контроллера прямого доступа к памяти с учетом характеристик шин. Существенной к рассмотрению становится тема организации взаимосвязи ПО уровня пользователя и драйверов данных контроллеров.

Решение задачи сбора данных, сопряженной с решением проблем параллельных вычислений таких, как синхронизация при использовании данных и многоуровневый арбитраж, также, как правило, подразумевает необходимость исполнения требования согласованных временных характеристик системы, обеспечивающего эффективным методом управления потоками данных через соотнесение параметра пропускной способности центральной магистрали с требованием того, что все операции на процессорном модуле ЭВМ специального назначения должны быть выполнены за время, которое бы не превышало период дискретизации поступающего на нее сигнала.

Структурная схема специализированной вычислительной системы с многоканальной передачей данных представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Структурная схема специализированной вычислительной системы с многоканальной передачей данных

Данная система предназначена для сбора информации с нескольких десятков параллельно обрабатывающих DSP серии TMS320C64xx со сверхдлинным набором команд для ее последующей передачи в оперативную память процессорного модуля ЭВМ специального назначения через магистраль VME. Одновременно с этим организуется двухуровневая схема арбитража для образованного тракта данных:

- диспетчеризация, обеспечивающая согласованную работу ряда устройств в пределах одного DSP узла и проводимая локальным контроллером Ad6414;
- решение конфликтных ситуаций, возникающих при регулировании процесса распределения приоритетов передачи по магистрали VME между данными узлами, которое осуществляется контроллером Tundra Tsi148.

Разработанное ПО принадлежит и встраивается в данный комплекс, обеспечивая выполнение его задач, и обуславливая таким образом свою актуальность. При этом оно строится на базе активного использования имеющихся, разработанных ранее драйверов устройств Tundra Tsi148 и Ad6414 при помощи такого компонента ОС как менеджер ввода/вывода. Менеджер ввода/вывода является работающим в привилегированном режиме ядра модулем, встроенным в вертикальную иерархию взаимодействия между пользовательским ПО и интерфейсами доступа к устройствам, предоставляемыми данными драйверами. Комплекс ПО реализует и соответствует данному разделению, разбиваясь на ПО пользовательского уровня привилегий (рисунок 2) и ПО системного уровня привилегий (режима ядра) (рисунок 4) в соответствии с используемым ОС Windows архитектурным механизмом информационной безопасности и функциональной отказоустойчивости – кольцами защиты RING3 и RING0 соответственно.

Рисунок 2. Схема алгоритма пользовательского уровня ПО

Разработанное ПО предусматривает реализацию 2 способов передачи данных от сигнальных процессоров на процессорный модуль ЭВМ специального назначения, использование которых обосновывается требованием исполнительного характера о предъявляемой роли к ЦП или контроллеру Tundra Tsi148 как регулирующим механизм передачи:

- блочный метод передачи информации с использованием прерываний под управлением центрального процессора процессорного модуля специализированной ЭВМ основан на разбиении исходного сообщения на блоки равные ширине выборки в соответствии с шириной шины данных

VME по 32 бита. Блоки последовательно передаются после генерации запроса на прерывание, направленного от DSP и регистрируемого ЦП, который, в свою очередь, берет управление над данным процессом передачи;

- потоковый метод передачи информации под управлением контроллера DMA, когда те же действия по управлению осуществляются встроенным в контроллер Tundra Ts148 заранее программируемым блоком DMA после регистрации сгенерированного от контроллера Ad6414 события запроса на передачу из памяти DSP в заданную область ОП процессорного модуля ЭВМ специального назначения.

ПО пользовательского уровня для обоих методов реализуется одинаковым образом. Оно выполняет задачу организации общего алгоритма работы всей системы, обеспечивая логикой выполнения «запрос на передачу – ответные действия ЦП», включает цифровую обработку на ЦП и отображение результатов пользователю, регулирует процесс передачи запросов, конфигурирующих работу контроллеров Tundra Ts148 и Ad6414: подключение/отключение мониторов запросов на передачу от конкретного DSP, чтение/запись массивов данных с DSP. Данное регулирование происходит через сообщения унифицированного формата, которые описывают необходимое к выполнению действие параметрами кода действия, адресов чтения-записи, номера узла (дескриптора), номера DSP, длины передаваемых буферных массивов. ПО пользовательского уровня выполняет работу тандемного характера с обращением к исполнительным службам ОС Windows системного уровня данными сообщениями ввода/вывода. При этом организация согласованной работы верхнего и нижнего ПО осуществляется централизованным механизмом менеджера ввода/вывода по передаче драйверам запросов на ввод/вывод при помощи асинхронного высокопроизводительного пакетного механизма IRP. Наличие такого универсального интерфейса взаимодействия способствует переносу ПО уровня пользователя на системы с иной архитектурой.

Разработанное ПО пользовательского уровня также включает программную организацию механизма приема информации с циклических буферов DSP RAM памяти, что является одним из способов синхронизации при доступе управляющих процессов к используемым исходным массивам информации через блочно-ориентированный механизм передачи. Циклическая буферизация данных DSP, наряду с аппаратными средствами контроллеров Ad6414 и Tundra Ts148 и программно настраиваемой буферизацией данных, осуществляемой ОС при использовании рабочих процедур менеджера ввода/вывода и IRP-механизма, поддерживают согласование временных характеристик при переносе информации с DSP на процессорный модуль ЭВМ специального назначения, нивелируя несоответствие скоростей записи и чтения используемых устройств системы на тракте передачи данных.

Характерной особенностью работы пользовательского ПО является использование прозрачного для своего уровня механизма адресации DSP объединенных единым виртуальным адресным пространством (рисунок 3).

Рисунок 3. Адресация на узлах с DSP устройствами

Проблема согласования доступа к памяти DSP решается средствами драйверов устройств Ad6414 и Tundra Ts148 через вызов соответствующих функций

пользовательского уровня ПО. Взаимодействие данного ПО со стратегией распределения виртуальной памяти соответствующей компонентой ОС Windows менеджером виртуальной памяти на основе определяющей механизм трансляции адресов работы с PnP таблицей ресурсов устройств (описываемой реестром ОС) позволяет организовывать однородное отображение физических DSP адресов в пользовательское пространство исполняющегося ПО, что является принципиальным в процессе считывания информации с DSP. Данный процесс учитывает особенности созданного с их помощью единого адресного пространства, файлового механизма представления устройств (физические устройства распознаются пользовательскими приложениями в качестве именованных файловых объектов с символьными ссылками) и включает последовательное преобразование виртуальных адресов в физические. Обеспечение данным однотипным виртуальным доступом ко всем DSP устройствам не только способствует изоляции процессов пользовательского уровня от процессов режима ядра (что в целом соответствует многокомпонентной иерархической практике организации ОС Windows), но и обеспечивает защиту независимого виртуального пользовательского пространства процесса, предоставляет возможности масштабируемости системы за счет гибкого включения своих адресных пространств новых модулей-устройств DSP.

На рисунке 4 изображена реализация ПО системного уровня, основной задачей которого является выполнение функций администрирования унифицированных системных вызовов контроллеров Ad6414 и Tundra Tsi148 по управлению конкретным соответствующим физическим устройством через перехват возникающих запросов на ввод/вывод информации DSP и их интерпретацию при помощи менеджера ввода/вывода в высокоуровневые файловые команды.

Рисунок 4. Схема алгоритма системного уровня ПО

Программная реализация предусматривает разбор запросов пользовательского приложения драйвером контроллера Ad6414 для последующего расширения уже

созданной структуры адресов DSP и массивов определенной буферной структуры с помощью конфигурирования добавляемых характеристик передачи (таких как код записи/чтения Tundra Tsi148, установка типа адресации и используемой ширины выборки данных VME, установка кода использования роли регулирующего механизма передачи по VME для потокового метода под управлением DMA или блочной передачи под управлением ЦП процессорного модуля ЭВМ специального назначения). Данное расширенное сообщение передается в виде IRP нижележащему драйверу Tundra Tsi148, который в свою очередь выполняет запрограммированный таким образом процесс непосредственного перемещения данных с DSP на процессорный модуль, транслируя принятые в обобщенной форме запросы в формат, понятный для связанных шин ввода/вывода, адресации с последующим уведомлением о результате, и реализуя механизмы блочной передачи и DMA. Передача IRP осуществляется в рамках организованного стека драйверов Ad6414 и Tundra Tsi148 под управлением защищенной подсистемы, реализующей программный интерфейс Win32, при этом работа в нескольких слоях драйверной модели устройств также предполагает необходимость программирования набора процедур их взаимодействия для стандартной поэтапной обработки на соответствующем уровне-устройстве. Этапы алгоритма метода блочной передачи на рисунке 4 помечены флагом «PIO», а блоки программной реализации потокового метода – флагом «DMA». Различие данных блоков кода определяется передаваемыми параметрами вызываемым ими функций: кодовая основа функций блочной передачи описывает явным образом действия ЦП после получения последовательно обработанного на контроллерах и переданного ему запроса на прерывание для пересылки информации через VME (ЦП проводит разбиение на блоки, уменьшает счетчик количества переданных блоков), в то время как вызываемые функции потокового метода передачи используют специальное окно управления определенной структуры [1] для программирования DMA контроллера, ведущего запись в ОП по определенным адресам своими аппаратными средствами без прерывания ЦП.

ПО, изображенное на рисунке 4, включается в программный комплекс системного уровня на основе разработанных ранее драйверов, используя при реализации необходимых аспектов организации многоканальной передачи данных. К этому относится реализация аппаратных процедур подключения/отключения шинных устройств PDO и функциональных устройств FDO Ad6414 и Tundra Tsi148 на основании дерева устройств, строящегося в ходе взаимодействия PnP менеджера и драйверов, что способствует аппаратной расширяемости системы в случае ввода в эксплуатацию новых параллельно обрабатывающих DSP/DSP-узлов. Процесс построения дерева устройств выполняется, с одной стороны, с помощью создания соответствующих необходимых для работы с контроллерами на пользовательском уровне файловых объектов устройств (предоставление дескрипторов), стеков устройств – на системном при помощи PnP менеджера и организуемым таким образом стеком драйверов Ad6414 и Tundra Tsi148, а с другой, производит создание символьных ссылок для подсистемы Win32 на соответствующие имена файловых объектов устройств. При этом на данном уровне была программно определена обработка стандартных IRP запросов, PnP запросов, запросов на управление электропитанием, их передача через все стеки устройств PnP дерева до достижения целевого PDO и ассоциированного с ним драйвера. Другой выполняемой задачей данного комплекса является реализация инфраструктуры взаимодействия с внутренними модулями ОС Windows (такими, как менеджеры ввода/вывода, PnP, электропитания) и с механизмами организации единого виртуального адресного пространства с помощью драйверов и менеджера виртуальной памяти. Разработанное ПО также включается в процесс обработки запросов на прерывание, рассматриваемой в свете согласованной по времени и приоритету передаче данных по тракту данных при двухуровневой схеме арбитража на контроллерах Ad6414 и Tundra Tsi148. При этом взаимодействие всего комплекса системного уровня с аппаратной частью данных контроллеров, включая DMA, активно происходит через их управляющие регистры. Примером такого взаимодействия является регулирование динамической трансляции

адресов аппаратными средствами моста «PCI-X to VME», программный код которого определен соответствующими процедурами драйвера Tundra Tsi148.

Каждая часть ПО, пользовательская и системная, выполняет свойственные для своего уровня задачи, только их взаимодействие организует многоканальную передачу данных, совокупный алгоритм работы которой описывается на основании цикла обмена информацией между сигнальными процессорами и процессорным модулем ЭВМ специального назначения. Алгоритм формализуется и был программно реализован следующими этапами:

1. Подключение мониторов событий запросов на передачу данных от параллельно обрабатывающих DSP на процессорном модуле ЭВМ специального назначения.

На данном этапе происходит программная инициализация узлов и DSP устройств, построение PnP дерева подключенных устройств, загрузка управляющих последовательностей контроллеров Ad6414 и Tundra Tsi148, создание единого адресного пространства DSP, программное включение возможности регистрации событий запросов на передачу.

2. Генерация запроса на передачу данных от DSP.

По выполнению этапа 1 формируется инфраструктура для организации параллельных каналов ввода/вывода, обеспечивающая возможностью передачи данных от DSP устройств к процессорному модулю ЭВМ специального назначения в рамках зарегистрированной операционной системой архитектуры соединений устройств. На данном этапе становится принципиальной обработка запросов на прерывание, ассоциируемых с драйверными структурами определенного формата и генерируемых на соответствующих аппаратных уровнях контроллеров. При этом драйверы взаимодействуют с входящим в состав менеджера ввода/вывода системным модулем обращения к диспетчеру прерываний через вызываемые функции, что необходимо для начальной обработки запросов на прерывание и формировании их корректной адресации.

Таким образом, передача данных начинается с генерации запроса на прерывание DSP устройством посредством установки бита прерывания на свой соответствующий порт, что, в свою очередь, фиксируется контроллером Ad6414 [2]. Обработка данного запроса на Ad6414 осуществляется согласно FIFO дисциплине обработки запросов на прерывание через его помещения в список LIST_ENTRY. Список сохраняется до разрешения передачи данных, что сопровождается генерацией лишь одного запроса на прерывание от Ad6414 к контроллеру Tundra Tsi148.

Последующая обработка запросов на прерывание от множества DSP узлов (от контроллеров Ad6414) выполняется Tundra Tsi148 в соответствии с механизмом программно-аппаратной приоритизации IRQ, применяемым при синхронизации приоритетов исполняемых на ЦП процессорного модуля кодов. IRQ присваивается ОС на предыдущем этапе каждому из DSP узлов. При этом в зависимости от загруженной управляющей последовательности Tundra Tsi148 запрос на прерывание приведет к передаче контроля над управлением пересылкой данных либо ЦП процессорного модуля ЭВМ специального назначения, либо DMA контроллеру. Для случая ЦП обработка незамаскированных запросов на прерывание выполняется по относительной схеме (когда исполняемая на ЦП программа не прерывается запросом с более высоким приоритетом, что достигается маскированием сигналов прерывания на время обработки прерывания) и сопровождается сохранением слова состояния (полностью описывающим текущий выполняемый процесс на момент прерывания наряду со счетчиком команд и регистром флагов), сохранением регистров общего назначения ЦП, загрузкой адреса программы-обработчика (указываемого вектором прерывания), и по окончании выполнения программы обработки запросов на прерывание – восстанавливающим процессом обратной последовательности.

3. Разрешение передачи данных для DSP.

На данном этапе происходит установка на соответствующих регистрах контроллеров Tundra Tsi148 и Ad6414 значений разрешения процесса передачи. При этом

учитываются такие аспекты как очередность созданного Ad6414 списка запросов FIFO, готовность к работе заранее запрограммированного DMA контроллера.

4. Передача данных из памяти DSP в ОП процессорного модуля ЭВМ специального назначения.

Заключительный этап сопровождается работой циклов блочной пересылки по VME [3] с характерным использованием шин данных, адреса, арбитража (и их освобождением). Управление данным процессом производится при помощи ПО системного уровня через неявное (передаваемое более глубоким слоям как HAL) определение параметров передачи.

Разработка ПО для организации многоканальной передачи данных в специализированной вычислительной системе велась с использованием наработанного ПО богатого инструментария языков программирования высокого уровня C и C++. ПО пользовательского уровня разрабатывалось в среде Borland C++ Builder 6.0, а разработка ПО уровня ядра осуществлялась с использованием набора из средств разработки драйверов окружения Windows Driver Development Kit 7.1.0 и WinDbg. Отладка производилась как в автономном программном режиме, подтвердившим правильность исполнения отдельных программных модулей, отсутствия ошибок компиляции, так и на аппаратно-программном комплексе с различным количеством DSP узлов, обеспечивавшим тестовыми данными, что также подтвердило корректность исполнения управляющего программного комплекса в условиях близких к реальным. При этом использование ОС Windows в качестве основной среды выполнения ПО обуславливается и является допустимым текущим НИОКР этапом разработки всей вычислительной системы специального назначения.

На основании вышеизложенного можно сформулировать следующие выводы:

1. Решена задача сбора и передачи информации с большого количества параллельно обрабатывающих цифровых процессоров обработки сигналов на процессорный модуль через общую магистраль VME как с одного узла DSP, так и с нескольких, в рамках чего было выполнено:
 - разработаны и реализованы алгоритмы пользовательского и системного уровней для блочной передачи данных при использовании прерываний;
 - разработаны и реализованы алгоритмы пользовательского и системного уровней потокового метода передачи данных.
2. Разработаны и реализованы алгоритмы для решения задачи организации многоуровневой иерархии доступа с учетом двух вложенных уровней арбитража на основе существующего программного обеспечения драйверов управляющих контроллеров Ad6414 и Tundra Tsi148.

Результат работы представляет из себя программный продукт, включенный в состав специализированной вычислительной системы и прошедший тестирование в АО «НПО «Электронное приборостроение».

1. Tsi148 PCI/X-to-VME Bus Bridge Programming Manual. URL: https://www.slac.stanford.edu/grp/lcls/controls/global/hw/users_guides/cpu/pci-bridge/Tsi148.pdf (дата обращения: 30.03.2019).
2. TMS320C64x/C64x+ DSP CPU and Instruction Set. Reference Guide. URL: <http://www.ti.com/lit/ug/spru732j/spru732j.pdf> (дата обращения: 30.03.2019).
3. ГОСТ Р МЭК 821-2000. Магистраль микропроцессорных систем для обмена информацией разрядностью от 1 до 4 байтов (магистраль VME). URL: <http://vak.ru/pub/gost/gost-r-mek-821-2000.pdf> (дата обращения: 30.03.2019).

РАЗДЕЛ XIX. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Багайсков Ю.С.

Исследование механизма упругого деформирования материала абразивных шеверов на полимерных связках*Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета
(Россия, Волжский, Волгоградской обл.)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-72

idsp: sciencerussia-10-04-2019-72

Аннотация

Для отделочной обработки боковых поверхностей зубьев закаленных колес по методу обката применяется инструмент - абразивный шевер. В процессе эксплуатации из-за внедрения абразивных зерен в металл, износа и приработки материала инструмента, наличия контактной и изгибной деформации зуба шевера, особенно при эластичном связующем, контакт зубьев происходит не в точке, а по эллипсной площадке. Предложена модель зацепления зубьев шевера и детали, позволяющая имитировать подвижность зубьев шевера относительно зубьев колеса в результате деформирования, учесть изменения кинематических параметров. Это позволит учесть влияние упругих деформаций при расчете геометрических параметров шеверов, влиять на интенсивность съема металла, качество и точность обработки.

Ключевые слова: абразив, шевер, связка, зацепление, упругая деформация, модель зуба

Особенностью композиционного материала абразивных инструментов на полимерных связках в отличие, например, от классической керамической связки, является наличие упругости, оцениваемой параметром «модуль упругости». При этом степень упругости может быть в достаточно широких пределах, вплоть до уровня эластичности. В конечном итоге при воздействии приложенных рабочих нагрузок материал инструмента на полимерных связках деформируется, что должно оказывать влияние на работоспособность инструмента [1].

На рис. 1 приведена схема взаимодействия единичного абразивного зерна, закрепленного эластичной связкой в поверхностном слое материала инструмента, с обрабатываемой поверхностью. В контакте с поверхностью абразивное зерно, погруженное в связку, под действием нагрузки смещается в нее дополнительно. В таком смещенном положении зерно производит резание металла, внедряясь в него на меньшую глубину, чем при жестком закреплении. Кроме того, вследствие трения об обрабатываемую поверхность, зерно поворачивается относительно этой поверхности, что приводит к еще более существенному уменьшению отрицательного переднего ($-\gamma$) и увеличению заднего (α) угла его режущей кромки.

Теоретически, контакт поверхностей инструмента и обрабатываемой детали происходит в точке или по линии. Практически же в процессе эксплуатации из-за внедрения абразивных зерен в металл, износа и приработки материала инструмента, даже при его абсолютной жесткости, тем более, при определенной упругости, контакт происходит по площадке небольших размеров в форме прямоугольника или эллипса [2]. Это обеспечивает лучшую полноту обработки и невысокую шероховатость обработанной поверхности при уменьшенной глубине резания.

Наиболее сложным и показательным объектом с точки зрения присутствия упругости является абразивный шевёр, применяемый для окончательной обработки боковых поверхностей закаленных зубчатых колес по методу обката с реверсом.

Особенностью для зацепления шевёр – деталь является необходимость учета только упругой деформации шевёра. Модуль упругости материала шевёров ($E_0 = 0,1 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^3$ МПа) в 30 – 2000 раз меньше модуля упругости материала обрабатываемых деталей ($E_1 = 2,15 \cdot 10^5$ МПа). Кроме того шевёр в процессе эксплуатации изнашивается, изменяются размеры его зубьев. Шевёр является режущим инструментом, размеры режущих кромок абразивных зерен и глубины их внедрения в металл не постоянны.

Рис. 1 Схема взаимодействия абразивных зерен (1), закрепленных в связке (2), с обрабатываемой поверхностью (3): а – в нормальной плоскости; б – в касательной плоскости (E_0 – модуль упругости материала инструмента)

Размеры зоны контакта зубьев шевёра и детали, величины контактных усилий в этом случае не постоянны и не могут быть оценены с достаточной точностью, поэтому надо использовать приближенный метод, с учетом изменения коэффициента коррекции профиля зубьев шевёра, что позволяет оценить влияние степени размерного износа шевёров в процессе их эксплуатации.

Суммарную деформацию ω_Σ зуба шевёра в точке контакта его с зубом детали, как и любого зубчатого колеса, можно разложить в направлении действия нормальной нагрузки ($N_0 N_1$) на следующие составляющие [3]:

$$\omega_\Sigma = \omega_K + \omega_{\Sigma H} + \omega_{об}, \quad (1)$$

где ω_K и $\omega_{\Sigma H}$ – контактная и изгибная деформация зуба;
 $\omega_{об}$ – деформация обода шевёра.

В свою очередь изгибная деформация $\omega_{\Sigma H}$ состоит из собственно изгибной деформации зуба как консоли (ω_H) и деформации, характеризующей перемещение основания зуба в обод шевёра (ω_{OC}):

$$\omega_{\Sigma H} = \omega_H + \omega_{OC}. \quad (2)$$

На рис. 2 приведена упругая механическая модель зуба шевера, где A и B – условные оси поворота зуба в результате изгибной деформации и относительно обода шевера.

Модель позволяет оценить все составляющие суммарной деформации зуба шевера в точке контакта K за счет жесткости соответствующих пружин. Перемещением пружины 1 моделируется контактная деформация (ω_K), круглой пружины 2 – поворот оси симметрии зуба, пропорциональной изгибной деформации (ω_H), круглой пружины 3 – поворот основания зуба относительно обода (ω'_{OC}), пружин 4 и 5 – сдвиги основания зуба в направлениях, нормальном и параллельном его оси симметрии ($\omega''_{OC}, \omega'''_{OC}$).

Рис.2 Схема упругой модели зуба шевера

Упругое деформирование зубьев шевера при эксплуатации вызывает изменение величин кинематических параметров зацепления. Смещается положение текущей точки контакта профилей, полюса и линии зацепления, изменяется соотношение радиусов кривизны эвольвент в контактной точке, размеры контактируемых участков эвольвент зубьев шевера и колеса. Это показано на кинематической модели (рис. 3), показывающей характер зацепления профилей зубьев. Для каждой точки контакта величины деформаций и, соответственно, смещений различны, поэтому изменяется величина передаточного числа зацепления шевер – колесо в пределах его основного шага.

Рис. 3 Изменение характера зацепления эвольвентных профилей зубьев шевера и колеса вследствие упругой деформации первого

В связи с этим следует ожидать и определенного изменения интенсивности скольжения зубьев шевера и колеса. Кроме того с повышением степени упругости материала шевера увеличивается коэффициент перекрытия зацепления [4] и, соответственно, парность контактов и характер распределения сил в зацеплении шевера и колеса.

Таким образом, предложенная упругая модель зуба абразивного шевера позволяет оценить уровень всех составляющих деформации зуба [5], их влияние на изменение кинематических параметров зацепления шевер – деталь, при этом скорректировать расчет геометрии и рецептуру композиционного материала шеверов, в результате повысить интенсивность съема металла, качество и точность обработки зубчатых колес.

1. Багайсков, Ю.С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов : (монография) / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер ; Федеральное агентство по образованию, ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ. - Волгоград : ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ, 2005. - 200с.
2. Тарамыкин, Ю. П. Форма и площадь мгновенного пятна контакта при зубохонинговании / Ю. П. Тарамыкин. // Сб. работ аспирантов ЭНИМС. – М., 1966. – С. 188 – 197.
3. Айрапетов, Э. Л. Податливость прямозубого зубчатого зацепления / Э. Л. Айрапетов, М. Д. Генкин, Д. И. Колин // Виброакустическая активность механизмов с зубчатыми передачами. – М.: Наука. – 1971. – С. 13 – 59.
4. Старжинский В.Е., Мажаровский В.В. Расчет податливости металлополимерного зубчатого зацепления // Динамические процессы в механизмах с зубчатыми передачами. – М.: Наука, 1976. – С. 139 – 145.
5. Багайсков, Ю.С. Исследование суммарной упругой деформации зубьев абразивных шеверов / Ю.С. Багайсков //Фундаментальные основы механики: материалы междунар. научн.-практ. конф. - Новокузнецк: НИЦ МС, № 3, 2018.-С.92-96.

Веретенников А.Н., Турченков Д.А., Рогов Р.А., Лоскутов А.С., Котенев М.А.
Современные системы САПР в изучении технических дисциплин

ФГКВОУ ВО "Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина"
(Россия, Воронеж)

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-73

idsp: sciencerussia-10-04-2019-73

Аннотация

В статье рассмотрены некоторые вопросы и проблемы изучения технических дисциплин в высшем учебном заведении. С помощью современных систем автоматизированного проектирования созданы 3D-модели деталей, узлов и механизмов используемые в учебном процессе.

Ключевые слова: проектирование, САПР, 3D-модель, редуктор, детали машин.

Современное образование, как и многие сферы жизни человека, в связи с быстроразвивающимся научно-техническим прогрессом, претерпевает изменения. Преподавание и изучение, казалось бы классических и фундаментальных дисциплин, в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами требует соответствующего материально-технического обеспечения учебного процесса, причем не только наличия и использования различных макетов, стендов, образцов, но и компьютерного сопровождения обучения с применением современных программно-комплексных приложений для обработки информации, моделирования устройств и их узлов в целом и по отдельности, критичных и нештатных режимов работы. Кроме того, такое требование продиктовано и самими обучающимися, ведь с большой долей

уверенности можно утверждать, что современной молодежи проще «познавать мир» через компьютер.

Целью работы являлось совершенствование учебно-методической базы кафедры созданием 3-D моделей узлов, механизмов и машин с использованием САПР.

Система автоматизированного проектирования (САПР) – сложный комплекс средств, предназначенный для автоматизации проектирования. Ключевыми звеньями такой системы является связка Компьютер – Программное обеспечение.

Обучающимся первого курса было предложены индивидуальные и групповые задания по моделированию отдельных деталей, а в дальнейшем созданию сборки простейших механизмов - редукторов, широко используемых и распространенных практически во всех областях промышленности. Редуктор - механизм, служащий для понижения угловой скорости (частоты вращения) и повышения крутящего момента, состоящий из передач, установленных в отдельном корпусе. Уникальность подобного рода механизмов, с точки зрения получения новых знаний, заключается в том, что они состоят из множества элементов, охватывающих практически все группы деталей машин. Так, на примере любого редуктора можно рассмотреть особенности построения корпусов различных механизмов, являющихся не только ограждением от внешней, неблагоприятной среды, но и выполняющих несущую функцию (рисунок 1). Кроме того, в редукторах присутствуют валы, а, следовательно, есть возможность изучить конструкции валов и особенности их проектирования (рисунок 2). «Сердцем» редуктора можно назвать механическую передачу (рисунок 3) (или их совокупность) т.е. обучающемуся приходится погрузиться в изучение их многообразия, достоинства, недостатки, конструктивные, геометрические и кинематические характеристики. В дополнение к вышеуказанным изучается и широкий перечень стандартных узлов и деталей машин – подшипники, их классификация и конструкции; множество разъемных соединений и их элементов (болты, гайки, шайбы, шпонки, штифты и т.д.); элементы системы смазки (манжеты, сальники, уплотнительные кольца, пресс-масленки, маслоуказатели и т.д.).

а – корпус цилиндрического редуктора; б – корпус конического редуктора
Рисунок 1 – 3D-модели корпусов редукторов

а – тихоходный вал конического редуктора; б – вал-шестерня цилиндрического редуктора
Рисунок 2 – 3D-модели валов

а – зубчатое колесо цилиндрического редуктора; б – зубчатое колесо конического редуктора
Рисунок 3 – 3D-модели элементов механических передач редукторов

Задания выполнялись с использованием САПР – Компас-3D. Обучающимся впервые пришлось столкнуться с мощной и универсальной системой трёхмерного проектирования, ставшей стандартом для тысяч предприятий, благодаря простоте освоения и широким возможностям твердотельного моделирования. За короткий промежуток времени изучены основы плоскостного 2D черчения. В основном это: работа с инструментальной панелью «Геометрия» (построение отрезков, окружностей, дуг различными способами; использование вспомогательных линий); и инструментальной панелью «Редактирование» (сдвиг, поворот, симметрия, создание массивов, усечь кривую и т.д.). Также изучены основы работы в модуле 3D-моделирования (работа с эскизами, операции выдавливания, вращения, операции вырезать выдавливанием, вырезать вращением, создание фасок, скруглений, массивов по концентрической сетке и зеркального массива, работа с дополнительными плоскостями и свойствами модели). На этапе осуществления сборки узлов и деталей в общий механизм (рисунок 4) для относительного позиционирования элементов использовались в основном следующие виды сопряжений: «соосность» элементов и «совпадение поверхностей» элементов.

а – сборка цилиндрического редуктора; б – сборка конического редуктора
Рисунок 4 – 3D-модели сборок редукторов

В ходе выполнения задания у обучающихся первого курса уже начинают формироваться не только общепрофессиональные компетенции, заложенные во ФГОС, но и часть профессиональных компетенций, связанных с их будущей профессиональной деятельностью. Помимо этого, уже на первом курсе обучения закладывается фундамент к изучению многих специальных дисциплин. Выполненные

3D-модели элементов редукторов послужат дополнительным иллюстративным материалом в различных разделах дисциплины «Механика», «Детали машин» и других.

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин Учебник. - Москва: Высшая школа, 2008. - 410 с.
2. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для студ. техн. спец. вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. — 8-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 496 с.
3. Курмаз Л. В., Скойбеда А. Т. Детали машин. Проектирование.- Мн.: УП "Технопринт". изд 2. 2002 — 296 с.
4. Ефремов Г. В. Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем : учебное пособие для вузов / Г. В. Ефремов, С. И. Ньюкалова. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 256 с.
5. Большаков В. П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D : Учебное пособие / БХВ-Петербург, 2010. - 496 с.

Горбатовский А.А.

Исследование устойчивости вращающегося диска

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-74

idsp: sciencerussia-10-04-2019-74

Аннотация

В статье представлены результаты исследования устойчивости вращающегося диска, который нагревается по наружному контуру. Найдено стационарное температурное поле диска, и получены критические зависимости скорости вращения от температуры, при которых возникают новые формы равновесия.

Ключевые слова: критическая нагрузка, формы равновесия, вращающийся диск.

Abstract

The paper present the decision of problem stability revolving thin disk, which heat in external contour. Recived decision the critical temperature external contour as function rotation disk.

Вопрос об устойчивости вращающихся дисков возникает при изучении коробления дисковых пил, которые работают при больших скоростях вращения и значительного нагрева на внешнем зубчатом контуре, возникающего при распиловке брёвен. В этом случае, задача исследования коробления дисковых пил становится актуальной.

Целью настоящего исследования является определение температуры наружного контура диска, при котором возможна потеря устойчивости плоской формы его равновесия. Поскольку напряжения, возникающие в диске при работе, зависят от центробежных сил и температуры нагрева наружного контура, то первой частью исследования была задача определения поля температур в диске при его нагреве по наружному контуру.

Температурное поле диска при его нагревании по внешнему контуру можно найти из известных результатов [1].

Считается, что диск имеет постоянную толщину и известна температура нагрева наружного контура T_0 . Боковая поверхность охлаждается окружающим воздухом. Температурное поле считается стационарным. Коэффициент теплоотдачи α известен.

Окончательно, решение тепловой задачи для средней (по толщине) температуры диска имеет вид:

$$\theta = \frac{2 \sin n_1}{(n_1 + \sin n_1 \cos n_1)} \exp \left(2n_1 \frac{R}{h} \left(\frac{r}{R} - 1 \right) \right) \sqrt{\frac{R}{r}}, \quad (1)$$

где: n_1 – наименьшее значение числа n , найденного из трансцендентного уравнения $n = Bi * \operatorname{ctg}(n)$

Значение n_1 принимает значения от 0 (для $Bi \rightarrow 0$) до $\pi/2$ (для $Bi \rightarrow \infty$).

$Bi = \frac{ah}{2\lambda}$ – критерий Био,

λ – коэффициент теплопроводности,

R – наружный радиус диска,

h – толщина диска.

Исследование устойчивости вращающегося диска

Начальные усилия в срединной поверхности диска постоянной толщины определяются по следующим формулам [3]:

Радиальные усилия

$$T_1 = Eh \left[t(1) - \left(\frac{R}{r} \right)^2 t \left(\frac{r}{R} \right) \right] + R^2 \frac{3+\nu}{8} \rho h \omega^2 \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right);$$

Окружные усилия

$$T_2 = Eh \left[t(1) + \left(\frac{R}{r} \right) t \left(\frac{r}{R} \right) - \alpha \theta \left(\frac{r}{R} \right) \right] + R^2 \rho h \omega^2 \left[\frac{3+\nu}{8} - \frac{1+3\nu}{8} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

$$t \left(\frac{r}{R} \right) = \int \alpha \frac{r}{R} \theta \left(\frac{r}{R} \right) d \left(\frac{r}{R} \right)$$

где:

α – коэффициент линейного расширения материала диска,

ν – коэффициент Пуассона материала диска,

E – модуль упругости,

ρ – плотность материала диска,

Дифференциальное уравнение устойчивости для диска в полярной системе координат имеет вид [4]:

$$D \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) - T_1^0 \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - T_2^0 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) = 0$$

В это уравнение входят только чётные производные по углу φ , поэтому решение данного уравнения можно найти в виде ряда:

$$w(r, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} w_n(r) \cos(n\varphi) \quad (2)$$

где: $w_n(r)$ – функции координаты r .

Подставляя это выражение в уравнение устойчивости, приходим к системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$D \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} - \frac{n^2}{r^2} \right) \left(\frac{d^2 w_n}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw_n}{dr} - \frac{n^2 w_n}{r^2} \right) - T_1^0 \frac{d^2 w_n}{dr^2} - T_2^0 \left(\frac{1}{r} \frac{dw_n}{dr} - \frac{n^2 w_n}{r^2} \right) = 0$$

$$n = 0, 1, 2 \dots$$

Решения этих уравнений, удовлетворяющих заданным граничным условиям, дают собственные значения. Наименьшее из собственных значений параметра нагрузки является критическим.

Граничные условия, которым должны удовлетворять решения дифференциальных уравнений имеют вид:

$$\begin{array}{lll} r=0 & w=0 & \frac{dw}{dr}=0 \\ r=R & M_1=0 & Q_1^*=0 \end{array}$$

где: M_1 – радиальный момент,

Q_1^* – поперечная радиальная приведённая сила [5].

Выражение для радиального момента M_1 после подстановки решения (2) приобретает вид:

$$\frac{d^2 w_n}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dw_n}{dr} - \frac{\nu n^2}{r^2} w_n = 0$$

Для приведённой поперечной силы Q_1^* используя разложение вида (2) получим:

$$Q_1^* = Q_1 + D(1-\nu) \frac{n^2}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{w_n}{r} \right)$$

где:

$$Q_1 = -\frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 w_n}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw_n}{dr} - \frac{n^2}{r^2} w_n \right)$$

Окончательно, второе граничное условие имеет вид:

$$\frac{d^3 w_n}{dr^3} + \frac{1}{r} \frac{d^2 w_n}{dr^2} - \left[\frac{1+(2-\nu)n^2}{r^2} \right] \frac{dw_n}{dr} + \frac{(3-\nu)n^2}{r^3} w_n = 0$$

Переходя к безразмерной форме, получим следующее уравнение:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{2}{x} \frac{d^3 y}{dx^3} - \left[\frac{2n^2+1}{x^2} + \frac{T_r^0 R^2}{D} \right] \frac{d^2 y}{dx^2} + \left[\frac{2n^2+1}{x^3} - \frac{T_\phi^0 R^2}{Dx} \right] \frac{dy}{dx} + \left[\frac{n^4-4n^2}{x^4} + \frac{n^2 T_\phi^0 R^2}{Dx^2} \right] y = 0$$

$$x = \frac{1}{R} r \quad y = \frac{1}{R} w_n$$

Где обозначено:

Граничные условия в безразмерной форме имеют вид:

$$\begin{array}{lll} x=0 & y=0 & \frac{dy}{dx}=0 \end{array}$$

$$x=1 \quad \frac{d^2 y}{dx^2} + \nu \frac{dy}{dx} - \nu n^2 y = 0$$

$$\frac{d^3 y}{dx^3} + \frac{d^2 y}{dx^2} - \left[1+(2-\nu)n^2 \right] \frac{dy}{dx} + (3-\nu)n^2 y = 0$$

Далее, используя метод начальных параметров, находятся зависимости температуры диска на внешнем краю в зависимости от скорости вращения диска при которых возможны ненулевые решения дифференциального уравнения при заданных граничных условиях.

Для примера, были рассчитаны критические зависимости температуры диска от его скорости вращения для конкретного случая:

$R=250$ мм – радиус диска,

$h=2,5$ мм – толщина диска,

$a=500$ Вт/м²К – коэффициент теплоотдачи,

$\lambda=50$ Вт/м К – коэффициент теплопроводности материала диска,

$\alpha=12 \cdot 10^{-6}$ 1/°К – коэффициент линейного расширения материала диска.

Графики критических температур, в зависимости от скорости вращения, приведены на рис.2.

Рис. 1. Графики критических температур, в зависимости от скорости вращения диска.

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
2. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. – Долгопрудный: Интеллект, 2007. – 247с.
3. Биргер И.А., Демьянушко И.В. Расчёт вращающихся дисков. – М.: Машиностроение, 1999. – 385с.
4. Алфутов Н.А., Колесников К.С. Устойчивость движения и равновесия – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. – 256 с.: ил.
5. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика. М., «Машиностроение», 1977. – 488с.

Грибкова И.Н.

К вопросу о связи β -глюканов ячменного пивоваренного солода и качества пива

*Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-75

idsp: sciencerussia-10-04-2019-75

Аннотация

Излагается актуальность контроля качества пивоваренной продукции в силу ужесточения требований к ее производству. Рассмотрен вопрос о недостаточности перечня нормируемых показателей для оценки качества пивоваренной продукции и важность введения новых показателей, в том числе оценка содержания β -глюкана ячменного пивоваренного солода на показатели готового пива. Приведены данные о трансформации β -глюканов в зерновом сырье, пути перехода этих некрахмальных полисахаридов в пивоваренное сусло и пиво и участие их в образовании коллоидного помутнения. Таким образом оценена степень влияния β -глюкана на качество и безопасность пива, выявлена актуальность его определения. На основании применяемых в пищевой отрасли методов решена задача разработки для нужд отечественных производителей пива метода по определению β -глюкана, позволяющая

задействовать доступные реактивы, приборы, не требующая сложного оборудования. Метод учитывает все побочные соединения, влияющие на завышение результата, что влияет на точность определения.

Ключевые слова: ячменный пивоваренный солод, показатели качества, некрахмальные полисахариды, помутнение пива, методика определения β -глюкана

Abstract

The quality control of beer products actuality because production requirements are toughened is described. The question of the normalized indicators list for assessing the brewing products quality insufficiency and the new indicators introduction importance, including the content barley malt β -glucan assessment on the finished beer indicators are analyzed. The data on the grain raw material β -glucan transformation, the ways of these non-starch polysaccharides transition into brewing wort and beer and their participation in the colloidal turbidity formation are presented. Thus, the degree of influence of β -glucan on the beer quality and safety is estimated, the relevance of its determination is revealed. Based on the methods used in the food industry, the problem of developing a method for determining β -glucan for the needs of domestic beer producers, which allows using available reagents, devices that do not require complex equipment, is solved. The method takes into account all the side compounds that affect the overestimation of the result, which affects the determination accuracy.

Key words: barley malt, quality indicators, non-starch polysaccharides, beer haze, β -glucan determination method

Российский рынок пива за последнее время интегрируется в Единое таможенное пространство и пытается найти новые рынки сбыта, с одной стороны. С другой стороны, контролирующие органы в области оборота алкогольной продукции ужесточают требования к ее производству вследствие возникновения фальсификатов, в частности пива и пивных напитков [1].

Параметры качества и безопасности пивоваренной продукции регламентируются в ГОСТ 31711-2012 «Пиво. Общие технические условия» и ГОСТ Р 55292-2012 «Напитки пивные. Общие технические условия», а также ряд ТР ТС (021, 022, 029 и т.д.) в части требований к безопасности продукта, тары и упаковки, маркировки и т.д.

Однако, существуют показатели, которые не нормируются нормативными документами, но уровень содержания которых влияет на органолептические и физико-химические характеристики продукции. Их количество зависит от используемого растительного, в том числе зернового, сырья, и полноты процесса брожения, формирующего основной органолептический (сенсорный) профиль готового пива. В таблице 1 представлено влияние основных вторичных продуктов брожения, формирующих сенсорный профиль пива [2].

Таблица 1.

Влияние вторичных продуктов брожения на сенсорный профиль пива

Наименование вторичного продукта брожения	Органолептическая характеристика	Факторы, влияющие на образование продукта брожения
Органические спирты		
1-пропанол (пропиловый спирт)	запах алкоголя, чувство жжения на языке	определяется штаммом дрожжей и режимом брожения
2-метилпропанол (изобутиловый спирт)	-«-	образуется из валина, определяется штаммом дрожжей и режимом брожения
2-метил-1 бутанол (амиловый спирт)	запах алкоголя, при больших концентрациях – запах лака	образуется из изолейцина, определяется штаммом дрожжей и режимом брожения
3-метил-1-бутанол (изоамиловый спирт)	запах алкоголя, при больших концентрациях – винный	образуется из лейцина, определяется штаммом дрожжей и режимом

	запах	брожения
цис-3-гексен-он	запах свежескошенной травы, древесины	неправильное хранение солода и хмеля
гераниол	фруктово-цветочный запах и привкус	определяется сортом хмеля и режимом охмеления
глицерин	ощущение вязкости, сладкий вкус	определяется режимом брожения (стресс-факторами)
2-фенилэтанол	запах розы	образуется из фенилаланин, определяется штаммом дрожжей и режимом брожения
2-метокси-4-(2-пропенил) фенол	запах специй	режимы хранения пива
4-винилгваякол (2-метокси-4-винил-фенол)	фенольный запах	определяется штаммами верховых дрожжей
2,6-дихлорфенол	запах и привкус антисептика	контакт с упаковкой и водой, содержащей хлорфенол
2-бромфенол	запах и привкус чернил	контакт с упаковкой
Органические и жирные кислоты		
Уксусная	уксусный запах и кислый вкус	определяется штаммом дрожжей, контаминация бактериями
Лимонная	кислый вкус	определяется штаммом дрожжей, контаминация бактериями
Пировиноградная	фруктовый запах	определяется штаммом дрожжей
Молочная	запах и вкус скисшего молока	определяется штаммом дрожжей, подкисление сусла
Масляная (C ₄)	привкус и запах сыра, прогорклый вкус	контаминация бактериями
Изовалериановая (C ₅)	запах старого хмеля, пота	применение старого хмеля
Каприловая (C ₈)	козлиный, сальный запах	определяется физиоло-гическим состоянием дрожжей, технологическими приемами аэрации сусла и пива
Каприновая (C ₁₀)	прогорклый вкус	режимы дображивания
Эфиры		
Этилацетат	фруктовый запах и привкус	определяется штаммом дрожжей, их физиологическим состоянием и режимом брожения
Изобутилацетат	запах и привкус леденцов	
Изоамилацетат	эфирный, фруктовый, банановый привкус	
Молочно-этиловый	эфирный запах и привкус	подкисление сусла
Масляно-этиловый	земляничный запах и привкус	режим брожения
Этилкапронат	яблочный привкус и запах	определяется штаммом дрожжей, их физиологическим состоянием и режимом брожения
Этилкаприлат	фруктовый запах и привкус	
Этилкапринат	сладкий, сиропный привкус	
Додеканэтиловый	дрожжевой запах и привкус	режимы дображивания, длительное хранение пива
Карбонилы		
ацетальдегид	запах и привкус битого яблока	режимы брожения, индикатор старения пива
бензальдегид	запах и привкус миндального масла	индикатор старения пива
изобутираль	запах и привкус зеленого солода	при использовании солода без отлежки или длительного срока хранения
Транс-2-ноненаль	бумажный, картонный запах	индикатор старения пива
ванилин	запах и привкус мороженного	образуется из полифено-лов ячменя при участии диких дрожжей, признак старения пива
диацетил	Кетон прогорклый, маслянистый привкусы	режим брожения, контаминация бактериями

Основные физико-химические показатели пива – содержание спирта, экстракта, цветность, кислотность, пенообразование, регламентируемые ГОСТ 31711-2012 «Пиво. Общие технические условия», недостаточно полно отражают качество готового напитка.

Среди прочих важных показателей качества ячменного пивоваренного солода, влияющих на качество и безопасность готового пива, было отмечено значимое влияние такого полисахарида некрахмальной природы, как β -глюкан.

В ячмене он локализуется в клеточных стенках эндосперма и алейронового слоя и прочно ассоциирован с молекулами белков и полифенолов [3]. При солодоращении, в результате образования гидролитических ферментов – целлюлаз, протеаз и амилаз, происходит поэтапное расщепление высокомолекулярных соединений и β -глюкан, вместе с другими ассоциированными с ним молекулами, переходит в растворимое состояние, тем самым влияя на технологические процессы приготовления пива [4].

Представляя собой разветвленный полисахарид с β (1-3) и β (1-4) гликозидными связями между остатками глюкопиранозы, он не расщепляется до глюкозы в течение солодоращения и затираания и не может быть усвоен дрожжами в ходе брожения, поэтому остается в готовом пиве, представляя собой разветвленные декстрины, влияющие на вязкость солодового сусла и полноту вкуса готового пива [4, 5]. Помимо данных фактов, отмечается, что присутствие β -глюканов в готовом пиве может обуславливать образование помутнения [6].

Отмечено, что за коллоидное помутнение пива отвечают не только формы глюкана, образовавшиеся при цитолизе зерна в ходе проращивания – его и называют β -глюканом, но и формы, образовавшиеся при осахаривании солодового сусла – их называют α -глюканом [7]. Так называемые « α -глюканы» имеют связи α (1-4) и (1-6), в своем составе они содержат более 27 гликозидных остатков, которые разветвлены по структуре и не подвержены гидролизу солодовыми ферментами.

Дело в том, что при затираании солода гидролиз некрахмальных полисахаридов происходит при участии эндо- β -глюканазы, экзо- β -глюканазы и β -глюкан-солюбилазы. Первичный гидролиз глюканов под действием эндо- β -глюканазы и экзо- β -глюканазы происходит в начале затираания, при температуре от 45 до 47 °С. В течение затираания, при наборе температуры до 60 °С данные ферменты полностью инактивируются. Третий фермент из группы глюканаз – β -глюкан-солюбилаза – имеет оптимум действия при 60-65 °С и полностью инактивируется при 70 °С [3].

Таким образом, очень важно контролировать содержание β -глюкана в сусле и пиве с целью прогнозирования качества и безопасности готовой продукции.

В этой связи были разработана методика определения β -глюканов в пивоваренной продукции, в которой были учтены все особенности анализируемой продукции (соотношение объект-экстрагент, нивелирование действия сопутствующих соединений, вносящих погрешность в количественное определение глюкана), предназначенной, в том числе, для микро- и минипроизводств и не требующей значительных капиталовложений.

Таким образом, представленные литературные данные позволяют оценить влияние β -глюкана как качественного показателя ячменного пивоваренного солода на качество и безопасность готового пива, а проведенные исследования позволили модифицировать имеющиеся методы определения и получить сходимые результаты за счет нивелирования примесных веществ, завышающих результат определения сахаров.

1. Мамонтов В.И. Игры лидеров и доля регионалов // Пивное дело. – 2018. - № 2. – стр. 24 – 35.
2. Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т., Афонин Д.В. Качество пива. Стабильность вкуса и аромата. Коллоидная стойкость. Дегустация. – СПб.: ИД «Профессия», 2011. – 220 с.
3. Меледина Т.В., Прохорчик И.П., Кузнецова Л.И. Биохимические процессы при производстве солода - СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 89с.

4. Нарцис Л. Краткий курс пивоварения. — СПб.: Профессия, 2007. — 640с.
5. Полонский В.И., Сумина А.В. Содержание β -глюканов в зерне как перспективный признак при селекции ячменя на пищевое использование // Сельскохозяйственная биология. – 2013. - №5. – стр. 30 – 43.
6. Меледина Т.В., Митюков И.В., Федоров А.В. Несоложенные материалы в пивоварении. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 66с.
7. Дедегкаев А.Т., Афонин Д.А. Пути повышения коллоидной стойкости пива с высоким содержанием декстринов // Мир пива. – 2013. - № 1. – стр. 33 – 35.

Денисламов И.З., Файрушин Е.В.

Применение попутного нефтяного газа в качестве энергоносителя на нефтяном промысле

*Уфимский государственный нефтяной университет
(Россия, Уфа)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-76

idsp: sciencerussia-10-04-2019-76

Аннотация

Проблема использования попутного нефтяного газа (ПНГ), извлекаемого в процессе нефтедобычи, в последнее время приобрела большую актуальность в связи с введением ряда нормативных документов, ужесточающих требования к утилизации ПНГ и предусматривающих увеличение выплат за сверхлимитное загрязнение окружающей среды в 4,5 раза и более. В статье рассмотрены варианты эффективного применения попутного нефтяного газа на примере Арланского месторождения Республики Башкортостан.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, факельное сжигание, газонефтехимия, переработка, сепарация, утилизация, месторождение.

Начиная с 2007 года, правительством России была поставлена задача, направленная на уменьшение объемов факельного сжигания и на увеличение доли его переработки на отечественных газонефтехимических предприятиях до 95%. Переработка попутного газа позволяет получить продукцию, необходимую в отечественной промышленности, такую как полимеры, а в быту - от одежды до оконных переплетов [1]. Рациональное использование ПНГ может обеспечить повышение экономической и экологической эффективности нефтяного сектора, развитие газонефтехимии, а также осуществление государственных задач в сфере повышения энергоэффективности и импортозамещения.

Наиболее распространенные способы применения ПНГ, альтернативные сжиганию в факелах, это:

- закачка ПНГ в нефтеносные пласты для повышения нефтеотдачи или для возможного сохранения его как ресурса на будущее;
- использование ПНГ в энергетической промышленности в качестве экологически чистого топлива с высокой калорийностью.
- переработка ПНГ с получением СОГ, подаваемого в систему магистральных трубопроводов, ШФЛУ, газового бензина и сжиженного газа для бытовых нужд. ШФЛУ является сырьём для производства каучуков, пластмасс, компонентов высокооктановых бензинов и др.

Рассмотрим эффективность применения попутного нефтяного газа на примере Арланского месторождений, находящегося в Республике Башкортостан.

Попутные газы, растворенные в нефти терригенной толщи нефтеносного комплекса Арланского месторождения – являются жирными газами, содержащими легкие

бензиновые фракции. Попутные газы состоят из негорючей части, представленной, в основном, азотом и горючей углеводородной части.

Горючая часть попутных газов состоит из метана, этана, пропана, бутана и пентана + высшие, из них преобладают метан, этан и пропан. В газах Вятской и Николо-Березовской площадей преобладающими являются этан и пропан, а на Арланской и Новохазинской площадях метан и пропан. В попутных газах наряду с азотом содержится гелий и аргон. На Вятской площади в составе попутного газа обнаружен сероводород. Содержание его в среднем равно 0,15% (21 г на 100 м³).

Объем попутно добываемого газа, поступающего на УПН «Ташкиново» составляет 26,7 тыс.м³/сут, при этом в летний период расходуется 16,7 тыс.м³/сут газа, в зимний – 22,8 тыс.м³/сут, оставшийся газ сжигается на факеле (летом – 10 тыс.м³/сут, зимой – 3,9 тыс.м³/сут).

В НСП «Шушнур» газ, выделившийся в технологическом процессе, в количестве 85,5 тыс.м³/сут направляется на собственные нужды – в летний период в количестве 56,6 тыс.м³/сут, в зимний – 67,5 тыс.м³/сут, оставшийся газ сжигается на факеле (летом – 28,9 тыс.м³/сут, зимой – 18 тыс.м³/сут).

В НСП «Кереметово» поступает попутный нефтяной газ в объеме 62,8 тыс.м³/сут. В летний период на собственные нужды направляется в количестве 60,6 тыс.м³/сут, в зимний период – 80,5 тыс.м³/сут, оставшийся газ в летний период сжигается на факеле (2,2 тыс.м³/сут), в зимний период производится закупка недостающего объема газа – 17,7 тыс.м³/сут.

Суммарный объем добываемого попутного нефтяного газа составляет – 175,0 тыс.м³/сут, в летний период направляется на собственные нужды – 134 тыс.м³/сут, в зимний период – 153,1 тыс.м³/сут попутного нефтяного газа и 17,7 тыс.м³/сут закупаемого природного газа [2].

Рисунок 1. Уровень использования попутного нефтяного газа Арланского месторождения в летний период

Рисунок 2. Уровень использования попутного нефтяного газа Арланского месторождения в зимний период

Уровень использования попутного нефтяного газа Арланского месторождения в летний период составляет 76 %, в зимний – 87 %.

Для повышения уровня использования попутного нефтяного газа рассмотрим вариант строительства газотурбинной электростанции (ГТЭ) в районе НСП «Шушнур». Для реализации данного решения необходимо строительство газопроводов от УПН «Ташкиново» до НСП «Шушнур» длиной 23 км, от НСП «Шушнур» до НСП «Кереметово» длиной 25 км.

Реализация строительства предлагаемых газопроводов позволит перераспределить баланс поступающего и потребляемого попутного нефтяного газа на технологических объектах системы сбора Арланского месторождения и позволит обеспечить необходимый объем газа в НСП «Кереметово».

Нами предлагается использовать сжигаемый на факеле попутный нефтяной газ (ПНГ) для выработки электроэнергии. Предлагается газотурбинная электростанция (ГТЭС) на базе четырех газотурбинных двигателей. При существующих объемах ПНГ необходимо установить четыре газотурбинных двигателя. Мощность на выходном валу турбины 2000 кВт при расходе газа 711 н.м³/час. Турбина может работать как на газе с различным компонентным составом и содержащим сероводород до 5%. Благодаря своей нетребовательности к углеводородному составу газотурбинные установки могут применяться на любом месторождении без применения каких-либо дополнительных устройств и газоподготовки. ГТУ обеспечивают выработку электроэнергии, при этом отработанные газы направляются для нагрева теплоносителя, циркулирующего в системе. Предлагаемые ГТУ имеют большой межремонтный период. Срок эксплуатации для ГТУ-15-20 лет.

Организация транспорта попутного нефтяного газа в НСП «Шушнур» и использования его для выработки собственной электроэнергии на ГТЭ позволяет окупить инвестиции на строительство электростанции.

Для увеличения использования попутного нефтяного газа с оптимизацией необходимо провести дополнительный ряд мероприятий по реконструкции системы сбора Арланского нефтяного месторождения: строительство газопровода отвода от газопровода УПН «Ташкиново» - НСП «Шушнур» до котельной производственной базы «Арлан» длиной 0,3 км., строительство ПБТ-1,6 на УПН "Ташкиново" для нагрева воды, ППТ-0,2Г для обогрева на УПС "Зиминка", техпервооружение котельной производственной базы "Арлан" и "Хазино" для использования в качестве топлива ПНГ взамен покупного природного газа.

Электроснабжение промысла можно осуществлять с помощью электростанций Cummins и Perkins суммарной мощностью около 1,5 МВт, обогрев помещений в которых происходит за счет блочно-тепловых подогревателей воды ПБТ-1,6, где попутный нефтяной газ используется в качестве топлива. Принципиальная схема такого обогрева представлена на рис. 3.

Попутный нефтяной газ так же может применяться для питания микротурбины Capstone C-60, обеспечивающей дополнительно 60 кВт мощности, а также для перевода обогрева жилых, бытовых, административных помещений на водяное отопление за счет нагрева теплоносителя (вода) в ПБТ-1,6 (1,2,3), высвобождая порядка 300 кВт мощности.

Применение микрогазотурбинных электроагрегатов (МГТЭА), работающих на горючем газе (природный, пропан, бутан, попутный нефтяной, биогаз) или на жидком топливе (дизельное, керосин), является одним из современных способов местного получения энергии. КПД таких турбин достигает 35 %, что выше значений дизельных и газопоршневых машин.

Также к достоинствам следует отнести малые эксплуатационные затраты, высокую надежность, значительный ресурс, простоту конструкции, компактность, экологичность.

Рисунок 3. Принципиальная схема обогрева бытовых помещений

Так, микротурбины фирмы Capstone (США) могут работать на газе, содержащем до 5 % сероводорода. При установке непосредственно на скважине МГТЭА могут использовать газ затрубного пространства для выработки электроэнергии.

Турбины работают в автоматическом режиме без постоянного присутствия обслуживающего персонала [5].

Поскольку добыча попутного нефтяного газа зависит от газовой насыщенности извлекаемой на дневную поверхность технологической жидкости, то в качестве резервного источника питания могут быть использованы дизельные электростанции или централизованная линия электропередач, которые будут обеспечивать электроэнергией ответственных потребителей в периоды, когда извлечение попутного углеводородного сырья минимально.

Вывод Установка микротурбин Capstone C-60 и перевод объектов на водяное отопление за счет нагрева теплоносителя в ПБТ-1,6 позволяют решить две задачи: рационально использовать ПНГ для производства электроэнергии; обеспечить экономию порядка 300 кВт·ч электроэнергии. Все вышесказанное позволяет сделать вывод о возможности использования попутного нефтяного газа для повышения энергоэффективности процессов добычи и подготовки нефти. Кроме того, применение микротурбин, работающих на попутном газе непосредственно на скважинах, обеспечивает создание автономного комплекса добычи нефти и газа. При значительных

объемах добываемого газа для энергообеспечения технологических установок нефтепромыслов целесообразно использование турбинных агрегатов.

1. Абдрахимов Ю.Р., Закирова З.А., Басирова А.Х.. Методы диагностирования магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 4. С. 46-49
2. Баймухаметов К.С. Месторождения нефти и газа, Паспорт №86. Уфа: ООО «БашНИПИнефть», 2001.
3. Киришин П.А., Книжников А.Ю. Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. М.: WWF, 2017. С. 90.
4. Книжников А.Ю., Пусенкова Н.Н. Проблемы и перспективы использования ПНГ в России и мире//Ежегодный обзор, Всемирный фонд дикой природы (WWF) России — ИМЭМО РАН, 2018. – 28 с
5. Коршак А.А. Основы нефтегазового дела. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2015. С. 284.

Захаров М.А.

**Изучение физико-химического состава древесины сливы и вишни в рамках
оценки их пригодности для выдержки плодовых дистиллятов**

*ВНИИПБиВП - филиал ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им В.М. Горбатова
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-77

idsp: sciencerussia-10-04-2019-77

Аннотация

Актуальность статьи поднимает вопрос повышения качества спиртных напитков, в частности дистиллятов, расширения ассортимента выпускаемой продукции наряду с увеличением ее конкурентоспособности. Материал является продолжением исследований, посвященным оценке пригодности древесины сливы и вишни для выдержки плодовых дистиллятов и направлена на изучение физико-химического состава исследуемой древесины плодовых деревьев. Приведены данные по составу фенольных и фурановых компонентов, а также свободных аминокислот древесины плодовых деревьев в сравнении с древесиной дуба. На основе проведенных исследований показана возможность использования древесины сливы и вишни для выдержки плодовых дистиллятов.

Ключевые слова: древесина сливы, вишни, выдержка, плодовые дистилляты, спиртные напитки, физико-химический состав, фенольные и фурановые компоненты, аминокислоты.

В последнее время неоднократно освещался вопрос востребованности в мире высококачественных, крепких выдержанных спиртных напитков. Сегодня в современном обществе заметен рост культуры потребления качественного алкоголя, что в свою очередь заставляет производителя увеличивать ассортимент выпускаемой продукции наряду с повышением ее качества и безопасности. Что требует более глубокого изучения состава используемого сырья, материалов, методов и технологий производства продукции.

Проведенные ранее исследования анатомической структуры древесины сливы и вишни показали их очень достойный потенциал для выдержки плодовых дистиллятов [1-8].

В данной работе проведено изучение физико-химического состава древесины сливы и вишни, с целью оценки пригодности для выдержки плодовых дистиллятов.

Объектами исследований служили:

- древесина сливы домашней (*Prunus domestica* L.) сорта Венгерка, возраст 30 лет (г. Москва);

— древесина вишни обыкновенной (*Cerasus vulgaris* Mill.) сорта Владимирская, возраст 10 лет (Московская обл.).

При изучении физико-химического состава древесины готовили экстракты основных элементов ствола: ядра, заболони и луба (для сливы) и заболони и луба (для вишни). В качестве образцов сравнения использовали ядровую древесину дуба черешчатого (*Q. robur* L.) Франции (регион Вогезы) и Украины и заболонь дуба черешчатого Украины.

В полученных экстрактах проводили определение:

- величины оптической плотности при длине волны 440 нм;
- общего содержания фенольных соединений (методом Фолина-Чокальтеу);
- массовой концентрации фенольных, фурановых соединений и свободных аминокислот методом ВЭЖХ.

Проведенные исследования экстрактов древесины сливы и вишни в сравнении с экстрактами древесины дуба, позволило установить следующее:

1. В древесине сливы и вишни содержится меньше экстрагируемых фенольных соединений (рис.1).

2. Величина оптической плотности в экстракте коры сливы превышала, а в экстрактах ядра и заболони была близка к величине оптической плотности экстрактов древесины дуба (рис.1).

Рисунок 1. Общее содержание фенольных соединений и величина оптической плотности водно-спиртовых экстрактов древесины:

В- К – вишня, кора; **В- З** – вишня, заболонь;
С- К – слива, кора; **С- З** – слива, заболонь; **С- Я** – слива, ядро;
У- З – дуб (Украина), заболонь; **У- Я** – дуб (Украина), ядро;
Фр- Я – дуб (Франция), ядро.

3. В экстрактах древесины сливы и вишни не идентифицированы галловая, ванилиновая, сиреневая, феруловая кислоты, конифериловый альдегид. Отсутствие галловой кислоты в экстрактах сливы и вишни свидетельствует об отсутствии или присутствии в незначительных количествах гидролизуемых танинов, подтверждением этого является небольшое количество тил (табл. 1).

В тоже время зафиксировано присутствие п-кумаровой кислоты (для экстрактов коры и заболони сливы) и 4-гидроксибензойного альдегида.

Наличие п-кумаровой кислоты свидетельствует об активном ядрообразовании в древесине сливы, что согласуется с данными анатомического исследования. А присутствие 4-гидроксибензойного альдегида – о прохождении процессов образования лигнина (табл. 1).

Таблица 1

Фенольные и фурановые соединения экстрактов древесины.

Идентифицированный компонент, мг/г щепы	Исследуемый экстракт							
	СЛИВА			ВИШНЯ		ДУБ (Украина)		ДУБ (Франция)
	кора	заболонь	ядро	кора	заболонь	заболонь	ядро	ядро
фенольные соединения								
галловая кислота	-*	-	-	-	-	0,072	0,004	0,483
4-гидроксibenзойная кислота	-	-	-	0,005	-	0,020	0,006	0,009
ванилиновая кислота	-	-	-	-	-	-	0,012	0,043
сиреневая кислота	-	-	-	-	-	-	0,013	0,064
феруловая кислота	-	-	-	-	-	-	0,012	-
<i>n</i> -кумаровая кислота	6,448	0,199	-	-	-	-	-	-
4-гидроксibenзойный альдегид	0,078	0,072	0,008	0,002	-	-	-	-
ванилин	1,325	0,153	0,006	0,007	0,007	0,022	0,013	0,048
сиреневый альдегид	0,024	0,070	0,180	-	0,009	0,022	0,022	0,045
кониферилловый альдегид	-	-	-	-	-	0	0	0,012
фурановые соединения								
фурфурол	-	-	-	-	-	0,106	0,023	0,048
5-гидроксиметил-фурфурол	-	-	-	-	-	0,207	0,030	0,582

* Компонент не идентифицирован.

Таблица 2

Содержание свободных аминокислот в экстрактах древесины.

Идентифицированный компонент, мг/г щепы	Исследуемый экстракт							
	СЛИВА			ВИШНЯ		ДУБ (Украина)		ДУБ (Франция)
	кора	заболонь	ядро	кора	заболонь	заболонь	ядро	ядро
Аспарагиновая кислота	0,121	0,446	0,004	0,039	0,009	0,008	-	0,007
Глютаминовая кислота	0,053	0,048	0,006	0,279	0,051	0,007	-	-
Аспарагин	0,073	1,15	0,026	0,010	-	0,050	-	0,010
Гистидин	-	0,016	-	-	-	-	-	-
Серин	0,024	0,062	0,010	0,041	0,014	0,010	0,015	0,037
Глютамин	0,152	0,732	-	0,144	0,334	-	-	-
Аргинин	4,86	0,333	0,085	0,014	0,0212	0,016	0,012	0,016
Глицин	0,024	0,011	0,008	0,023	0,008	0,004	0,006	0,008
Треонин	0,009	0,020	-	0,013	-	-	-	-
Аланин	0,061	0,106	0,011	0,046	0,014	0,013	0,008	0,012
Тирозин	0,553	0,548	0,553	0,604	0,599	0,571	0,590	0,567
Валин	0,013	0,033	-	0,012	-	-	-	-
Метионин	-	-	-	-	-	-	-	-

Триптофан	0,026	0,025	-	-	-	-	-	-
Изолейцин	0,007	0,006	-	-	-	-	-	-
Фенилаланин	-	-	-	-	-	-	-	-
Лейцин	-	-	-	-	-	-	-	-
Лизин	0,002	0,003	-	-	-	-	-	-

* Компонент не идентифицирован.

4. В экстрактах коры и заболони сливы зафиксировано значительно большее содержание ванилина, а в экстракте ядра – сиреневого альдегида (табл. 1).

5. Экстракты древесины сливы и вишни отличались более разнообразным качественным составом свободных аминокислот (табл. 2).

При этом следует выделить экстракты коры и заболони сливы, которые отличались от остальных образцов наличием триптофана, изолейцина и лизина, а также максимальным содержанием аспарагиновой кислоты, аспарагина, глутамина и аланина.

Различие в качественном и количественном составе аминокислот между экстрактами сливы и вишни и экстрактами древесины дуба обусловлено различиями в процессах, происходящих при ядробразовании.

Таким образом, результаты исследования анатомического строения и физико-химического состава древесины сливы и вишни показали возможность ее использования при выдержки плодовых дистиллятов.

1. Саришвили Н.Г., Оганесянц Л.А., Коровин В.В., Телегин Ю.А., Гордеева Л.Н., Кардаш Н.К. 1996. Анатомическое строение дубовой клепки для вино-делия как показатель ее качества. / Обзорная информация. Пищевая и перерабатывающая промышленность. Серия 15. Винодельческая промышленность. – Вып. 2. – М.: АгроНИИТЭИПП, – 23 с.
2. Оганесянц Л.А. 1998. Дуб и виноделие. – М.: Пищепромиздат. 255 с.
3. Оганесянц Л.А. Изменчивость структуры древесины дуба и ее пригодность для выдержки винодельческой продукции / Л.А. Оганесянц, В.В. Коровин, П.А. Аксенов // Виноделие и виноградарство. – № 5 – М.: Пищпром, 2006. – С. 10-11.
4. Аксенов П.А. Исследование структуры и химического состава древесины дуба различного географического происхождения для оценки его пригодности к производству высококачественных коньячных спиртов / П.А. Аксенов, В.В. Коровин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 5 – М.: МГУЛ, 2007. – С. 9-16.
5. Аксенов П.А. Сравнительно-анатомическое исследование древесины дуба, применяемой в виноделии / П.А. Аксенов, В.В. Коровин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 3 – М.: МГУЛ, 2010. – С. 5-15.
6. Коровин В.В., Аксенов П.А., Оганесянц Л.А. и др., Изучение анатомического строения древесины вишни с целью использования в производстве спиртных напитков / П.А. Аксенов, В.В. Коровин, Л.А. Оганесянц и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 1 – М.: МГУЛ, 2014. – С. 126-134.
7. Коровин В.В., Аксенов П.А., Оганесянц Л.А. и др., Изучение пригодности древесины сливы при производстве плодовых водок / П.А. Аксенов, В.В. Коровин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 1 – М.: МГУЛ, 2014. – С. 134-1425.
8. Захаров М.А. Оценка пригодности древесины сливы и вишни для выдержки плодовых дистиллятов / Материалы XII Международной научно-практической конференции «Наука России: Цели и задачи». – 2018. – С. 46-51.

Корчагина М.В., Киреев С.О., Носов Д.В.

Конструкция станка качалки двойного действия для одновременно-раздельной эксплуатацией пластов

*Донской Государственный Технический Университет
(Россия, Ростов-на-Дону)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-78

idsp: sciencerrussia-10-04-2019-78

Аннотация

В статье рассмотрены конструкция приводов для одновременно раздельной эксплуатации пластов из одной скважины, их конструктивные особенности. Приведены

примеры разработок в этом направлении. Рассмотрена конструкция одноплечего станка качалки. Предложена конструкция станка качалки двойного действия, описаны её основные преимущества.

Ключевые слова: Станок-качалка, привод, балансир, преобразующий механизм, одновременно раздельная эксплуатация двух пластов.

Введение. В нефтедобывающей отрасли эффективность во многом зависит от типа применяемого оборудования. Станок-качалка является важным видом нефтегазопромыслового оборудования и используется в качестве механического привода к нефтяным скважинным штанговым насосам [1].

Совершенствование станков-качалок идет в направлении разработки новых типоразмеров с аналогичными или близкими параметрами взамен имеющихся, а также проектирования устройств, основанных на иных принципах действия. К примерам последних следует отнести станки-качалки с гидроприводом, безбалансирные станки-качалки ленточного типа, одноплечие и др. Однако если по техническим параметрам эти устройства существенно превосходят традиционные станки-качалки, то по надежности до настоящего времени их превзойти не удалось [2].

Одним из наиболее перспективных проектов для повышения рентабельности является разработка и внедрение технологий одновременно - раздельной эксплуатации скважин. Особенно это актуально на месторождениях где вскрыты пласты разных отложений, характеризующихся большим разнообразием свойств пласта и его продукции. Разработка таких месторождений самостоятельными сетками скважин, пробуренными на каждый отдельный пласт, с точки зрения рациональной разработки, является наиболее предпочтительной. Но более половины всех капитальных вложений уходит на бурение скважин. Поэтому разработка многопластовых месторождений самостоятельными сетками скважин на каждый пласт требует огромных капитальных затрат и не всегда экономически и технологически оправдана [3]. В этой связи часто при разработке многопластовых месторождений объединяют несколько продуктивных пластов в один эксплуатационный объект, что позволяет сокращать сроки разработки месторождения, уменьшать капитальные вложения на бурение скважин и обустройство месторождений. Для добычи нефти скважинными штанговыми насосами при одновременно-раздельной эксплуатации двух пластов в одной скважине двумя плунжерными насосами используют два станка качалки по схеме показанной на (рис.1).

Рисунок 1- Схема одновременно-раздельной добычи нефти двумя станками из одной скважины.

Известна конструкция - станка-качалки с дополнительным приводом для разработки многопластовых месторождений (Рис2).

Рисунок 2- Схема раздельной добычи нефти одним станком с дополнительной установкой из одной скважины.

Такой способ привода позволяет осуществлять раздельную эксплуатацию двух пластов с помощью одного стандартного привода из одной скважины при параллельно спущенных подъемных трубах [4].

Недостатком данной конструкции является то, что металлические канаты работают в постоянном реверсивном режиме – сгибы и разгибы их в сочетании с трением проволок как между собой, так и на контакте со "шкивами", радиусы которых сравнительно малы, а соответственно углы сгибов-разгибов достаточно большие, могут привести к усталости металла и соответственно к разрушению каната.

Задачей настоящего исследования является разработка конструкции для одновременно-раздельной эксплуатации двух пластов в одной скважине двумя штанговыми насосами одним приводом, который повысит эксплуатационную надежность, расширит его характеристики и снизит затраты на его эксплуатацию.

За основу станка качалки двойного действия был взят одноплечий привод ПШНГ. Особенностью подобных приводов является использование кинематической схемы с одноплечным балансиром.

Такой выбор обусловлен рядом преимуществ одноплечих станков качалок :

- более благоприятный закон движения точки подвеса штанг, позволяющий несколько уменьшить динамические нагрузки на штанговую колонну.
- если сравнить два станка-качалки с одинаковыми длинами и соотношениями кинематических звеньев, один из которых обычный станок-качалка, а второй - с одноплечным балансиром, то у последнего максимальные нагрузки в точке подвеса штанг будут несколько меньше (около 8-10 %,).
- одноплечный станок-качалка имеет также более пологую кривую скорости точки подвеса штанг, позволяющую существенно (около 35 %) снизить амплитуду колебаний штанг, а следовательно, и их динамическое нагружение и тем самым увеличить срок работы штанговой колонны.
- так-же достоинством подобных станков-качалок является их компактность, а следовательно, и меньший вес, в результате чего их применение более предпочтительно при больших нагрузках на полированный шток.

Рисунок 3- Одноплечий станок качалка

Одноплечий станок-качалка (рис 3.) представляет собой специально подготовленный фундамент, на котором устанавливаются: платформа, стойка, станция управления. На стойку помещается балансир, который уравнивают так называемой головкой балансира. К ней же крепится канатная подвеска (последняя соединяет балансир с полированным сальниковым штоком). На платформу устанавливаются редуктор и электродвигатель. Электродвигатель соединяется с маслonaполненным понижающим редуктором через клиноременную передачу. Редуктор же, в свою очередь, соединяется с балансиром через кривошипно-шатунный механизм. Этот механизм преобразует вращательное движение вала редуктора в возвратно-поступательное движение балансира. Станция управления представляет собой шкаф, в котором расположена электроаппаратура.

К одноплечему станку был сконструирован дополнительный привод штангового насоса второго пласта, включающий шарнирно установленный на раме двуплечий балансир с головкой, в качестве балансира дополнительного привода использован балансир двуплечего станка качалки того же производителя меньшего типоразмера (рис4).

Рисунок 4- Схема станка двойного действия для одновременно раздельной добычи нефти из одной скважины.

Привод скважинных штанговых насосов двойного действия, выполненный в виде станка-качалки, состоит из размещенных на раме электродвигателя, редуктора, механизма преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное в виде шатуна, соединенного с кривошипом редуктора и установленного на стойке одноплечего

балансира с головкой 2, связанной с колонной штанг посредством канатов и подвески, стойки 4. Дополнительный привод штангового насоса второго пласта, включает шарнирно установленный на раме 3, двуплечий балансир с головкой 1, связанной с колонной штанг насоса второго пласта посредством канатов и подвески, шатун, шарнирно прикрепленный к опорам одноплечего и двуплечего балансира с обеспечением их качаний в противоположном направлении относительно друг друга при работе привода. При этом на одноплечом и двуплечем балансирах предусмотрены кронштейны с рядом отверстий для крепления в них концов шатуна дополнительного привода.

Можно отметить следующие достоинства данной конструкции:

- самоуравновешивание за счет оппозитного движения колонн штанг для двух пластов относительно друг друга.
- изменение интенсивности отбора нефти за счет регулировки вариантов крепления шатуна к шарнирным опорам балансира.
- унификация изделия за счет использования элементов выпускаемых в настоящее время станков качалок.

Вывод: Предлагаемая конструкция обладает высокой энерго-эффективностью за счет увеличения отбора нефти одновременно из двух пластов одной скважины и увеличения длины хода первой ступени, приводящее к увеличению подачи насоса для пласта. Кинематические характеристики предлагаемого станка качалки могут регулироваться в достаточно широких пределах за счет возможности регулировки длины хода второй ступени которая производится за счет изменения точек крепления шатуна второй ступени. Устройство позволит упростить одновременно раздельную эксплуатацию двух пластов из одной скважины, повысит эксплуатационную надежность, снизит площадь занимаемую оборудованием при указанном виде эксплуатации и затраты на его изготовление и установку. Все это в ряде позволит повысить рентабельность месторождения и упростит разработку двух продуктивных пластов.

1. 1.Протасов С.В., Султанов Б.З., Кривенков С.В. Эксплуатация оборудования для бурения скважин и нефтегазодобычи. - М.: Недра, 2006.-691 с.
2. Справочник по станкам-качалкам.К.И.Архипов ,В.И.Попов, И.В.Попов , Альметьевск.– 2000.
3. Ашрафьян М.О. Технология разобщения пластов в осложненных условиях. / М.О. Ашрафьян, – М.: Недра, 1989. – 228 с
4. Патент № 2351802. РФ. F04B47/02 Привод штангового скважинного насоса с приводным устройством, расположенным на поверхности земли. / Мухаметшин,Х.Н. патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственная фирма "Милек". – №2007145575/06 заяв.07.12.2007; опуб.10.04.2009, Бюл. №10.-7 с.

Соловьёв В.Г., Шувалова Е.А., Морозов И.В., Золотарев М.Е. Особенности применения фиброволокна в бетонных конструкциях

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-79

idsp: sciencerrussia-10-04-2019-79

Аннотация

Одним из способов повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций при динамических и атмосферных воздействиях является дисперсное армирование бетонной матрицы при помощи фиброволокна. В статье рассмотрены физико-механические характеристики различных видов фибры: высокомодульной (стальной, стеклянной, базальтовой) и низко модульной (полипропиленовой), а также

особенности их применения, особенности их работы и влияние на прочностные характеристики бетонных конструкций.

Ключевые слова: дисперсное армирование, фибробетон, высокомодульная фибра, низкомодульная фибра, стальная фибра, стекловолокно, базальтовое волокно, полипропилен.

Одной из основных задач современной строительной отрасли является оценка ресурса несущих строительных конструкций, а так же продления срока их эксплуатации. Одним из самых востребованных материалов в строительной сфере остаётся бетон. Большинство бетонных и железобетонных конструкций в течение эксплуатации подвергаются различным видам динамического и атмосферного воздействия. Дорожные и аэродромные плиты, шпалы, мостовые конструкции испытывают динамическую нагрузку от подвижного состава, сваи в процессе забивки воспринимают ударные нагрузки, фундаменты под оборудование в промышленных зданиях – ударные и вибрационные нагрузки. В качестве атмосферного влияния стоит отметить воздействие знакопеременных температур и водных агрессивных сред. В результате воздействия на бетон негативных факторов происходит накопление повреждений на микроуровне, дальнейшее развитие которых приводит к образованию трещин, снижающих расчётное сечение конструкций и, как следствие, их несущую способность, что может привести в дальнейшем к разрушению.

Для повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций ведутся разработки по получению эффективных строительных материалов, которые могут компенсировать главные недостатки бетона: низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. Одним из таких материалов может служить фибробетон.

Фибробетон это композиционный материал, дисперсно армированный волокнами различной длины, свободно ориентированными в объёме бетона. В качестве армирующего компонента применяют высокомодульные (стальные, минеральные) и низкомодульные (синтетические) волокна. Для их эффективной работы в качестве армирующего компонента они должны отвечать ряду требований: поверхность фибры должна быть по возможности профилированной, что обеспечивает лучшую адгезию с бетоном; оптимальное отношение между длиной и диаметром волокна должна составлять

$l/d = 60...100$, поскольку увеличение отношения l/d может привести к комкованию волокон и ухудшению армирующего эффекта; объёмная концентрация должна быть достаточной для достижения объёмно-пространственной целостности структуры фибробетона [1].

Для производства дисперсно-армированных бетонов в качестве вяжущего в основном используется портландцемент. Растворы на основе портландцемента имеют щелочную среду. В качестве продуктов гидратации цемента образуются гидросиликаты и гидроксид кальция, которые определяют свойства цементного камня и влияют на физико-механические характеристики отдельных видов волокон.

В современной технологии изготовления фибробетонов в качестве высокомодульной фибры наиболее часто используемые стальные, стеклянные и базальтовые волокна. В качестве низкомодульной фибры – полипропиленовые. Рассмотрим особенности их применения.

Современным аналогом арматуры при изготовлении строительных конструкций является стальная фибра, которая бывает разных типов в зависимости от вида материала, конфигурации и размера. За счёт применения стальной фибры можно снизить трудоёмкость изготовления железобетонных конструкций и расход стали, а

также упростить армирования элементов сложной конфигурации. Производство предполагает получение следующих видов фибры: проволочная, листовая, фрезерованная и токарная. Исследования показали, что наиболее эффективна в применении проволочная фибра, выполненная из малоуглеродистой стали. При её применении прочность конструкции на сжатие увеличивается на 50%, на растяжение при изгибе – на 200%, на растяжение при раскалывании – на 140%, а также отмечена вязкая пластическая работа бетона под нагрузкой [2]. Благодаря высоким физико-механическим характеристикам, сталефибробетон может применяться в несущих изгибаемых и тонкостенных конструкциях, дорожных и аэродромных плитах и т. д. Однако, стальная фибра не универсальна и обладает рядом недостатков: как и стальная арматура, она подвержена коррозии, что снижает несущую способность конструкций, а расход стали приводит к их удорожанию. Кроме того, стальная фибра обладает значительной электропроводностью, что ограничивает её применение для конструкций, в которых возможно наличие блуждающих токов при их эксплуатации, например, железнодорожных шпал.

Стекланная фибра – волокно, экструдированное из расплава стекла специального химического состава. В такой форме стекло не бьётся, а легко гнётся без разрушения. Диаметр волокон составляет 3-100 мкм. Физико-механические и химические свойства фибры зависят от технологии её изготовления и выбора сырьевых материалов. В настоящее время наиболее часто применяют стекловолокна следующих марок: Е-стекло (низкой электрической проводимости), S-стекло (высокой прочности), AR-стекло (высокой щёлочестойкости). Около 90% выпускаемых стекловолокон это волокна марки Е. Их прочность при разрыве составляет 3100-3800 МПа, модуль упругости 76-81 ГПа [3]. Данный тип волокон является наиболее экономичным и соответственно наиболее распространённым. Стекловолокно марки S характеризуется высокими механическими значениями: прочность при разрыве составляет 4500-4800 МПа, модуль упругости – 86-87 ГПа [3]. Однако, широкое применение стекловолокон в качестве армирующего компонента в бетонных конструкциях ограничивается по причине их слабой устойчивости к воздействию среды гидратирующихся портландцементов. Так, образующийся гидроксид кальция, взаимодействуя с компонентами стекла, приводит к разрушению стекловолокна по причине выщелачивания и разрушения его кремнекислородного каркаса. В настоящее время разработаны специальные составы щёлочестойких стеклянных волокон - марки AR, содержащие оксид циркония. Прочность при разрыве AR-волокон уступает волокнам марок Е и S и составляет 1500-1700 МПа, модуль упругости равен 72-74 ГПа [3]. Но, не смотря на высокую стойкость к кислым и щелочным средам, они получили меньшее распространение на строительном рынке за счёт дефицитности и дороговизны цирконийсодержащего сырья. Стоит отметить, что все марки стекловолокон имеют высокую диэлектрическую постоянную.

Также, среди высокомодульных волокон можно выделить базальтовые волокна, получаемые на основе расплава базальта, который является наиболее распространённой и доступной горной породой. Базальтовые волокна обладают высокими физико-механическими характеристиками, коррозионной стойкостью, повышенной адгезией к цементному камню, экологической безопасностью, а также, как и стеклянные волокна, они являются диэлектриками. Кроме того, большинство исследований относят базальтовые волокна к числу щёлочестойких на основе данных потери прочности после выдерживания в растворе щёлочей. Механические характеристики базальтовых волокон сравнимы со стекловолокном марки Е, но значительно уступают

высокопрочному стекловолокну марки S: прочность при разрыве составляет 1600-3200 МПа, модуль упругости равен 100-130 ГПа [4].

Низкомодульная синтетическая фибра представляет собой химически синтезируемые волокна при помощи технологий полимеризации, поликонденсации, карбонизации и др. Низкомодульные волокна характеризуются повышенной деформативностью и, в отличие от высокомодульных волокон, не увеличивают прочностные характеристики бетона при статических нагрузках, однако улучшают сопротивление материала при динамических нагрузках, уменьшают усадочные деформации в бетоне. Кроме того, синтетическая фибра является инертной по отношению к продуктам гидратации цемента и имеет малый вес. Различают арамидные, акриловые, нейлоновые, полиэтиленовые, полипропиленовые полиамидные волокна и т. д. Синтетические волокна, как правило, применяют для объектов транспортного строительства, при устройстве бетонных полов, стяжек. Наибольшее распространение получили полипропиленовые волокна за счёт относительно невысокой стоимости и хороших физико-химических и прочностных свойств: химическая стойкость, теплостойкость, прочность при растяжении составляет 400-770 МПа, модуль упругости 3,5–8,0 ГПа. Однако, полипропиленовые моноволокна обладают низкой морозостойкостью, что ограничивает область их применения. Температура хрупкости колеблется от -5 до -15°C. В целях улучшения физико-механических показателей выпускается модифицированная полипропиленовая фибра. Исследования показывают, что введение модифицированного полипропиленового волокна «ВСМ-Бетон» (Патент № 2396379, Патент № 2339748) фирмы-производителя ООО «Си Айрлайд» (г. Челябинск) позволяет повысить ударную вязкость бетона более, чем в 3 раза по сравнению с неармированной бетонной матрицей; снижает усадочное трещинообразование; повышает прочность бетона на сжатие до 36,8% в возрасте 28 суток; марка по морозостойкости соответствует марке F300, а марка по водонепроницаемости соответствует марке W12 [5].

Основные физико-механические характеристики рассмотренных типов фиброволокон представлены в таблице 1 [2,3,4].

Таблица 1.

Основные физико-механические характеристики разных типов фибры

Тип фиброволокна	Плотность, г/см ³	Прочность на растяжение, R, МПа	Модуль упругости F _t , ГПа	Удлинение при растяжении, %
Стальная фибра проволочная из малоуглеродистой стали	7,8	540-580	200	3-4
Стекловолокно марки E	2,54-2,62	3100-3800	76-81	1,5-3,5
Стекловолокно марки S	2,48-2,49	4500-4800	86-87	
Стекловолокно марки AR	2,6-2,7	1500-1700	72-74	
Базальтовое волокно	2,67	1600-3200	100-130	1,4-3,6
Полипропиленовое волокно	0,9	400-770	3,5-8,0	10-25

Сравнивая различные виды фибры нельзя сделать однозначного вывода о преимуществах одного типа волокон над другими. В зависимости от применяемого типа фибры, фибробетоны обладают различными физико-механическими характеристиками: для фибробетонов на высокомодульных волокнах характерны повышенные прочностные показатели при сжатии и растяжении, а также более высокий модуль упругости композита, фибробетоны на низкомодульных волокнах

характеризуются повышенной вязкостью разрушения, ударной прочностью, морозостойкостью, коррозионной и химической стойкостью. Таким образом, к вопросу выбора типа фибры необходимо подходить комплексно, учитывая особенности работы самой конструкции, типа нагрузки, действующей на неё, а также специфику среды её эксплуатации.

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография – М.: Издательство АСВ, 2011. – 642 с.
2. Талантова К.В., Михеев Н.М. Исследование влияния свойств стальных фибр на эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций / К.В. Талантова, Н.М. Михеев // Ползуновский вестник. – 2011. - № 1. – С. 194-199.
3. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. Стекланные волокна: Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы». – Москва, 2010. – 53 с.
4. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона / Л.Р. Маилян, С.А. Стельмах, М.Г. Холодник, Е.М. Щербань // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Том 9, № 4.
5. СТО 13429727-001-2013. Конструкции фибробетонные с использованием полимерных волокон «ВСМ-Бетон» для объектов транспортного строительства. Технические условия. – Москва, 2013.

Терентьев В.Б.

**Экспериментальное определение вероятностных показателей
авиационной техники**

*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
(Россия, Ахтубинск)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-80

idsp: sciencerrussia-10-04-2019-80

Аннотация

В работе представлена методика определения соответствия определяемого в экспериментах стохастического показателя, характеризующего вероятность выполнения цели полета заданному значению согласно технического задания. Соответствие определяется при минимально необходимом числе летных экспериментов. Учитываются риски изготовителя и заказчика объекта авиационной техники. Используется метод последовательного анализа, позволяющего после выполнения каждого полета определять - продолжать дальнейшие летные эксперименты или прекращать их по достижению заданного значения. Расчет представлен в автоматизированном виде при помощи программной среды Mathcad 15.

Ключевые слова: пуассоновское распределение, вероятность выполнения цели полета, риск изготовителя, риск заказчика, техническое задание

Abstract

The paper presents a method for determining the compliance of a stochastic indicator determined in experiments, which characterizes the probability of a flight target fulfilling a given value according to the technical specification. Compliance is determined with the minimum required number of flight experiments. The risks of the manufacturer and customer of the aircraft equipment object are taken into account. The method of sequential analysis is used, which makes it possible to determine after the flight of each flight whether to continue further flight experiments or stop them when the target value is reached. The calculation is presented in an automated form using the software environment Mathcad 15.

Keywords: poisson distribution, the probability of accomplishing the flight goal, manufacturer's risk, customer's risk, technical specifications

Наиболее точно стохастические показатели, характеризующие вероятность выполнения цели полета $P_{Ц}$ объектом авиационной техники (АТ), определяются в летных экспериментах (ЛЭ). Очевидно, что такая статистическая вероятность зависит от количества ЛЭ. Экспериментальный метод определения вероятностных показателей имеет некоторые особенности, зависящие от ограничений по количеству экспериментов. При отсутствии жёстких ограничений определяются точные количественные зависимости между статистической частотой (числом успешных выполнений целей полета к их общему количеству $P_{Ц}$), действительной вероятностью, числом ЛЭ [1]. При наличии ограничений на число ЛЭ (полетов объектом АТ), ввиду их большой стоимости, необходимо определить минимальное число ЛЭ, когда действительная вероятность соответствует заданной $P_{ТЗ}$, например, установленной по техническому заданию (ТЗ). Для выполнения расчетов задаются значениями риска изготовителя (поставщика) α и риска заказчика (потребителя) β . Заданная вероятность может иметь минимальное $P_{ТЗ \min}$ и максимальное $P_{ТЗ}$ допустимое значение [2].

Если полученная по результатам ЛЭ вероятность $P_{Ц}$ больше или равна заданной вероятности $P_{ТЗ}$, то соответствие ТЗ устанавливается с вероятностью не менее $1-\alpha$. Если вероятность $P_{Ц}$ меньше или равна некоторой минимально допустимой величины $P_{ТЗ \min}$, то соответствие ТЗ устанавливается с вероятностью не более β .

С целью снижения количества полетов решение о соответствии может приниматься после выполнения каждого полета, при использовании процедуры последовательного анализа [3].

Известно, что при постоянной интенсивности срыва (невыполнения) цели ЛЭ, вероятность выполнения W (срыва) полета равна N раз из n полетов и описывается пуассоновским распределением.

$$W(N) = \frac{1}{N!} \left(\frac{n}{N_0} \right)^N e^{-\left(\frac{n}{N_0} \right)}, \quad (1)$$

где $\frac{n}{N_0}$ - математическое ожидание срыва ЛЭ.

Допустимое число срывов ЛЭ N_0 определяется через противоположенную величину задаваемой максимальной вероятности $P_{ТЗ}$.

$$N_0 = (1 - P_{ТЗ})n. \quad (2)$$

Аналогично определяется максимально допустимое число срывов ЛЭ N_1 .

$$N_1 = (1 - P_{ТЗ \min})n. \quad (3)$$

Граничные значения величин A и B по соответствующим рискам определяются следующими соотношениями:

$$A = \frac{1-\beta}{\alpha};$$

$$B = \frac{\beta}{1-\alpha}.$$

По выражениям (2) и (3) в соответствии с (1) определяются вероятности:

$$W_0(N) = \frac{1}{N!} \left(\frac{n}{N_0} \right)^N e^{-\left(\frac{n}{N_0} \right)};$$

$$W_1(N) = \frac{1}{N!} \left(\frac{n}{N_0} \right)^N e^{-\left(\frac{n}{N_0} \right)}.$$

Графическое представление этих вероятностей для следующих исходных данных ($n=10$; $P_0 = 0.8$; $P_1 = 0.7$; $N = \overline{1, n}$) представлено на рис.1.

В качестве критерия (функции) соответствия $K(N)$ берется отношение этих вероятностей.

$$K(N) = \frac{W_1(N)}{W_0(N)} = \left(\frac{N_0}{N_1} \right)^N e^{-\left(\left(\frac{1}{N_1} \right) - \left(\frac{1}{N_0} \right) \right)}.$$

Рис.1. Графическое представление расчетов

В качестве критерия (функции) соответствия $K(N)$ берется отношение этих вероятностей.

$$K(N) = \frac{W_1(N)}{W_0(N)} = \left(\frac{N_0}{N_1} \right)^N e^{-\left(\left(\frac{1}{N_1} \right) - \left(\frac{1}{N_0} \right) \right)}.$$

Вид функции соответствия и частоты успешного выполнения цели полета представлен на рис.2.

$$P_{\text{ц}}(N) = \frac{N}{m}.$$

Представленная в формуле (1) величина N в данной методике, в силу используемых соотношений, условно понимается и задается как исходная величина числа успешно выполненных целей полета.

Рис.2. Вид зависимостей функции соответствия и частоты от N

Значения критерия соответствия сравниваются с граничными значениями A и B . В целях демонстрации методики представлен расчет не по последовательности полетов, а сразу по всей совокупности ЛЭ ($n = 10$). В итоге формируется вектор (значение) результатов сравнения $R(N)$ с использованием следующей логики.

$$R(N) = \begin{cases} \text{соответствует ТЗ,} & \text{если } K(N) \leq B; \\ \text{не соответствует ТЗ,} & \text{если } K(N) \geq A; \\ \text{продолжать ЛЭ,} & \text{если } B < K(N) < A. \end{cases}$$

В среде Mathcad 15 формирование вектора результата сравнения (используется логика if «если») выглядит следующим образом

$$R(N) := \text{if}(K(N) \leq B, \text{"соответ."}, K(N) \geq A, \text{"не соответ."}, \text{"продолж. ЛЭ"})$$

Mathcad возвращает вектор результатов (рис. 3).

$R(N) =$	1
	"продолж ЛЭ"
	"продолж ЛЭ"
	"продолж ЛЭ"
	"продолж ЛЭ"
	"продолж ЛЭ"
	"продолж ЛЭ"
	"продолж ЛЭ"
	"соот-т"
	"соот-т"
	"соот-т"

Рис. 3. Вид вектора результата сравнения $R(N)$

Данный расчет выполнялся со значительными рисками ($\alpha=0.2$ и $\beta=0.2$). Для малых значений рисков ($\alpha=0.05$ и $\beta=0.05$) при тех же исходных данных кроме числа ЛЭ ($n = 12$) результат представлен на рис. 4.

Наблюдается существенный рост в расчетном плане (число n), минимально необходимого числа ЛЭ (с 8 до 12). При том, что все исходы ЛЭ в данном плане были без срывов выполнения цели полета. Если очередной ЛЭ закончится срывом цели

полета, то естественно число ЛЭ будет возрастать до минимально необходимого в соответствии заданными вероятностями и рисками.

$$R(N) =$$

	1
1	"продолж ЛЭ"
2	"продолж ЛЭ"
3	"продолж ЛЭ"
4	"продолж ЛЭ"
5	"продолж ЛЭ"
6	"продолж ЛЭ"
7	"продолж ЛЭ"
8	"продолж ЛЭ"
9	"продолж ЛЭ"
10	"продолж ЛЭ"
11	"продолж ЛЭ"
12	"соот-т"

Рис. 4. Вид вектора результата сравнения $R(N)$

1. Терентьев В.Б., Терентьева А.В. Построение факторных моделей в инженерных расчетах. М.: Изд-во «МАИ». 2018. – 51 с.
2. Мишин В.М. Управление качеством: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Менеджмент организации» (061100)/В.М. Мишин – 2 е изд. Перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. - 463 с.
3. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М.: «Сов. радио». 1964.

Федюкович Н.С.

Анализ эффективности ряда технических мероприятий повышения пропускной способности воздушных линий напряжением 10КВ

(Россия, Красноярск)

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-81

idsp: sciencerussia-10-04-2019-81

Научный руководитель: Герасименко А.А.

Распределительные сети являются наиболее массовыми и разветвлёнными. Главная их особенность – непосредственная связь с потребителями электроэнергии, особое место среди которых занимают ответственные и социально значимые потребители, ненадлежащее качество электроснабжения которых может привести к экономическим и социальным последствиям. Поэтому необходимо обеспечить достаточную пропускную способность распределительных сетей, которая напрямую влияет на качество электроснабжения потребителей.

В данной работе рассматриваются пути повышения пропускной способности воздушных линий (ВЛ) распределительных электрических сетей с учётом классических технических ограничений по нагреванию и потере напряжения. Под пропускной способностью электропередачи понимается её наибольшая передаваемая активная мощность трёх фаз в установившемся режиме, определённая с учётом режимно-технических ограничений [1,2]. Первое ограничение связано с необходимостью обеспечения условий регулирования или улучшения напряжения и, в конечном итоге, обеспечения нормируемых отклонений напряжения на зажимах электропотребителей и электроустановок и при заданной электрической нагрузке определяется длиной линии. Второе ограничение, связанное с термической устойчивостью (нагреванием) проводов,

определяется током нагрузки и обусловлено сохранением электрических контактов, изоляции проводов и габаритов линии, и не зависит от её длины.

В итоге наибольшая мощность (пропускная способность) линии электропередачи определяется из условия:

$$P_{нб} = \min\{P_U, P_{т.у.}\}.$$

где $P_U, P_{т.у.}$ – наибольшая мощность, допустимая по режиму напряжения и термической устойчивости соответственно.

Ниже выполняется анализ эффективности ряда технических (затратных) мероприятий повышения пропускной способности линии:

1. Влияние конструкции распределительных линий на величины предельных передаваемых мощностей;
2. Изменение конструкции линии. Переход к линии с самонесущими изолированными проводами со сближенными фазами – ВЛИ 10 кВ;
3. Увеличение площади сечения провода на одну стандартную ступень;
4. Переход линий на повышенное напряжение (20 кВ);
5. Компенсация реактивных нагрузок;
6. Режим натуральной мощности.

1. Влияние конструкции распределительных линий на величины предельных передаваемых мощностей. Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий рассмотрим линию при различной её протяжённости. В качестве основы для сопоставления примем линию с наименьшим по экономической целесообразности сечением провода марки А 35 с горизонтальным расположением фаз, расстояние между фазами $D = 80$ см. Принимаем коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,75$, допустимую потерю напряжения $\Delta U_{доп} = 7,0\%$.

Схемно-конструктивные параметры линии. При горизонтальном расположении проводов среднее геометрическое расстояние составит:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}} = 1,26 \cdot D = 1,26 \cdot 80 \approx 101 \text{ см}.$$

Соответственно имеем погонное индуктивное сопротивление

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{cp}}{r_{пр}} + 0,016 \mu = 0,144 \lg \frac{101}{0,375} + 0,016 \cdot 1 = 0,366 \text{ Ом / км},$$

По данным [2, табл. П. 1.9] для провода марки А 35 активное сопротивление составляет $r_0 = 0,92 \text{ Ом / км}$, допустимая токовая нагрузка $I_{доп} = 170 \text{ А}$;

$r_{пр}$ – расчётный радиус провода 35 мм²

Наибольшие мощности ВЛ по режиму напряжения и термической устойчивости, соответственно, вычисляются по формулам:

$$P_U = \frac{U_{ном} \cdot \Delta U_{доп}}{(r_0 + \cos \varphi \cdot x_0) \cdot L}; \quad (1)$$

$$P_{т.у.} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{доп} \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}; \quad (2)$$

Выделим граничную длину, определяемой из условия равенства ($P_U = P_{т.у.}$) предельных мощностей по нагреванию и потере напряжения. В соответствии с полученными результатами (табл.1), пропускная способность линии протяжённостью менее 2,5 км ограничивается допустимым нагреванием, при большей длине – режимом напряжения.

Таблица 1

Пропускная способность ВЛ напряжением 10 кВ традиционного исполнения

Длина линии, км	Предельная мощность линии по режиму напряжения, МВт	Предельная мощность линии по термической устойчивости, МВт
2,49*	2,350	2,350
3,00	1,953	
5,00	1,172	
...	...	
15,0	0,391	

*граничная длина ВЛ

2. Изменение конструкции линии. Переход к линии с самонесущими изолированными проводами со сближенными фазами – ВЛИ 10 кВ. В данном случае появляется возможность уменьшить междуфазное расстояние D с 80 – 90 см до 50 – 55 см с горизонтальным расположением фаз на железобетонных опорах. Уменьшение междуфазных расстояний и, следовательно, рост магнитного взаимодействия фаз, и соответственно меньшее проявление ЭДС самоиндукции приводит к снижению индуктивного сопротивления линии. Так, при горизонтальном расположении проводов уменьшается среднее геометрическое расстояние:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}} = 1,26D = 1,26 \cdot 55 = 69,3 \text{ см}$$

и соответственно – погонное индуктивное сопротивление:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}} + 0,016 \mu = 0,144 \lg \frac{69,3}{0,375} + 0,016 \cdot 1 = 0,342 \text{ Ом / км},$$

По данным [3] для защищённого изоляцией провода СИП-3, выполненного уплотнёнными проволоками из алюминиевого сплава, с площадью сечения 35 мм^2 активное сопротивление составляет $r_0 = 0,99 \text{ Ом / км}$, допустимый по нагреванию ток $I_{дон} = 200 \text{ А}$.

Таблица 2

Пропускная способность ВЛИ 10 кВ

Длина линии, км	Предельная мощность ВЛИ 10 кВ3 по режиму напряжения, МВт	Предельная мощность ВЛИ 10 кВ по термической устойчивости, МВт
2,12*	2,770	2,770
3,00	1,872	
5,00	1,123	
...	...	
15,0	0,374	

*граничная длина ВЛ

В соответствии с полученными результатами, пропускная способность для рассмотренных линий определяется (ограничена) режимом напряжения. Следует отметить, что длительно допустимая по нагреванию сила тока (а, следовательно, и мощность) провода с изоляционным покровом СИП-3 существенно больше ($200 \text{ А} > 170 \text{ А}$), чем голого провода марки А 35, по причине принятия большей нормативной температуры нагревания провода, обусловленное применением вместо витых проволок из электротехнического алюминия токопроводящих жил с уплотнением проволок из алюминиевого сплава с повышенной термостойкостью изоляции из сшитого светостабилизированного полиэтилена. Данное техническое мероприятие увеличивает наибольшую мощность, определяемую термической устойчивостью в 1,15 раз. Пропускная способность ВЛИ 10 кВ линий оказалась несколько меньше, чем линий традиционного исполнения, по причине большего проявления активного

сопротивления $\left(P_v^{СИП-3} / P_v^{A35} = 0,96\right)$. Однако основное преимущество линии с одиночными проводами, защищёнными изоляцией, связано с её повышенными надёжностными свойствами: возможность замыканий резко снижается [1].

3. Увеличение площади сечения провода на одну стандартную ступень. Оценим эффективность данного технического мероприятия, заменив провод А 35 на А 50.

Погонное индуктивное сопротивление линии вычисляется по формуле:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}} + 0,016 \mu = 0,144 \lg \frac{101}{0,525} + 0,016 \cdot 1 = 0,345 \text{ Ом / км}.$$

По данным [2, табл. П. 1.9], для провода марки А 50 активное сопротивление составляет $r_0 = 0,65 \text{ Ом / км}$, при допустимой токовой нагрузке $I_{дон} = 210 \text{ А}$.

Соответствующее увеличение пропускной способности ВЛ по данным из (1) и (2) представлено в табл. 3.

Таблица 3

Пропускная способность ВЛ напряжением 10 кВ традиционного исполнения, выполненной проводом А 50

Длина линии, км	Предельная мощность ВЛ 10 кВ по режиму напряжения, МВт	Предельная мощность ВЛ 10 кВ по термической устойчивости, МВт
2,65*	2,910	2,910
3,00	2,568	
5,00	1,541	
...	...	
15,0	0,514	

*границная длина ВЛ

В результате пропускная способность для линии протяжённостью менее 2,6 км определяется (ограничена) допустимым нагреванием, при большей длине – режимом напряжения. Данное техническое мероприятие увеличивает пропускную способность ВЛ протяжённостью менее 2,6 км в 1,05 раз, а протяжённостью более 2,6 км – в 1,31 раз.

4. Переход линий на повышенное напряжение (20 кВ). Данное решение является наиболее универсальным и экономически целесообразным при электроснабжении объектов с большей плотностью электрических нагрузок или при передаче сравнительно небольших мощностей на большие расстояния. Указанный переход наиболее естественен и целесообразен при выполнении воздушных линий 20 кВ изолированными проводами. В этом случае конструктивные параметры линий с изолированными проводами (ВЛИ-20 кВ) соответствуют параметрам ВЛ 10 кВ традиционного исполнения. Появляется возможность уменьшить расстояние между фазами с двух до одного метра, оставаясь в габаритах линии 10 кВ. В этих условиях среднегеометрическое расстояние между фазами составит:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}} = 1,26D = 1,26 \cdot 100 = 126 \text{ см}.$$

Соответственно индуктивное сопротивление линии с изолированным проводом площадью сечения 35 мм^2 определяется в виде:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}} + 0,016 \mu = 0,144 \lg \frac{126}{0,375} + 0,016 \cdot 1 = 0,380 \text{ Ом / км}.$$

Для полноты оценки эффективности данного мероприятия вычислим длину ВЛИ 20 кВ, при которой будет соблюдаться равенство $(P_U^{20\text{кВ}} = P_{\text{т.у.}}^{10\text{кВ}})$.

Таблица 4

Оценка эффективности перехода на повышенное напряжение 20 кВ

Длина линии, км	Предельная мощность ВЛИ 20 кВ по режиму напряжения, МВт	Предельная мощность ВЛИ 20 кВ по термической устойчивости, МВт
1,98*	5,540	5,540
3,00	3,660	
4,67**	2,350	
5,00	2,196	
...	...	
15,0	0,732	

*граничная длина ВЛ;

**длина ВЛ, при которой выполняется условие $(P_U^{20\text{кВ}} = P_{\text{т.у.}}^{10\text{кВ}})$

По данным таблицы 4, пропускная способность для линий протяжённостью менее 2,0 км определяется (ограничена) допустимым нагреванием. Для линий длиной более 2,0 км – режимом напряжения. Переход на повышенное напряжение позволяет увеличить пропускную способность ВЛ длиной меньшей, чем граничная, в 2,36 раз, а для ВЛ протяжённостью большей, чем граничная – в 1,87 раз. В результате анализа возможностей линий с проводами малых площадей сечений установлено, что ВЛИ-20 кВ по пропускной способности приближается к ВЛ 35 кВ традиционного исполнения. В итоге отметим, что номинальное напряжение 20 кВ введено в стандарт (решением Комитета стандартов СССР) ещё в начале 60-х годов. Эффективность его применения обсуждалась в ряде научных публикаций. Однако только в последние годы в связи с переходом к линиям с изолированными проводами использование напряжения 20 кВ становится эффективным во многих аспектах. В частности, можно отметить возможность сокращения одной ступени трансформации в процессе распределения электрической энергии [1].

5. Компенсация реактивных нагрузок. В сетях напряжением 10 кВ экономически целесообразна практически полная компенсация реактивных нагрузок посредством конденсаторных батарей (КБ), при которой предельная передаваемая мощность по режиму напряжения ВЛ определяется по выражению:

$$P_U = \frac{\Delta U_{\text{доп}} \cdot U_{\text{ном}}}{r_0 \cdot L}$$

Соответствующие результаты представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Пропускная способность ВЛ напряжением 10 кВ с установкой КБ поперечной компенсации

Длина линии, км	Предельная мощность ВЛ 10 кВ по режиму напряжения, МВт	Предельная мощность ВЛ 10 кВ с по термической устойчивости, МВт
3,00	2,536	2,350
3,24*	2,350	
5,00	1,522	
...	...	
15,0	0,507	

*граничная длина ВЛ

В режиме перекомпенсации реактивных нагрузок предельную мощность по нагреванию можно передать по линии с протяжённостью, превышающей граничную. Увеличение мощности КБ в конце ВЛ (соответственно с ростом протяжённости линии)

позволяет увеличить передаваемую мощность до величины предельной по нагреванию. С учётом ограничения по режиму напряжения в соответствии с выражением:

$$\Delta U_{\kappa} = \frac{P_{m.y.} \cdot R_W + ((P_{m.y.} \cdot \operatorname{tg} \varphi) - Q_{KB}) \cdot X_W}{U_{ном}} \leq \Delta U_{доп}$$

получим искомую мощность компенсации в конце линии (табл. 5.2)

$$Q_{KB} = \frac{P_{m.y.} \cdot R_W + P_{m.y.} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot X_W - U_{ном} \cdot \Delta U_{доп}}{X_W}.$$

Таблица 5.2

Пропускная способность ВЛ 10 кВ при перекомпенсации реактивных нагрузок

Длина линии, км	Мощность КБ, Мвар	Предельная мощность ВЛ 10 кВ по режиму напряжения, МВт	Предельная мощность ВЛ 10 кВ по термической устойчивости, МВт
5,00	2,20	2,350	2,350
...	...		
15,0	5,85		

По данным результатам отметим: пропускная способность ВЛ с установкой КБ поперечной компенсации протяжённостью менее 3,2 км ограничивается допустимым нагреванием, при большей длине – режимом напряжения. При избыточной компенсации реактивных нагрузок появляется возможность повышения пропускной способности ВЛ длиной более 3,2 км до значения предельной мощности по критерию термической устойчивости. Таким образом, рассмотренные мероприятия позволяют увеличить пропускную способность ВЛ длиной менее 3,2 км в 1,20 раз, более 3,2 км – вплоть до 6,01 раз (для ВЛ протяжённостью 15,0 км).

6. Режим передачи натуральной мощности является наиболее благоприятным для передачи электроэнергии переменным током, поскольку в силу сбалансированности электромагнитного поля линия не потребляет и не генерирует реактивную мощность, а потери активной мощности минимальны [4]. Для увеличения натуральной мощности распределительной линии 10 кВ до предельной мощности, допустимой по нагреванию плотностью тока,

$$P_{m.y.} = \frac{U_{ном}^2}{Z_B} \quad (3)$$

необходимо соответствующим образом уменьшить волновое сопротивление Z_B (выполнить его настройку на передачу данной мощности) посредством ёмкостной компенсации [5]. Соответственно ёмкостная проводимость на единицу длины, определяемая с учётом (3) из выражения

$$\dot{Z}_{B(K)} = \sqrt{\frac{(r_0 + jx_0)}{(jb_0 + jb_{K(0)})}},$$

составляет $jb_{K(0)} = 545,66 \cdot 10^{-6}$ См/км. Расчётные значения суммарной ёмкостной проводимости и соответствующей мощности КБ, равномерно распределённых по длине линии, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты расчёта натуральной мощности ВЛ 10 кВ

Длина линии, км	Суммарная ёмкостная проводимость ВЛ, См	Мощность КБ, Мвар	Предельная мощность линии по термической устойчивости, МВт
3,00	$1636,98 \cdot 10^{-6}$	0,164	2,350
5,00	$2728,30 \cdot 10^{-6}$	0,273	
...	...	...	
15,0	$8184,90 \cdot 10^{-6}$	0,818	

Как видно из полученных результатов, пропускная способность для линий в режиме передачи натуральной мощности определяется (ограничена) допустимым нагреванием. Равномерное распределение КУ по длине значительно увеличивает предельную мощность, передаваемую по рассматриваемой ВЛ (вплоть до 6,01 раз для ВЛ протяжённостью 15,0 км). Ценность данного технического мероприятия заключается в возможности увеличения передаваемой мощности распределительной линии 10 кВ до предельной мощности, определяемой критерием термической устойчивости.

Итоговые результаты исследований (поз. 1-6) представлены в таблице 7.

Таблица 7

Итоговая оценка результативности мероприятий, направленных на повышение пропускной способности ВЛ 10 кВ.

№ п/п	Исполнение ВЛ	Длина ВЛ, км			
		3	5	...	15
		$P_{нб}$, МВт			
1	ВЛ 10 кВ традиционного исполнения проводом А 35	1,953	1,172	...	0,391
2	ВЛИ 10 кВ	1,872	1,123	...	0,374
3	ВЛ 10 кВ традиционного исполнения проводом А 50	2,568	1,541	...	0,514
4	ВЛИ 20 кВ	3,660	2,196	...	0,732
5.1	ВЛ 10 кВ, полная компенсация реактивных нагрузок	2,350	1,522	...	0,507
5.2	ВЛ 10 кВ, режим избыточной компенсации реактивных нагрузок	2,350	2,350	...	2,350
6	ВЛ 10 кВ, режим натуральной мощности	2,350	2,350	...	2,350

Выводы

1. Выполнен анализ влияния ряда технических (затратных) мероприятий, направленных на увеличение пропускной способности ВЛ напряжением 10 кВ традиционного исполнения. Возможности линии электропередачи могут быть увеличены от 1,2 до 6,0 раз.

2. Наибольшее увеличение пропускной способности достигается при компенсации реактивных нагрузок и в режиме натуральной мощности. Возможности линии напряжением 10 кВ могут быть увеличены до значения мощности, предельного по нагреванию.

3. Переход к ВЛИ 20 кВ позволяет увеличить передаваемую мощность до значений, приближающихся к возможным для ВЛ напряжением 35 кВ традиционного исполнения.

4. Определение оптимального (наиболее эффективного) технического мероприятия увеличения пропускной способности линии электропередачи требует решения оптимизационной задачи анализа критериальных экономических показателей [1,2].

1. Герасименко А.А., Федин В. Т. Электроэнергетические системы и сети. Расчёты, анализ, оптимизация режимов работы и проектных решений электрических сетей. Ростов н/Д. Феникс, 2018. – 471 с.

2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Изд-е 2-е. Ростов н/Д. Феникс, 2008. – 735 с.
3. ГОСТ Р 52373-2012. Провода самонесущие, изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи.
4. Кувшинов А. А. Методы увеличения натуральной мощности распределительной линии с потерями // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: труды V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием – Тольятти: ТГУ, 2017– С. 112 – 116.
5. Кувшинов А. А. Волновое сопротивление и натуральная мощность компенсированной распределительной линии // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: труды V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием – Тольятти: ТГУ, 2017– С. 102 – 106.

Шевченко Ю.С., Шайдурова Т.В.

О рекультивации горнорудных отвалов в проблеме возвращения нарушенных земель в сельское хозяйство

*Забайкальский аграрный институт
(Россия, Чита)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-82

idsp: sciencerrussia-10-04-2019-82

Аннотация

Актуальность темы рекультивации горнорудных отвалов и восстановления нарушенных горными предприятиями земель обостряется в местах разработки месторождений полезных ископаемых, расположенных в пойменных участках поверхностных водотоков, поскольку данные участки характеризуются наиболее плодородными по своим качествам почвами. Учитывая прогрессирующее отторжение земель сельскохозяйственного назначения под горные отвалы и экологическую обстановку на данных территориях, рекультивация должна предусматривать максимальное извлечение из отходов горного производства ценных и полезных компонентов, и одновременное восстановление плодородного слоя на поверхности отвалов с целью дальнейшего использования в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: рекультивация, горнорудные отвалы, нарушенные земли, ценные компоненты, технологии переработки отходов, плодородный слой, восстановление почвы.

В литературе, например, [2], при анализе вопросов землепользования и охраной земельных ресурсов поднимается тема рекультивации горнорудных отвалов и восстановления земель, нарушенных горными предприятиями. Актуальность этой темы обостряется в местах разработки месторождений полезных ископаемых, расположенных в пойменных участках поверхностных водотоков, поскольку данные участки характеризуются наиболее плодородными по своим качествам почвами. Естественно, что отъем таких земель у сельского хозяйства под горные отвалы с точки зрения экономики не совсем разумное решение, учитывая масштабы добычных работ. В наиболее простом виде эффективность горного производства (Эгп) выражается уравнением

$$\text{Эгп} = \text{Пр} - \sum (Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (1)$$

Где Пр – получаемая прибыль, Z_1 – общие затраты на производственный цикл, Z_2 – «социальные» затраты на обслуживание данного цикла (питание, одежда, жилье и др.), Z_3 – затраты экологического вида: создание прудов-отстойников, формирование хвостового хозяйства, отведение поверхностных водотоков и пр.).

Общая же экономическая эффективность (Ээ) при условии соблюдения законодательных норм оказывается ниже значения Эгп, поскольку включает затраты на

обязательную рекультивацию (Зр) территории горного отвода по окончании добычных работ:

$$\text{Ээ} = \text{Эгп} - \text{Ээ} \quad (2)$$

В настоящее время правительство России ведет весьма неэффективную, неразумную политику в отношении малых и средних горнорудных предприятий, доминирующих в добычном секторе страны. Поэтому условие «соблюдения законодательных норм» если и выполняется такими предприятиями, то на весьма поверхностном уровне.

В данной ситуации выделяются три крупные искусственно обкраденные стороны:

- страна - получающая в итоге прогрессирующие экологические проблемы и теряющая потенциально возможную прибыль;
- само предприятие - использующее природный потенциал горного отвода всего на 20-35 %;
- сельское хозяйство – теряющее плодородные земли.

Дело в том, что хвостовые хозяйства предприятий горнорудного производства представляют собой своеобразные месторождения целого ряда ценных компонентов и материалов. Причем зачастую содержание ценных компонентов в отходах превышает их содержание в природных коренных и россыпных месторождениях (существенно, что это относится и к таким мономинеральным объектам, как угольные месторождения, где фиксируются значительные количества золота, редких металлов, германия и т.п.).

Еще в прошлом столетии отмечалось, что горнорудные отходы являются своеобразными скоплениями ценных компонентов с присущими им вновь приобретенными свойствами и поэтому их нужно выделять в самостоятельный тип месторождений. Так, при паспортизации указанных объектов горнодобывающих предприятий Забайкальского края выяснилось, что в них содержится порядка 149 т. золота (с содержанием 0,3-0,5 г/т), 925 т. серебра (0,5-29 г/т), 74,3 тыс. т. олова (0,35-0,12%), 10 тыс. т. вольфрама (0,076-0,4%), 133,5 тыс. т. свинца (0,18% - первые %), 192,3 тыс. т. цинка (0,0%- первые %), 7,4 тыс. т. меди (0,02-0,1%), около 480 т. кадмия, 2 тыс. т. тантала, 2,1 тыс. т. ниобия, 85,7 тыс. т. лития, 13,5 тыс. т. бериллия, 690 т. висмута, около 4,5 тыс. т. мышьяка, 146 тыс. т. серы и ряд других рудных и нерудных компонентов [3]. И это еще не считая отвалов бедных и некондиционных руд (182443 тыс. т. или 4,7%), продукты химической переработки (64483 тыс. т. или 2,25 %), породы вскрыши, на долю которых приходится 86,4% всех объемов техногенных образований края.

То есть техногенные месторождения имеют определенную экономическую ценность, поскольку содержат материалы, вещества, компоненты, которые при извлечении и соответствующем использовании могут дать хорошую прибыль. Данные замечания весьма ценны, учитывая, что такое «сырье» не нужно доставать из недр, дробить и измельчать, классифицировать, куда-то перевозить.

Еще один момент, который нельзя забывать при рассмотрении проблем рекультивационных работ, касается фактора времени, усугубляющего экологическое состояние среды, окружающей горные отвалы. Это связано в первую очередь с территориальным расширением последствий горнорудного производства: распространение пыли, загрязнение вод и почвы, изменение гидрологического режима и т.п.

Во всех указанных случаях приходится говорить о синергетическом эффекте появления экологических и взаимосвязанных с ними производственных и экономических проблем. Решить последние можно, скорее всего, за счет своеобразного симбиоза основного рабочего цикла на месторождении, дополнительного цикла на хвостовом хозяйстве и рекультивационных работ, ориентированных на восстановление

нарушенных земель в первую очередь в плане плодородного слоя почвы. Рассмотрим суть данного решения на примере золотодобычи.

В ходе основного рабочего цикла происходит преобразование гранулометрических характеристик золота, при этом крупное улавливается, сростковое и мелкое неулавливаемое, т.е. гравитационно-упорное, уходит в хвосты [4]. Ясно, что переработка хвостов обогащения нуждается совершенно в ином подходе с соответствующими энергетическими воздействиями, технологическими приемами и оборудованием. Анализ балансов по запасам золота естественных россыпей (основной рабочий цикл обогащения) и техногенных образований (дополнительный цикл переработки хвостов) свидетельствует об эффективности разделения данных циклов:

$$BZ_{EP} = \begin{cases} 10...30_{п} + 90...70_{кз} & \text{исходный, (\%)} \\ \hline 10...30_{п} + 20...5_{кз} & \text{хвосты обогащения, (\%)} \end{cases}$$

$$BZ_{ТО} = \begin{cases} 70...90_{п} + 30...10_{кз} & \text{исходный, (\%)} \\ \hline 50...70_{п} + 2...5_{кз} & \text{хвосты обогащения, (\%)} \end{cases}$$

где $B_{кз}$ и $B_{мз}$ - балансы по крупному (извлекаемому на первом уровне) и неизвлекаемому, мелкому и тонкому золоту.

В результате реализации данных вариантов, происходит значительное сокращение и преобразование состава объемов отвальных материалов. Если при этом из них отобрать компоненты, пригодные для строительства дамб, необходимых при рекультивационных работах (например, обустройство площадей заводнения для формирования почвенного слоя, контроля русел поверхностных водотоков и т.п.) и других хозяйственных нужд, сокращаются и объемы (и стоимость) рекультивационных работ, в частности, и за счет неизбежной предварительной планировки отвалов.

На отработанных площадях одновременно должны проводиться (возможно, и другими организациями) мероприятия по восстановлению плодородного слоя на поверхности отвалов: перенесение пластов почвы, заскандированных при вскрышных работах; формирование мелководных прудов с растительностью; приемы биологической рекультивации с выращиванием сельскохозяйственной продукции. В [1] указывается, что плодородие нарушенных земель наиболее эффективно при нанесении на них почвенного слоя. Все зависит от наличия потенциально плодородных пород, степени разубоживания наносимых почв и мощности их слоя (например, при 50%-иом разубоживании и мощности слоя 20-30 см срок восстановления плодородия земель составляет 5-6 лет, с нанесением слоя почвы мощностью 35-50 см, разубоженной на 10-15 %, - 3 года, при мощности неразубоженного слоя 60-80 см период восстановления плодородия равен одному году).

Наши исследования на экспериментальных полигонах, расположенных в Забайкальском крае на землях бывших горных отвалов, показывают правомерность выводов, сделанных выше относительно основного и дополнительного

технологических циклов, и эффективности предрекультивационной переработки отвальных материалов горного производства. Кроме того, выяснилось, что интенсифицировать образование и рост почвенного слоя можно за счет реализации технологии инъекционной подачи питательных растворов в верхние слои отвального материала. При этом состав растворов должен готовиться в соответствии с физико-химическими характеристиками указанного материала [5].

1. Горлов В. Д. Рекультивация земель на карьерах. – М.: Недра, 1981. – 260 с.
2. Токмаков П.И., Коваленко В.С. Рациональное землепользование при открытых горных работах. – М.: Недра, 1984. – 213 с.
3. Харитонов Ю.Ф. Создать кадастр скоплений горнорудных предприятий Читинской области / Ю.Ф. Харитонов, В.Г. Васильев // Отчет по теме 256 за 1996-1998 годы. – Чита: ЗабКНИИ, 1998. – 115 с.
4. Шевченко Ю.С. Особенности и перспективы извлечения тонкого золота // Кулагинские чтения: X Международная научно-практическая конференция. – Чита: ЧитГУ, 2010. – С. 122-124.
5. Шевченко Ю.С., Колосова У.В. К проблеме повышения плодородных качеств земли рекультивируемых площадей // Вестник науки Забайкалья. – 2017. – № 5. – С. 57-59.

Шихов А.И., Дунаева Е.Н.

Методы неразрушающего контроля строительных объектов

*Санкт-Петербургский Горный университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2019-83

idsp: sciencerussia-10-04-2019-83

Аннотация

В данной статье представлен краткий обзор методов неразрушающего контроля, применяемых при обследовании и испытании конструкций, зданий и сооружений. Рассмотрены физический смысл и область применения данных методов контроля, обоснование их выбора при выполнении обследований зданий и сооружений.

Ключевые слова: акустический контроль, дефектоскоп, метод акустической эмиссии, визуально-оптический контроль, эндоскоп, магнитные методы контроля.

В настоящее время основным вопросом развития неразрушающих методов контроля зданий и сооружений, является построение расчетных моделей, которые позволят более детально показать напряженно-деформируемое состояние изучаемых объектов. Моделирование строительных конструкций возможно только при детальном обследовании реальных объектов, позволяющем сделать вывод о соответствии модели данному сооружению. Из чего можно сделать вывод о том, что без развития экспериментальных методов исследования объектов и увеличения их точности невозможно развитие теоретических методов моделирования строительных конструкций. Результаты проведенных экспериментов позволяют внести в идеализированную модель, изменения конструкции, полученные при транспортировке материалов для строительства объекта, изменения климата в области строительства, изменения основания сооружения в следствии, влияния физико-механических свойств грунтов при их оттаивания, замерзания или пучения.

Повышение качества строительных работ, увеличение надежности и срока службы строительных объектов возможно при совершенствовании методов неразрушающего контроля, главными аспектами исследования которых являются: физико-механические свойства строительных материалов и грунтов оснований,

геометрические размеры и точность сборки объектов строительства. Главным преимуществом неразрушающих методов исследования является возможность проведения исследований в процессе эксплуатации объекта и без нарушения его эксплуатационных показателей в ходе испытаний. Данные методы исследований редко дают возможность напрямую оценить изучаемые свойства сооружения, чаще всего это косвенные измерения свойств объекта, позволяющие сделать вывод о состоянии конструкции, посредством связи их с требуемыми свойствами сооружения либо материала. В данной работе основное внимание уделено методам неразрушающего контроля, основанным на изучении характера распространения звука в контролируемом объекте – акустическим методам.

Акустические методы основаны на колебательном движении частиц в твердом теле. Для исследований данными методами наибольший интерес представляют ультразвуковые колебания, частота которых лежит в диапазоне от 20 кГц до 200 кГц при испытаниях бетона и от 30 кГц до 10 МГц при испытаниях металлов и пластмасс [2]. В настоящее время на практике наиболее часто применяют импульсный, импедансный и метод акустической эмиссии.

Ультразвуковой импульсный метод позволяет решать задачи по определению физико-механических показателей строительных материалов, а также проводить дефектоскопию конструкций. Характерной особенностью бетона является то, что он не является однородным материалом, в связи с этим свойством бетона при исследовании бетонных конструкций, импульсным методом, возможно обнаружение дефектов размер которых превышает размер крупного заполнителя бетона. Наиболее часто применяемыми импульсными методами дефектоскопии строительных объектов являются: метод сквозного прозвучивания и метод продольного профилирования. Оба метода основаны на изменении скорости распространения волн в материале.

Метод сквозного прозвучивания основан на сквозном прохождении ультразвуковой волны через объект контроля [2]. Для проведения исследований данным методом необходим доступ к двум противоположным сторонам объекта контроля. На двух противоположных сторонах размещают излучатель и приемник ультразвуковых волн, предварительно разделяя объект контроля на прямоугольные зоны, вершины которых определяют трассы прозвучивания. Важным фактором для проведения успешной дефектоскопии данным методом, является соосное расположение приемника и излучателя ультразвуковых волн. После проведения прозвучивания, в достаточном количестве точек (вершин), строятся изохроны – линии распределения равных времен прохождения волн по толщине объекта или изоспиды – линии распределения равных скоростей ультразвуковых волн. Проводя анализ построенных изохрон или изоспид, выявляются зоны с пониженными скоростями распространения волны, определяющие дефектные зоны бетонных конструкций [2].

Еще одним методом контроля строительных конструкций является акустоэмиссионный метод. Основан он на регистрации импульсов акустической эмиссии, посылаемых новообразованными или развивающимися трещинами. Метод акустической эмиссии может являться методом непрерывного контроля объекта и чаще применяется при контроле состояния грунтов основания сооружения. Акустическая эмиссия представляет собой механические колебания в контролируемом объекте, вызванные образованием или ростом трещин [1]. По своей природе акустическая эмиссия не может воспроизводиться в объекте без развивающихся трещин, но и в объекте, потерявшем свою несущую способность воспроизводит импульсы

акустической эмиссии также невозможна. Наиболее активно импульсы акустической эмиссии проявляют себя в пределах от 25% до 75% предела прочности материала, следовательно, данный метод позволяет видеть изменения целостности контролируемого объекта и при необходимости применять меры по сохранению или реконструкции объекта контроля. В настоящее время по параметрам акустической эмиссии чаще всего определять физико-механические свойства грунтового основания зданий и сооружений. Широко для контроля вечномёрзлых грунтов. Открытый немецким ученым Кайзером, акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах, позволил решить проблемы возникшие в ходе заполнения водохранилищ в Швейцарии. Суть эффекта заключается в невоспроизводимости акустической эмиссии, при циклическом нагружении массива горных пород, до момента достижения напряжений в массиве значения, превышающего максимальное значение напряжений, достигнутых в предыдущем цикле нагружения. При заполнении водохранилища в Швейцарии, впервые был использован данный метод для практических целей. На первом этапе, водохранилище заполнили до отметки 600 м, при этом заполнение сопровождалось сильными подземными толчками, они продолжались на протяжении двух недель, затем водохранилище спустили и заполнили его вновь до отметки 600 м [3]. Вскоре после достижения проектной отметки, толчки в окрестностях водохранилища прекратились.

Так же акустические методы контроля применяют при ведение строительства специальными способами, в обводненных грунтах. В ходе строительства, часто возникает необходимость обезвоживания грунтов. Существует несколько способов применяемым для данных целей, таких как возведение шпунтового ограждения, создание депрессионной воронки, сооружение «стены в грунте» или возведение ледопородного ограждения. Именно при видении работ по возведению ледопородного массива применяется акустический метод контроля толщины стен ограждения. Суть метода заключается в создании стены, состоящей из льда и вмещающих грунтов, на глубину водоносного горизонта, которая будет ограждать, на период строительства, стройплощадку от воды. С целью сооружения стены бурятся скважины, глубиной ниже уровня водоносного горизонта, по контуру строительной площадки. В скважины опускают замораживающие трубы – колонки. В колонки опускают питающие трубы. Замораживающие колонки через специальные оголовки соединяют с расположенной на поверхности общей системой, состоящей из трубы-распределителя, по которой к питающим трубам подается охлажденный на замораживающей станции рассол, и трубы-коллектора, отводящей рассол из колонок к той же станции. После достижения ледопородным ограждением расчетной толщины, выполняется контроль соответствия фактической толщины ограждения расчетной [5]. Для этих целей и применяется акустический метод контроля. Внутри и снаружи ледопородного ограждения бурятся пара соосных скважин. В одну из них опускается приемник, а в другую преобразователь ультразвуковых колебаний, после чего по данным скорости распространения ультразвуковых колебаний в грунте, судят о толщине ограждения на данном участке. Минимальное количество пар скважин 3.

Несмотря на большое разнообразие неразрушающих методов контроля применяемых при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, высоком уровне их достоверности и разнообразии показателей определяемых с их помощью, существует необходимость создания новых методов и проведения, подробных экспериментальных и теоретических исследований в данной области. Увеличение

аварийности на предприятиях горной отрасли Российской Федерации, за последние 10 лет, свидетельствует об этой необходимости.

1. Бирюкова Н.П. Система неразрушающего контроля. Виды и технологии неразрушающего контроля. Термины и определения. Москва, 2003.
2. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика. Москва, 2005.
3. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л. Акусто-эмиссионный эффект памяти в горных породах. Москва 2004.
4. Шкуратник В.Л. Горная геофизика. Ультразвуковые методы. М.- МГИ, 1990. – 104 с.
5. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов. Москва: издательство АСВ, 2009.

Научное издание

Наука России: Цели и задачи

Сборник научных трудов, по материалам
XIV международной научно-практической конференции
10 апреля 2019 г.

Часть 4

SPLN 001-000001-0434-SR

Подписано в печать 03.06.2019. Тираж 400 экз.
Формат.60х84 1/16. Объем уч.-изд. л.4,83
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович