

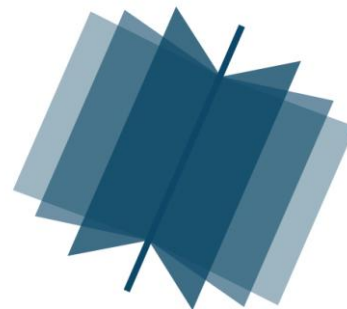
№ 6 (72) ▪ 2018
Часть 1 ▪ Июнь

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург
2018



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.
Главный редактор: Меньшаков А.И.
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,
д. 4, корп. А, оф. 17.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org

**№ 6 (72) 2018
Часть 1
Июнь**

Подписано в печать 18.06.2018.
Тираж 900 экз.
Заказ 29099.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217.**

Члены редколлегии:

Филологические науки:

Растягаев А.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Калужский Государственный Университет имени К.Э. Циолковского (Калуга, Россия);
Вербицкая О.М. к.филол.н., Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия);
Герасимова Л.Г. д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);
Курасов В.С. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Оськин С.В. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Лукьянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

Розенова М.И. д-р психол. наук, проф., Московский государственный психолого-педагогический университет (Москва, Россия);
Исков Н.Н. д-р психол. наук, Российская академия образования (Москва, Россия);
Каменская В.Г. д-р психол. наук, к. биол. наук, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (Елец, Россия).

Физико-математические науки:

Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия);
Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Государственный Научный Центр ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина (Москва, Россия);
Свиштунов Ю.А. д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылеев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Озуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В. д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Шеуджен А.Х. д-р биол. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Ларионов М.В. д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия).

Архитектура:

Янковская Ю.С. д-р архитектуры, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Ветеринарные науки:

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);
Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

Медицинские науки:

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);
Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

Исторические науки:

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);
Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);
Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);
Лёвочкина Н.А. к.ист.наук, к.экон.н. ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия).

Культурология:

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Искусствоведение:

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);
Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);
Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

Юридические науки:

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);
Ершашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);
Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);
Компаний В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);
Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

Социологические науки:

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);
Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

Химические науки:

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

Науки о Земле:

Горяинов П.М. д-р геол.-минерал. наук, проф., Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Апатиты, Россия).

Экономические науки:

Бурда А.Г. д-р экон. наук, проф., Кубанский Государственный Аграрный Университет (Краснодар, Россия);
Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к.ист.н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);
Ламоттке М.Н. к.экон.н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);
Акбулаев Н. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);
Кулиев О. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

Политические науки:

Завершинский К.Ф. д-р полит. наук, проф. Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Фармацевтические науки:

Тринеева О.В. к.фарм.н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);
Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);
Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курс, Россия);
Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);
Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

**Екатеринбург
2018**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ВОЛНОВОЙ ОПТИКИ

Минченко И.И., Козий А.А., Ларин Р.С. 7

К ПРОЕКТИВНЫМ СВОЙСТВАМ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ.

ЧАСТЬ II. О МЕРАХ И КРИВИЗНЕ В КЛАССИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ ЛОБАЧЕВСКОГО – БОЛЬЯИ

Пермикин В.С. 14

ON THE QUASIRELATIVISTIC EQUATIONS FOR THE SOLAR CORONA PLASMA AND A VARIANT OF RATIONALE OF ITS HIGH TEMPERATURE

Troshchiev Yu. V. 24

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Давиденко А.Н., Лапшин Н.А. 29

СООТНОШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПО НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫМ ПУТЯМ ТОКА

Додхудоев М.Д., Таваров С.Ш., Мираков О.А. 33

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ НАВЫКОВ СПЕЦИАЛИСТОВ БУДУЩЕГО

Ибрагимов Э.П., Староверова Н.А. 39

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ БЕСШОВНОЙ ОДЕЖДЫ: ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

Каюмова Р.Ф. 42

ДЕТЕКЦИЯ ТОРОСИСТЫХ УЧАСТКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ СНЕЖНО-ЛЕДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Путинцев Д.Н., Усилин С.А. 45

HEAT TREATMENT INFLUENCE EVALUATION ON RADON-222 EMANATION FACTOR IN BUILDING MATERIAL

Sokolov P.E., Sentenberg S.A. 48

ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ВОДЫ

Тергемес К. Т., Дарасев А. М., Джулаева Ж. Т., Касымова А. Е., Садвокасова Ж. Д. 58

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ 16- α -[^{18}F]ФТОР-17 β -ЭСТРАДИОЛА, РАДИОТРЕЙСЕРА ДЛЯ ПЭТ ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Федорова О.С., Николаева В.С., Красикова Р.Н. 63

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ПАТОГЕНЕТИЧЕСКУЮ ТЕРАПИЮ РОЖИ

Ермакова Л.А., Гопаца Г.В., Титилян К.Р., Журавлев А.С. 69

РАССЕЯННЫЙ СКЛЕРОЗ. СРАВНЕНИЕ УРОВНЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В ОМУТНИНСКОМ (СЕВЕРНЫЙ) И УРЖУМСКОМ (ЮЖНЫЙ) РАЙОНАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Милячков Д.Е., Романов А.В. 72

ВОЗМОЖНОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ МЕТАСТАТИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Снахо Б.А., Синянская М.П., Карамизова М.И., Мерзлова Н.Ю., Айдунова Х.С., Нажмудинова Х.А., Водождокова Р.Ю., Мамчуева М.С. 76

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ В ПОПУЛЯЦИЯХ VACCINIUM VITIS-IDAEA L. НА СЕВЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Данилова М.А., Щегловитова Е.А. 81

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭРИТРОЦИТОВ IN VITRO	
Катюхин Л.Н.	84
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ПОРОД КУР РАЗНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПО INDEL-МУТАЦИИ В ПРОМОТОРЕ ГЕНА ПРОЛАКТИНА	
Митрофанова О.В., Дементьева Н.В., Крутикова А.А.	89
ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ИНВАЗИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ КАРАСЯ ЯКУТСКОГО (CARASSIUS CARASSIUS JACUTICUS, KIRILLOV)	
Степанов К.М., Платонов Т.А., Ньюканов А.Н., Кузьмина Н.В.	93
<hr/>	
ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY	
<hr/>	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО ТИПАМ РУД НА РАЗВЕДОЧНЫХ ГОРИЗОНТАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУТЕССАЙ-II	
Малюкова Н. Н.	97
<hr/>	
НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH	
<hr/>	
SUSTAINABLE UTILIZATION AND PROCESSING OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN GHANA	
Baah D., Kharlamova M.	105
ОБ ОБРАЗОВАНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СРОСТКОВ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА	
Жимулев Е.И., Грязнов И.А., Сонин В.М., Чепуров А.И.	108

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.01>

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ВОЛНОВОЙ ОПТИКИ

Научная статья

Минченко И.И.¹, Козий А.А.^{2,*}, Ларин Р.С.³¹ ORCID: 0000-0001-8895-4850,

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия;

² ORCID: 0000-0003-0063-5834,

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия;

³ ORCID: 0000-0003-1913-2911,

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (kiborgiii[at]mail.ru)

Аннотация

Настоящая работа посвящена созданию системы автоматизированного проектирования «Оптический конструктор». В программу заложены физические основы волновой оптики. Основной решаемой задачей конструктора является построение интерференционной картины от проходящего через различные элементы лазерного пучка. Смоделированы такие оптические установки, как интерферометр Маха-Цендера и «Квантовый ластик». В программе возможно создание оптических схем произвольной сложности с использованием одного элемента «Лазер» и произвольного числа остальных элементов (в том числе и элементов «Экран»).

Ключевые слова: поляризация, моделирование, волновая оптика, интерферометр Маха-Цендера, «квантовый ластик».

DEVELOPMENT OF AUTOMATED DESIGN SYSTEM FOR STUDYING WAVE OPTICS EFFECTS

Research article

Minchenko I.I.¹, Koziy A.A.^{2,*}, Larin R.C.³¹ ORCID: 0000-0001-8895-4850,

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

² ORCID: 0000-0003-0063-5834,

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

³ ORCID: 0000-0003-1913-2911,

St. Petersburg State Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (kiborgiii[at]mail.ru)

Abstract

This work is devoted to the development of "Optical Designer" – the computer design system. The program includes the physical fundamentals of wave optics. The main task of the designer is to construct an interference pattern from a laser beam passing through various elements. Optical devices such as the Mach-Zehnder interferometer and the "Quantum eraser" are simulated. The program enables to create optical circuits of arbitrary complexity using one "Laser" element and an arbitrary number of other elements (including the "Screen" elements).

Keywords: polarization, modeling, wave optics, Mach-Zehnder interferometer, "quantum eraser".

Введение

В настоящее время существует множество профессиональных программ для моделирования оптических эффектов (например, VirtualLab Fusion). Эти программы являются достаточно сложными, что сильно затрудняет получение результатов для малоопытных пользователей. Для обучения студентов технических специальностей физическим основам волновой оптики была разработана система автоматизированного проектирования «Оптический конструктор». В данной программе возможно создание многоэлементных оптических схем без использования большого числа обязательных настроек, что позволяет пользователям без особых временных затрат получать желаемые результаты. Программа позволяет на качественном уровне рассмотреть предполагаемые эффекты в созданной установке. Что актуально для студентов, в дальнейшем возможно сравнить результаты с реальными оптическими лабораторными установками. При отсутствии достаточно дорогого оптического оборудования возможен полный переход в лабораторных работах на программу «Оптический конструктор».

Физические основы

Для подробного рассмотрения системы автоматизированного проектирования «Оптический конструктор» необходимо начать с заложенной в него физической модели. Основным рассматриваемым объектом является свет. Свет описывается поперечной волной, которая распространяется вдоль вектора \vec{k} , а векторы электрической напряженности \vec{E} и магнитной индукции \vec{B} колеблются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. Между векторами \vec{E} и \vec{B} имеется однозначная взаимосвязь, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только колебания вектора напряженности \vec{E} [1]. Напряженность электрического поля плоской волны, распространяющейся вдоль оси z имеет вид [2]:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{a} E_0 e^{i(kz - \omega t)},$$

где $\vec{E}(\vec{r}, t)$ – вектор напряженности электрического поля в точке $\vec{r} = \{x, y, z\}$ в момент времени t , \vec{a} – единичный вектор поляризации, лежащий в плоскости $xу$, E_0 – комплексная амплитуда волны, k – волновое число, ω – циклическая частота.

В оптической установке для получения интерференционной картины необходимо, чтобы падающие на любой элемент волны были когерентными. Это возможно при условии наличия единственного лазера. Таким образом, экспоненциальный член $e^{i(kz - \omega t)}$ сократится при расчете интенсивности на экране, а значит его можно опустить из рассмотрения [3]. В приведенной модели плоская волна может быть описана с использованием двух комплексных чисел – «комплексных поляризаций» по осям x и y :

$$A^x = a^x E_0, \quad A^y = a^y E_0.$$

Все элементы оптической системы описываются линейными операторами, которые могут быть записаны в виде матриц. Матрица оператора действует на вектор столбец, состоящий из комплексных поляризаций входящего света, и результатом операции является вектор столбец, состоящий из комплексных поляризаций выходящего света. Размер матрицы зависит от числа входов и выходов элемента. В программе реализованы такие элементы как «Лазер», «Поляризатор», «Полупрозрачное зеркало», «Поляризационный светоделитель», «Пластины $\frac{\lambda}{2}$ и $\frac{\lambda}{4}$ », «Линия задержки», «Интерферометр Майкельсона» и «Экран». Самым сложным элементом «Оптического конструктора» является «Экран».

Далее будут рассмотрены три элемента – «Поляризатор», «Полупрозрачное зеркало» и «Экран».

Поляризатор

«Поляризатор» – это элемент, который имеет один вход и один выход (рис. 1). Поляризатор делает произвольную световую волну плоско-поляризованной в направлении, определяемом углом самого поляризатора θ [4].

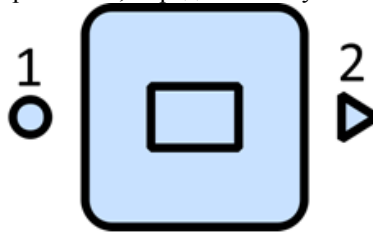


Рис. 1 – Изображение элемента «Поляризатор»

Примечание: кружком обозначается входной слот, а треугольником – выходной

Оператор элемента представляет собой матрицу размера 2×2 , так как входящий и выходящий свет описывается как вектор столбец размера 2×1 :

$$\begin{Bmatrix} A_2^x \\ A_2^y \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \end{pmatrix} \times \begin{Bmatrix} A_1^x \\ A_1^y \end{Bmatrix},$$

где A_1 – входящая волна, а A_2 – выходящая.

Полупрозрачное зеркало

«Полупрозрачное зеркало» (ППЗ) – это элемент, который имеет два входа и два выхода (рис. 2). По одному выходному направлению ППЗ суммирует две входящие волны, а по другому направлению даёт их разность [5].

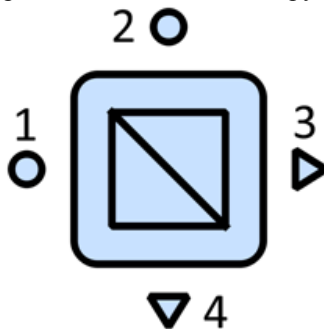


Рис. 2 – изображение элемента «Полупрозрачное зеркало»

В представленной модели две входящие волны не суммируются (вычитаются), а подаются на выход как список независимых волн, что соответствует принципу суперпозиции. Это позволяет в дальнейшем ввести модель неидеальной юстировки приборов для более точного вычисления интерференционных картин на экране. Входящий в элемент свет описывается как вектор столбец размером 4×1 (два входа), а выходящий как вектор столбец размером 8×1 (два выхода, и на каждом список из двух волн). Таким образом, матрица оператора имеет размер 8×4 :

$$\begin{Bmatrix} A_3^{x1} \\ A_3^{y1} \\ A_3^{x2} \\ A_3^{y2} \\ A_4^{x1} \\ A_4^{y1} \\ A_4^{x2} \\ A_4^{y2} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{Bmatrix} A_1^x \\ A_1^y \\ A_2^x \\ A_2^y \end{Bmatrix},$$

где A_1 и A_2 – приходящие волны, а A_3 и A_4 – выходящие.

Экран

«Экран» – это элемент, который имеет один вход. На нем происходит сложение приходящего списка волн и расчет с последующей визуализацией в отдельном окне графика интенсивности.

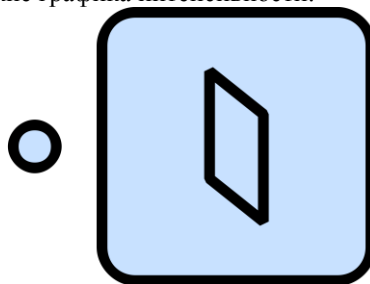


Рис. 3 – изображение элемента «Экран»

Для наблюдения интерференционной картины необходимо, чтобы приходящие на экран волны были не параллельными, а располагались под малым углом друг к другу [6]. Именно в этом элементе необходимо вносить поправку на не идеальность юстировки приборов. Для добавления данной поправки была разработана следующая модель. Пусть на экран приходит список волн, который не несет информации о их взаимном расположении. В рамках модели полагается, что волны приходят на экран под одинаковыми углами между соседями. Этот угол задается в программе через функцию f и параметр Δk , который влияет на период интерференционной картины.

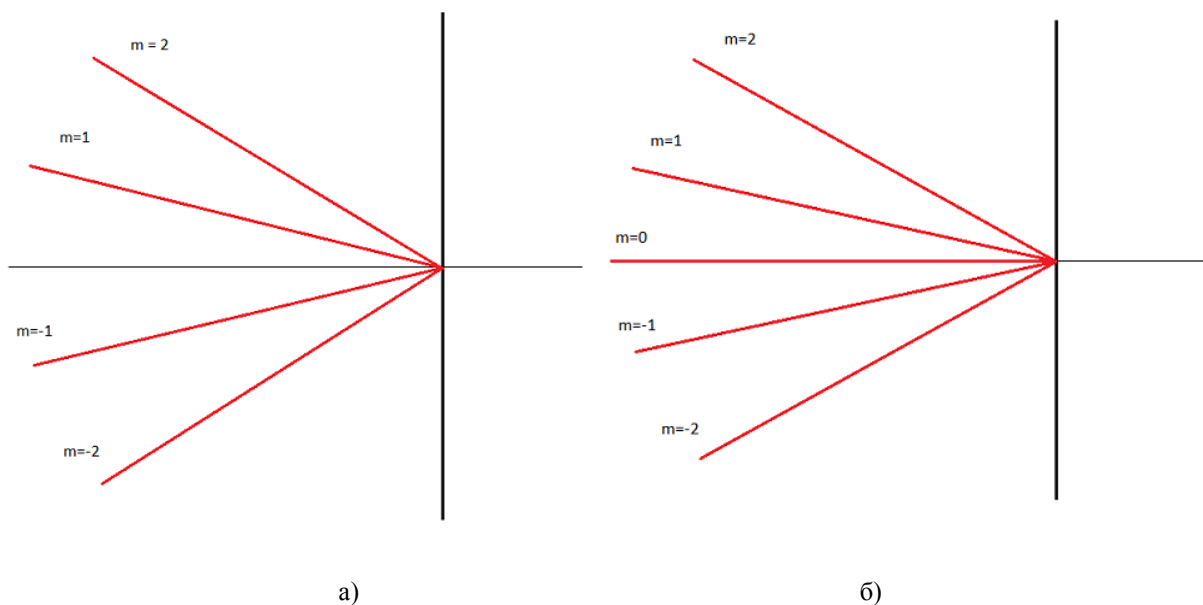


Рис. 4 – Модель приходящих на экран волн:
а) четного числа; б) нечетного числа

В рамках приведенной модели j – я волна, приходящая на экран, будет записываться следующим образом:

$$\vec{E}_j(z, l, t) = \vec{A} e^{if(j)\Delta k l} e^{i(kz - \omega t)},$$

где \vec{A} – вектор комплексной поляризации, $f(j)$ – функция, определяющая угол падения j -й волны на экран, Δk – волновой вектор, который направлен вдоль экрана по направлению l .

Функция $f(j)$ зависит от количества приходящих волн n (четное или нечетное), и в логическом виде записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} &\text{Для четных } n: \\ &\begin{cases} f(j) = j - 1 - \frac{n}{2}, \text{ если } j < \frac{n}{2}; \\ f(j) = j - \frac{n}{2}, \text{ если } j > \frac{n}{2}. \end{cases} \\ &\text{Для нечетных } n: \\ &f(j) = j - \frac{n+1}{2}. \end{aligned}$$

Для вычисления интенсивности света на экране необходимо произвести суммирование всех приходящих волн (с учетом параметров отклонений):

$$I = \alpha \left| \sum_{j=1}^n \vec{E}_j(z, l, t) \right|^2 = \alpha \left| \sum_{j=1}^n \vec{A} e^{if(j)\Delta kl} \right|^2,$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, c – скорость света, $\alpha = \epsilon_0 c / (8\pi)$.

Интенсивность может быть разложена на две независимые компоненты – x и y [7]. Это позволит упростить вычисления:

$$I = I_x + I_y$$

Интенсивность по одному из направлений (пусть будет x) может быть выражена следующим образом:

$$I_x = \alpha |E_x|^2 = \alpha \left(\sum_{j=1}^n A_j^x e^{if(j)\Delta kl} \right) \left(\sum_{p=1}^n A_p^x e^{if(p)\Delta kl} \right)^*,$$

где $a_{jp} = A_j^x (A_p^x)^*$, $b_{jp} = \text{Re}(a)$, $d_{jp} = \text{Im}(a)$.

Подставляя значения a_{jp} , b_{jp} , d_{jp} , получаем следующее уравнение:

$$I_x = \alpha \left[\sum_{m=1}^n |A_m^x|^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{j-1} 2 \{ b \cos(f(j) - f(p)) \Delta kl - d \sin(f(j) - f(p)) \Delta kl \} \right].$$

Аналогичное выражение будет и для y – составляющей. Данный вид уравнения для интенсивности позволяет на качественном уровне проанализировать характер интерференционной картины по наличию в формуле косинусов и синусов и стоящих в них величинах.

Условия нормировки и затухания интенсивности света на экране

Для получения физически-верных результатов интенсивности на экране необходимо найти значение напряженности выходящего света из лазера. Эта величина может быть получена из интенсивности лазерного пучка. За базовый параметр была взята интенсивность равная 1000 мВт/мм^2 . Тогда напряженность электрического поля может быть вычислена из следующих уравнений:

$$I_{\text{laser}} = \alpha |\vec{E}_0|^2,$$

где \vec{E}_0 – комплексная напряженность электрического поля лазера. Предполагается, что свет обладает диагональной поляризацией, тогда вектор напряженности можно записать в следующем виде:

$$\vec{E}_0 = \vec{i}E_x + \vec{j}E_y.$$

Пусть $E_x = E_y = a + ia$, что соответствует диагональной поляризации, тогда:

$$I_{\text{laser}} = 2\alpha |E_x|^2 = 2\alpha (a + ia)(a - ia) = 4\alpha a^2,$$

где параметр a вычисляется следующим образом:

$$a = \sqrt{\frac{I_{\text{laser}}}{4\alpha}}.$$

Более реалистичная эмуляция обеспечится путем добавления эффекта затухания интенсивности света на экране. Размер экрана был принят равным 100 мм, причем размер хорошо наблюдаемой интерференционной картины составляет около 50 мм (считается, что в реальной установке такие размеры интерференционных картин соответствовали бы постановке увеличительной линзы). Для этого вводится искусственное домножение вычисленной интенсивности на следующую функцию:

$$\varphi(l) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} e^{-\frac{l^2}{\sigma^2}}$$

где l – отклонение от центра экрана, σ – расстояние от центра, на котором интенсивность света упадет в e раз. Для моделирования был выбран параметр $\sigma = 25 \text{ мм}$.

Расчет интенсивности производится только для оси l , в связи с чем необходимо перенормировать интенсивность на одну ось и учитывать рассеивание пучка линзой. Энергия, которую несет лазерный пучок – 1000 мВт (в стандартных настройках), распределяется по всей ширине экрана в соответствии с функцией φ , причем $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(l) dl = 1$ – если энергия излучения не теряется в элементах системы (например, в поляризаторах), тогда суммарная энергия света на экране равняется энергии лазерного пучка. Таким образом, интенсивность на экране обладает размерностью мВт/мм.

Для получения удобных для анализа интерференционных картин необходимо подобрать угол (параметр Δk), под которым две волны падают друг относительно друга. Пусть на полном экране укладывается 10 колебаний с самым высоким периодом (что соответствует величинам, стоящим в функциях \cos и \sin в уравнении для интенсивности). Тогда параметр отклонения Δk можно найти следующим образом:

$$\Delta k = \frac{2\pi N}{l_{\text{displ}}} = \frac{20\pi}{100} = \frac{\pi}{5},$$

где N – число периодов на экране, l_{displ} – размер экрана.

Примеры собранных экспериментальных установок

Для примера работы программы были выбраны следующие установки – «Интерферометр Маха-Цендера» и «Квантовый ластик». Эти установки просты как в реальной, так и в программной реализации, и позволяют оценить работоспособность программы.

Интерферометр Маха-Цендера

Интерферометр Маха-Цендера состоит из двух полупрозрачных зеркал (ППЗ) и двух обычных зеркал. Луч света разделяется на первом ППЗ, перенаправляется на зеркалах, и собирается на втором ППЗ. Из-за того, что два пучка света из плеч интерферометра пришли под малым углом относительно друг друга, то на выходе из интерферометра будет наблюдаться интерференционная картина [8]. В представленной программе элемент «Зеркало» отсутствует из-за отсутствия необходимости, поэтому интерферометр «Маха-Цендера» реализуется на двух ППЗ (рис. 5). В плечи интерферометра можно внести такой элемент как «Линия задержки», это сдвинет интерференционную картину на экране на соответствующую величину задержки (рис. 6).

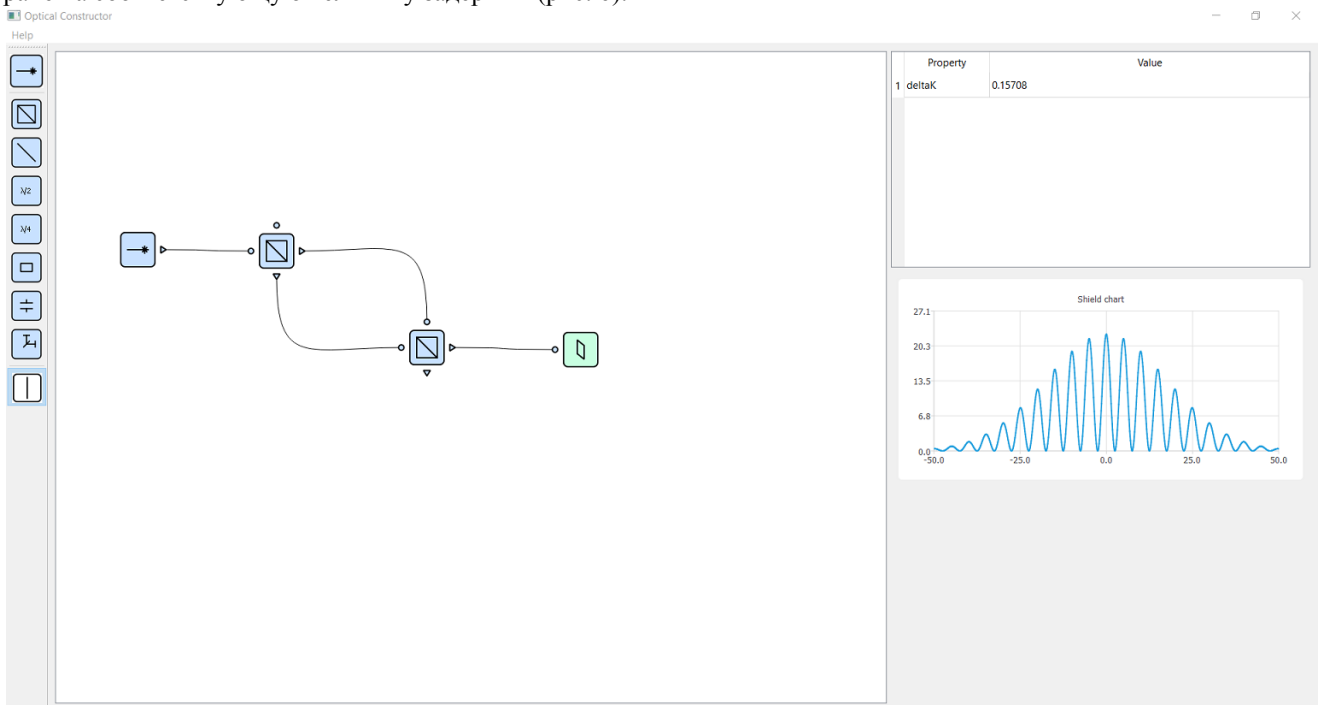


Рис. 5 – Модель установки «Интерферометр Маха-Цендера»

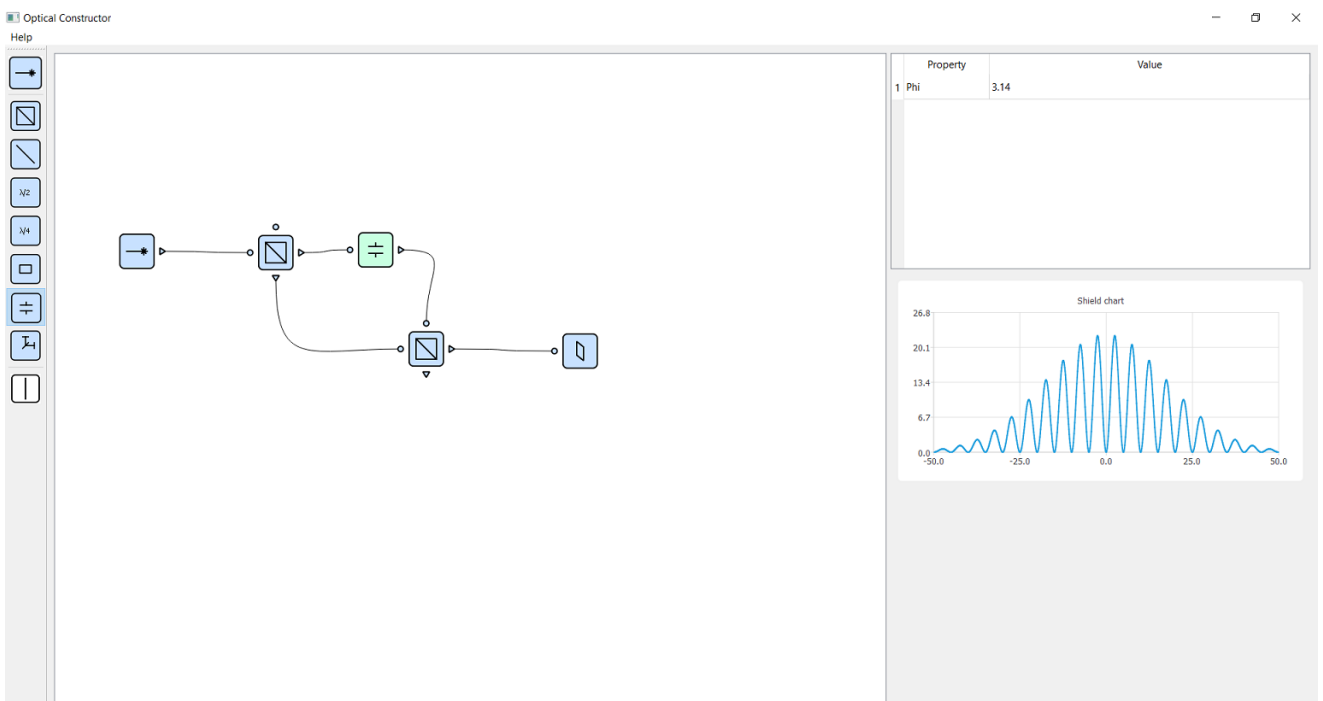


Рис. 6 – Модель установки «Интерферометра Маха-Цендера» с линией задержки в верхнем плече

Эксперимент «Квантовый ластик»

Экспериментальная установка «Квантовый ластик» подробно описана в работе [9], и является переделанной установкой интерферометра «Маха-Цендера». Установка состоит из одного поляризационного светоделителя, одного ППЗ, двух зеркал и трех поляризаторов (в нашей программе отсутствуют два зеркала и вместо трех поляризаторов используется один). Свет от лазера проходит через диагональный поляризатор (в программной реализации диагональную поляризацию можно задать в настройках излучения самого лазера) и попадает в поляризационный светоделитель, затем разделяется на два направления и собирается на ППЗ. После ППЗ свет проходит через второй поляризатор, и, в зависимости от установленной плоскости поляризации, может

наблюдаться интерференционная картина на экране. При горизонтальной или вертикальной ориентации плоскости поляризации интерференционной картины наблюдаться не будет (рис. 7), а при диагональной наблюдается наиболее выраженная интерференционная картина (рис. 8).

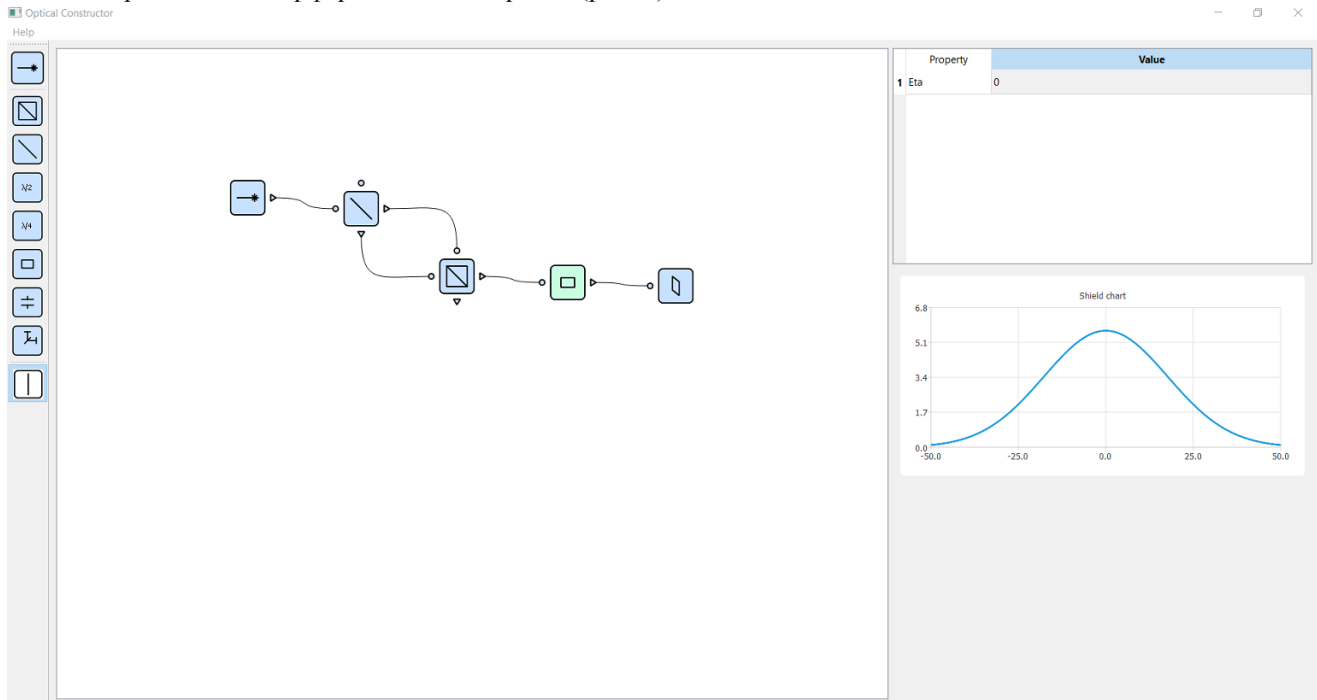


Рис. 7 – Модель установки «Квантовый ластик» с горизонтальным поляризатором

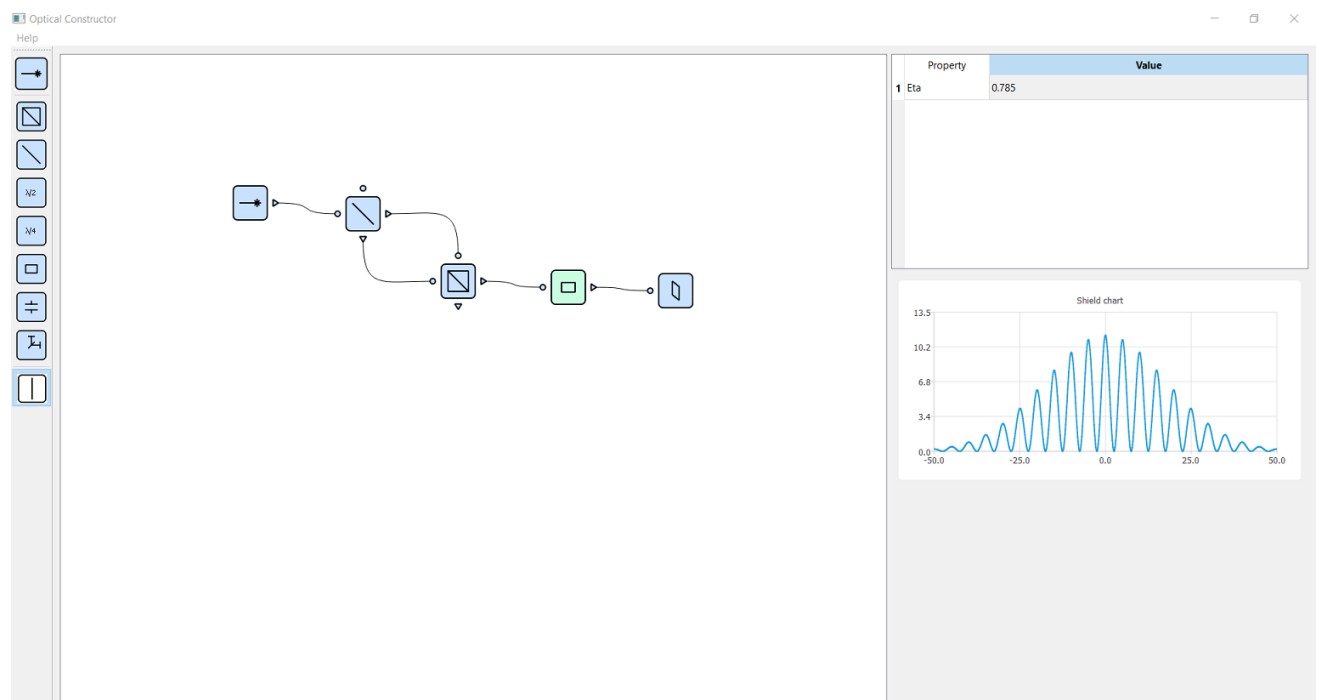


Рис. 8 – Модель установки «Квантовый ластик» с диагональным поляризатором

Заключение

В результате работы была создана программа, в которой моделируются эффекты волновой оптики. Система автоматизированного проектирования «Оптический конструктор» несет в себе образовательную цель, так как обладает достаточно простым и интуитивно понятным интерфейсом, и наглядно показывает эффекты волновой оптики, например, такие как поляризация и интерференция. Программа, а также более подробное математическое описание доступно по ссылке [10]. В дальнейшем планируется добавление встроенных обучающих лабораторных работ по теме «Волновая оптика» для студентов технических специальностей, системы справоч, и готовых моделей физических установок с теоретическим описанием эффектов.

Благодарности

Авторы работы выражают глубокую благодарность Киктенко Е.О. за наставления и ценные комментарии в процессе выполнения работы, а также Скуйбину Б.Г. и Морозову А.Н. за предоставленную возможность выполнения работы в рамках проекта студенческой экспериментальной лаборатории физики (СЭЛФ) МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Acknowledgement

The authors of the paper express their deep gratitude to E.O. Kiktenko for instructions and valuable comments during the process of execution of work, and also to Skuibin B.G. and Morozov A.N. for the given opportunity to perform work in the framework of the project of the student experimental physics laboratory (SELF) in Bauman Moscow State Technical University.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы/References

1. Мартинсон Л. К. Электромагнитное поле : учеб. пособие / Л. К. Мартинсон, А. Н. Морозов, Е. В. Смирнов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 422 с.
2. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. В 10 ч. Ч. 6. Электродинамика. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М. : Эдиториал УРСС 2004. – 339 с.
3. Сивухин Д.В. Оптика / Д.В. Сивухин. – 3-е изд. – М. : Физматлит, 2005. – 792 с.
4. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы / И.Е. Иродов. – 7-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 263 с. – ISBN 978-5-9963-1897-1
5. Калитеевский Н.И. Волновая оптика : учеб. пособие для вузов / Н.И. Калитеевский – 2-е изд. М. : Высшая школа, 1978 – 383 с.
6. Ландсберг Г.С. Оптика : учеб. пособие для вузов / Г.С. Ландсберг. – 6-е изд. – М. : Физматлит, 2003. – 848 с. – ISBN 5-9221-0314-8
7. Бутиков Е. И. Оптика : учеб. пособие для вузов / Е.И. Бутиков ; под ред. Н.И. Калитеевского. – М. : Высш. шк., 1986. – 512 с.
8. Михельсон А.В. Волновая оптика : учеб. пособие / А. В. Михельсон, Т.И. Папушина, А.А. Повзнер и др. ; под общ. ред. А.А. Повзнера. – Е. : Урал. ун-т, 2013. – 119с.
9. Киктенко Е.О. О возможности обсуждения эксперимента по стиранию квантовой информации в лабораторной работе по классической оптике / Е.О. Киктенко, Н.А. Афонькина, Б.Г. Скуйбин // Физическое образование в вузах. – 2017. – №4. – С. 85 – 94.
10. Bitbucket [Электронный ресурс] – URL: <https://bitbucket.org/iminchenko/opticalexperiment> (дата обращения: 28.05.2018).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Martinson L. K. Jelektromagnitnoe pole : ucheb. posobie [Electromagnetic field : education manual] / L. K. Martinson, A. N. Morozov, E. V. Smirnov. – М. : Izd-vo MGTU im. N.Э. Bauman, 2013. – 422 p. [in Russian]
2. Fejnman R. Fejnmanovskie lekcii po fizike. V 10 ch. Ch. 6. Jelektrodinamika. [The Feynman lectures on physics. In the 10 h P. 6 Electrodynamics] / R. Fejnman, R. Lejton, M. Sjends. М. : Jeditorial URSS 2004. – 339 p. [in Russian]
3. Sivuhin D.V. Optika [Optics] / D.V. Sivuhin – 3-rd edition – М. : Fizmatlit, 2005. – 792 p. [in Russian]
4. Irodov I.E. Volnovye processy. Osnovnye zakony [Wave processes. Basic laws] / I.E. Irodov. – 7-th edition. – М. : BINOM. Laboratorija znaniy, 2015. – 263 p. – ISBN 978-5-9963-1897-1 [in Russian]
5. Kaliteevskij N.I. Volnovaja optika : ucheb. posobie dlja vuzov [Wave optics : manual for university] / N.I. Kaliteevskij. – 2-nd edition. М. : Vysshaja shkola, 1978 – 383 p. [in Russian]
6. Landsberg G.S. Optika : ucheb. posobie dlja vuzov [Optics: manual for university] / G.S. Landsberg. – 6-th edition. – М. : Fizmatlit, 2003. – 848 p. – ISBN 5-9221-0314-8 [in Russian]
7. Butikov E. I. Optika: ucheb. posobie dlja vuzov [Optics: manual for university] / E.I. Butikov ; edited by N.I. Kaliteevskogo. – М. : Vyssh. shk., 1986. – 512 p. [in Russian]
8. Mihel'son A.V. Volnovaja optika : ucheb. posobie [Wave optics : education manual] / A.V. Mihel'son, T.I. Papushina, A.A. Povzner and others. ; edited by A.A. Povznера. – Е. : Ural. un-t, 2013. – 119p. [in Russian]
9. Kiktenko E.O. O vozmozhnosti obsuzhdenija jeksperimenta po stiraniju kvantovoj informacii v laboratornoj rabote po klassicheskoj optike [Discussion of the Role of Quantum Information in the Framework of Laboratory Practice on Classical Optics] / E.O. Kiktenko, N.A. Afon'kina, B.G. Skujbin // Fizicheskoe obrazovanie v vuzah [Physical education in universities]. – 2017. – №4. – P. 85 – 94. [in Russian]
10. Bitbucket [Electronic resource] – URL : <https://bitbucket.org/iminchenko/opticalexperiment> (accessed: 28.05.2018).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.02>

К ПРОЕКТИВНЫМ СВОЙСТВАМ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ. ЧАСТЬ II. О МЕРАХ И КРИВИЗНЕ В КЛАССИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ ЛОБАЧЕВСКОГО – БОЛЬЯИ

Научная статья

Пермикин В.С.*

ООО «НПМ «Ньютоника», Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (vladimir.permikin[at]yandex.ru)

Аннотация

В предположении, что 4-х мерное физическое пространство (пространство-время) является проективным, а его геометрия – классической неевклидовой геометрией Лобачевского – Больяи (гиперболической геометрией) рассмотрены следующие задачи: 1) обоснование с помощью проективной геометрии существования в геометрии Лобачевского – Больяи двух основных неевклидовых мер расстояния – аддитивной классической неевклидовой меры и неаддитивной неевклидовой меры, которая является обобщением физического интервала между событиями; 2) вывод формул, описывающих преобразование координат между двумя автополярными системами координат, – рассмотрен случай взаимного расположения двух автополярных систем координат 4-х мерного проективного гиперболического пространства, когда ось времени и одна из координатных пространственных осей обеих систем лежат в одной плоскости, а две другие оси систем соответственно попарно параллельны; 3) обоснование кривизны плоской неевклидовой геометрии как кривизны меры; 4) вывод формул, описывающих изменение со временем расстояния, скорости и ускорения между инерциальными системами в 4-х мерном случае.

Ключевые слова: ускоренное расширение Вселенной, тёмная энергия, геометрия проективная, псевдоевклидова, гиперболическая, неевклидова, геометрия Лобачевского – Больяи, автополярная система координат, Абсолют, вурф, двойное отношение, кривизна меры, гауссова кривизна поверхности.

TO PROJECTIVE PROPERTIES OF THE PHYSICAL SPACE-TIME.

PART II. MEASURES AND CURVATURE IN CLASSICAL THE GEOMETRY OF LOBACHEVSKY – BOLYAI

Research article

Permikin V.S.*

LLC “NPM “Newtonic”, Ekaterinburg, Russia

* Corresponding author (vladimir.permikin[at]yandex.ru)

Abstract

Under the assumption that 4-dimensional physical space (space-time) is projective, and its geometry the classical non-Euclidean geometry of Lobachevsky – Bolyai (hyperbolic geometry) the following tasks: 1) the rationale for using projective geometry for the existence in the geometry of Lobachevsky – Bolyai's two main non-Euclidean measures of distance – additive classical non-Euclidean and non-Euclidean non-additive measure which is a generalization of the physical interval between the events; 2) derivation of the formulas describing the transformation of coordinates between two autopolarity coordinate systems – the case of the mutual arrangement of the two autopolarity coordinate systems are 4-dimensional projective hyperbolic space, when the time axis and one spatial coordinate axes of both systems lie in the same plane, and the other two axis systems are pairwise parallel; 3) justification of curvature of the flat non-Euclidean geometry as curvature measures; 4) derivation of the formulas describing the change with time of distance, speed and acceleration between inertial systems in 4-dimensional case.

Keywords: accelerated expansion of the Universe, dark energy, projective geometry, pseudo-Euclidean, hyperbolic, non-Euclidean geometry of Lobachevsky – Bolyai, autopolarity coordinate system, the Absolute, Worf, double ratio, curvature measure, the Gaussian curvature of the surface.

Введение

Данное сообщение является непосредственным продолжением статьи [1], в которой выдвинуто утверждение, что 4-х мерное физическое пространство (пространство-время) является проективным пространством и обладает гиперболической (псевдоэллиптической – по терминологии Феликса Клейна [2, С. 247]) геометрией Лобачевского – Больяи. В [1] показано, что в геометрии Лобачевского – Больяи две инерциальные системы имеют относительное ускорение всегда, даже в момент времени, когда их относительная скорость равна нулю (если такой момент имеется – при компланарности их мировых линий). Но это ускорение не является следствием действия на них каких-либо сил, а является проявлением структуры гиперболической проективной (псевдоэллиптической) геометрии. Две системы инерциальные с массами равными массе Земли, или даже солнечной, находящиеся на расстоянии в мегапарсек (и удаляющиеся относительно друг друга со скоростью 70 км/сек), вполне можно считать гравитационно не взаимодействующими между собой. Если принять, что в реальном физическом пространстве на таких больших расстояниях проявляются особенности гиперболической проективной геометрии, то для описания ускоренного расширения Вселенной не будет необходимости привлекать тёмную энергию.

В качестве основных методов исследования используется методы проективной геометрии. Связано это с тем, что проективный метод позволяет исследовать структуру геометрии в целом, как единого целого [3, С. 206], [4, С. 82]. Проективный метод позволяет рассматривать геометрию не только какой-либо ограниченной области пространства, и не только пространство всей Вселенной, но и целиком все физическое пространство-время как единую физическую сущность.

Об основных мерах в геометрии Лобачевского – Больяи с точки зрения проективной геометрии

В качестве основных мер расстояния между двумя точками на прямой, в статье [1] рассмотрены две группы неевклидовых мер. Одна из них является классической, т.е. такой неевклидовой мерой, которая обладает свойством аддитивности. В качестве второй основной неевклидовой меры выбрана мера наблюдаемой физической величины расстояния (пространственной длины, длительности интервала времени и величины интервала между событиями). В статье утверждается, что неевклидова физическая мера расстояния является бельтрамиевой функцией [5, С. 193], аддитивной неевклидовой меры расстояния. Для обоснования этого утверждения было использовано имеющееся в псевдоевклидовой геометрии аналогичное соответствие между быстротой – аддитивным аргументом и его бельтрамиевой функцией – скоростью, которая является наблюдаемой физической величиной.

В виду важности вопроса о мерах, как основных геометрических параметрах, ниже приведён способ введения мер расстояния в неевклидовой геометрии с помощью проективных методов без использования, указанной выше аналогии.

Для упрощения рассмотрим 2-у мерный случай – гиперболическую плоскость Лобачевского – Больяи, т.е. ту, которая пересекает Абсолют. Ниже, как и в [1, С. 108, рис. 3], для введения координат используется простейший проективный инвариант «вурф» – упорядоченная четверка элементов, принадлежащих линейно упорядоченному замкнутому образу [6, С. 15], [7, С. 289]. Так же будем считать, что на рассматриваемой гиперболической плоскости уже имеется евклидово мероопределение (евклидова геометрия). Данное предположение позволит нам использовать понятие двойного отношения, выраженное в евклидовых длинах.

Чтобы избежать неопределённости при задании вурфа и вида двойного отношения мы будем придерживаться следующих соглашений:

1. Элементы вурфа будут записываться так, как они упорядочены на носителе в положительном направлении, начиная с элемента, от которого мы определяем расстояние.
2. Выбор пар элементов вурфа при числовом определении расстояния будет выбираться однозначно, в зависимости от рассматриваемой задачи.
3. Далее применяются следующие обозначения: вурф будет записываться в круглых скобках, его числовое значение в квадратных скобках. Если расставлены стрелки, то значит выбрано одно из возможных числовых значений вурфа. Если для числового значения выбрано его представление через двойное отношение, то оно будет записываться в явном виде.

Пользуясь евклидовым мероопределением, определим координаты как расстояния от начальной точки O до проекций точки M на оси a и b с помощью двух вурфов (O, M_a, E_a, B) и (O, M_b, E_b, A) и на их основе двойных отношений, имеющих следующую структуру:

$$q = \frac{\overrightarrow{[O, M_a, E_a, B]}}{\overrightarrow{[O, M_a, E_a, B]}} = \frac{\overrightarrow{OM_a} \cdot \overrightarrow{E_a B}}{\overrightarrow{OE_a} \cdot \overrightarrow{M_a B}},$$

$$h = \frac{\overrightarrow{[O, M_b, E_b, A]}}{\overrightarrow{[O, M_b, E_b, A]}} = \frac{\overrightarrow{OM_b} \cdot \overrightarrow{E_b A}}{\overrightarrow{OE_b} \cdot \overrightarrow{M_b A}}. \quad (1)$$

Будем называть эти координаты нормированными физическими: нормированное пространственное расстояние – q и нормированное время – h .

При таком определении расстояния координаты узловых точек вурфов будут иметь значения:

$$q_O = 0, q_E = 1, q_B = \infty; h_O = 0, h_E = 1, h_A = \infty.$$

На оси o с помощью вурфа (A, M_o, E_o, B) аналогично определим третью координату – f , которую будем называть нормированной скорости-подобной координатой точки:

$$f = q/h$$

Поскольку построенная система координат автополярна относительно Abs , а сами координаты нормированы относительно точки E , то уравнение Abs в нормированных физических координатах будет иметь максимально простой канонический вид:

$$h^2 - q^2 = 1.$$

А если на координатных осях выбраны другие отрезки, не связанные с точкой E , то в ненормированных физических координатах общего вида $(x$ и $t)$ уравнение Abs будет следующим:

$$\frac{t^2}{\chi^2} - \frac{x^2}{\chi^2 c^2} = 1, \quad (2)$$

здесь c – скорость света; χ – длина отрезка OE_b в единицах масштабного отрезка оси времени b [1, С. 107, рис. 3].

Найдем координаты точек пересечения координатных осей с Abs . Координаты этих точек мы будем записывать с индексами в виде римских цифр. Abs пересекает ось времени и ось скорости в их действительных точках, координаты которых в построенной системе координат имеют действительные значения:

$$t_{I,II} = \pm \chi \quad (h_{I,II} = \pm 1); v_{I,II} = \pm c \quad (f_{I,II} = \pm 1)$$

Abs пересекает пространственную ось координат в двух некоторых абстрактных точках, координаты которых имеют мнимые значения: $x_{II,I} = \pm i \chi c$ ($q_{II,I} = \pm i$). Здесь изменен порядок точек (маркированных индексами I и II), но мы по-прежнему (как и для осей времени и скорости) считаем, что Abs пересекает пространственную ось в ее положительном направлении в точке с индексом I . Эта перестановка необходима для того, чтобы функциональная связь между аддитивной неевклидовой мерой и неевклидовой физической мерой не зависела от типа точек (действительных или абстрактных), в которых Abs пересекает ось.

Рассмотрим далее два вида вурфов:

$$(W_1) = (s_O, s_M, s_I, s_{II}),$$

$$(W_2) = (s_O, s_M, s_I, s_{\alpha O(I,II)}),$$

где s – евклидова координата точки на какой-либо из координатных осей нашей системы или координата, определенная по правилам (1):

s_O – координата начальной точки O ;

s_M – координата точки проекции M на соответствующую ось;

s_I, s_{II} – координаты точек I и II пересечения оси с Abs ;

$s_{\alpha O(I,II)}$ – координата точки, расположенной гармонически (α – от греч. *αρμονικη*) точке O относительно пары точек I и II (точка, соответствующая точке O в инволюции с двойными точками I и II : на оси b – это точка A , а на оси a – точка B).

Структуру двойного отношения первого вурфа

$$[W_1] = \left[\overrightarrow{s_O, s_M}, \overrightarrow{s_I, s_{II}} \right] = \frac{(s_I - s_O)(s_{II} - s_M)}{(s_I - s_M)(s_{II} - s_O)} \quad (3)$$

определим, исходя из требования мультипликативности числовых значений вурфов этого вида:

$$[s_O, s_N, s_I, s_{II}] = [s_O, s_M, s_I, s_{II}] [s_M, s_N, s_I, s_{II}]$$

Для второго вурфа структуру его двойного отношения будем считать аналогичной структуре двойных отношений (1), с помощью которых мы определили физические координаты:

$$[W_2] = \left[\overrightarrow{s_O, s_M}, \overrightarrow{s_I, s_{\alpha O(I,II)}} \right] = \frac{(s_M - s_O)(s_{\alpha O(I,II)} - s_I)}{(s_I - s_O)(s_{\alpha O(I,II)} - s_M)} \quad (4)$$

Можно показать, что между этими двойными отношениями имеется следующая зависимость:

$$[W_1] = \frac{1 + [W_2]}{1 - [W_2]} \quad (5)$$

Вслед за Ф. Клейном [2] в качестве аддитивной неевклидовой меры расстояния мы возьмём логарифм мультипликативной величины $[W_1]$ с некоторым коэффициентом. Обозначим эту аддитивную меру как δ , а коэффициент определим исходя из условия равенства мер δ и $[W_2]$ в малом. Тогда будем иметь следующее соотношение:

$$\delta = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + [W_2]}{1 - [W_2]} \quad (6)$$

Исходя из этого общего соотношения, для пространственной оси и оси времени зависимости между их аддитивными и физическими неевклидовыми мерами будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \delta_q &= i\alpha = \frac{1}{2} \ln \frac{1+iq}{1-iq} \\ \delta_h &= \beta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+h}{1-h} \end{aligned}$$

Окончательно для действительных значений мер эти зависимости будут следующими:

$$x/\chi c = q = \operatorname{tg} \alpha \text{ и } t/\chi = h = \operatorname{th} \beta$$

Видно, что физические неевклидовы координаты не обладают свойством аддитивности в отличие от линейных координат евклидовой геометрии. Свойством аддитивности обладают их обратные функции – углы.

После того как найдена связь между аддитивной неевклидовой мерой и неевклидовой физической мерой, определены сами меры, евклидова мера на рассматриваемой плоскости нам больше не нужна. При дальнейших рассуждениях ее можно не использовать.

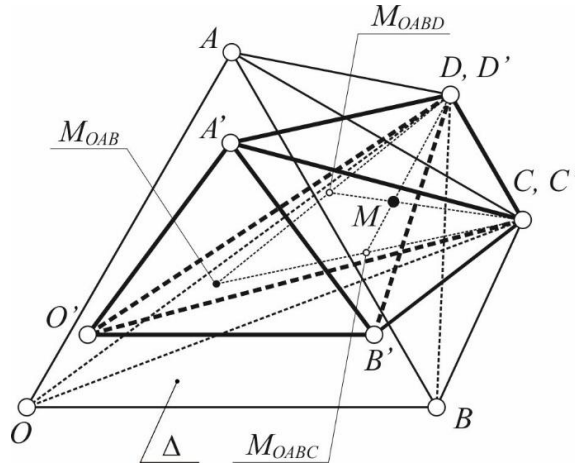
До нахождения аналитического вида преобразований координат сделаем замечание о метрике углов на проективной гиперболической плоскости. Введенные в [1] меры длины – неевклидова аддитивная мера и неаддитивная физическая мера полностью применимы для введения метрики углов в пучке прямых. Исходя из свойств полярного соответствия, определяемого Абсолютом плоскости, и справедливости в плоскости малого принципа двойственности, можно считать, что *мера угла совпадает с нормированной аддитивной мерой того отрезка поляры вершины угла, на который опирается угол*.

В случае эллиптического угла это не совсем очевидно: если вершина угла находится внутри Abs , то для построения вурфа в пучке прямых необходимо принять, что через вершину угла, кроме двух прямых (действительных), угол между которыми мы определяем, проходят также и две абстрактные прямые, которые пересекают полярю вершины угла в тех же абстрактных точках, в которых ее пересекает и Abs .

О преобразовании координат между автополярными системами координат

Имеются различные способы нахождения аналитического вида искомого преобразования. Один из способов, в котором используются координаты узловых точек автополярных систем координат и общий дробно-линейный вид проективных коллинеарных преобразований, применен в [1] для нахождения вида элементарного (поворота вокруг одной из узловых точек) гиперболического поворота. При другом способе, который и описан ниже, используются элементарные, в данном случае гиперболические, повороты и их аналитический вид, выраженный через однородные координаты.

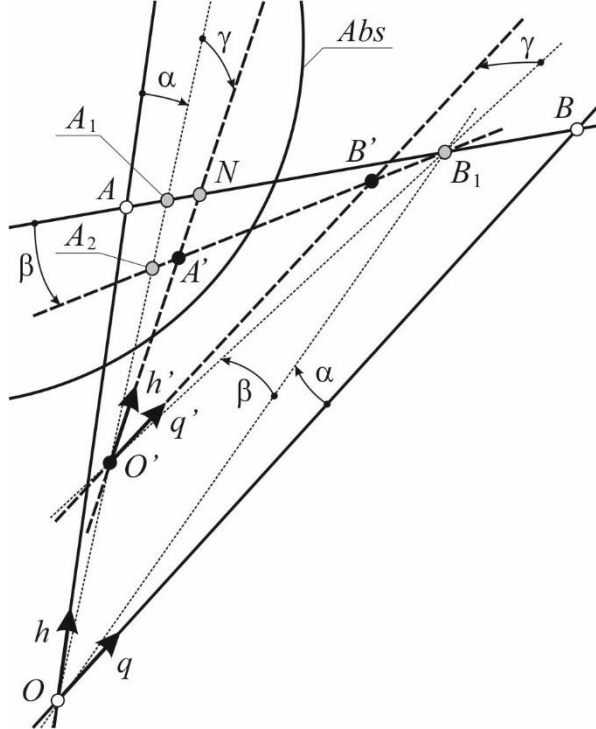
Рассмотрим следующий частный случай взаимного расположения двух автополярных систем координат. Пусть мы имеем две автополярные системы координат, расположенные как показано на рис. 1. Их координатные оси q (OB), h (OA) и q' ($O'B'$), h' ($O'A'$) лежат в одной плоскости (назовем ее плоскостью Δ), а оси l (OC), l' ($O'C'$) и n (OD), n' ($O'D'$) попарно параллельны, т.е. узловые точки C , C' и D , D' попарно совпадают.

Рис. 1 – Взаимное расположение двух автополярных систем координат $OABCD$ и $O'A'B'C'D'$

В отношении же точки (события) мы считаем, что она принадлежит рассматриваемому координатному пента-тетраэдру (пусть, как показано на рис. 1, это точка M), но не принадлежит никакому одному элементу автополярной конфигурации (узловой точке, координатной линии, координатной плоскости или координатному тетраэдру). Найдем проекцию точки M на плоскость OAB (на рис. 1 это точка M_{OAB}). Для этого вначале спроектируем ее из точки C, C' (или из точки D, D') в координатный тетраэдр $OABD$ в точку M_{OABD} (или, соответственно, в тетраэдр $OABC$ в точку M_{OABC}), а затем из точки D, D' (C, C') на плоскость OAB (Δ). Поскольку точки C, C' и D, D' не участвуют в преобразованиях (переходят сами в себя), то и построенная проекция точки M на плоскость OAB (Δ) не зависит от рассматриваемого преобразования координат.

Это обстоятельство позволяет вначале найти преобразование между системами координат, расположенными в плоскости Δ , а затем общее преобразование для остальных двух координат точки M .

Рассмотрим плоскость Δ . Положение в этой плоскости одной из автополярных систем координат ($O'A'B'$) относительно другой (OAB) может быть задано координатами точки, принимаемой за начало координатной системы (q_O, h_O), величиной скорости F_b (на рис. 3 это интервал между двумя точками A и N) и направлением времени (одним из двух направлений прямой, на которой лежит ось времени).

Рис. 2 – Плоскость Δ . Преобразование автополярной системы координат OAB в автополярную систему $O'A'B'$ с помощью трех гиперболических поворотов α, β и γ

Искомое преобразование (системы O, q, h в систему координат O', q', h') может быть найдено как последовательность (поскольку эти повороты некоммутативны) трех элементарных поворотов, например, трех следующих гиперболических поворотов (см. рис. 2):

1. Поворот системы OAB вокруг точки O на гиперболический угол α до ее перехода в систему OA_1B_1 , где:

$$\alpha = \operatorname{arth} s_{AA_1} = \operatorname{arth} \frac{q_{O'}}{h_{O'}} \quad (7)$$

2. Поворот системы B_1OA_1 на гиперболический угол β вокруг точки B_1 до ее перехода в систему $B_1O'A_2$, где:

$$\beta = \operatorname{arth} s_{OO'} = \operatorname{arth} \sqrt{h_{O'}^2 - q_{O'}^2} \quad (8)$$

Общий вид интервала s_{12} приведен в [1, С. 109, 110, (6), (7)].

3. И поворот на гиперболический угол γ системы $O'A_2B_1$ вокруг точки O' до перехода ее в систему $O'A'B'$, где:

$$\gamma = \text{arth } s_{A_2A'} = \text{arth} \frac{F_b h_{O'} - q_{O'}}{h_{O'} - q_{O'} F_b} \sqrt{1 - h_{O'}^2 + q_{O'}^2} \quad (9)$$

Переходя от дробно-линейного вида проективного коллинеарного преобразования к линейному виду с помощью перехода от физических координат к однородным (u_1, u_2, u_3) по правилу:

$$h = \frac{u_1}{u_3}, \quad q = \frac{u_2}{u_3} \quad (10)$$

можно каждому из поворотов сопоставить матрицу размерностью 3×3 коэффициентов линейной системы. Тогда результирующая матрица найдется как их произведение.

Для выяснения как преобразуются координаты точки, не принадлежащие плоскости Δ , рассмотрим преобразование координатного пента-тетраэдра при элементарном повороте. Пусть это поворот вокруг точки O в плоскости Δ . Рассматривая по отдельности пары координатных тетраэдров (см. рис. 3): $OABC$, $OA'B'C$, и $OABD$, $OA'B'D$ можно убедиться, что при элементарном повороте координаты ортогональные плоскости поворота остаются неизменными.

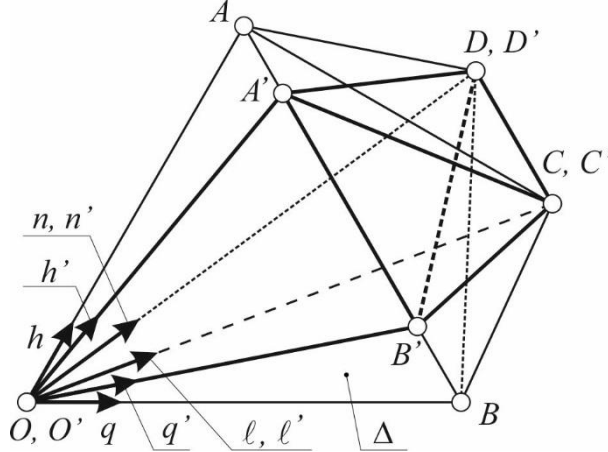


Рис. 3 – Преобразование координатного пента-тетраэдра при элементарном повороте вокруг точки O в плоскости OAB

С учетом этого результирующая матрица преобразования однородных координат может быть получена как произведение следующих трех матриц размерностью 5×5 :

$$d_{ij} = c_{ik} b_{kl} a_{lj} = \begin{pmatrix} ch\gamma & -sh\gamma & 0 & 0 & 0 \\ -sh\gamma & ch\gamma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ch\beta & 0 & 0 & 0 & -sh\beta \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -sh\beta & 0 & 0 & 0 & ch\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ch\alpha & -sh\alpha & 0 & 0 & 0 \\ -sh\alpha & ch\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Переходя от однородных координат к физическим, преобразующимся по дробно-линейному закону, после упрощений будем иметь:

$$h' = \frac{-K(q - q_{O'}) + h - h_{O'}}{1 - h_{O'}h + q_{O'}q} \sqrt{\frac{1 - h_{O'}^2 + q_{O'}^2}{1 - K^2 - (Kq_{O'} - h_{O'})^2}}, \quad \text{где} \quad (11)$$

$$K = s_{BM} = \frac{(h_{O'}^2 - 1)F_b - h_{O'}q_{O'}}{F_b h_{O'}q_{O'} - 1 - q_{O'}^2}; \quad (12)$$

$$q' = \frac{q - q_{O'} - F_b(h - h_{O'})}{1 - h_{O'}h + q_{O'}q} \sqrt{\frac{1 - h_{O'}^2 + q_{O'}^2}{(q_{O'} - F_b h_{O'})^2 + 1 - F_b^2}}, \quad (13)$$

$$m' = \frac{m}{1 - h_{O'}h + q_{O'}q} \sqrt{1 - h_{O'}^2 + q_{O'}^2}, \quad (14)$$

$$n' = \frac{n}{1 - h_{O'}h + q_{O'}q} \sqrt{1 - h_{O'}^2 + q_{O'}^2}, \quad \text{где, как и в [1]:} \quad (15)$$

$$h = th \beta = t / \chi, \quad q = tg \alpha_1 = x / \chi c, \\ m = tg \alpha_2 = y / \chi c, \quad n = tg \alpha_3 = z / \chi c.$$

При совпадении начальных точек: O и O' обеих систем координат преобразования переходят в преобразования Лоренца:

$$q' = \frac{q - Fh}{\sqrt{1 - F^2}}, \quad h' = \frac{-Fqh + h}{\sqrt{1 - F^2}}, \quad m' = m, \quad n' = n.$$

Т. е. преобразования координат точки между двумя системами координат двух систем отсчета, когда их начала отсчета совпадают в псевдоевклидовой и в проективной гиперболической геометриях имеют одинаковый аналитический вид.

Если считать постоянную времени χ бесконечно большой, т.е. перейти к псевдоевклидовому приближению, то преобразования переходят в преобразования Пуанкаре.

$$h' = \frac{-F_{b'}(q - q_{o'}) + h - h_{o'}}{\sqrt{1 - F_{b'}^2}},$$

$$q' = \frac{q - q_{o'} - F_{b'}(h - h_{o'})}{\sqrt{1 - F_{b'}^2}},$$

$$m' = m, \quad n' = n.$$

Дополнение к обоснованию понятия «кривизна меры»

Для упрощения изложения мы, как и поступали выше, во-первых, вместо 4-х мерной геометрии рассмотрим ее плоские сечения с эллиптической или гиперболической геометрией; во-вторых, все рассуждения проведем только для метрики точек на прямой и будем использовать нормированные значения мер.

Рассмотрим геометрию как математическую структуру. Можно заметить, что структуры, которые мы называем геометриями, характерны тем, что они в отличие от других математических структур (группы, поля, пространства и проч.) основаны на системах аксиом, обладающих свойством полноты. Непротиворечивую систему аксиом называют полной или категоричной, если любые две ее модели (интерпретации) изоморфны друг другу. Модели называются изоморфными, если между элементами основных множеств (множеств первоначальных элементов) данных моделей существует взаимное одно-однозначное соответствие, при котором соответствующие элементы находятся в соответствующих взаимных отношениях. При рассмотрении какой-либо определенной геометрии можно выделить, по крайней мере, две группы ее моделей. В первую группу входит одна модель – абстрактная, т.е. такая в которой не определяются образы первоначальных элементов. Во вторую группу можно отнести так называемые содержательные модели, первоначальные элементы которых имеют дополнительные геометрические свойства, которые в данной системе аксиом не определяются.

Выше рассмотрена содержательная планиметрическая модель проективной геометрии, носитель которой совпадает с образом плоскости в евклидовой геометрии (как поверхности, внутренняя гауссова кривизна которой равна нулю) дополненной ее бесконечно удаленной (в евклидовом смысле) прямой. Основными первоначальными элементами планиметрии являются евклидовы точки и прямые.

Если рассматривать планиметрическую модель проективной геометрии вложенной в пространственную евклидову геометрию расширенную до проективной (дополненную метрически бесконечно удаленной плоскостью), то с помощью проективного одно-однозначного соответствия можно построить и другие содержательные модели двумерной проективной геометрии.

Одна из таких моделей хорошо известна и была предложена Ф. Клейном в конце 19-го века. В этой модели носителем двумерной проективной геометрии является половинка трёхмерной сферы (см. рис. 4). У этой половинки сферы считаются отождествлёнными противоположные точки окружности, по которой она разрезана. Одно-однозначное соответствие между носителями этих моделей устанавливается с помощью проекции из центра сферы. Сфера касается проективной плоскости, а плоскость разреза сферы и проективная плоскость параллельны (в евклидовом смысле, поскольку в евклидовой геометрии мы всю картину и рассматриваем).

В модели проективной геометрии на полусфере первоначальными элементами являются точки и половинки больших окружностей с отождествлёнными конечными точками. Эти половинки замещают образы прямых линий абстрактной модели и планиметрической модели проективной плоскости. Половинки больших окружностей сферы имеют кривизну. Такой кривизны нет у прямых абстрактной и планиметрической моделей проективной двумерной геометрии. *В модели проективной геометрии на полусфере кривизна присутствует и является неустранимым свойством поверхности* (сферы), поскольку поверхность мы представляем в виде гибкой, но нерастяжимой плёнки, вложенной в трёхмерное евклидово пространство.

Кривизна (гауссова) – это свойство данной модели, и при том геометрическое свойство, но никак не свойство проективной геометрии. Из аксиом проективной геометрии кривизна не следует. Проективная геометрия является неметрической геометрией. Это было показано К.Г. Штаудтом в работе [8, С. 49]. Он доказал основную теорему проективной геометрии не используя понятие метрики. Можно дополнить проективную модель на полусфере метрикой этой сферы, тогда получим содержательную модель эллиптической геометрии. Носителем этой модели будет евклидова полусфера.

Используя метрические свойства евклидова пространства, в которое вложена сфера, с помощью коэффициентов первой дифференциальной формы, определяющей квадрат дифференциала длины дуги геодезической, мы можем приписать кривизне числовое значение.

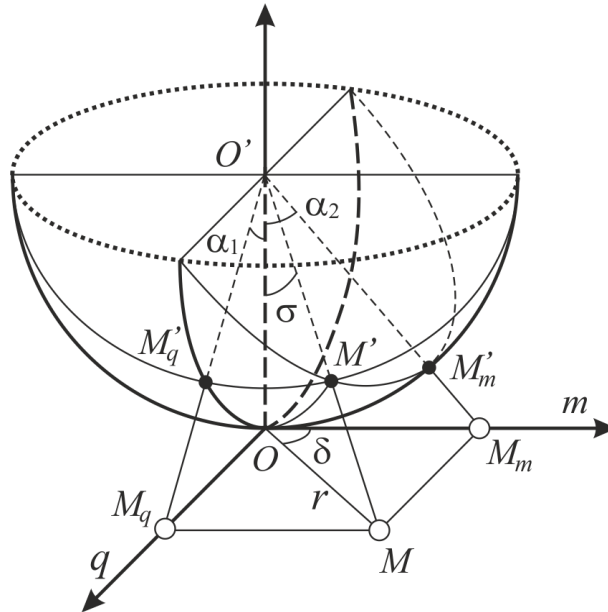


Рис. 4 – Модель Ф. Клейна двумерной проективной и двумерной эллиптической плоскости

В планиметрической модели проективной плоскости можно ввести метрику, как показано в [1, С. 108] с помощью полярного проективного соответствия между ее двойственными элементами – точками и прямыми. Можно считать, что *между двойственными элементами проективной плоскости существует полярное соответствие и что оно является неустранимым свойством неевклидовой плоскости*. Тогда в зависимости от типа полярного соответствия (гиперболического с действительным Абсолютом или эллиптического с мнимым Абсолютом) дифференциальная метрика будет иметь различный вид.

При введении метрики выше и в [1] мы делали предположение, что на рассматриваемой плоскости уже имеется евклидова геометрия. Это позволяло применять понятие двойного отношения отрезков, длины которых могли быть выражены в долях евклидовой меры. Однако, с точки зрения проективной геометрии такой подход не совсем последователен. Действительно, в проективной геометрии, обе системы координат автополярной конфигурации можно ввести независимо друг от друга с помощью инвариантного гармонического свойства полного четырехугольника. Данный метод введения координат является достаточно трудоемким, и даже для математических приложений геометрии часто бывает достаточно самого факта существования возможности такого способа введения координат.

С точки зрения классификации геометрий по виду дифференциальной метрики все модели проективной неевклидовой геометрии (модель с гауссовой кривизной, вложенная в евклидово пространство, модель плоской неевклидовой геометрии и абстрактная модель) обладают дифференциальной формой расстояния второй степени. В любой из моделей проективной неевклидовой геометрии можно рассматривать инвариант, называемый кривизной, поскольку все модели между собой изоморфны.

В первой модели инвариантом является *гауссова кривизна поверхности* второго порядка. Во второй (плоской) модели инвариант будем называть *клейновой кривизной меры*.

Кривизна меры впервые введена Ф. Клейном [9, С. 272]. Он связывает кривизну плоской проективной неевклидовой геометрии с характеристиками опережения или отставания физической меры по отношению к аддитивной мере при операции измерения одного и того же отрезка. Клейн называет эти меры соответственно специальной соприкасающейся и общей неевклидовой мерой.

Приведем рассуждения Ф. Клейна, немного изменив их.

Рассмотрим проективную эллиптическую плоскость, например, xu или в нормированных координатах qm . Вид дифференциальной метрики $(d\gamma_{q,m})$, выраженной через декартовы координаты и их дифференциалы, для этой плоскости [1, С. 110, (8)] при $h = n = 0$ будет следующим:

$$d\gamma = i d\gamma_{q,m} = i \frac{[(1+m^2) dq^2 - 2 q m dq dm + (1+q^2) dm^2]^{1/2}}{1+q^2+m^2}. \quad (16)$$

Преобразованиями

$$\begin{aligned} q &= r \sin \delta; \\ m &= r \cos \delta; \\ r &= \sqrt{q^2 + m^2}; \end{aligned}$$

где последнее соотношение следует из [1, С. 110, (7)] и, $r = tg \sigma$, дифференциальная метрика (16) может быть представлена в виде:

$$d\gamma_{q,m} = \left[\frac{dr^2}{(1+r^2)^2} + \frac{r^2 d\delta^2}{1+r^2} \right]^{1/2} = [d\sigma^2 + \sin^2 \sigma d\delta^2]^{1/2}. \quad (17)$$

Здесь σ – это неевклидова аддитивная длина отрезка OM (см. рис. 4), а δ – эллиптический угол, который при совпадении инволюций на поляре точки O и на бесконечно удаленной прямой евклидовой плоскости чертежа равен евклидовому углу.

Используя вид дифференциальной формы, выраженный через переменные σ и δ , найдем инвариант «кривизна»:

$$K = \frac{\left(\frac{\partial G}{\partial \sigma}\right)^2 - 2G \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2}}{4G^2} = 1. \quad (18)$$

В соответствии общепринятым обозначением коэффициентов дифференциальной формы:

$$E d\sigma^2 + 2F d\sigma d\delta + G d\delta^2,$$

в нашем случае получим $E = 1, F = 0, G = \sin^2 \sigma$.

Если рассмотреть ненормированные координаты, то инвариант примет вид:

$$K = \frac{1}{\chi^2 c^2}. \quad (19)$$

Пусть эллиптическая плоскость помещена в 3-х мерное евклидово проективное пространство следующим образом: если точка O – начало системы координат эллиптической плоскости, то ее поляра принадлежит бесконечно удаленной плоскости этого 3-х мерного пространства. Свяжем с точкой O начало системы нормированных координат q, t (см. рис. 4).

Пусть в точке O эллиптическая плоскость касается единичной полусферы так, что плоскость разреза полусферы параллельна эллиптической плоскости в евклидовом смысле.

Из центра полусферы – точки O' – с помощью прямых можно установить одно-однозначное соответствие между полусферой и эллиптической плоскостью. Рассмотрим дуги геодезических – полудуги наибольших сечений.

С одной стороны дуги имеют евклидову длину, с другой стороны – неевклидову длину в сферической геометрии на полусфере. Если неевклидовы длины расположены на одной геодезической, то обладают свойством аддитивности, поскольку пропорциональны евклидовым углам, в которых они заключены.

Аналогичным образом для гиперболической плоскости с помощью (18) можно найти инвариант «кривизна» $K_{h,q}$.

Для гиперболической плоскости дифференциальная метрика имеет вид:

$$d\gamma = d\gamma_{h,q} = \frac{[(h^2-1)dq^2 - 2qh dq dh + (1+q^2)dh^2]^{1/2}}{1+q^2-h^2} = \left[\frac{dr^2}{(1-r^2)^2} - \frac{r^2 d\varphi^2}{1-r^2} \right]^{1/2} = [d\theta^2 - sh^2\theta d\varphi^2]^{1/2}, \quad (20)$$

где:

$$\begin{aligned} q &= tg \alpha_1 = r sh \varphi; \\ h &= th \beta = r ch \varphi; \\ r &= th \theta = \sqrt{h^2 - q^2}; \end{aligned}$$

как значение выражения [1, С. 110, (8)] при $m = n = 0$.

В нормированных координатах

$$K_{h,q} = -1.$$

В общих ненормированных координатах

$$K_{t,x} = -\frac{1}{\chi^2 c^2}. \quad (21)$$

Если единицу измерения времени положить равной единице измерения пространства, то

$$K_{tc,x} = -\frac{1}{\chi^2 c^2}.$$

Дальнейшие рассуждения о *клеевой кривизне меры* приведены в [1, С. 112-113].

Относительные расстояния, скорости и ускорение двух инерциальных систем (4-х мерный случай)

Ввиду большого количества величин необходимых для различения координат и параметров в 4-х мерном случае (в отличие от плоскости) сделаем замечания о применяемых ниже индексах. **Верхний левый индекс** – буква или цифра будет означать принадлежность параметра (или координаты) к определенной линии. В случае инерциальной системы отсчета этой линией будет прямая. Если этот индекс отсутствует, то значит, что речь идет о какой-то одной, конкретной линии. **Нижний левый индекс**: его присутствие обозначает, что это фиксированное значение переменной, которое она имеет в какой-то определенный момент времени (обычно принимаемый за начальный), и индекс указывает на этот момент времени; *отсутствие индекса* говорит о том, что это текущее значение переменной. **Правый верхний индекс** – если это число, то всегда будет показатель степени, а если штрихи, то они указывают на принадлежность к соответствующей системе отсчета. **Правый нижний индекс** – если имеется, то обозначает, что параметр, около которого индекс расположен, является проекцией на ту ось, которую обозначает индекс (обычно 1, 2, 3 или соответственно x, y, z); если нет этого индекса, то это означает, что сама величина, которую индекс должен был маркировать, уже обозначена буквой, которой традиционно обозначают проекцию (например, x, y , или z), либо то, что она (величина, параметр) не является проекцией.

Положение мировой линии какой-либо инерциальной системы отсчета, например, ℓ относительно другой инерциальной системы, обозначим ее мировую линию как b , может быть определено с помощью расстояния, момента времени, в который оно измерено, и скорости. В геометрии Лобачевского – Больяи еще необходимо знание времени, когда измерена скорость. Информация о времени измерения скорости необходима ввиду того, что в этой геометрии относительная скорость двух инерциальных систем отсчета со временем не остается постоянной. О том, как изменяется относительная скорость, когда мировые линии двух инерциальных систем компланарны, показано в [1, С. 111, (10)]. В данном сообщении мы будем считать, что скорость и расстояние измерены в один и тот же момент времени, чаще всего принимаемый за начало измерения времени. Прямая ℓ может быть задана двумя своими точками. Будем считать, что одна из этих точек, пусть это точка M , одновременна какой-то точке O прямой b . Свяжем с этой точкой O начало системы координат $OABCD$ (см. рис. 5). В этой системе нормированные координаты точки M будем обозначать как, ${}^{\ell}_O Q_i = \frac{{}^{\ell}_O X_i}{\chi c}$, где: ${}^{\ell}_O X_i$ – ненормированные координаты, а $i = 1, 2, 3$ номер пространственной оси – x, y, z , соответственно. Второй точкой прямой ℓ будем считать точку N , которая одновременна точке A , а значит одновременна и точке O . Точка A расположена гармонически точке O начала координат относительно пары точек, в

которых прямая b пересекает Abs , и имеет координату $t = \infty$ (в выбранной системе координат $OABCD$). В соответствии с одним из основных положений проективной гиперболической геометрии координатами точки N в декартовой системе координат $ABCD$ с началом в точке A будут проекции вектора скорости на оси координат x, y, z [1, С. 105].

Обозначим их как ${}^{\ell}V_i$, или в нормированном виде как ${}^{\ell}F_i = \frac{{}^{\ell}V_i}{c}$.

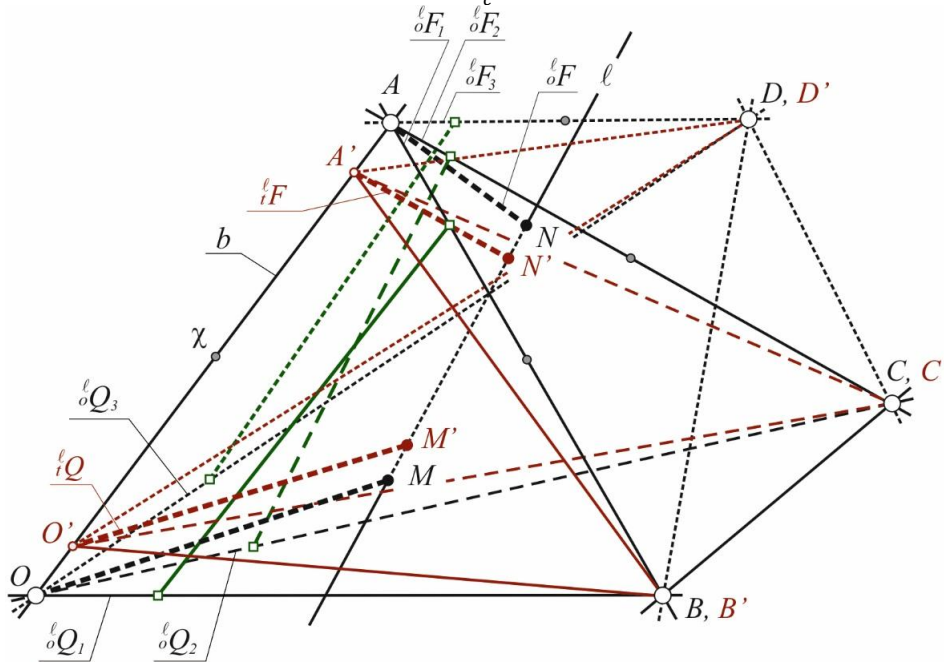


Рис. 5 – Проекция (зеленое) мировой линии ℓ на координатные плоскости основного пента-тетраэдра $OABCD$ автополярной системы координат. Системы координат $OABCD$ (черное) и $O'A'B'C'D'$ (красное) инерциальной системы отсчета b в два момента времени

Рассмотрим проекции прямой MN (ℓ) на координатные плоскости (см. рис. 5). Для этого спроектируем точку M на координатные плоскости xOy, xOz, yOz , а затем на оси координат Ox, Oy, Oz . Точку N аналогично спроектируем на координатные плоскости ACB, ABD и ACD тетраэдра $ABCD$, а затем на координатные оси AB, AD и AC . Соединим прямой линией на каждой из координатных плоскостей AOB (tOx), AOC (tOy) и AOD (tOz) проекцию точки M на ось OB (аналогично OC и OD) и проекцию точки N соответственно на ось AB (AC, AD). В результате мы получили проекции мировой линии инерциальной системы ℓ на основные координатные плоскости системы координат $Otxyz$ инерциальной системы b . Каждая из этих проекций в своей плоскости может быть задана как прямая в «отрезках», но не совсем канонического вида:

$$\begin{aligned} x_i &= {}^{\ell}V_i t + {}^{\ell}X_i \\ q_i &= {}^{\ell}F_i h + {}^{\ell}Q_i, \text{ где } (i = 1, 2, 3) \end{aligned} \quad (22)$$

В любой, следующий за начальным, момент времени t по часам инерциальной системы b отрезок ${}^{\ell}X_i$ (опуская индекс t , далее будем писать – ${}^{\ell}X_i$), который отсекает на пространственной оси соответствующая проекция прямой ℓ , и проекция скорости на эту ось ${}^{\ell}V_i$ (опуская индекс t – ${}^{\ell}V_i$), будут изменяться по тем же формулам, что и в случае, когда прямые b и ℓ компланарны [1. С. 111, (10), (11)].

Связано это с тем обстоятельством, что в любой, отличный от начального, момент времени t по часам инерциальной системы b не изменяют своего положения не только прямая ℓ , но и ее проекции на основные координатные плоскости AOB (tOx), AOC (tOy) и AOD (tOz). Эти плоскости в инерциальной системе b испытывают гиперболические повороты вокруг точек B, C , и D соответственно, и не выходят в другие измерения, т.к. каждая из них проходит через прямую b . С проективной точки зрения система координат $OABCD$ испытывает гиперболический поворот вокруг плоскости BCD , расположенной полярно прямой b относительно Abs .

Воспользовавшись этим результатом и формулами [1, С. 111, (10), (11)] для компланарного расположения мировых линий b и ℓ можно записать формулы для расстояния, скорости и ускорения инерциальной системы ℓ , которые она будет иметь в системе координат, связанной с любым другим моментом времени инерциальной системы b (ниже во всех формулах $i=1, 2, 3$):

$$\begin{aligned} |\vec{Q}| = {}^{\ell}Q &= \sqrt{{}^{\ell}Q_1^2 + {}^{\ell}Q_2^2 + {}^{\ell}Q_3^2} = \frac{{}^{\ell}R}{\chi c} = \frac{|\vec{R}|}{\chi c}, \text{ где} \\ {}^{\ell}Q_i &= \frac{{}^{\ell}Q_i + {}^{\ell}F_i h}{\sqrt{1-h^2}} = \frac{{}^{\ell}X_i}{\chi c}, \\ {}^{\ell}X_i &= \frac{{}^{\ell}X_i + {}^{\ell}V_i t}{\sqrt{1-\frac{t^2}{\chi^2}}}. \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} |\vec{F}| = {}^{\ell}F &= \sqrt{{}^{\ell}F_1^2 + {}^{\ell}F_2^2 + {}^{\ell}F_3^2} = \frac{{}^{\ell}V}{c} = \frac{|\vec{V}|}{c}, \text{ где} \\ {}^{\ell}F_i &= \frac{{}^{\ell}Q_i h + {}^{\ell}F_i}{\sqrt{1-h^2}} = \frac{{}^{\ell}V_i}{c}, \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} {}^{\ell}V_i &= \frac{{}^{\ell}\dot{X}_i t + {}^{\ell}\dot{V}_i}{\sqrt{1 - \frac{t^2}{\chi^2}}}, \\ |{}^{\ell}\vec{F}| &= {}^{\ell}\dot{F} = \sqrt{{}^{\ell}\dot{F}_1^2 + {}^{\ell}\dot{F}_2^2 + {}^{\ell}\dot{F}_3^2} = \frac{\chi \dot{V}}{c} = \frac{\chi |{}^{\ell}\vec{V}|}{c}, \text{ где} \\ {}^{\ell}\dot{F}_i &= \frac{{}^{\ell}\dot{Q}_i + {}^{\ell}\dot{F}_i h}{\sqrt{1 - h^2}} = \frac{\chi \dot{V}_i}{c}, \\ {}^{\ell}\dot{V}_i &= \frac{{}^{\ell}\dot{X}_i + {}^{\ell}\dot{V}_i t}{\chi^2 \sqrt{1 - \frac{t^2}{\chi^2}}}. \end{aligned} \quad (25)$$

Рассмотрим случай, когда относительно инерциальной системы b движутся две инерциальные системы ℓ и d . Формулы для их взаимных значений расстояния, скорости и ускорения могут быть получены с помощью [1, (3), (6), (7)]. Они имеют вид, который в дальнейшем мы будем называть как вид Фока для модуля вектора в декартовой системе отсчета геометрии Лобачевского – Больяи [10, С. 70]:

$$|{}^{\ell d}\vec{Q}| = {}^{\ell d}Q = \sqrt{1 - \frac{[1 + |{}^{\ell}\vec{Q}|^2][1 + |{}^d\vec{Q}|^2]}{[1 + |{}^{\ell}\vec{Q} \, {}^d\vec{Q}|]^2}} \quad (26)$$

$$|{}^{\ell d}\vec{F}| = {}^{\ell d}F = \sqrt{1 - \frac{[1 - |{}^{\ell}\vec{F}|^2][1 + |{}^d\vec{F}|^2]}{[1 - |{}^{\ell}\vec{F} \, {}^d\vec{F}|]^2}} \quad (27)$$

$$|{}^{\ell d}\vec{F}| = {}^{\ell d}\dot{F} = \sqrt{1 - \frac{[1 + |{}^{\ell}\vec{F}|^2][1 + |{}^d\vec{F}|^2]}{[1 + |{}^{\ell}\vec{F} \, {}^d\vec{F}|]^2}} \quad (28)$$

Если в эти формулы подставить выражения (23, 24, 25), то получим зависимость расстояния, скорости и ускорения между системами ℓ и d от времени (по часам инерциальной системы b), прошедшего с некоторого момента, принимаемого за начальный.

В заключение данной части статьи заметим, что для того, чтобы иметь возможность рассчитать количественно значение ускорения, скорости и другие параметры необходимо знать величину, введенной в [1] постоянной χ . Определению этой постоянной с помощью ротационных кривых галактик будет посвящена следующая статья.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Пермикин В.С. К проективным свойствам физического пространства-времени. Часть I. Об ускоренном расширении пространства / В.С. Пермикин // Международный научно-исследовательский журнал.- 2017.- № 11(65).- Часть 4.- С.104-115. doi: 10.23670/IRJ.2017.65.142
2. Клейн Ф. Об интегральной форме законов сохранения и теории пространственно замкнутого мира: [пер. с нем.] / Ф. Клейн // Эйнштейновский сборник, 1980-1981. – М.: Наука, 1985. – С. 226-254.
3. Клейн Ф. Неевклидова геометрия: [пер. с нем.] / Ф. Клейн – 2-е изд. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 360 с.
4. Паули В. Теория относительности: [пер. с англ.] / В. Паули – 2-е изд. – М.: Наука, 1983. – 336 с.
5. Бельтрами Э. Опыт интерпретации неевклидовой геометрии: [пер. с итальян.] / Э. Бельтрами // Сборник: «Об основаниях геометрии». - М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – С. 180-212.
6. Staudt von G. K. Ch. Beitrage zur Geometrie der Lage, Erstes Heftr / G. K. Ch. von Staudt – Nurnberg, Verlag von Bauer und Raspe (Julius Merz), 1856. – 129 s.
7. Глаголев Н.А. Проективная геометрия. / Н.А. Глаголев – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1963. – 344 с.
8. Staudte von G. K. Ch. Geometrie der Lage / G. K. Ch. von Staudt. – Nurnberg: Verlag von Bauer und Raspe (Julius Merz), 1847. – 216 s.
9. Клейн Ф. О так называемой неевклидовой геометрии: [пер. с нем.] / Ф. Клейн // Сборник: «Об основаниях геометрии» – М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – С. 253-303.
10. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. / В.А. Фок – 2-е изд. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1961. – 563 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Permikin V.S. K proektivnym svojstvam fizicheskogo prostranstva-vremeni. Chast' I. Ob uskorennom rasshirenii prostranstva [To projective properties of the physical space-time. Part I. On the accelerated expansion of space] / V.S. Permikin // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2017. – №11(65). Pary 4 – P. 104-115. doi: 10.23670/IRJ.2017.65.142. [in Russian]
2. Klejn F. Ob integral'noj forme zakonov sohraneniya i teorii prostranstvenno zamknutogo mira [About the integral form of the conservation laws and the theory of spatially closed world] / F. Klein // Jejnshtejnovskij sbornik, 1980-1981[Einstein collection, 1980-1981]. – М.: Nauka, 1985. – P. 226-254. [in Russian]
3. Klejn F. Neevklidova geometrija [Non-Euclidean geometry] / F. Klein – 2nd ed. – М.: Editorial URSS, 2004. – 360 p. [in Russian]
4. Pauli W. Teorija otnocitel'nocti [Theory of Relativity] / W. Pauli – 2nd ed. – М.: Nauka, 1983. – 336 p.

5. Bel'trami Je. Opyt interpretacii neevklidovoj geometrii [Experience in interpretation of non-Euclidean geometry] / Beltrami E. // Sbornik: «Ob osnovaniyah geometrii» [The collection: "On the foundations of geometry"]. – М.: Izd-vo tehniko-teoreticheskoy literatury, 1956. – P. 180-212. [in Russian]
6. Staudt von G. K. Ch. Beitrage zur Geometrie der Lage, Erstes Heftr [Contributions to the Geometry of the situation, the First Heftr] / G. K. Ch. von Staudt – Nurnberg, Verlag von Bauer und Raspe (Julius Merz), 1856. – 129 p.[in Germany]
7. Glagolev N.A. Proektivnaja geometrija [Projective geometry] / N.A. Glagolev – 2nd ed. – М.: Vysshaja shkola, 1963. – 344 p. [in Russian]
8. Staudte von G. K. Ch. Geometrie der Lage [The geometry of the situation] / G. K. Ch. von Staudt. – Nurnberg: Verlag von Bauer und Raspe (Julius Merz), 1847. – 216 p. [in Germany]
9. Klejn F. O tak nazyvaemoj neevklidovoj geometrii [About the so-called non-Euclidean geometry] / F. Klein // Sbornik: «Ob osnovaniyah geometrii» [The collection: "On the foundations of geometry"]. – М.: Izd-vo tehniko-teoreticheskoy literatury, 1956. – P. 253-303. [in Russian]
10. Fok V.A. Teorija prostranstva, vremeni i t'jagotenija [Theory of space, time and gravity] / V.A. Fok – 2nd ed. – М.: Izd-vo fiziko-matematicheskoy literatury, 1961. – 563 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.03>

О КВАЗИРЕЛЯТИВИСТСКИХ УРАВНЕНИЯХ ДЛЯ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ И ВАРИАНТ ОБЪЯСНЕНИЯ ЕЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Научная статья

Трошечев Ю. В.*

ORCID: 0000-0001-6805-7001,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (yuvt@yandex.ru)

Аннотация

В статье выводятся квазирелятивистские уравнения из нерелятивистских внесением в них соответствующих изменений. Они включают в себя уравнения непрерывности, законы сохранения импульсов и энергий как для протонов, так и для электронов. Это необходимо, так как гидродинамические и электрические силы, действующие на них, примерно одинаковы, а, следовательно, их импульсы тоже примерно одинаковы. Обычная скорость протонов в солнечной короне порядка 500 км/с, а соответствующая скорость электронов для такого импульса составляет 0.953 c , поэтому электроны необходимо учитывать и они релятивистские. Выражения для столкновительных членов тоже адаптированы к релятивистским скоростям. Тепло, выделяющееся в результате трения между электронными и протонными потоками, оказывается достаточным для нагрева плазмы. Концентрация $n_e = 10^{10} \text{ см}^{-3}$ и количество выделяющейся при рассеянии энергии компенсируют большое время свободного пробега.

Ключевые слова: плазма, солнечная корона, релятивистские эффекты.

ON THE QUASIRELATIVISTIC EQUATIONS FOR THE SOLAR CORONA PLASMA AND A VARIANT OF RATIONALE OF ITS HIGH TEMPERATURE

Research article

Troshchiev Yu. V.*

ORCID: 0000-0001-6805-7001,

Moscow State University, Moscow, Russia

* Corresponding author (yuvt@yandex.ru)

Abstract

The quasi-relativistic equations are derived from nonrelativistic equations bringing amendments in them. They comprise of the continuity equations, and the conservation laws for impulses and energies both for protons and for electrons. It is so because the hydrodynamic and electric forces acting on them are similar, so, their impulses are also similar. The rife proton velocity in solar corona is 500 km/s and the consistent electron velocity for such impulse is 0.953 c , hence, the electrons must be taken into account and they are relativistic. Expressions for the collisional terms are also adapted to relativistic velocities. Heat emitting to warm protons due to friction between electron and proton flows is sufficient to heat plasma. Concentration $n_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and amount of scattering energy compensate large free path time.

Keywords: plasma, solar corona, relativistic effects.

Introduction

It is substantial to decide correctly what processes in the solar corona must be investigated and what processes can be neglected. Relativistic equations of solar corona plasma are derived in this article from the classic equations [1]. Influence of the relativistic electrons at plasma heating is investigated. Electrons are often neglected in plasma because of the supposition of plasma neutrality. Moreover, solar corona plasma is often treated as collisionless (collisions in plasma are not bumping but veering over interaction). Nonetheless, electrons suffer collisions and it plays a role in plasma heating. The problems of solar corona plasma heating are being intensively investigated now. But the problem of high temperature 10^6 K of the solar corona is still considered as unsolved. Some nonstandard source of extremely high temperature is proposed and investigated in this article. The result was reported by me at the conference [12].

Compulsory Consideration of Relativistic Effects while Modeling of the Solar Corona

If plasma is neutral then protons and electrons are settled equally. Thus, gradients of proton and electron pressures are similar and their impulses induced by pressure during a small time period dt are also similar.

Usual velocities of gas flows are 500 km/s in the quiet solar corona. If protons move at $V_p=500$ km/s then the classic equation for impulses $m_p V_p = m_e V_e$ gives superlight velocity V_e for electrons. m_p, m_e – masses of proton and electron correspondingly. The relativistic equation for impulses

$$\frac{m_p V_p}{\sqrt{1 - \frac{V_p^2}{c^2}}} = \frac{m_e V_e}{\sqrt{1 - \frac{V_e^2}{c^2}}} \quad (1)$$

gives electrons velocity

$$V_e = \frac{c}{\sqrt{\left(\frac{m_e c}{m_p V_p}\right)^2 + 1}} = 0.953 c \quad (2)$$

and increasing of their orthogonal mass in 3.3 times. Here c is light velocity. If the proton wind is 10 times stronger then electrons velocity is $0.9995 c$ and orthogonal mass increases in 31.5 times.

This is for gas dynamic forces. Let now plasma is diverted a little from neutrality. Then electric forces will bring the same impulses to protons and electrons during a small time dt because charges of proton and electron are the same. Magnetic forces change only the direction of impulses. So, we can suppose that the normal situation is moving of protons and electrons with approximately same impulses. This abstract reasoning leads to infer: 1) electrons must be taken into account in spite of their little mass because they carry similar to protons impulses, 2) if the devices register proton velocities 500 km/s in the solar corona then the electrons move there at relativistic velocities. The mechanisms of electron acceleration can be diverse. It seems to be an antinomy that protons and electrons move with different velocities in neutral plasma but this antinomy is resolved in the last section of this article that concerns the results of investigation.

The derived hereinafter relativistic equations are more precious than classical ones but they are derived from them, so, it is more natural to call the derived equations quasirelativistic.

Quasirelativistic Equations of Completely Ionized Plasma

It is a way of constructing of the equations in what follows. Some terms in section 4 are given for two-dimensional case without loss of generality. It is possible to write three-dimensional terms and include additional physical processes. The quasirelativistic system of equations includes the terms similar to the classical system in [1] with special corrections for relativistic case and for solving of the problem of high temperature of the solar corona. The corrections are formulation of impulse and energy conservation laws directly for impulses and energies and not for velocities and temperatures, adding one more term and rearranging of one term from the heat flows to the heat sources. The derivation of the friction term and of the corresponding heat source is made in an unusual manner to allow hydrodynamic velocities to be much greater than thermal velocities.

Quasirelativistic equations of completely ionized plasma are the following:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_e}{\partial t} + \text{div}(n_e V_e) &= 0, \\ \frac{\partial n_i}{\partial t} + \text{div}(n_i V_i) &= 0, \\ n_e \frac{d_e \langle p_e \rangle}{dt} &= -\frac{\partial p_e}{\partial r} - e n_e (E + [V_e B]) + F_{fr}, \\ n_i \frac{d_i \langle p_i \rangle}{dt} &= -\frac{\partial p_i}{\partial r} + Z_i e n_i (E + [V_i B]) - F_{fr}, \\ n_e \frac{d_e \langle E_e \rangle}{dt} &+ p_e \text{div}(V_e) + \text{div}(q_e) = Q_e, \\ n_i \frac{d_i \langle E_i \rangle}{dt} &+ p_i \text{div}(V_i) + \text{div}(q_i) = Q_i, \end{aligned} \quad (3)$$

where $r = (x, y, z)$ – right-handed coordinates, t – time, indices ‘ e ’, ‘ i ’ denote electrons and ions correspondingly; n_a – concentrations, $\langle p_a \rangle$ – average impulses of the particle, $\langle E_a \rangle$ – average heat energies of the pResearch articles, V_a – velocities, m_a – masses, p_a – pressures, e – electron charge, Z_i – ion charge in electron charge units, E – intensity of electric field, B – induction of magnetic field, F_{fr} – includes friction force between proton and electron flows and thermal force (F_{fr} is interaction between electrons and protons, so, its directions are opposite), q_a – heat flows, Q – heat sources. Viscosity is neglected. Particle derivative is

$$\frac{da}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (V_a \nabla), \quad (4)$$

Symbolic index a can assume values ‘ e ’ or ‘ i ’. SI system of units is applied in (3).

The equations (3) are three-dimensional. It is more convenient to investigate two-dimensional equations in many cases. Reflecting reality they spend much less computer time and memory for calculations.

Two-dimensional equations look alike (3) with another sense of variables. Namely, $B_x = B_y = 0$, $B_z = B$ and no variable depends on z coordinate. Components $E_z = 0$, B_x and B_y will remain zeros under these assumptions.

The more easy two-dimensional case is additionally $V_{ez} = V_{iz} \equiv 0$. z -components of friction and heat flows are linear combinations of the vectors $u = V_e - V_i$, ∇T_e and ∇T_i , so, $F_z = 0$ and $q_{ez} = q_{iz} = 0$ under zero z -velocities. It is important that they will remain zeros under relativistic summing of the velocities in this case.

Physical Values Transformations for Different Coordinate Systems

It is more convenient to calculate some physical values in the fixed coordinate system and some ones in the systems moving with the flows of protons or electrons. Thus, two relativistic orthogonal masses are introduced: mass in the fixed system for electron-proton collisions

$$\tilde{m}_a = \frac{m_a}{\sqrt{1 - \frac{V_a^2}{c^2}}} \quad (5)$$

and mass in the moving system for heat exchange processes inside the flow

$$\tilde{\tilde{m}}_a = \frac{m_a}{\sqrt{1 - \frac{3R\tilde{T}_a}{\mu_a c^2}}}, \quad (6)$$

where R – universal gas constant, μ – molar mass. One wave over a symbol denotes the fixed system. It can be omitted if there is no ambiguity. Two waves denote moving system.

Free path times of the pResearch articles (5) and (6) are different:

$$\tilde{\tau}_e = \frac{\tilde{m}_e^2 c^4 \left(1 - \sqrt{1 - V_e^2/c^2}\right)^2}{4\pi e^4 n_i |V_e - V_i| \tilde{\Lambda}}, \quad (7)$$

$$\tilde{\Lambda} = \ln \left(\frac{k_B T_e}{e^3} \sqrt{\frac{k_B T_e T_i}{Z_i \pi (n_e T_e + n_i T_i)}} \right) \quad (8)$$

and

$$\tilde{\tau}_{ai} = \frac{9(k_B \tilde{T}_a)^2 (1 + \sqrt{1 - Q_a})^2}{16\pi Z_i^2 e^4 n_i \tilde{\Lambda} c \sqrt{Q_a}}, \quad (9)$$

$$Q_a = b_a \frac{\sqrt{b_a^2 + 4} - b_a}{2}, b_a = \sqrt{\frac{3k_B \tilde{T}_a}{m_a c}},$$

$$\tilde{\tilde{\Lambda}} = \begin{cases} 23.4 - 1.15 \lg n + 3.45 \lg \tilde{T}_e & \text{at } \tilde{T}_e < 50 \text{ eV} \\ 25.3 - 1.15 \lg n + 2.3 \lg \tilde{T}_e & \text{at } \tilde{T}_e > 50 \text{ eV} \end{cases} \quad (10)$$

Gauss units system is conventional in astrophysics, so, it is used here and in what follows. Additionally, temperature in electron-volts is remained in practical formulas from [1] (e.g., (10)). Λ – Coulomb logarithm, k_B – Boltzmann constant, $Z_e=1$.

The fact that even at relativistic velocities electrons are at least 10 times lighter and move faster than protons is used in (7) and (9).

Let the set of three vectors $\mathbf{e}_1 = \mathbf{V}_a/|\mathbf{V}_a|$, \mathbf{e}_2 , \mathbf{e}_3 in the fixed coordinate system is a right-hand coordinates. They are column-vectors in coordinate notation. Then the matrix $\mathbf{A} = (\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3)^T$ is a matrix of transformation of the fixed coordinate system to coordinates defined by these orts. The matrix $\mathbf{A}^T = \mathbf{A}^{-1}$ is a reverse transformation. The relativistic transformation of the velocity $\tilde{\mathbf{V}}_a$ to the velocity $\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a$ is defined now

$$\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a = \frac{\mathbf{B}\tilde{\mathbf{V}}_a - \mathbf{V}_a}{1 - (\mathbf{V}_a, \tilde{\mathbf{V}}_a)/c^2}, \quad (11)$$

$\mathbf{B} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{D} \mathbf{A}$, $\mathbf{D} = \text{diag}(1, \sqrt{1 - V_a^2/c^2}, \sqrt{1 - V_a^2/c^2})$. diag denotes a diagonal matrix. The matrix \mathbf{B} does not depend on the choice of \mathbf{e}_2 and \mathbf{e}_3 . It can be represented independently from them: $\mathbf{B} = \mathbf{P} + \sqrt{1 - V_a^2/c^2} (\mathbf{E} - \mathbf{P})$, where \mathbf{E} – unit matrix, \mathbf{P} – projector to the linear span of \mathbf{e}_1 .

The inverse transformation of the velocity is correspondingly:

$$\tilde{\mathbf{V}}_a = \frac{\mathbf{B}\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a + \mathbf{V}_a}{1 + (\mathbf{V}_a, \tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a)/c^2} \quad (12)$$

The rule of transformation of the force from the moving system to the fixed one follows from these formulas:

$$\tilde{\mathbf{F}} = \sqrt{1 - \frac{V_a^2}{c^2}} \cdot \frac{d\tilde{\mathbf{p}}_a}{d\tilde{\mathbf{p}}_a} \tilde{\mathbf{F}} = \sqrt{1 - \frac{V_a^2}{c^2}} \cdot \frac{d\tilde{\mathbf{p}}_a}{d\tilde{\mathbf{V}}_a} \cdot \frac{d\tilde{\mathbf{V}}_a}{d\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a} \cdot \frac{d\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a}{d\tilde{\tilde{\mathbf{p}}}_a} \tilde{\mathbf{F}}. \quad (13)$$

Let now the average energy of the particles in the moving system is $\langle \tilde{E}_a \rangle$. Then their root mean square (rms) velocity is defined by the expression

$$\langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle^2 = c^2 \left(1 - \left(1 + \frac{\langle \tilde{E}_a \rangle}{m_a c^2} \right)^{-2} \right). \quad (14)$$

Let the square of the rms velocity in the fixed system be an averaging over the sphere of $\langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle$ radius of the square of the velocity $\tilde{\mathbf{V}}_a(\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a)$:

$$\langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle^2 = \frac{1}{4\pi \langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle^2} \int \left(\tilde{\mathbf{V}}_a(\tilde{\tilde{\mathbf{V}}}_a) \right)^2 d\Omega = \frac{c^2 - (c^2 - V_a^2) (c^2 - \langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle^2)}{\left(\ln \left(1 + V_a \langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle / c^2 \right) - \ln \left(1 - V_a \langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle / c^2 \right) \right)} \cdot \frac{2V_a \langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle}{}, \quad (15)$$

where $d\Omega$ – element of frustum. Then average heat energy is

$$\langle \tilde{E}_a \rangle = m_a c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \langle \tilde{\tilde{V}}_a \rangle^2 / c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - V_a^2 / c^2}} \right). \quad (16)$$

Time and volume also change while transition from one coordinate system to another but they compensate each other because of invariance of spatiotemporal intervals on Lorentz transform. So, the formulas (14)-(16) are transformations of heat energy for transitions from one coordinate system to another.

Physical Terms Included in the Equations

It is possible now to write expressions for friction, heat flows and sources. Friction consists of two components – friction force and thermal force:

$$F_{fr} = F_{flow} + F_T. \quad (17)$$

Friction force is

$$F_{flow} = -\frac{\tilde{m}_e n_e u}{\tilde{\tau}_e}. \quad (18)$$

Thermal force is

$$F_T = -\frac{3}{2} \sqrt{1 - \frac{V_a^2}{c^2}} \cdot \frac{d\tilde{p}_a}{d\tilde{V}_a} \cdot \frac{d\tilde{V}_a}{d\tilde{p}_a} \cdot \frac{d\tilde{V}_a}{d\tilde{p}_a} \cdot \frac{\tilde{n}_e}{\tilde{\omega}_e \tilde{\tau}_e} \left[h \nabla \tilde{T}_e \right], \quad (19)$$

where $\tilde{\omega}_e = eB/(\tilde{m}_e c)$ – cyclotron frequency in the coordinate system moving with the flow, h – unit vector of magnetic induction direction.

The source being generated by electron heat flow consists of two components:

$$\widetilde{\text{div}}(\tilde{q}_u^e) + \frac{d\langle \tilde{E}_e \rangle}{d\langle \tilde{E}_e \rangle} \widetilde{\text{div}}(\tilde{q}_T^e). \quad (20)$$

Usage of expressions from [1] and bringing relativistic effects to them provides:

$$\tilde{q}_u^e = \frac{3}{2} \frac{n_e T_e}{\tilde{\omega}_e \tilde{\tau}_e} [hu], \quad \tilde{q}_T^e = -\kappa_e \nabla \tilde{T}_e - \frac{5}{2} \frac{c \tilde{n}_e \tilde{T}_e}{eB} \left[h \nabla \tilde{T}_e \right], \quad (21)$$

$$\kappa_e = 4.66 \frac{\tilde{n}_e \tilde{T}_e}{\tilde{m}_e \tilde{\omega}_e^2 \tilde{\tau}_{ei}}, \quad (22)$$

where $\tilde{\omega}_e = eB/\tilde{m}_e c$ – cyclotron frequency in the fixed coordinate system.

The source being generated by ion heat flow also consists of two components:

$$\widetilde{\text{div}}(\tilde{q}_u^i) + \frac{d\langle \tilde{E}_i \rangle}{d\langle \tilde{E}_i \rangle} \widetilde{\text{div}}(\tilde{q}_T^i). \quad (23)$$

Usage of expressions from [1] bringing relativistic effects to them and additionally inclusion of the term \tilde{q}_u^i gives:

$$\tilde{q}_u^i = -\frac{3}{2} \frac{n_i T_i}{\tilde{\omega}_i \tilde{\tau}_e} [hu], \quad \tilde{q}_T^i = -\kappa_i \nabla \tilde{T}_i + \frac{5}{2} \frac{c \tilde{n}_i \tilde{T}_i}{ZeB} \left[h \nabla \tilde{T}_i \right], \quad (24)$$

$$\kappa_i = 2 \frac{\tilde{n}_i \tilde{T}_i}{\tilde{m}_i \tilde{\omega}_i^2 \tilde{\tau}_{ii}}, \quad (25)$$

where ω_i – cyclotron frequencies: $\tilde{\omega}_i = eB/\tilde{m}_i c$, $\tilde{\omega}_i = eB/\tilde{m}_i c$. Another way to find \tilde{q}_u^i is given hereinafter.

The flows (21) and (24) are written in supposition of great values of cyclotron frequencies. Crux of the matter is that they define heat emitting due to electron and ion collisions.

It follows from (18) that force of friction is

$$F_{flow} = k(V_i - V_e), \quad k = \frac{\tilde{m}_e n_e}{\tilde{\tau}_e} > 0. \quad (26)$$

The kinetic energy is $E = c(\sqrt{m^2 c^2 + p^2} - mc)$. Heat dW emitting in the unit value during dt due to friction is apparently

$$n_e d\langle E_e \rangle + n_i d\langle E_i \rangle + dW = 0, \quad (27)$$

so,

$$dW = -\left(n_e \frac{d\langle E_e \rangle}{dp_e} dp_e + n_i \frac{d\langle E_i \rangle}{dp_i} dp_i \right) \approx k(V_i - V_e)^2 dt > 0. \quad (28)$$

Electrons scatter more than protons and $V_e \gg V_i$ (it was assumed in expression for \mathbf{F}_{flow} too). If all electron kinetic energy transforms to heat in collisions then

$$dW_e = n_e \langle \tilde{E}_e \rangle p_\sigma(dt) = \frac{\tilde{n}_e \langle \tilde{E}_e \rangle}{\tilde{\tau}_e} dt, \quad (29)$$

$$dW_i \approx 0.5 n_i \langle \tilde{E}_i \rangle p_\sigma(dt) = \frac{\tilde{n}_i \langle \tilde{E}_i \rangle}{2\tilde{\tau}_e} dt,$$

where $p_\sigma(dt)$ – probability of electron-proton collision during dt . Then,

$$\frac{dW_e}{dW_i} \approx \frac{\langle \tilde{E}_e \rangle}{\langle \tilde{E}_i \rangle} \approx \frac{\langle \tilde{V}_e \rangle}{2\langle \tilde{V}_i \rangle} \quad (30)$$

since

$$E_a = \frac{m_a V_a^2}{r_a + r_a^2}, \quad p_a = \frac{m_a V_a}{r_a}, \quad r_a < 1, \quad \langle p_e \rangle \approx \langle p_i \rangle \quad (31)$$

where $r_a = \sqrt{1 - V_a^2/c^2}$. So,

$$dW_i \approx dW \frac{\langle \tilde{V}_i \rangle}{\langle \tilde{V}_e \rangle} \approx \frac{m_e n_e}{2\tau_e} \langle V_e \rangle \langle V_i \rangle \quad (32)$$

These formulas define the minimal estimation for heating of proton gas. To find the upper estimation it is natural to assume $dW_e = dW_i = 0.5 dW$.

Results of Investigation

Temperature $10.27 \cdot 10^6$ K corresponds to proton velocity 500 km/s and temperature $8.99 \cdot 10^9$ K corresponds to electron velocity $0.953 c$. So, the high temperature source for plasma heating exists in spite of solar surface temperature 6000 K. This mechanism is transformation of hydrodynamic velocities into heat velocities in electron-proton collisions. Estimation of energy coming and losing is another physical problem which is out of the framework of this article. But it worth to note that Sun produces much more energy than it is necessary to heat the corona and that solar corona radiation is very faint.

The lower estimations of temperature increasing depending on proton velocity at concentration 10^{10} are in the Table 1 according to the formula (32).

Table 1 – Rate of temperature increasing (K/s) depending on velocity of protons (km/s)

V_p	10	100	500	1000
dT/dt	20000	16000	110	39

Preliminary computer calculations of the system (3) by difference schemes corroborated increasing of temperature. The initial pressure gradients cause then plasma oscillations that seem to be the main mechanism of electron-proton collisions. Langmuir frequency is approximately 10^6 s^{-1} here. These oscillations also answer the question how it is possible for protons and electrons to move with different velocities in neutral plasma. And the calculations confirm similarity of their pulses.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Braginskii S. I. Transport processes in a Plasma / S. I. Braginskii // Reviews of Plasma Physics, ed. M. A. Leontovich, Consultants Bureau – 1965 – V. 1 – P. 205.
2. Загадки солнечной короны // Наука в России – 2011 – № 4 – С. 61-63.
3. Molotkov I.A. Solar corona top heating / I.A. Molotkov, N.A. Ryabova // Geomagn. Aeron – 2016 – V. 56 – № 3 – P. 264-267. doi: 10.1134/S0016793216030130
4. Badalyan O.G. To the problem of solar coronal heating / O.G. Badalyan, V.N. Obridko // Astron. Lett. – 2007 – V. 33 – N 3 – P. 182-191. <https://doi.org/10.1134/S106377370703005X>
5. Somov B.V. Plasma astrophysics. Part II. Reconnection and flares / B.V. Somov // Springer – 2006 – 417 P.
6. Kovalev V.A. The Role of Collisions in the Particle Acceleration in Solar-Flare Magnetic Traps / V.A. Kovalev, B.V. Somov // Astron. Lett. – 2003 – V. 29 – N 6 – P. 409-415. doi: 10.1134/1.1579790
7. Bilenko I.A. On the regimes of heating during solar flares / I.A. Bilenko, V.A. Kovalev // Astron. Lett. – 2009 – V. 35 – N 11 – P. 791-797. doi: 10.1134/S1063773709110061
8. Kovalev V.A. The acceleration of evolution caused by a decrease of dissipation / V.A. Kovalev // The complex systems – 2017 – N 1(4) – P. 13-20.
9. Bret A. Collisional behaviors of astrophysical collisionless plasmas / A. Bret // J. Plasma Phys. – 2015 – V. 81. doi:10.1017/S0022377815000173
10. Kurkina E. S. Formation of Thermal Structures with Blowup During Solar Flares / E. S. Kurkina, E. D. Kuretova, V. A. Kovalev // Comput. Math. Model. – 2015 – V. 26 – P. 144-155. doi:10.1007/s10598-015-9262-5
11. Kurkina E. S. Small-Scale Heat Localization with Blowup in the Magnetic-Tube Cross Section During a Solar Flare / E. S. Kurkina, Y. V. Troshchiev, V. A. Kovalev, et al // Comput. Math. Model. – 2016 – V. 27 – P. 395-416. doi:10.1007/s10598016-9330-5
12. Troshchiev Y.V. Quasirelativistic equations for the solar corona plasma and a variant of rationale of its high temperature / Y.V. Troshchiev // Theses of the conference High Energy Phenomena in Relativistic Outflows VI, Moscow, Russia, IKI RAS, 11-15 September – 2017 – P. 22.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Braginskii S. I. Transport processes in a Plasma / S. I. Braginskii // Reviews of Plasma Physics, ed. M. A. Leontovich, Consultants Bureau – 1965 – V. 1 – P. 205.
2. Zagadki solnechnoi korony [Mysteries of the solar corona] // Nauka v Rossii [Science in Russia] – 2011 – № 4 – P. 61-63. [in Russian]
3. Molotkov I.A. Solar corona top heating / I.A. Molotkov, N.A. Ryabova // Geomagn. Aeron – 2016 – V. 56 – № 3 – P. 264-267. doi: 10.1134/S0016793216030130
4. Badalyan O.G. To the problem of solar coronal heating / O.G. Badalyan, V.N. Obridko // Astron. Lett. – 2007 – V. 33 – N 3 – P. 182-191. <https://doi.org/10.1134/S106377370703005X>
5. Somov B.V. Plasma astrophysics. Part II. Reconnection and flares / B.V. Somov // Springer – 2006 – 417 P.
6. Kovalev V.A. The Role of Collisions in the Particle Acceleration in Solar-Flare Magnetic Traps / V.A. Kovalev, B.V. Somov // Astron. Lett. – 2003 – V. 29 – N 6 – P. 409-415. doi: 10.1134/1.1579790
7. Bilenko I.A. On the regimes of heating during solar flares / I.A. Bilenko, V.A. Kovalev // Astron. Lett. – 2009 – V. 35 – N 11 – P. 791-797. doi: 10.1134/S1063773709110061
8. Kovalev V.A. The acceleration of evolution caused by a decrease of dissipation / V.A. Kovalev // The complex systems – 2017 – N 1(4) – P. 13-20.
9. Bret A. Collisional behaviors of astrophysical collisionless plasmas / A. Bret // J. Plasma Phys. – 2015 – V. 81. doi:10.1017/S0022377815000173
10. Kurkina E. S. Formation of Thermal Structures with Blowup During Solar Flares / E. S. Kurkina, E. D. Kuretova, V. A. Kovalev // Comput. Math. Model. – 2015 – V. 26 – P. 144-155. doi:10.1007/s10598-015-9262-5
11. Kurkina E. S. Small-Scale Heat Localization with Blowup in the Magnetic-Tube Cross Section During a Solar Flare / E. S. Kurkina, Y. V. Troshchiev, V. A. Kovalev and others // Comput. Math. Model. – 2016 – V. 27 – P. 395-416. doi:10.1007/s10598016-9330-5
12. Troshchiev Y.V. Quasirelativistic equations for the solar corona plasma and a variant of rationale of its high temperature / Y.V. Troshchiev // Theses of the conference High Energy Phenomena in Relativistic Outflows VI, Moscow, Russia, IKI RAS, 11-15 September – 2017 – P. 22.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.04>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Научная статья

Давиденко А.Н.^{1,*}, Лапшин Н.А.²¹ ORCID 0000-0002-4535-0683;² ORCID 0000-0001-5092-8200;^{1,2} Армавирский государственный педагогический университет, Армавир, Россия

* Корреспондирующий автор (andavidenko[at]mail.ru)

Аннотация

Опрокидыванию транспортного средства соответствует такое поднятие движителя над опорной поверхностью, при котором угол крена каркаса достигает предельного значения и дальнейшее его движение в направлении крена под действием силы тяжести и инерции становится необратимым.

Целью данных исследований являлось нахождение алгоритма определения угла поперечной статической устойчивости ТС путем взвешивания по опорам конструкции в горизонтальном и наклонном положениях при малых углах наклона и получения угла статической устойчивости с помощью расчетов.

Задачи исследования: разработать опытно-аналитический метод, который позволил бы определить угол поперечной статической устойчивости без применения дорогостоящих стационарных стендов.

Основными критериями устойчивости транспортного средства против опрокидывания являются характеристика его геометрических параметров и расположение центра масс относительно движителя, определяющие границы статической устойчивости при помощи так называемых предельных углов. При расположении транспортного средства на наклонной опорной поверхности, соответствующей одному из предельных углов, возникает опрокидывание под действием только сил тяжести. Если учитывать влияние и других сил, кроме силы тяжести, то следует иметь в виду критические углы, характеризующие начало опрокидывания в рассматриваемом случае [1, С. 78], [2, С. 15].

Ключевые слова: опрокидывание, транспорт, центр масс, груз, статическая поперечная устойчивость, сельскохозяйственные агрегаты.

THEORETICAL PREREQUISITES TO INVESTIGATION OF TRANSVERSE STATIC STABILITY OF VEHICLES

Research article

Davidenko A.N.^{1,*}, Lapshin N.A.²¹ ORCID 0000-0002-4535-0683,² ORCID 0000-0001-5092-8200,^{1,2} Armavir State Pedagogical University, Armavir, Russia

* Corresponding author (andavidenko[at]mail.ru)

Abstract

The tilting of the vehicle corresponds to a lifting of the propeller above the supporting surface, in which the roll angle of the frame reaches a limiting value and its further movement in the direction of the list under the action of gravity and inertia becomes irreversible.

The purpose of these studies was to find an algorithm for determining the angle of the transverse static stability of the vehicle by weighing along the supports of the structure in horizontal and oblique positions at small angles of inclination and obtaining an angle of static stability using calculations.

Research objectives: develop an experimental-analytical method that allows determining the angle of transverse static stability without the use of expensive stationary stands.

The main criteria for the stability of the vehicle against tilting are the characteristic of its geometric parameters and the location of the center of mass relative to the propulsion device, which determines the boundaries of static stability using so-called limiting angles. When the vehicle is positioned on an inclined support surface corresponding to one of the limiting angles, a tilting occurs under the action of only gravity forces. If we take into account the influence of other forces other than gravity, we should bear in mind the critical angles characterizing the onset of overturning in the case under consideration. [1, P. 78], [2, P. 15].

Keywords: overturning, transport, center of mass, cargo, static transverse stability, agricultural aggregates

Под транспортным средством (ТС) будем понимать технические устройства для перевозки людей, грузов, а также самоходные сельскохозяйственные агрегаты.

Под опрокидыванием будем понимать некоторое вращательное движение ТС относительно определенной оси, которую будем называть осью опрокидывания. Ось опрокидывания – это прямая, вокруг которой вероятен поворот в вертикальной плоскости ТС на некоторый угол. Способность ТС выполнить поворот относительно оси, лежащей в поперечной плоскости, связывается с определением его продольной устойчивости для недопущения опрокидывания. Возможность поворота относительно оси, расположенной в продольной плоскости ТС, зависит от его поперечной устойчивости [3, С. 90], [4, С. 234].

Во время опрокидывания происходит поворот агрегата вокруг оси опрокидывания, при котором достигается соотношение

$$M_{\text{опр}} \geq M_{\text{стаб}} \quad (1)$$

где $M_{\text{опр}}$ – опрокидывающий момент; $M_{\text{стаб}}$ – момент сил, стремящихся вернуть ТС в исходное положение.

За ось поперечного опрокидывания принимают линию, соединяющую центры площадок контактов передних и задних колес одного борта.

Поперечная боковая устойчивость – это свойство ТС сопротивляться опрокидыванию. Началу опрокидывания предшествует перераспределение по бортам опорных реакций движителя. Максимальное положение появляется в то время, когда вертикальная плоскость, которая проходит через центр тяжести, пройдет и через ось опрокидывания. Статическая поперечная боковая устойчивость транспортного средства оценивается по максимальному углу наклона, когда оно располагается в состоянии неподвижности.

Процесс опрокидывания испытуемого образца рассмотрим как процесс опрокидывания «жесткой» конструкции.

Под «жесткой» конструкцией, в данном случае, следует понимать простейшую модель реальной конструкции, центр масс которой не меняет своего положения относительно опорной поверхности при ее наклоне.

Для визуализации и упрощения расчета угла поперечной статической устойчивости изобразим ТС в виде абстрактного куба с равномерно распределенной массой, координаты центра масс которого известны [5, С. 12], [6, С. 234].

Спроецируем выбранную модель на фронтальную плоскость (ФП) (рис. 1). Обозначим ребра куба – А, В, С и D, а грани куба – АВ, АД, ВС, CD, которые перпендикулярны ФП. Точка О – проекция центра масс на соответствующую плоскость.

Выполним подъем в точке В на высоту h , соответственно произойдет поворот куба вокруг ребра А против часовой стрелки на угол α , в этом случае проекция ABCD перейдет в $AB_1C_1D_1$, а центр масс переместиться в точку O_1 .

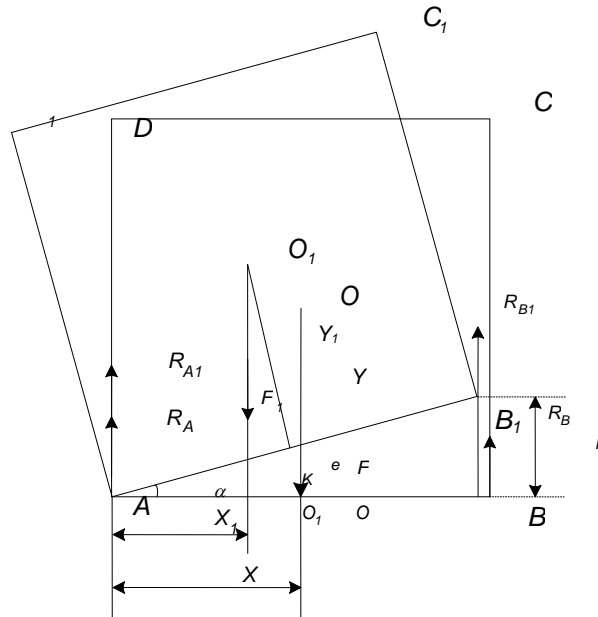


Рис. 1 – Проекция куба на ФП

Для простоты расчетов можно объект свести к точке сосредоточения массы – точке О, то соответственно сила тяжести – F куба будет приложена к точке О и направлена вдоль оси ординат «вниз». При подъеме объекта вектор действия силы F будет стремиться к вектору действия силы реакции опоры R_A (рисунок 1). При дальнейшем подъеме вектора действия этих двух сил совпадут и тело потеряет устойчивость, а угол наклона станет критическим α_k . Этот угол определяет резерв устойчивости данного объекта при вращении вокруг ребра А [6, С. 233]. При $\alpha = \alpha_k$,

$$\frac{Y}{X} = \text{ctg}(\alpha_k) \rightarrow \alpha_k = \text{arccctg}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (2)$$

где X и Y – координаты центра масс О.

Выразим X и Y через параметры, которые могут быть определены опытным путем: F , R_b , R_{b1} , h и α . В горизонтальном положении объекта определяются F , R_b и AB . Из условия равновесия видно, что сумма моментов относительно точки А равно нулю $\sum M_A = 0$, соответственно получим $FX - R_b \cdot AB = 0$.

Следовательно:

$$X = AB \left(\frac{R_b}{F} \right), \quad (3)$$

где R_b – реакция опоры в точке В, F – вес куба, X – расстояние от линии вращения (точки А) до проекции центра тяжести куба в горизонтальном положении.

Произведем поворот куба около точки А против часовой стрелки на произвольный угол такой, что $\alpha < 0.5\alpha_k$. Экспериментальным путем можно вычислить R_{b1} и α или h . Из условия равновесия получим

$$X_1 = AB_1 \left(\frac{R_{b1}}{F} \right) \quad (4)$$

где R_{b1} – реакция опоры в точке В₁,

X_1 – расстояние от оси поворота до проекции точки О после наклона на угол α .

Координату точки О (ЦМ) можно определить как $Y = k \cdot e \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ или

$$Y = \left(X - X_1 / \cos \alpha \right) \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (5)$$

Подставив в (4) формулы для X и X1 из (2) и (3), получим

$$Y = AB \cdot \frac{R_b}{F} \cdot \operatorname{ctg} \alpha - AB_1 \frac{R_{b1}}{F \sin \alpha}$$

Так как $\operatorname{ctg} \alpha = \frac{AB_1}{h}$ и $\sin \alpha = \frac{h}{AB}$, то $Y = AB \cdot \left(\frac{R_b}{F} \right) \cdot \left(\frac{AB_1}{h} \right) - AB_1 \cdot \left(\frac{R_{b1}}{F} \right) \cdot \left(\frac{AB}{h} \right)$ или $Y = AB \cdot AB_1 \cdot \left(\frac{R_b - R_{b1}}{F \cdot h} \right)$ (6)

где h – высота, на которую поднята точка В.

Таким образом, можно вычислить α_k , подставив в (2) координаты центра масс (3) и, беря в расчет (6), получим

$$\alpha_k = \operatorname{arccctg} \left(\frac{AB_1 \cdot (R_b - R_{b1})}{R_b \cdot h} \right) \quad (7)$$

Угол статической устойчивости α , при определении экспериментальным путем, вычисляют по формуле

$$\alpha_k = \operatorname{arccctg} \left(\frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot (R_b - R_{b1})}{R_b} \right) \quad (8)$$

где R_b - реакция опоры в точке В, R_{b1} - реакция опоры в точке В1. [6]

Проверим справедливость полученных выражений при рассмотрении модели «жесткой» конструкции с неравномерно распределенной массой.

Представим два предельных случая распределения массы модели.

В первом случае при $Y=0$ вся масса распределена на грани АВ куба, а проекция центра масс О лежит на отрезке АВ. В этом случае при угле в пределах $0 < \alpha < \pi/2$ имеем $R_{b1}=R_b$ и $\alpha_k = \operatorname{arccctg} 0 = \pi/2$. Таким образом, при $Y=0$ куб имеет абсолютную устойчивость.

Во втором случае при $X=0$ вся масса распределена на грани АД, а проекция центра масс О лежит на отрезке АД. В этом случае если $\alpha=0$, то $R_b=0$ и при подстановке в формулу (6) получаем неопределенность вида $(0/0)$, а при угле, лежащем в границах $0 < \alpha < \pi/2$ $R_{b1} < 0$. Следовательно, при $X=0$ тело абсолютно неустойчиво [7, С. 26], [8, С. 25].

Рассматриваемый подход позволяет сделать вывод о целесообразности подъема испытуемого образца с одной стороны на угол до 15° , который меньше реального угла продольной статической устойчивости, а далее угол опрокидывания можно рассчитать по формуле 8.

Проведенные теоретические исследования, дают предпосылку применить полученные результаты при разработке опытно-аналитического метода для определения угла поперечной статической устойчивости, задача которого будет заключаться в обеспечении плавного подъема одной стороны транспортного средства на разные величины углов в пределах от 0° до 15° , контроль угла наклона, фиксирование изменения реакции под опорными колесами [9, С. 221], [10, С. 215].

Поперечная устойчивость транспортного средства должна быть проверена в отношении возможности его опрокидывания около нижних кромок опорной поверхности ходовых частей.

Колесные транспортные средства, например самоходные сельскохозяйственные агрегаты имеют, как правило, регулируемую ширину колеи. В зависимости от ширины колеи изменяются значения предельных статических углов поперечного уклона. При расстановке колес на основной размер колеи для тракторов с колесной формулой 4К2 и 4К4 значения этих углов находятся в пределах $40 \dots 50^\circ$.

При анализе полученных выражений видна зависимость значения угла поперечной статической устойчивости от высоты центра тяжести.

Увеличение спроса и расширение выпуска самоходных сельскохозяйственных агрегатов (ССХА) на шинах сверхнизкого давления указывает на необходимость исследования и оценки параметров управляемости и устойчивости, указанных ССХА, существенно влияющих на их активную безопасность.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гуськов В. В. Тракторы, теория / под ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1988. – 375 с.
2. Клецкин М. И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / под ред. М. И. Клецкина. – М. : Машиностроение, 1967. – Т. 1. – 760 с.
3. Беспялый Ф.С. Конструкция, основы теории и расчет трактора / Ф. С. Беспялый, И.Ф. Троицкий. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1972. - 502 с.
4. Котляренко В. И. Моделирование испытаний и сервиса автомобилей / В. И. Котляренко, А. В Сироткина, В. И. Сальников и др. –Братск.: РИО ГОУ ВПО БрГУ, 2006. – 154 с.
5. ГОСТ Р 52778–2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Введ. 2008–07–01. –М. :Стандартинформ, 2008. – 23 с.
6. Лапшин Н.А. Определение угла поперечной статической устойчивости с помощью мобильного стенда и программы "устойчивость" / Н.А Лапшин, Р.А Дьяченко, М.Г. Решетняк // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. –С. 232-239.

7. Таркинский В.Е. Стенд для определения угла поперечной статической устойчивости агрегата / В.Е. Таркинский, Н.А. Лапшин // Техника и оборудование для села. –2011. –№ 11. –С. 26-27.
8. Лапшин Н.А. Экономическая эффективность мобильного стенда для измерения угла поперечной статической устойчивости агрегатов / Н.А. Лапшин // Техника и оборудование для села. –2014. – № 4 (202) . –С. 24-25.
9. Барский, И. Б. Конструирование и расчет тракторов / И. Б. Барский. – М. : Машиностроение, 1980. – 335 с.
10. Гуревич, А. М. Конструкция тракторов и автомобилей / А. М. Гуревич, А. К. Болотов, В. И. Судницын. – М. : Агропромиздат, 1989. – 368 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gus'kov V. V. Traktory, teoriya [Tractors, Theory] / edited by V. V. Gus'kova – М. : Mashinostroenie, 1988. – 375 p. [in Russian]
2. Kleckin M. I Spravochnik konstruktora sel'skohozyajstvennyh mashin [Reference book of the designer of agricultural machines] / edited by M. I. Kleckina. – М. : Mashinostroenie, 1967. – Т. 1. – 760 p. [in Russian]
3. Bespyatyj F.S. Konstrukciya, osnovy teorii i raschet traktora [Design, theory and calculation of the tractor] / F. S. Bespyatyj, I.F. Troickij. – 2nd edition. – М.: Mashinostroenie, 1972. - 502 p. [in Russian]
4. Kotlyarenko V. I. Modelirovanie ispytaniy i servisa avtomobilej [Simulation of vehicle testing and service] / V. I. Kotlyarenko, A. V Sirotkina, V. I. Sal'nikov and others –Bratsk.: RIO GOU VPO BrGU, 2006. – 154 p. [in Russian]
5. GOST R 52778–2007. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ehkspluatatsionno-tekhnologicheskoy ocenki [Testing of agricultural machinery. Methods of operational and technological assessment] – Vved. 2008–07–01. –М. :Standartinform, 2008. – 23 p. [in Russian]
6. Lapshin N.A. Opredelenie ugla poperechnoj staticheskoy ustojchivosti s pomoshch'yu mobil'nogo stenda i programmy "ustojchivost" [Determination of the angle of transverse static stability using a mobile stand and the program " stability"] /N.A. Lapshin, R.A D'yachenko, M.G. Reshetnyak // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. – 2012. – № 2. –P. 232-239. [in Russian]
7. Tarkivskij V.E. Stend dlya opredeleniya ugla poperechnoj staticheskoy ustojchivosti agregata [Stand for determining the angle of the static transverse stability of the unit] / V.E. Tarkivskij, N.A. Lapshin // Tekhnika i oborudovanie dlya sela [Machinery and equipment for the village]. –2011. – № 11. –P. 26-27. [in Russian]
8. Lapshin N.A. EHkonomicheskaya ehffektivnost' mobil'nogo stenda dlya izmereniya ugla poperechnoj staticheskoy ustojchivosti agregatov [Cost-effectiveness of mobile stand for measuring the angle of static cross-section stability of units] / N.A. Lapshin // Tekhnika i oborudovanie dlya sela [Machinery and equipment for the village]. –2014. – № 4 (202). –P. 24-25. [in Russian]
9. Barskij I. B. Konstruirovanie i raschet traktorov [Design and calculation of tractors] / I. B. Barskij. – М. : Mashinostroenie, 1980. – 335 p. [in Russian]
10. Gurevich A. M. Konstrukciya traktorov i avtomobilej [Construction of tractors and cars] / A. M. Gurevich, A. K. Bolotov, V. I. Sudnicyn. – М. : Agropromizdat, 1989. – 368 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.05>

СООТНОШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПО НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫМ ПУТЯМ ТОКА

Научная статья

Додхудоёв М.Д.¹, Таваров С.Ш.^{2,*}, Мираков О.А.³¹ ORCID: 0000-0002-2875-2752;² ORCID: 0000-0002-2875-2752;³ ORCID: 0000-0002-2875-2752;^{1,2,3} Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан

* Корреспондирующий автор (tabarovsaid[at]mail.ru)

Аннотация

В работе производится оценка соотношений электрических параметров тела человека, пороговых токов и напряжений для двух наиболее вероятных путей тока через тело человека «рука–рука» и «рука–ноги» с целью выбора пути тока при нормировании допустимых уровней напряжения прикосновения токов.

На основании экспериментальных исследований при большом количестве выборки (n=82), приводятся зависимости электрических параметров тела человека, пороговых токов и напряжения от частоты и оценка их существенности. Показано, что во всем диапазоне исследуемых частот значения пороговых токов по пути «рука – ноги» в 1,38 раза больше их значения по пути «рука – рука». Полное сопротивление по пути «рука – ноги» меньше, чем по пути «рука – рука», и составляет 74% последнего. Пороговые напряжения для обоих путей имеют примерно одинаковое значение. Отсюда вытекает, что при нормировании длительно допустимых уровней напряжений прикосновения и токов путь тока без учёта сопротивления обуви и пола особой роли не играет.

Ключевые слова: путь тока, пороговый ток, пороговое напряжение, электрические параметры, частота тока.

CORRELATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF HUMAN BODY ON THE MOST PROBABLE PATHS OF ELECTRICAL CURRENT FLOWING

Research article

Dodkhudoev M.D.¹, Tavarov S.Sh.^{2,*}, Mirakov O.A.³¹ ORCID: 0000-0002-2875-2752;² ORCID: 0000-0002-2875-2752;³ ORCID: 0000-0002-2875-2752;^{1,2,3} Technological University of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

* Corresponding author (tabarovsaid[at]mail.ru)

Abstract

In this paper, we evaluate the ratios of the electrical parameters of the human body, threshold currents and voltages for the two most probable electrical current paths through the human body: "arm-arm" and "arm-leg", in order to select the electrical current path when rationing the permissible levels of contact voltage.

Based on experimental studies with a large sample (n = 82), the dependence of the electrical parameters of the human body, threshold currents and voltage on the frequency and the evaluation of their significance are presented. It is shown that in the whole range of frequencies studied the values of the threshold currents along the "arm-leg" path are 1.38 times greater than their value along the "arm-arm" path. The total resistance along the "arm-leg" path is less than the "arm-arm" path and is 74% of the last one. The threshold voltages for both paths have approximately the same value. Hence it follows that when normalizing long-term permissible touch and current-voltage levels, the current path without taking into account the resistance of shoes and sex are of no importance.

Keywords: electrical current path, threshold current, threshold voltage, electrical parameters, frequency of current.

Существуют многочисленные пути тока через организм человека при случайных прикосновениях его к токоведущим или нетокковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением. Однако наиболее вероятными из них считаются путь тока «рука – рука» и «рука – ноги» [1, С. 25]. Поэтому экспериментальные исследования электрических параметров тела человека, пороговых токов и напряжений проводятся в основном по этим путям, реже по пути «рука – ноги», а больше по пути «рука – рука». Причины такого выбора объясняются по-разному. Вместе с тем для нормирования предельного значения сопротивления тела человека, допустимых уровней напряжения прикосновения и токов через тело человека обязательным условием является определения пути тока с наименьшим сопротивлением и пороговых токов определяющие пороговые напряжения по двум наиболее вероятным путям протекание тока через организм человека. Нами сделана попытка восполнить этот пробел.

Обзорный анализ литературных источников показывает, что значение минимального сопротивления тела человека по обоим путям тока, а также пути «нога – нога» оценивается на уровне 600–800 Ом [2, С. 53, 3, С. 21]. По результатам исследований [4, С. 22] внутренне сопротивление по путям тока распределяются следующим образом: «рука – рука»–650 Ом; «рука – ноги»–500 Ом; «нога – нога»–300 Ом. Согласно [5, С. 79] внутреннее сопротивление по пути «рука–рука» оценивается на уровне 800 Ом, а в работе [6, С. 147] – равным 500 Ом.

Относительно пороговых токов и напряжений по разным путям тока имеется ещё меньше сведения. Согласно [7, С. 266] допустимый ток для всех людей не зависит от выбранного пути и его значение в пределах частот 0,05–2,5 кГц составляет в среднем около 12 мА. Исключением является частота 200 Гц, где значение допустимого тока снижается

до 8 мА. Допустимое напряжения прикосновения по пути «рука ноги» с вероятностью 90 % составляет: при частоте 50 Гц 15 В; при частотах от 200 до 1000 Гц – 10 В; при частотах от 1 до 2,5 кГц – 5 В. По результатам исследований [8, С. 34] на частоте 50 Гц пороговый ток по пути «рука – ноги» на 35 % больше, чем по пути «рука-рука».

Нами были проведены экспериментальные исследования последовательно по обоим путям тока при участии одного и того же человека, добровольно участвовавшего в опытах на частотах от 50 Гц до 20 кГц. Всего в опытах участвовало 82 человека [9, С. 58, 10, С. 113, 11, С. 55].

Анализ результатов экспериментальных исследований по пути «рука - ноги» показывает, что электрические параметры человека, пороговые токи и напряжения, а также показатели их вариации для пути «рука – ноги» имеют такой же характер зависимости от частоты, что и для пути «рука – рука» [9, С. 61, 12, С. 57]. Это подтверждается проведенным на основе точечных оценок регрессионным и корреляционным анализом. Установлено, что зависимости полного сопротивления, его активной и емкостной составляющих, электрической емкости и показателей их вариации от частоты, так же как по пути «рука – рука», описываются уравнением гиперболы, асимптотической к линии, параллельно оси ординат. Построенные по ним графические зависимости приведены на рис 1, а основные характеристики уравнения связи электрических параметров организма с частотой для пути «рука – ноги» в табл. 1.

Графические зависимости полного сопротивления, его активной и емкостной составляющих, а также электрической емкости от частоты (рис. 1) наглядно показывают, что существенные их изменения происходят в пределах частот до 400 Гц. При частотах свыше 400 Гц темп их снижения уменьшается. На частоте 20 кГц так же как по пути «рука – рука» значения их достигают минимума.

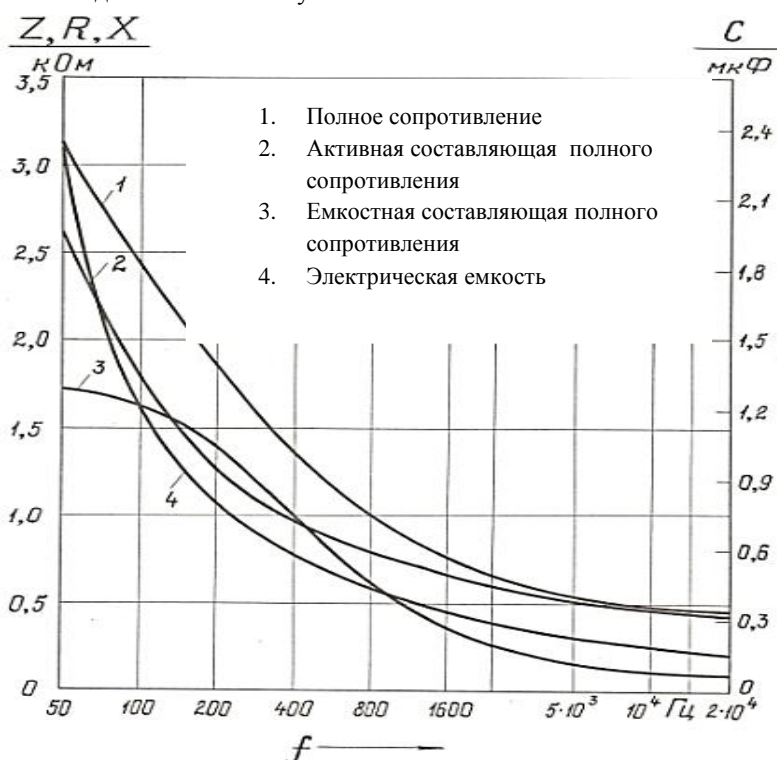


Рис. 1– Зависимости полного сопротивления, его составляющих и электрической емкости от частоты по пути «рука – ноги»

Таблица 1 – Основные характеристики уравнения связи электрических параметров организма с частотой для пути «рука – ноги»

Исследуемый параметр	Коэффициенты уравнения		r	F _φ
	a	b		
Z, кОм	0,527	0,153	0,939	66,16
R, кОм	0,438	0,116	0,943	71,25
X, кОм	0,310	0,094	0,907	41,165
C, мкФ	0,245	0,104	0,993	627,37
I _Z , кОм	0,036	0,0315	0,979	204,59
I _R , кОм	0,0186	0,027	0,993	627,37
I _X , кОм	0,0414	0,038	0,875	28,99
I _C , мкФ	0,0326	0,022	0,999	4433,0
V _Z , %	7,424	0,710	0,926	53,39
V _R , %	6,759	0,800	0,973	157,729
V _X , %	11,863	0,444	0,943	71,25
V _C , %	11,345	0,572	0,866	26,62

Угол сдвига фаз между током через тело человека и напряжением прикосновения имеет одинаковый характер и практически одинаковые значения для обоих путей тока и описывается также уравнением параболы второго порядка.

Наблюдения в ходе экспериментальных исследований показали, что механизм физиологического воздействия электрического тока на организм человека по обоим путям различия не имеет. Однако степень остроты появления пороговых реакций по пути «рука – ноги» на двух его участках различна. Ток одного и того же значения при протекании по пути «рука – ноги» может вызвать сильное сокращение мышц руки и лишь слегка ощущаться в ногах. Пороговый осязаемый ток для пути «рука – ноги», протекая через ноги, не ощущается, а пороговый отпускающий ток вызывает лишь незначительные болевые раздражения в ногах.

Регрессионным и корреляционным анализом установлено, что пороговые токи, их средние квадратические отклонения по пути «рука – ноги», как и по пути «рука – рука», возрастают прямо пропорционально частоте тока (рис. 2) и описывается также уравнением прямой. Коэффициенты (a , b) уравнения регрессии, коэффициенты корреляции (r) и оценки их существенности (t_ϕ) для пути «рука – ноги» приведены в табл. 2.

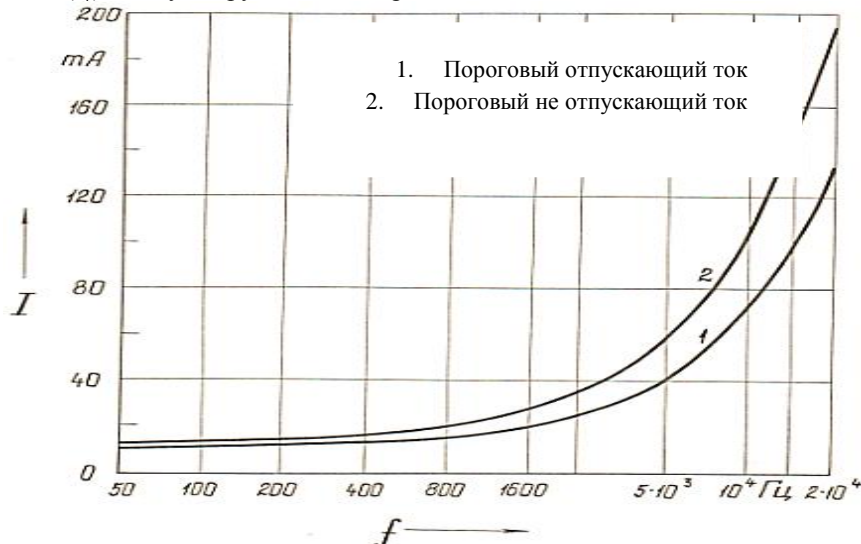


Рис. 2 – Зависимости пороговых токов от частоты

Таблица 2 – Основные характеристики уравнений связи I , $\sigma_I = \varphi(f)$

Исследуемый параметр, кА	Коэффициент уравнения		r	t_ϕ
	a	b		
$I_{\text{отп}}$	10,5	6,2	0,999	178,8
$I_{\text{неот}}$	12,41	9,14	0,999	178,8
$\sigma_{I_{\text{отп}}}$	0,956	0,102	0,965	29,44
$\sigma_{I_{\text{неот}}}$	1,21	0,076	0,885	15,21

Аналогично как для пути «рука – рука» с ростом частоты происходят изменения напряжения прикосновения, соответствующие пороговым отпускающим и не отпускающим токам по пути «рука – ноги» (рис. 3). Указанные зависимости также описываются уравнением параболы второго порядка. Коэффициенты (c , b , a) уравнения связи, корреляционные отношения (r) и оценки их существенности (F_ϕ) для двух стадий пороговых реакций приведены в табл.3. Там же приведены основные характеристики уравнения связи среднеквадратические отклонения пороговых напряжений прикосновения с частотой тока.

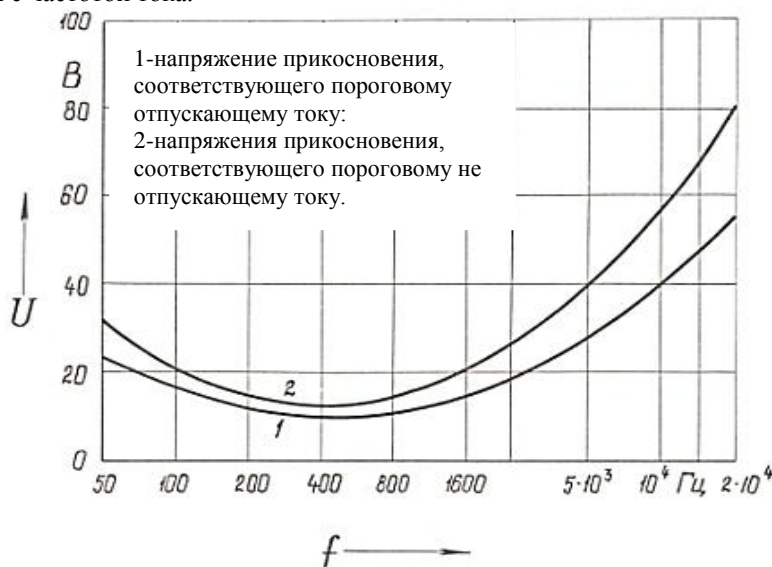


Рис. 3 – Зависимости пороговых напряжений от частоты тока для пути «рука – ноги»

Таблица 3 – Основные характеристики уравнений связи $U, \sigma_I = \varphi(f)$

Исследуемый параметр, В	Коэффициенты уравнений			r	F _ф
	с	в	а		
I _{отп}	117,3	81,8	15,54	0,976	110,44
I _{неот}	169,0	120,0	22,9	0,967	79,23
$\sigma_{U_{отп}}$	11,65	6,614	1,05	0,893	21,65
$\sigma_{U_{неот}}$	16,0	9,25	1,6	0,957	65,36

Для полной характеристики пороговых токов и напряжений прикосновения произведена оценка их коэффициентов вариации (табл.4). Установлено, что коэффициенты вариации (%) электрических параметров, пороговых токов и напряжений прикосновения при различных частотах для пути «рука – ноги», как и для пути «рука – рука», снижается и описывается также уравнением прямой. Коэффициенты (а, в) уравнения регрессии, коэффициенты корреляции (r) и оценки их существенности (t_ф) для пути «рука – ноги» приведены в табл. 5.

Таблица 4 – Коэффициенты вариации (%) электрических параметров, пороговых токов и напряжений прикосновения при различных частотах для пути «рука – ноги»

Частота тока, Гц	V _z	V _R	V _x	V _c	V _ф	V _{лотп}	V _{неот}	V _{лотп}	V _{неот}
50	22,56	22,17	21,4	19,39	19,75	9,9	6,1	19,3	17,6
100	18,36	14,32	19,12	21,87	14,70	6,7	9,1	16,4	18,0
200	14,69	13,62	16,16	16,45	10,16	8,2	5,0	17,5	20,9
400	10,19	9,66	13,73	16,00	7,2	7,4	7,6	19,3	22,6
800	9,66	8,96	12,02	13,95	9,88	5,6	6,8	12,8	14,2
1600	7,87	7,91	12,86	12,82	9,53	6,0	6,8	15,6	13,6
2400	5,50	6,00	12,22	14,28	10,21	4,4	4,9	13,6	15,0
5000	6,57	6,20	13,09	4,34	12,81	4,2	3,2	6,9	11,3
10000	-	-	-	-	-	2,9	1,7	7,7	8,3
15000	-	-	-	-	-	2,6	1,5	7,2	7,3
20000	3,81	4,18	6,58	6,00	12,09	2,0	1,4	6,2	7,9

Таблица 5 – Основные характеристики уравнений связи $V_{I,U} = (f)$

Исследуемый параметр, %	Коэффициенты уравнения		r	t _ф
	а	в		
V _{лотп}	6,95	0,298	-0,829	11,86
V _{неот}	6,57	0,326	-0,851	12,96
V _{лотп}	16,0	0,615	-0,829	11,86
V _{неот}	17,4	0,625	-0,828	11,81

Сравнение фактических величин показателей существенности (t_ф) коэффициента корреляции (r) с теоретическим значением (t_к=2,66 при уровне значимости 0,01), а также фактических величин показателей существенности (F_ф) корреляционных отношений (η) с теоретическими значениями (F_к=3,76 +4,46 при доверительной вероятности 0,99) показывает, что фактические значения показателей существенности коэффициентов корреляции и корреляционных отношений гораздо больше теоретических. Это является свидетельством наличия тесной связи между электрическими параметрами для пути «рука – ноги» и частотой тока, а, следовательно, показателем идентичности зависимости электрических параметров от частоты по обоим путям тока.

При полной идентичности характера изменения электрических параметров по обоим путям тока значения их для путей «рука – рука» и «рука – ноги» (за исключением напряжения прикосновения и угла сдвига фаз) различны.

Сравнительную оценку численных значений электрических параметров по путям тока «рука – рука» и «рука – ноги» достаточно производить по полному сопротивлению тела человека, пороговым отпускающим и не отпускающим токам и соответствующим им напряжениям прикосновения. При этом оценка соотношений пороговых токов и напряжений для указанных путей тока производится по средним арифметическим их значениям, полученным на фиксированных частотах. Соотношения электрического сопротивления для этих путей тока определяются по средним арифметическим значениям, полученным при фиксированных значениях частоты и напряжения.

Средние арифметические значения электрических параметров и результаты сравнительной их оценки для двух путей протекания тока представлены в табл. 6.

Индексом 1 в табл. 6. обозначены электрические параметры по пути «рука-рука» при протекании тока через ладони рук, индексом 2 – для пути «рука – ноги» при протекании тока через ладонь и ступни. Отношение значения параметра для пути «рука – ноги» к значению параметра для пути «рука – рука» названо коэффициентом превышения и обозначено «К» с соответствующим индексом параметра.

Таблица 6 – Эмпирические значения математического ожидания полного сопротивления человека, пороговых токов и напряжений прикосновения и их соотношения для путей «рука – рука» и «рука – ноги» при различных частотах

f, Гц	I ₁ , А	I ₂ , А	K _I	U ₁ , В	U ₂ , В	K _U	Z ₁ , кОм	Z ₂ , кОм	K _Z
50	7,5	10,6	1,41	20,32	20,45	1,00	4,41	3,28	0,74
100	7,57	11,11	1,47	16,75	16,66	0,99	3,49	2,26	0,65
200	7,99	11,41	1,43	13,75	13,95	1,01	2,47	1,80	0,73
400	8,71	11,91	1,36	12,14	11,53	0,95	1,88	1,34	0,71
800	11,55	15,48	1,34	13,74	12,82	0,93	1,30	0,94	0,72
1600	16,00	21,75	1,36	15,19	14,96	0,98	0,84	0,72	0,86
2400	20,57	25,11	1,22	16,79	16,85	1,00	0,81	0,62	0,76
10000	52,54	72,77	1,39	34,50	34,85	1,01	0,70	-	-
15000	74,87	101,17	1,35	48,90	46,7	0,96	0,62	-	-
20000	100,16	135,36	1,35	63,42	58,72	0,93	0,61	0,45	0,74

Поскольку значения электрических параметров организма человека имеют вероятностный характер, коэффициент превышения для разных частот тока имеет различное значение. Максимальное значение коэффициента превышения по току получено на частоте 200 Гц – 1,46, минимальное значение на частоте 20 кГц – 1,24. Поэтому показателем сравнительной оценки может служить среднее значение коэффициента превышения в диапазоне частот 50-20000 Гц.

Полученные средние значения коэффициентов превышения показывают, что во всем диапазоне исследуемых частот значения пороговых токов по пути «рука – ноги» в 1,38 раза больше их значения по пути «рука – рука». Полное сопротивление по пути «рука – ноги» меньше, чем по пути «рука – рука», и составляет 74% последнего. Пороговые напряжения для обоих путей имеют примерно одинаковое значение.

Таким образом, путь «рука – ноги» характеризуется большим значением пороговых токов и меньшим значением электрического сопротивления по отношению пути «рука – рука». Различие это примерно одинаково по току и по сопротивлению, в силу этого пороговые напряжения для обоих путей равны. Следовательно, опасности поражения электрическим током при прочих равных условиях (одинаковая вероятность прикосновения, возможности отвлечения тока через сердце, отсутствие обуви) для обоих путей примерно одинаковы. Отсюда вытекает, что при нормировании длительно допустимых уровней напряжений прикосновения и токов путь тока особой роли не играет. Если допустимое напряжение прикосновения для обоих путей тока будет иметь одинаковое значение, то ток через тело человека, вызванный этим напряжением, по обоим путям будет в пределах допустимого значения. Однако при протекании тока по пути «рука – рука» наряду с сопротивлением тела человека участвует сопротивление обуви и пола. Очевидно, поэтому в качестве расчётного принято сопротивление тела человека равным 1000 Ом, тогда когда внутреннее сопротивление оценивается на уровне 500-800 Ом [1–9].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности / В.Е. Манойлов – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1976. – 344 с.
2. Киселёв А.П. Тело человека как элемент электрической цепи / А.П. Киселёв // Труды МИИТа, Вопросы безопасности труда на железнодорожном транспорте. – 1966. – Вып. № 226. – С. 51–62.
3. Киселёв А. П. Влияние частоты в установках переменного тока на условия электробезопасности / А.П. Киселёв, Л.К. Мещеряков, И.Д. Равикович // В кн.: Вопросы электрофизиологии, электротравматизма и электробезопасности. Сб. науч. Тр. Ан Кирг. ССР. – 1964. – Вып. № 4–5. – С. 7–33.
4. Вайлов А. М. Электрические сопротивления тела человека / А.М. Вайлов // Труды МИИТ. Вопросы безопасности труда на железнодорожном транспорте. – 1969. – Вып. №299. – С. 19–24.
5. Конча А. Я. Влияние некоторых факторов на электрическое сопротивление тела человека / А.Я. Конча // Труды МИИТа. Вопросы безопасности труда на железнодорожном транспорте. – 1968. – Вып. №393. – С. 78–82.
6. Щуцкий В. И. Результаты исследования внутреннего сопротивления тела человека методом реографии / В.И. Щуцкий, А.М. Цыбизов // В кн.: Электробезопасность на горнорудных предприятиях чёрной металлургии СССР. Днепропетровск. – 1979. – С. 147–149.
7. Мещеряков Л.З. Влияние токов различных частот на организм человека / Л.З. Мещеряков // Труды Всесоюз. конферен. по профилактике и лечению электротравм. АН Кирг.ССР. – Фрунзе. – 1962. –С. 265–267.
8. Шипунов Н.В. К вопросу выбора критериев электробезопасности / Н. В. Шипунов, Т. П. Марусова, Р. Д. Бойкова и др. // Труды МЭИ. Безопасность труда в электроэнергетике. – 1975. – Вып. №232. –С. 33–37.
9. Щуцкий В. И. Экспериментальная оценка пороговых токов и напряжений промышленной и повышенных частот / В.И. Щуцкий, М. Додхудоев // Известия АН Тадж. ССР. Отделение физико-математических, химических и геологических наук. – Душанбе, Дониш. – 1985. – № 4. –С. 56–61.
10. Щуцкий В. И. О принципах нормирования электрических параметров тела человека и сопротивления изоляции электроустановок / В.И. Щуцкий, М. Додхудоев // В кн.: Электробезопасность на горнорудных предприятиях чёрной металлургии СССР. Днепропетровск-Марганец. – 1979. –С 112–114.

11. Додхудоев М. Д. Принципы и методы нормирования и нормы предельно допустимых уровней напряжения прикосновения и токов промышленной и повышенных частот / М.Д. Додхудоев, А.И. Сидоров // *Электробезопасность*. – №4. – 2016. – С. 53–62.

12. Додхудоев М. Количественная оценка электрического сопротивления организма человека / М. Додхудоев, Г.Х. Маджидов, М.М. Вохидов // *Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: Сб. материалов V-й Международной научно-практической конференции: в 2 т. / под. Ред. А. И. Сидорова* – Челябинск: Издательство центр ЮУрГУ. – 2012. – Т.1. С. 55–59.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Manoylov V. Ye. Osnovy elektro-bezopasnosti [Fundamentals of Electrical Safety] / V.E. Manoilo - 3rd ed., revised and added – L.: Energia, 1976. – 344 p. [in Russian]

2. Kiselev A.P. Telo cheloveka kak element elektricheskoy tsepi [Human Body as Element of Electrical Circuit] / A.P. Kiselev // *Proceedings of MIIT, Occupational safety issues in railway transport*. – 1966. – Is. No. 226. – P. 51-62. [in Russian]

3. Kiselev A. P. Vliyaniye chastoty v ustanovkakh peremennogo toka na usloviya elektrobezopasnosti [Effect of Frequency in AC Installations on Electrical Safety Conditions] / A.P. Kiselev, L.K. Meshcheryakov, I.D. Ravikovich // In the book: *Issues of electro-pathology, electrotraumatism and electrical safety. Sat. sci. Tr. An Anne Kirg. SSR*. – 1964. – Is. No. 4-5. – P. 7-33. [in Russian]

4. Vaylov A.M. Elektricheskiye so-protivleniya tela cheloveka [Electrical Resistance of Human Body] / A.M. Vailov // *Proceedings of the MIIT. Occupational safety issues in railway transport*. -1969. – Is. No.299. – P. 19-24. [in Russian]

5. Koncha A. Ya. Vliyaniye nekotorykh faktorov na elektricheskoye soprotivle-niye tela cheloveka [Influence of Some Factors on Electrical Resistance of Human Body] / A. Ya. Koncha // *Proceedings of MIIT. Occupational safety issues in railway transport*. – 1968. – Is. No. 393. – P. 78-82. [in Russian]

6. Shchutsky V.I. Rezul'taty issle-dovaniya vnutrennego soprotivleniya tela cheloveka metodom reografii [Researches of Internal Resistance of Human Body by Rheography Method] / V.I. Shchutsky, A.M. Tsybizov // In the book: *Electrosafety at the mining enterprises of the ferrous metallurgy of the USSR. Dnipropetrovsk* – 1979. – P. 147-149. [in Russian]

7. Meshcheryakov L.Z. Vliyaniye tokov razlichnykh chastot na organizm cheloveka [Influence of Currents of Different Frequencies on Human Body] / L.Z. Meshcheryakov // *Proceedings of the All-Union. conference on the prevention and treatment of electrical injuries. Academy of Sciences of the Kyrgyz SSR*. – Frunze. 1962. – P. 265-267. [in Russian]

8. Shipunov N.V. K voprosu vybora kriteriyev elektrobezopasnosti [To Issue of Choosing Electrical Safety Criteria] / N.V. Shipunov, T.P. Marusova, R.D. Boykova, et al – *Works of MPEI. Safety in the power industry*. – 1975. – Is. No.232. – P. 33-37. [in Russian]

9. Shchutsky V.I. Eksperimental'naya otsenka porogovykh tokov i napryazhe-niy promyshlennoy i povyshennykh chastot [Experimental Estimation of Threshold Currents and Voltages of Industrial and Increased Frequencies] V.I. Shchutsky, M. Dodhudoev // *News of AN TSSR. Branch of physical and mathematical, chemical and geological sciences*. – Dushanbe, Donish. – 1985. –No. 4. – P. 56-61. [in Russian]

10. Shchutsky V.I. O printsipakh normirovaniya elektricheskikh parametrov tela cheloveka i soprotivleniya izolyatsii elektroustanovok [On Principles of Normalization of Electrical Parameters of Human Body and Insulation Resistance of Electrical Installations] /V.I. Shchutsky, M. Dodhudoev // In the book: *Electrical safety at mining enterprises of the ferrous metallurgy of the USSR. Dnipropetrovsk-Manganese*. – 1979. – P. 112-114. [in Russian]

11. Dodkhudoev M.D. Printsipy i metody normirovaniya i normy predel'-no dopustimyykh urovney napryazheniya pri-kosnoveniya i tokov promyshlennoy i po-vyshennykh chastot [Principles and Methods of Rationing and Norms of Maximum Permissible Levels of Touch Voltage and Industrial and High Frequency Currents] / M.D. Dodhudoev, A.I. Sidorov // *Electrical safety*. – No. 4. – 2016. – P. 53-62. [in Russian]

12. Dodhudoev M. Kolichestvennaya otsenka elektricheskogo soprotivleniya or-ganizma cheloveka [Quantitative Evaluation of Electrical Resistance of Human Body] / M. Dodhudoev, G.Kh. Majidov, M.M. Vohidov // *Safety of vital activity in the third millennium: Sat. materials of the 5th International Scientific and Practical Conference: 2t. / Ed. by A.I. Sidorova* – Chelyabinsk: Publishing center of SUSU. – 2012. – V.1. P. 55-59. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.06>**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ НАВЫКОВ
СПЕЦИАЛИСТОВ БУДУЩЕГО**

Научная статья

Ибрагимова Э.П.¹, Староверова Н.А.^{2,*}² ORCID: 0000-0002-5524-1325;^{1,2} Казанский национальный исследовательский университет, Казань, Россия

* Корреспондирующий автор (nata-staroverova[at]yandex.ru)

Аннотация

В настоящее время всё больше учебных заведений уделяют особое внимание вопросам подготовки специалистов с помощью виртуальных тренажёров и лабораторных стендов, на которых можно выполнить все необходимые лабораторные работы и смоделировать самые разные ситуации и условия эксплуатации оборудования. Кроме того это позволяет создавать лабораторные практикумы с удалённым доступом, что особенно актуально в свете развития дистанционного обучения. Для разработки любого виртуального объекта необходимо пройти ряд этапов и один из них это компьютерное моделирование. Компьютерное моделирование это один из самых мощных инструментов для анализа, изучения и проектирования, которыми располагают специалисты в сфере химических технологий и производств.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, виртуальные тренажёры, алгоритмы.

COMPUTER SIMULATION AS TOOL FOR FORMING SKILLS OF FUTURE SPECIALISTS

Research article

Ibragimova E.P.¹, Staroverova N.A.^{2,*}² ORCID 0000-0002-5524-1325^{1,2} Kazan National Research University, Kazan, Russia

* Corresponding author (nata-staroverova[at]yandex.ru)

Abstract

Currently, more and more educational institutions pay special attention to the training of specialists using virtual simulators and laboratory stands, where you can perform all the necessary laboratory work and simulate a variety of situations and operating conditions of equipment. In addition, it allows the development of laboratory workshops with remote access, which is especially important in the light of the development of distance learning. In order to develop any virtual object, it is necessary to go through a number of stages, and computer modeling is one of them. Computer modeling is one of the most powerful tools for analysis, study and design, which have specialists in the field of chemical technology and production.

Keywords: computer simulation, virtual simulators, algorithms.

Для формирования как теоретических базовых, так и специальных практических навыков студентов, последнее время учебные заведения обращаются к виртуальным лабораторным стенам и тренажёрам. Это объясняется тем, что лабораторные стенды или установки обычно слишком громоздкие, а используемое для них оборудование дорого стоит и это затрудняет работу студентов. Кроме того оборудование требует регулярного ремонта и наладки квалифицированным персоналом. Так же необходимо учитывать, что прогресс не стоит на месте и оборудование модернизируется, в результате возникает необходимость обновления стендов, а это накладно и проблематично [1], [2].

Поэтому всё больше учебных заведений уделяют особое внимание вопросам подготовки специалистов с помощью виртуальных тренажёров и лабораторных стендов, на которых выполняются необходимые лабораторные работы и можно смоделировать самые разные условия эксплуатации оборудования. Так же это позволяет создавать лабораторные практикумы с удалённым доступом, что актуально в свете развития дистанционного обучения. Наиболее перспективным направлением является разработка и организация лабораторных работ «вокруг» реальных технологических процессов, с акцентом на условия эксплуатации оборудования и учётом технологического регламента ведения того или иного процесса. Таким образом, в рамках одного технологического процесса рассматриваются самые разные теоретические и практические вопросы, раскрывая тем самым обучающимся связь различных дисциплин как базового, так и специального образовательного цикла [3].

В свете выше изложенного, видно, что необходимы специалисты, способные разрабатывать компьютерные (виртуальные) тренажёры (стенды), для решения обучающих и исследовательских задач. Поэтому формирование учебно-методического материала по подготовке ИТ специалистов, способных разрабатывать компьютерные тренажёры, является важной и перспективной задачей. С этой целью было проведено исследование, посвященное виртуальным тренажёрам, принципам их разработки и методологии компьютерного моделирования. Результаты данного исследования легли в основу учебного пособия посвящённого анализу и систематизации информации о видах виртуальных тренажёров, области их эксплуатации, предъявляемым к ним требованиям, используемым средствам разработки и пр.

С точки зрения имитации поведения технологического объекта тренажеры могут строиться на основе статической или динамической модели в зависимости от поставленных задач обучения.

Статическая модель предполагает описание различных состояний объекта при отсутствии внешних возмущений. Такая модель не описывает процесса перехода объекта из одного состояния в другое. Примером применения тренажеров на основе статической модели может служить задача изучения технологических схем и последовательности операций при выполнении переключений в этих схемах. Другим примером является приобретение навыков, выявления причин неисправности оборудования, исходя из их пост-аварийного состояния.

Динамическая модель, в свою очередь, позволяет имитировать на тренажере процесс работы технологического объекта во времени, в том числе имитировать поведения объекта в случае каких-либо технологических нарушений, неисправности оборудования или иных внешних возмущений, не связанных непосредственно с действиями оператора. Тренажер на основе динамической модели необходимо использовать, например, для приобретения навыков управления оборудованием с непрерывным технологическим процессом. В зависимости от характера технологического объекта, такой тренажер может работать в реальном или сжатом масштабе времени [4].

В процессе решения любой задачи важно осознавать, следующие общие принципы: чёткая формулировка цели исследования, постановка задачи и определение критерия эффективности решения задачи; разработку развёрнутой стратегии исследования с указанием основных этапов и направлений в решении задачи [5], [6].

Технология создания программных тренажёрных комплексов предусматривает выполнение следующих этапов:

1) Создание математической модели:

- Определение области действия модели (т.е. рассмотрев назначение - определяются пределы модели);

- Подготовка данных объекта. (Для динамического моделирования требуются более подробные данные об оборудовании, чем для статического. Поэтому важно собрать: монтажно - технические схемы и технические характеристики оборудования);

- Разбиение модели, производственной установки;

- Определение компонентов и методы расчета физических свойств;

- Подготовка модели, производственной установки;

- Настройка модели, производственной установки.

2) Создание базы данных.

3) Создание мнемосхемы.

4) Запуск тренажёра.

5) Создание начальных данных.

6) Остановка и сохранение тренажёра со сформированными начальными данными.

Разработка виртуального тренажёра начинается с создания математической модели объекта. Для этого в настоящее время используется компьютерное моделирование, которое является мощным инструментом для анализа, изучения и проектирования. Идея компьютерного моделирования даёт возможность исследователю проводить эксперименты с различными объектами даже в тех случаях, когда проделать данный опыт в реальных условиях невозможно или же нецелесообразно и даже опасно. Сущность компьютерного моделирования в том, что объект, а точнее его математический образ, переносятся в виртуальную реальность, и в дальнейшем с помощью вычислительно-логических алгоритмов происходит изучение модели в «предлагаемой ситуации». Целью экспериментов является попытка исследовать различные факторы, влияющие на систему и позволяющие повысить эффективность работы. Или же ещё одна сторона эксперимента – это оценить алгоритмы функционирования технологической системы и понять существующие внутренние взаимосвязи. Таким образом, процесс компьютерного моделирования включает анализ системы, разработку математической модели и формирование виртуальной модели, а так же дальнейшее применение модели для решения поставленной задачи: анализа, исследования, оптимизации или проектирования технологических процессов и оборудования. Эти задачи сложны и включают в себя большое число элементов, переменных, параметров, ограничений и т.д., поэтому в процессе разработки важно выбрать только те элементы и факторы, которые несут основную нагрузку и пренебречь незначительными, кроме того необходимо учитывать степень влияния каждого из элементов. Для успешного построения компьютерной модели очень важен системный подход, при котором рассматриваемый объект представляется как единый технологический комплекс, состоящий из тесно взаимодействующих между собой систем. Каждая система, в свою очередь, может быть представлена более простыми элементами тесно связанными друг с другом [7], [8].

Каждый анализируемый объект, можно представить в виде иерархии слоёв. Верхний слой определяет модель с конечными свойствами, каждый следующий слой детализирует вышележащий, выполняя для него некоторый набор функций. Межслойные взаимодействия подчиняются строгим правилам. Связи внутри слоя могут быть произвольными. Отдельный модуль слоя $L(i)$ может полностью описывать требуемое свойство или по следующим вариантам: обратиться только к слою $L(i-1)$; обратиться к некоторой команде определенного слоя $L(q)$, который выполняет требуемую функцию ($i-2 \leq q \leq 0$); обратиться к любому последующему слою $L(s)$, ($i-2 \leq s \leq 0$). Между уровнями можно организовать четкий интерфейс. Модель описывается методом «сверху вниз», а реализуется методом «снизу вверх». Уровни реализуются в соответствии с их порядком, начиная с простейшего и далее вверх.

Центральным понятием системного анализа является система, под которой подразумевается изучаемый объект, взаимодействующий с окружающей средой и обладающий определённым строением, состоящим из некоторого числа элементов. Каждый элемент системы – самостоятельная и условно неделимая единица [9].

Математическая модель позволяет отобразить связь между элементами системы, отобразив связи между входными и выходными переменными системы, параметрами её состояния и входными управляющими и возмущающими воздействиями. Если система сложная, то она обычно формализуется как детерминированно-стохастическая модель.

Разработка и применение компьютерных моделей все еще в большей степени искусство, нежели наука. Следовательно, как и в других видах искусства, успех или неудача определяется не столько методом, сколько тем, как он применяется. Искусством моделирования могут овладеть те, кто обладает оригинальным мышлением, изобретательностью и находчивостью, равно как и глубокими знаниями систем и физических явлений, которые необходимо моделировать [10].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Норенков И.П. Информационные технологии в образовании / Норенков И.П., Зимин А.М. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 352 с.
2. Трухин А.В. Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем / А.В. Трухин // Открытое и дистанционное образование. – 2008 - № 1. - С. 32-39.
3. Абрамов А.Е. Использование тренажеров при подготовке инженерных кадров [Электронный ресурс] / Абрамов А.Е. // Современная техника и технологии. - 2014. - № 10. - URL: <http://technology.snauka.ru/2014/10/4565> (дата обращения: 26.05.2018).
4. Кануков С. Использование энергосберегающих виртуальных тренажеров в процессе подготовки специалистов инженерных специальностей / С. Кануков, А. Хатагов // Информационные ресурсы России. №1 – 2014 – С. 27-29
5. Система «Человек - машина». Тренажеры. Термины и определения. 1976. Москва: Изд-во стандартов, 1976. ГОСТ 26387-84
6. Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем: Учеб. пособие / Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И. Муратова и др. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. - 80 с.
7. Низамиев А. Ю. Оптимизация современного производства на основе компьютерного моделирования технологических процессов / А. Ю. Низамиев, А. А. Саешин, З. Т. Валишина и др. // Вестник Технологического Университета – 2017 - Т.20. - №6 - С. 121-123
8. Хакимзянов Г. С. Математическое моделирование: В 2 ч.: Учеб. пособие. Ч. 1: Общие принципы математического моделирования / Хакимзянов Г. С., Чубаров Л. Б., Воронина П. В. - Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2010. - 148 с.
9. Аксенова Е.А. Методология моделирования технологических объектов пищевых производств / Аксенова Е.А., Зверева В.В. // «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс»: Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2016. – №05(33). – 144 с
10. Дворецкий С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: Учеб. пособие/ Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та - 2003 - 224 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Norenkov I.P. Informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii [Information Technologies in Education] / Norenkov I.P., Zimin A.M. – Moscow: Bauman MSTU, 2004. – 352 p. [in Russian]
2. Trukhin A.V. Analiz imeyushchikhsya v RF trenazhorno-obuchayushchikh sistem [Analysis of Existing Simulator-Training Systems in Russia] / A.V. Trukhin // Open and distance education. – 2008 – No. 1. – P. 32-39. [in Russian]
3. Abramov A.E. Ispol'zovaniye trenazhorov pri podgotovke inzhenernykh kadrov [Use of Simulators in Preparation of Engineering Personnel] [Electronic resource] / Abramov A.E. // Modern Technics and Technology. - 2014. – No. 10. – URL: <http://technology.snauka.ru/2014/10/4565> [in Russian]
4. Kanukov S. Ispol'zovaniye energosberegayushchikh virtual'nykh trenazherov v protsesse podgotovki spetsialistov inzhenernykh spetsial'nostey [Using Energy-saving Virtual Simulators During Process of Training Specialists in Engineering Specialties] / S. Kanukov, A. Khatagov // "INFORMATION RESOURCES OF RUSSIA" – No. 1 – 2014 – P. 27-29 [in Russian]
5. "Man-Machine" System. Training Apparatus. Terms and Definitions. 1976. Moscow: Publishing Standards, 1976. GOST 26387-84 [in Russian]
6. Butler D.S. Komp'yuternoye modelirovaniye biotekhnologicheskikh protsessov i sistem: Ucheb. posobiye [Computer Simulation of Biotechnical Processes and Systems: Textbook] / D.S. Butler, S.I. Butler, E.I. Muratov, et al. - Tambov: Publishing house of Tamb. state. tech. University, 2005. – 80 p. [in Russian]
7. Nizamiev A. Yu. Optimizatsiya sovremennogo proizvodstva na osnove komp'yuternogo modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov [Optimization of Modern Production on Basis of Computer Simulation of Technological Processes] / A. Yu. Nizamiev, AA Saetshin, ZT Valishina, et. al. // Bulletin of Technological University – 2017 – V.20. – No. 6 – P. 121-123 [in Russian]
8. Khakimzyanov G.S. atematcheskoye modelirovaniye: V 2 ch.: Ucheb. posobiye. CH. 1: Obshchiye printsipy matematicheskogo modelirovaniya [Mathematical modeling: In 2 Parts: Textbook. Part 1: General Principles of Mathematical Modeling] / Khakimzyanov G.S., Chubarov L.B., Voronina P.V. – Novosib. state. un-t. Novosibirsk, 2010. – 148 p. [in Russian]
9. Aksenova E.A. Metodologiya modelirovaniya tekhnologicheskikh ob"yektov pishchevykh proizvodstv [Methodology of Technological Objects Simulation in Food Production] / Aksenova EA, Zvereva V.V. // "XXI century: results of the past and problems of the present plus": Periodical scientific publication. - Penza: Publishing house Penza. state. technol. Univ., 2016. – No. 05 (33). – 144 p. [in Russian]
10. Dvoretzky S.I. Komp'yuternoye modelirovaniye i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i oborudovaniya: Ucheb. posobiye [Computer Simulation and Optimization of Technological Processes and Equipment: Textbook] / Dvoretzky S.I., Egorov A.F., Dvoretzky D.S. – Tambov: Publishing house of Tamb. state. tech. University – 2003 – 224 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.07>

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ БЕСШОВНОЙ ОДЕЖДЫ: ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

Научная статья

Каюмова Р.Ф.*

ORCID: 0000-0001-9028-223X,

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

* Корреспондирующий автор (karuf1[at]yandex.ru)

Аннотация

Приведены результаты анализа исследований в области сокращения производственного цикла изготовления одежды, а также получения бесшовной одежды в масштабах промышленного производства. Результаты исследований позволили выявить наиболее перспективные способы производства одежды путём нанесения жидкой быстровысыхающей текстильной массы на формуемую поверхность или непосредственно на тело человека, а также аддитивные технологии получения изделий на 3D принтере. Эти способы позволяют максимально реализовать индивидуальный подход к созданию одежды. Эти технологии нуждаются в дальнейшем исследовании.

Ключевые слова: бесшовная одежда, непрерывная технология получения одежды, цельнотканая одежда, композиционные материалы, формованная одежда, формоустойчивость, ткань-спрей, аддитивные технологии, 3D принтер.

ON QUESTION OF SEAMLESS CLOTHES PRODUCTION: PAST AND FUTURE

Research article

Kayumova R.F.*

ORCID: 0000-0001-9028-223X,

Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

* Corresponding author (karuf1[at]yandex.ru)

Abstract

The results of the research analysis in the field of production cycle reduction for the manufacture of clothes, as well as the production of seamless clothing in the scale of industrial production, are presented in the paper. The results of the research made it possible to identify the most promising ways of producing clothes by applying a liquid fast drying textile mass onto the molded surface or directly on the human body, as well as additive technologies for obtaining products on a 3D printer. These methods make it possible to realize the individual approach to creating clothes as much as possible. These technologies need further research.

Keywords: seamless clothing, the continuous technology of garment production, all-cloth clothing, composite materials, molded clothing, form-stability, spray-cloth, additive technologies, 3D printer.

Традиционная технология изготовления одежды, включающая в себя процессы прядения, ткачества, отделки, раскроя и пошива, по признанию специалистов отличается трудоёмкостью и длительностью производственного цикла. В связи с этим разработка способов так называемой «непрерывной технологии» изготовления бесшовной одежды ведётся с 40-х годов прошлого века.

Как показывают маркетинговые исследования, одежда, изготовленная с использованием инновационной технологии, очень востребована потребителями [1, С. 76]. Современный потребитель высоко ценит удобство и комфортность одежды при эксплуатации, при этом должна сохраняться форма изделия, полученная в процессе производства. Обеспечить такие высокие требования может бесшовная одежда.

В 1940 году в США был запатентован способ изготовления вязаной бесшовной юбки. Японская компания Shima Seiki впервые продемонстрировало цельновязаное изделие (берет) в 1995 году [2].

Одной из первых разработок отечественных учёных в этой области стала технология «роторного типа». Технология основана на создании гибкой пространственной оболочки на вязально-ткацком оборудовании за счёт изменения плотности распределения основных и уточных нитей в сечении материала [3, С. 171]. Так появились первые образцы цельнотканой одежды, а затем и экспериментальные партии изделий, изготовленные в промышленных условиях. Позднее была реализована технология получения цельнотканой одежды трубчатой формы за счёт зонального введения в ткань эластичных уточных нитей с заданной величиной усадки [4, С. 10]. Эта технология позволила значительно усложнить форму полученной одежды.

Такая технология позволила значительно сократить производственный цикл за счёт частичной ликвидации раскроя деталей и получить цельнотканые полуфабрикаты одежды несложного кроя, с сохранением отдельных швов и строчек. Кроме того, технология становилась малоотходной. Однако оставалась актуальной задача обеспечения формоустойчивости отдельных деталей. Кроме того, подобная технология не обеспечивала требуемой изотропности свойств.

Для производства одежды сложных форм с заданными зонально распределёнными прочностными показателями была разработана технология изготовления цельнотканых изделий с триаксиальной структурой. Оболочка была образована тремя видами основных нитей, переплетённых под определённым углом, также были введены дополнительные формообразующие нити [5, С. 56]. Полученная тканая структура обеспечивает точное воспроизведение любой сложной поверхности, достаточно высокую прочность и формоустойчивость готовых изделий. Такая технология перспективна для применения триаксиальных оболочек в области протезирования, авиационной, космической и электронной поверхности. Технология достаточно капиталоемка и пока не нашла широкого применения в области изготовления одежды.

Другим направлением развития бесшовной технологии изготовления одежды можно считать бесшовное формование из расплава полимера, волокнистого слоя или волокнистых холстов [3, С. 174]. Таким способом и сейчас изготавливают

детали одежды несложных форм и небольших размеров (детали головных уборов, прокладочные детали, рукавицы, чашки бюстгалтеров). Такая технология неприменима для изготовления швейных изделий сложной конструкции.

То же можно сказать и о технологии изготовления эластичного трубчатого полотна для дамского белья, спортивной одежды. Эластичное волокно сначала использовалось исключительно для изготовления чулок и колготок, впоследствии стало применяться для изготовления бельевых изделий.

С целью упрощения технологии изготовления разработан способ изготовления изделий в виде композита, состоящего из эластичной основы – трикотажного полотна и формоустойчивого дискретного покрытия [6, С. 71]. Такой способ решает вопрос сохранения первоначальной формы изделия в процессе эксплуатации и восстановления формы после прекращения действия деформаций [7, С. 171].

С целью улучшения потребительских свойств формованной одежды ведутся исследования по использованию различных видов натурального сырья, в частности натуральной кожи. Разработан способ получения деталей одежды заданной формы из массы коллагеновых волокон на основе отходов кожевенного производства [8, С.61]. Свойства полученных материалов позволяют изготавливать формоустойчивые изделия заданной формы.

Ни один из рассмотренных способов не обеспечивает заметного сокращения длительности производственного процесса и не исключает дополнительного соединения деталей. Наиболее перспективными с точки зрения обеспечения наиболее короткого производственного цикла производства одежды любой сложной формы и практического исключения соединительных швов представляются следующие два направления.

Первое направление основано на образовании одежды непосредственно на фигуре человека. В начале 2000-х годов была разработана ткань-спрей под названием «Fabrican». Эта ткань представляет собой смесь из коротких текстильных волокон с растворителем и связующим элементом. Спрей из баллончика наносится на тело человека, и получается готовая одежда. После того, как ткань высохнет, её можно снять, постирать или даже растворить, если не нравится результат. Материал не липнет к телу, легко снимается. Можно менять толщину материала, цвет и наносить различные рисунки. Одежда-спрей означает новый поворот к созданию индивидуальной моды. В любой момент можно внести внезапные изменения — добавить ещё один элемент одежды или смешать цвета и текстуры ткани [9]. То есть полностью реализуется индивидуальный творческий подход человека к созданию «своей» одежды.

Такой материал не отличается достаточной прочностью и износостойкостью. Нуждаются в особом исследовании гигиенические свойства нового материала – в частности, влияние на кожу человека. Пока материал Fabrican находит применение для изготовления гигиенических салфеток, туалетной бумаги, липкой ленты, полировальных салфеток и «повязок» на раны [10].

Другим перспективным направлением создания одежды являются аддитивные технологии, то есть послойное наращивание и синтез объекта с помощью компьютерных 3 D технологий. Впервые платье, полученное на 3D-принтере из 17 деталей нейлонового пластика, было представлено в 2013 году. Платье было украшено 13 тысячами камней Сваровски. Все детали собирались дизайнерами вручную [11]. Такой подход позволяет получать уникальные модели на конкретные фигуры, то есть учесть все особенности фигуры, а также максимально проявить свою индивидуальность. Экстраординарные наряды, которые были получены впоследствии с помощью 3D-принтера, имели один общий недостаток: отсутствие пластичности, свойственной тканям и трикотажному полотну. Это исключало возможность их повседневной эксплуатации. Кроме того, технология получения подобных изделий пока трудоёмка (срок изготовления одного изделия – 62 часа и более), представляет сложность процесс отделения побочных продуктов после поликонденсации.

Гораздо более приемлемой для изготовления повседневной одежды представляется получение вязаных трикотажных изделий на 3D-принтере по заданной программе. Вязальная платформа с открытой архитектурой и специальное программное обеспечение позволяют создавать одежду в домашних условиях [12]. В зависимости от конструкции изделия получают с одним-двумя швами или даже без швов. Современное оборудование, разработанное японскими учёными, позволяет автоматизировать процесс изготовления цельновязаных бесшовных изделий и обеспечить их массовое производство [13].

Наконец, группой учёных из Сан-Франциско была разработана мини-машина Electroloom: mini, которая соединила в себе 3D технологию и получение цельноформованной одежды. Работает устройство по следующему принципу: жидкая суспензия специального химического состава, состоящего из смеси хлопчатобумажных и полиэфирных волокон, с помощью спрея наносится на готовую форму, повторяющую форму тела (или части тела) человека и созданную с помощью 3 D принтера. Покрытие внешне неотличимо от ткани и, главное, сохраняет гибкость и способность формоваться. Весь процесс занимает 20 минут [14].

Таким образом, учитывая потребности потребителей в модных, сохраняющих форму, при этом удобных и комфортных изделиях, разработка непрерывной технологии получения бесшовной одежды ведётся с середины прошлого века по настоящее время. Наиболее перспективными способами получения бесшовной одежды с точки зрения сокращения производственного цикла и возможности реализовать индивидуальный подход и творческое начало в настоящее время являются: нанесение жидкой быстровысыхающей текстильной массы на формуемую поверхность или непосредственно на тело человека, а также аддитивные технологии получения изделий на 3D принтере. Эти технологии имеют большое будущее и нуждаются в дальнейшем исследовании.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Каюмова Р. Ф. Формирование ассортиментной политики предприятий индустрии моды в Республике Башкортостан. / Р. Ф. Каюмова // Дизайн и технологии – 2011. – № 26 (68). – С. 75-80.
2. Wonseok C. Three dimensional seamless garment knitting on V-bed flat knitting machines / Choi Wonseok, B. Powell Nancy // Journal of Textile and Apparel. Technology and Management. [Electronic resource] URL:

https://www.researchgate.net/publication/237482349_Three_dimensional_seamless_garment_knitting_on_Vbed_flat_knitting_machines (accessed 04.05.2018).

3. Рогова А.П. Изготовление одежды повышенной формоустойчивости / А.П. Рогова, А.И. Табакова. - М.: Легкая индустрия, 1979. - 184 с. С. 170-179.

4. Меликов Е.Х. Технология изготовления одежды ткачеством. / Е.Х. Меликов, Е.Г. Базаев, Е.Г. Андреева и др. // Швейная промышленность. 1990, № 5.- С. 10-11

5. Лаврис Е.В. Цельнотканые оболочки с триаксиальной структурой: текстильные изделия нового поколения / Е.В. Лаврис // Текстильная промышленность. 2008. № 11-12. С. 56-57

6. Каюмова Р.Ф. Использование композиционных материалов для изготовления социально-значимой одежды / Р.Ф. Каюмова // Международный научно-исследовательский журнал – 2015. - № 5-2(36). – С. 71-72.

7. Каюмова Р.Ф. Понятие формоустойчивости материалов и методы её оценки. / Р.Ф. Каюмова, Л.Р. Гирфанова // Естественные и технические науки, 2007. № 1 (27). С. 171-174.

8. Ресурсосберегающая технология изготовления формоустойчивой одежды: Монография / Р.Ф. Каюмова, Л.Р. Гирфанова, Г.П. Зарецкая. Уфа. 2005. - 74 с.

9. Одежда будущего [Электронный ресурс] URL: <https://www.mirf.ru/science/odezhda-buduschego> (дата обращения: 04.05.2018).

10. Одежда будущего, какой она будет? Ткани-фурнитура-дизайн [Электронный ресурс] URL: <http://fb.ru/Research/article/243785/odejda-buduschego-kakoy-ona-budet-tkani-furnitura-dizayn> (дата обращения: 04.05.2018).

11. Аддитивные технологии - что это такое и где применяется [Электронный ресурс] URL: <http://kak-bog.ru/additivnye-tehnologii-chto-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya> (дата обращения: 04.05.2018).

12. Печать одежды на 3D принтере [Электронный ресурс] URL: [https://make-3d.ru/Research articles/pechat-odezhdy-na-3d-printere/](https://make-3d.ru/Research%20articles/pechat-odezhdy-na-3d-printere/) (дата обращения: 04.05.2018).

13. Leighton M. A clothing startup founded by MIT grads is using 3D printing to make better, more sustainable clothes (6.09.2017) [Electronic resource] URL: <http://www.businessinsider.com/ministry-of-supply-3d-printed-knits> (accessed 30.05.2018).

14. Ballard L. Electroloom: The World's First 3D Fabric Printer (30.06.2016) [Electronic resource] URL: <http://www.botmag.com/electroloom-the-worlds-first-3d-fabric-printer/> (accessed 30.05.2018).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kayumova R. F. Formirovanie assortimentnoy politiki predpriyatiy industrii modyi v Respublike Bashkortostan [Formation of assortment policy of enterprises of fashion industry in the Republic of Bashkortostan]. / R. F. Kayumova // *Tekhnologiya i dizayn* [Technology and design] – 2011. - № 26 (68). – P. 75-80. [in Russian]

2. Wonseok C. Three dimensional seamless garment knitting on V-bed flat knitting machines / Choi Wonseok, B. Powell Nancy // *Journal of Textile and Apparel. Technology and Management*. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/237482349_Three_dimensional_seamless_garment_knitting_on_Vbed_flat_knitting_machines (accessed 04.05.2018).

3. Rogova, A. P. Izgotovleniye odezhdyy povyshennoy formoustoychivosti [Production of clothes with the increased dimensional stability. / A. P. Rogova. A. I. Tabakova. - M.: Legkaya industriya, 1979. - 184 p. [in Russian]

4. Melikov E.Kh. Tekhnologiya izgotovleniya odezhdyy tkachestvom [Technology of manufacturing of clothes by weaving. / E. H. Melikov, E. G. Bazaev, E. G. Andreeva and others // *Shveytnaya promyshlennost* [Sewing industry] - 1990, - № 5.- P. 10-11. [in Russian]

5. Lavris E. V. Tselnotkanyye obolochki s triaksialnoy strukturoy: tekstilnyye izdeliya novogo pokoleniya [Wove sheath with three-axis structure: textile products of new generation] / E.V. Lavris // *Tekstilnaya promyshlennost* [Textile industry] – 2008, No. 11-12. - P. 56-57. [in Russian]

6. Kayumova R.F. Ispolzovaniye kompozitsionnykh materialov dlya izgotovleniya sotsialno-znachimoy odezhdyy [The use of composite materials for the manufacture of socially significant clothing] / R.F. Kayumova // *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International research journal] – 2015. - № 5-2(36). – P. 71-72. [in Russian]

7. Kayumova R.F. Ponjatie formoustojchivosti materiala i metody ego ocenki [The concept of materials formability and methods of its evaluation / R. F. Kayumova, L. R. Girfanova // *Estestvennye i tehicheskie nauki* [Natural and technical Sciences] - 2007. No. 1 (27). - P. 171-174. [in Russian]

8. Kayumova R.F. Resursosberegayushchaya tekhnologiya izgotovleniya formoustoychivoy odezhdyy: Monografiya [Resource saving technology of manufacture of the form-stable clothes: Monograph] / R.F. Kayumova, L.R. Girfanova, G.P. Zaretskaya - Ufa: UGIS, 2005.- 74 p. [in Russian]

9. Odezhda budushchego [The clothes of the future] [Electronic resource] URL: <https://www.mirf.ru/science/odezhda-buduschego> (accessed 04.05.2018). [in Russian]

10. Odezhda budushchego, kakoy ona budet? Tkani-furnitura-dizayn [The clothes of the future, what will it be? Fabrics-accessories-design] [Electronic resource] URL: [http://fb.ru/Research article/243785/odejda-buduschego-kakoy-ona-budet-tkani-furnitura-dizayn](http://fb.ru/Research%20article/243785/odejda-buduschego-kakoy-ona-budet-tkani-furnitura-dizayn) (accessed 04.05.2018). [in Russian]

11. Additivnyye tekhnologii - chto eto takoye i gde primenyayetsya [Additive technologies - what is it and where is it used] [Electronic resource] URL: <http://kak-bog.ru/additivnye-tehnologii-chto-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya> (accessed 04.05.2018). [in Russian]

12. Pechat odezhdyy na 3D-printere [Clothing printing on a 3D printer] [Electronic resource] URL: [https://make-3d.ru/Research articles/pechat-odezhdy-na-3d-printere/](https://make-3d.ru/Research%20articles/pechat-odezhdy-na-3d-printere/) (accessed 04.05.2018). [in Russian]

13. Leighton M. A clothing startup founded by MIT grads is using 3D printing to make better, more sustainable clothes (6.09.2017) [Electronic resource] URL: <http://www.businessinsider.com/ministry-of-supply-3d-printed-knits> (6.09.2017) (accessed 30.05.2018).

14. Ballard L. Electroloom: The World's First 3D Fabric Printer (30.06.2016) [Electronic resource] URL: <http://www.botmag.com/electroloom-the-worlds-first-3d-fabric-printer/> (accessed 30.05.2018).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.08>

ДЕТЕКЦИЯ ТОРОСИСТЫХ УЧАСТКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ СНЕЖНО-ЛЕДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Научная статья

Путинцев Д.Н.^{1,*}, Усилин С.А.²¹ORCID: 0000-0003-0978-350X;²ORCID: 0000-0001-6383-9696;^{1,2} Институт системного анализа ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (2001dnp[at]mail.ru)

Аннотация

В работе предложен вычислительно эффективный подход к решению задачи обнаружения торосистых участков на изображениях снежно-ледовой поверхности. Приведен краткий обзор возможностей различных детекторов характерных точек и проведено исследование натурных стендов изображений арктической зоны с использованием дескрипторов характерных точек. Показано, что на реальных изображениях использование дескрипторов SURF, SIFT и ASIFT дает достаточную плотность покрытия характерными точками на торосистых участках поверхности. Результаты работы показали применимость предложенного подхода для детекции торосов в задачах компьютерного зрения, работающих в реальном времени.

Ключевые слова: обработка изображений, компьютерное зрение, характерные точки, торосы, снежно-ледовый покров, Арктическая зона.

DETECTION OF HUMMOCKY AREAS ON IMAGES OF SNOW AND ICE SURFACE

Research article

Putintsev D.N.^{1,*}, Usilin S.A.²¹ORCID: 0000-0003-0978-350X;²ORCID: 0000-0001-6383-9696;^{1,2} Institute of System Analysis (ISA RAS), MoscowRussia

* Corresponding author (2001dnp[at]mail.ru)

Abstract

A computationally effective approach to solving the problem of detecting hummocky areas on images of a snow and ice surfaces is proposed in the paper. A brief review of the capabilities of various detectors for characteristic points is given, and a study of full-scale stands of images of the Arctic zone using descriptors of characteristic points is carried out. It is shown that the use of SURF, SIFT and ASIFT descriptors on real images gives sufficient coverage density for characteristic points on hummocky areas of the surface. The results of the work showed the applicability of the proposed approach for the detection of hummocks in real-time computer vision problems.

Keywords: image processing, computer vision, characteristic points, hummocks, snow and ice cover, Arctic zone.

Торосы представляют собой нагромождения обломков льда, которые образуются в результате сжатия ледяного покрова и могут достигать до 10 – 20 метров в высоту. Торосистые участки поверхности могут быть заметных размеров и зачастую требует отдельного исследования в различных задачах компьютерного зрения. Это касается, в том числе изучения поверхности по изменению отражательной способности и исследования эффекта многократного отражения.

Наблюдение поверхности посредством видеосъемки или фотосъемки с летающих аппаратов предполагает большое движение наблюдаемой сцены с изменением положение точки наблюдения. Поэтому для выделения характерных точек [1] и определения их соответствия в данном случае целесообразно использовать подход, который заключается в независимом обнаружении признаков во всех изображениях [2] и дальнейшем сопоставлении их дескрипторов между собой на основе метрики подобия [3].

Характерной точкой называется точка на изображении наблюдаемой сцены, которая с большой вероятностью будет найдена на другом изображении этой же сцены. В общем случае каждая характерная точка имеет свое уникальное описание. Количество таких точек должно быть существенно меньше общего числа пикселей на изображении.

Способ описания характерных точек называют дескрипторами, а методы локализации на изображениях характерных точек называют детекторами. Область вокруг каждой определенной характерной точки преобразуется в компактный дескриптор, который может быть сопоставлен с другими дескрипторами. В этом случае использования самого простого дескриптора (интенсивности пикселей на участке объекта) для сравнения интенсивности [4] могут применяться такие метрики числа ошибок, как сумма квадратов разностей или нормированная взаимная корреляция. Более надежным коэффициентом подобия изображения является трансформация полного набора характеристик [5], которая преобразует каждый участок поверхности изображения в бинарный вектор, позволяющий представить какие из соседних участков обладают большей или меньшей интенсивностью относительно центрального пикселя.

В основе методов определения и сопоставления характерных точек лежит анализ яркости и градиента яркости, поэтому результат их работы зависит от контраста конкретного изображения. Для всесторонней оценки различных детекторов при изучении снежно-ледовой поверхности необходимо использовать изображения, полученные при различных погодных условиях. При видимом солнце мы получаем высококонтрастные изображения, а в случае облачности изображения с умеренным контрастом.

Поиск характерных точек на изображении заключается в определении точек, которые с большой долей вероятности будут хорошо сопоставляться на других изображениях наблюдаемой сцены. Локальным дескриптором

можно считать шаблон изображения, который отличается от своих ближайших соседей по интенсивности, цвету и текстуре. В ряде случаев, локальный вид дескриптора не является хорошим дескриптором информации, которую он несет, потому что его внешний вид меняется с изменением ориентации, масштаба и точки наблюдения.

В задаче изучения снежно-ледовой поверхности важное значение имеют точки (углы и пятна), для которых можно точно измерить их положение на изображении. Угол можно определить как точку изображения на пересечении двух или более краев. Пятно как участок изображения, отличающийся от своих ближайших соседей по интенсивности, цвету и текстуре. К детектору предъявляются следующие требования: точность локализации, инвариантность к освещению и геометрическим изменениям. В таблице 1 приведено сравнение свойств различных детекторов потенциальных характерных точек на снежно-ледовой поверхности.

Таблица 1 – Сравнение возможностей детекторов характерных точек

	Детектор углов	Детектор пятен	Инвариантность к вращению	Инвариантность к масштабу	Инвариантность к аффинному преобразованию
Haris	x		x		
Shi-Tomasi	x		x		
FAST	x		x	x	
SIFT		x	x	x	x
SURF		x	x	x	x
CENSURE		x	x	x	x
ASIFT		x	x	x	x

В работе каждого детектора признаков можно выделить два этапа. На первом этапе применяется функция реагирования целиком на всём изображении (например, функция оператора разности гауссианов в детекторе SIFT) [6]. На втором этапе осуществляется подавление ошибочных максимумов к полученным на первом этапе результатам. Цель детектора — идентифицировать все локальные экстремумы (максимумы или минимумы) функции реагирования. Результатом подавления ошибочных экстремумов представляет собой определенные характерные точки. Для того чтобы детектор обладал инвариантностью к изменениям масштаба осуществляют исследование низко-масштабных и верхне-масштабных образцов одного и того же изображения. Инвариантности к изменениям перспективы добиваются за счет аппроксимации искажения перспективы как аффинной. Рассмотрим подробно детекторы SIFT, SURF и ASIFT.

Детектор SIFT (Scale Invariant Feature Transform) является функцией поиска особенностей, разработанной для распознавания объекта и места. Детектор является одним из наиболее популярных дескрипторов для точечных объектов [7]. SIFT является гистограммой ориентированных локальных градиентов. Участок вокруг характерной точки разбивается на сетку размером 4x4. Для каждого квадранта строится гистограмма из восьми градиентных ориентаций. Все гистограммы затем объединяются, образуя вектор дескриптора из 128 элементов. Чтобы уменьшить влияния изменений освещенности, дескриптор затем нормируется.

Детектор SURF (Speed Up Robust Feature) базируется на детекторе SIFT, но использует фильтры коробки для аппроксимации Гаусса, в результате чего можно производить более быстрые расчеты [8] по сравнению с SIFT, при помощи интегральных изображений [9].

Детектор ASIFT (Affine-SIFT) представляет детектор, в котором реализована комбинация различных методов. Детектор имитирует набор различных видов на объекты с исходных изображений [10]. Данный набор можно получить, варьируя два параметра ориентации оси камеры, а именно углы широты и долготы. Это процедура не входит в базовый детектор SIFT. Далее детектор SIFT применяется ко всем сгенерированным изображениям. В результате комбинированный детектор ASIFT охватывает все 6 параметров аффинного преобразования.

Результаты работы детекторов SIFT, SURF и ASIFT, которые обеспечивает наиболее плотное покрытие характерными точками и высокую скорость работы на подготовленной тестовой выборке изображений, представлены в таблице 2. Детекторы SIFT и SURF [11] можно эмпирически признать инвариантными в соответствии с определенными изменениями точки наблюдения.

Таблица 2 – Результаты локализации характерных точек

	Среднее количество найденных особых точек
SURF	3816
SIFT	1318
ASIFT	2128

Приведем пример визуализации характерных точек с использованием детекторов SURF, SIFT и ASIFT на изображении снежно-ледовой поверхности, имеющей торосистые участки.

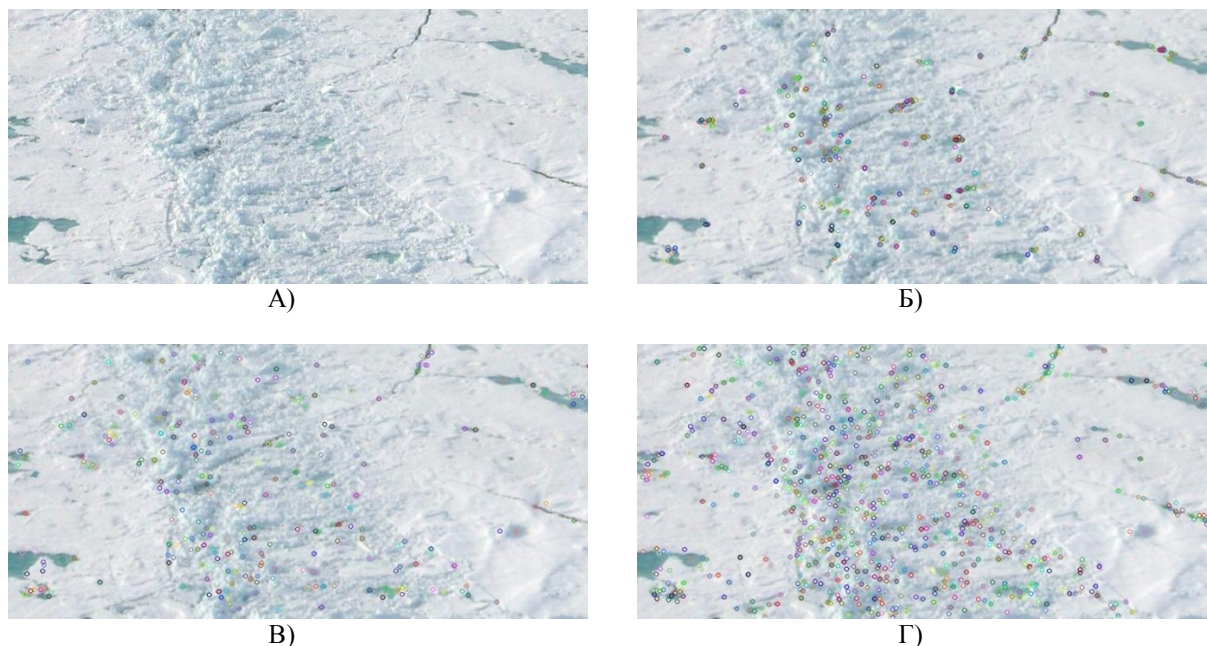


Рис. 1 – Пример визуализации характерных точек:
 А – исходное изображение, Б – SIFT, В – SURF, Г – ASIFT

Анализ результатов работы детекторов характерных точек показал, что участки с высокой плотностью характерных точек относятся к торосистой снежно-ледовой поверхности. Несмотря на то что подобный подход к детекции торосов на изображениях поверхности является достаточно «грубым», он удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам реального времени, и позволяет эффективно с точки зрения вычислительных ресурсов при необходимости локализовать или наоборот исключить из наблюдения методами компьютерного зрения участки, имеющие торосы.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 15-29-06091.

Funding

The work was supported by grants from the RFBR 15-29-06091.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Baskent D. Surface Profile Determination from Multiple Sonar Data Using Morphological Processing / Baskent D., Barshen B. // The International Journal of Robotics Research. – 1999. – Vol. 18(8). – P. 788–808. doi: 10.1177/02783649922066565
2. McManus C. Learning place-dependant features for long-term vision-based localisation / McManus C., Upcroft B., Newman P. C. // Autonomous Robots. – 2015. – Vol. 39(3). – P. 363–387. doi: 10.1007/s10514-015-9463-y
3. Pronobis A. The More you Learn, the Less you Store: Memory-controlled Incremental SVM for Visual Place Recognition / Pronobis A., Jie L., Caputo B. // Image and Vision Computing. – 2010. – Vol. 28(7). – P. 1080–1097. doi: 10.1016/j.imavis.2010.01.015
4. Gonzalez R. C. Digital Image Processing, 3rd ed. / Gonzalez R. C., Woods R. E. – New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. – 954 p.
5. Zabih R. Non-parametric local transforms for computing visual correspondence / R. Zabih Zabih R., Woodfill J. // Proceedings of the European conference Computer Vision. – 1994. – P. 151–158. doi: 10.1007/BFb0028345
6. Zhang Y. H. A new modified panoramic UAV image stitching model based on the GA-SIFT and adaptive threshold method / Zhang Y. H., Jin X., Wang Z. J. // Memetic Computing. – 2017. – Vol. 9(3). – P. 231–244. doi: 10.1007/s12293-016-0219-9
7. Cruz-Mota J. Scale Invariant Feature Transform on the Sphere: Theory and Applications / Cruz-Mota J., Bogdanova I. Paquier B. // International Journal of Computer Vision. – 2012. – Vol. 98(2). – P. 217–241. doi: 10.1007/s11263-011-0505-4
8. Mehrotra H. Fast segmentation and adaptive SURF descriptor for iris recognition / Mehrotra H., Sa P. K., Majhi B. // Mathematical and Computer Modelling. – 2013. – Vol. 58(1-2). – P. 132–146. doi: 10.1016/j.mcm.2012.06.034
9. Bay H. Speeded-Up Robust Features (SURF) / Bay H., Ess A., Tuytelaars T. // Computer Vision and Image Understanding. – 2008. – Vol. 110(3). – P. 346–359. doi: 10.1016/j.cviu.2007.09.014
10. Raviv D. Equi-affine Invariant Geometry for Shape Analysis / Raviv D., Bronstein A. M., Bronstein M. M. // Journal of Mathematical Imaging and Vision. – 2014. – Vol. 50(1-2). – P. 144–163. doi: 10.1007/s10851-013-0467-y
11. Valgren C. Sift, surf and seasons: Long-term outdoor localization using local features / Valgren C., Lilienthal A. // Proceedings of the European conference on mobile robots (ECMR). – 2007. – P. 253–258.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.09>**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЭМАНИРОВАНИЯ РАДОНА-222 СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Научная статья

Соколов П.Э.^{1,*}, Сентенберг С.А.²¹ ORCID: 0000-0002-3960-5010,

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия;

² Волгоградский технологический колледж, Волгоград, Россия

* Корреспондирующий автор (pr7391[at]yandex.ru)

Аннотация

Производство строительных материалов основано на переработке различного природного сырья – горных пород. Одним из видов такой переработки является тепловая обработка (обжиг) сырья. В работе предпринята попытка оценить, какое влияние оказывает тепловая обработка на изменение коэффициента эманации радона-222. Отобранные пробы сырьевых материалов подвергались постадийному обжигу. После каждой стадии обжига проводилось определение коэффициента эманации радона-222. Полученные результаты позволили выявить зависимости изменения этой величины. Проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных. Сделан вывод о том, что часть радона и радия выделяется в окружающую среду в процессе обжига. Использование полученных результатов на практике позволит прогнозировать коэффициент эманации радона-222, и дает возможность регулировать эту характеристику, изменяя температуру обжига материалов. Это позволит снизить дозы облучения населения от радона-222 и его дочерних продуктов распада.

Ключевые слова: радон-222, коэффициент эманации радона, тепловая обработка, обжиг, строительные материалы.

HEAT TREATMENT INFLUENCE EVALUATION ON RADON-222 EMANATION FACTOR IN BUILDING MATERIAL

Research article

Sokolov P.E.^{1,*}, Sentenberg S.A.²¹ ORCID: 0000-0002-3960-5010,

Volgograd state technical University, Volgograd, Russia;

² Volgograd technological College, Volgograd, Russia

* Corresponding author (pr7391[at]yandex.ru)

Abstract

Building material production is based upon processing of various natural raw material, i.e. of rock. One of the kinds of the processing is heat treatment and namely burning of raw material. In the present paper, there has been made an attempt to evaluate, what influence heat treatment exerts on changing the emanation factor of Radon-222. Selected samples of raw material were subjected to phasic burning. Determination of Radon-222 emanation factor was made after each burning phase. The obtained results allowed expose change dependability on the quantity. There has been made an analysis of experimental and calculated data. A conclusion has been drawn that a part of radon and radium is emitted into the environment while burning. The obtained results practical application will help forecast Radon-222 emanation factor and makes it possible to regulate the characteristic by means of changing the burning temperature. This will allow reduce the population irradiation dose of Radon-222 and its daughter decay product.

Keywords: Radon-222, Radon emanation factor, heat treatment, burning, building material.

Introduction

One of the main sources of the population irradiation sources is building material [1]. Between all the irradiation sources influencing man in this or that way building material takes approximately 50 % [2], [3]. The reason for that lies in the fact that people keep spending more and more time inside buildings. Man irradiation inside buildings in its turn includes two components. The first one is irradiation by natural radionuclides like ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th contained in building material. The second component is the irradiation emitted by radon and its isotopes and by its daughter decay products [4].

²²²Rn is the longest living among all the radon isotopes. Radon is a unique radioelement. It is generated as a result of ²²⁶Ra decay and from solid ²²⁶Ra the emanation is generated i.e. the gasiform radioactive isotope ²²²Rn, which in its turn after decay transforms again into solid state. While ²²²Rn decay there appear a number of radionuclides, such as ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi named daughter decay products (DDP). It is exactly for them man has the most amount of inner irradiation through breathing.

Inflow of radon inside a premise increases people irradiation. The inflow of radon from building material inside a premise is characterised by the emanation factor [5, 6]. Different material have different emanation factor.

Radon (²²²Rn) is a radioactive gas with a half-life period of 3.825 days. Alongside with radon while other natural radioactive families decay there appear a number of radon isotopes, such as Thoron-220 (²²⁰Tn), Actinon-219 (²¹⁹An). They have rather short half-life periods (less than a minute) and are not observed in this paper.

The emanation ability of building materials is the most important factor causing the intensity of radon release into a house. The emanation process is comparatively complex which includes radon atoms escape from the substance solid phase dew to radium radioactive recoil, diffusion in gas and liquid phases (we can ignore diffusion in solid phases due to smallness of the corresponding diffusion ratio), adsorption on walls of cracks, pores and capillaries of a substance.

To characterize the emanation process an effective parameter, and namely emanation factor is used, which determines radon fraction escaped through open pores of a substance. As follows from the definition:

$$\eta = \frac{A_{222_{Rn}}}{A_{226_{Ra}}}, \quad (1)$$

where $A_{222_{Rn}}$ is the quantity of free emanation emitted by a solid substance unit mass within the time allowing define radioactive equilibrium, and $A_{226_{Ra}}$ is the quantity of emanation corresponding to isotope ^{226}Ra .

The emanation factor is used for calculation of radium effective specific activity:

$$A_{Ra_{eff}} = A_{Ra}\eta, \quad (2)$$

where A_{Ra} is ^{226}Ra specific activity.

A significant number of papers considering radon cover estimation of radon level inside buildings, structures and premises of different function, having various number of storeys, erected of diverse building materials, situated in different areas of the world, in different countries and regions of a country. Execution of such routine, labor-consuming and money-losing works is necessary to acquire the general picture produced by radon as well as to reveal faulty or dangerous areas, materials, buildings, etc.

Another rather a large group of articles is dedicated to investigations about what levels of radon and levels of radon exhalation are formed by different building finishing materials inside premises [11], [12], [13]. Both natural and man-made building materials [14], as well as different measuring approaches are considered [15], [16].

The radon exhalation process can be divided into two stages: radon emanation into a material inner pores and radon atoms diffusion through these pores followed by the exit from the material. Such division is justified by the fact, that radon diffusion ratio inside a consistent substance is extremely small, and so from the material only those radon atoms are emitted, that occurred in inner pores due to aggregate recoil while $\text{Ra } \alpha$ -decay.

A number of works is devoted to the application of different additives into building materials to regulate radon exhalation and emanation levels [17], [18].

Finally, to the last group, it is necessary to attribute the papers, that in this or that way are related to the influence of different technological factors on radon emanation factor. Thus, in some paper [19, 20] the influence of filler's grain size on inside a premises radon level is estimated. However, the works considering the influence of temperature processing on radon emanation factor from building materials are the most interesting. These works cover the research of certain building materials to have been subject of heating with temperatures up to 750°C [21] and up to 1200°C [22].

A great number of «traditional» building materials were and are obtained with the use of heating. We can refer to that number nearly all inorganic binding substances, such as portland cement, gypsum, lime as well as ceramic bricks and blocks, silica glass, man-made fillers for concrete, etc. Besides the said materials can be a stock for other building materials, for instance concretes. A number of researchers note, that building materials and stock they are made of, have different values of ^{222}Rn emanation factor. The overwhelming majority of scientists state the fact of reducing emanation factor of building materials in comparison with raw ones [4], [23].

Considering the foregoing we have decided research the influence of heating (burning) inside the range to 1500°C . As the materials under test we decided to use both raw materials to heat (burn), and those which usually are not subject to such processing (for comparison).

Methods and materials

To fulfil the research there was selected a group of 5 kinds of raw stock, used for building materials production. Each material was presented in three samples. The choice of the stock was random. In the group under research there occurred materials usually both subjected to heat processing and never heating processed. This was made intentionally, to compare the acquired results and to generally estimate the influence of burning on the emanation factor. As the materials under research there were taken chalk, clay, limestone, gypsum stone and sand rock.

The emanation factor, the radium specific activity and a sample mass under normal conditions were determined for all the samples.

Then the materials were subjected to a stage heat processing (burning) up to 1500°C . The experiment pitch was 150°C , which is explained by data sufficiency within a wide burning range. After each pitch determination of radon emanation factor and sample mass was made.

To fulfill the heat processing (burning) of the materials under research an electric muffle furnace was used, which allowed to heat the materials to desired temperatures, up to 1500°C . The application of the muffle furnace allowed to eliminate any contact of the researched material with fuel and its combustion products.

The materials samples selection and preparation for determination of natural radionuclides specific activities and emanation factor are made on joint hinges selected from a representative sample.

The representative sample is acquired by means of mixing and quartering of not less than 10 spot samples taken from checkpoints. The selection of samples is made according to current normative documents demands [24]. A representative sample with the size over 5 mm is grinded to a less than 5 mm size. Depending on the volume of a container used in radiometric units, sample with a mass from 1.0 to 10 kilograms is packed into a double sack, between the walls of which there is a sample's name plate with the material name, and selection place and date.

The determination of the specific activities of natural radionuclides in building materials and Research articles of manufacture was made on the joint hinges selected from a representative sample which counted 1.0 kilogram.

The determination of the specific activities of natural radionuclides was made on a spectrometer facility with a scintillation detector based on NaI(Tl) crystal with $\varnothing 63 \times 63$ mm. The acquired spectra were treated in accordance with the standard

methods [25]. We applied the said equipment due to its easy use, availability and possibility to make routine measurements with an acceptable error.

The prepared sample of the material under research was put into a Marinelli vessel (see Fig. 1). The Marinelli vessel was put on the detector of the gamma-ray spectrometer, where during a definite time (usually 30 minutes) γ -ray spectrum was gained, conditioned by natural radionuclides present in the sample. On finishing the time search of peaks formed by impulses of the same energy γ -quanta was made. The determination of nuclides composition was fulfilled by means of comparative analysis of radioactive isotopes ray characteristics and those of the sample's registered ray [26]. Next the determination of specific activity of each the rated natural radionuclides was fulfilled: ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th . Then we calculated the total specific activity of the sample. Calculation of measurements error was the final stage. The observation treatment and the estimation of measurements' error were produced in accordance with measurements techniques [27], independently for each hinge and for each natural radionuclide.



Fig. 1 – Marinelli vessel:
a – general view; b – open vessel

To measure Rn emanation and to calculate η and $A_{\text{Ra eff}}$ we used techniques described in [28, 29] with the equipment at our disposal considered [25].

The observed sample counting 1 kg was previously grinded up to pieces less than 5 mm (that is by a degree less than the length of radon diffusion in the given material). Such a grinding provides a complete exit from the pieces ^{222}Rn atoms occurred in the material's inner pores while ^{222}Rn α -decay on the one hand, and on the other hand it does not lead to any considerable increase of the total pores' surface, on which the emanation factor is dependent.

The grinded sample was put into a Marinelli vessel. A cartridge of absorbent carbon of 100 gr mass was put either. Then the vessel was hermetically closed and kept for 14-15 days. This is enough time for the accumulation of radon equilibrium amount and its daughter decay products. On the termination of the time the absorbent carbon from the cartridge in a special cuvette was put on the γ -spectrometer detector to measure the radon daughter decay products adsorbed on the carbon. On the basis of measurement of the radon daughter decay products there was calculated the radon emanation factor [28].

Table 1 – Average values of the ^{226}Ra specific, effective specific activities and radon emanation factors of building materials in Volgograd region

Material	Samples' number	A_{Ra} , Bq/kg		$A_{\text{Ra eff}}$, Bq/kg		η , %	
		A_{Ra}	variations range	$A_{\text{Ra eff}}$	variations range	η	variations range
1	2	3	4	5	6	7	8
Sand rock	86	23.8	15.4-37.1	9.8	8.1-11.4	29.9	28.8-30.9
Clay	107	23.2	13.7-35.2	12.4	5.8-33.2	37.6	25.3-66.5
Sand	109	9.8	3.0-17.7	2.2	1.7-3.0	66.6	71.3-72.4
Cement	20	18.9	14.9-28.7	6.4	5.0-9.7	33.9	17.6-65.2
Chalk	50	16.2	9.1-34.1	4.9	2.7-7.4	30.3	21.6-29.5
Limestone	52	21.9	9.1-49.7	6.3	2.2-8.3	28.8	16.7-24.5
Slag	16	99.7	9.9-224.9	15.7	1.4-35.3	15.7	14.2-29.9
Lime	10	76.4	74.3-78.4	5.0	3.2-12.5	6.6	4.4-15.9

Result

The results of measurements of the radium specific activity and radon emanation factor in building materials were cited in great number of works. However, as follows from our research [30], [31] it is necessary to take into consideration peculiarities of rock deposits, specific region, production technology and other characteristic properties influencing on the radon volumetric activity.

The results of the research of the radium specific, effective specific activity as well as of radon emanation factor for the building stock and materials frequently used in Volgograd region are given in Table 1.

It follows from the table, that the average values acquired are somewhat larger than the values drawn in [5]. This affirms our assumption of the necessity to carry out a research for every region of the country with the purpose of clarifying real values of radon emanation factor.

During the process of heat treatment (burning) raw building materials undergo a number of consecutive physicochemical transformations, and as result a building material with pre-determined properties is acquired. The research has shown that radon emanation factor change is conditioned by the processes of materials' structure transformation under temperature.

To disclose regularities governing the emanation factor change under heat treatment, there were carried out measurements of radiation characteristics of a number of building stock types. As a criterion to select materials for the research was taken the value of temperature of the materials' heat treatment. While processing into building materials raw stock exposed to high temperatures (750-1500°C) i.e. to burning, backing, alloying were chalk (1), clay (2), limestone (3). Exposed to lower temperatures (140-850°C) material was gypsum stone (5). And material usually never exposed to heat treatment was sandstone (4).

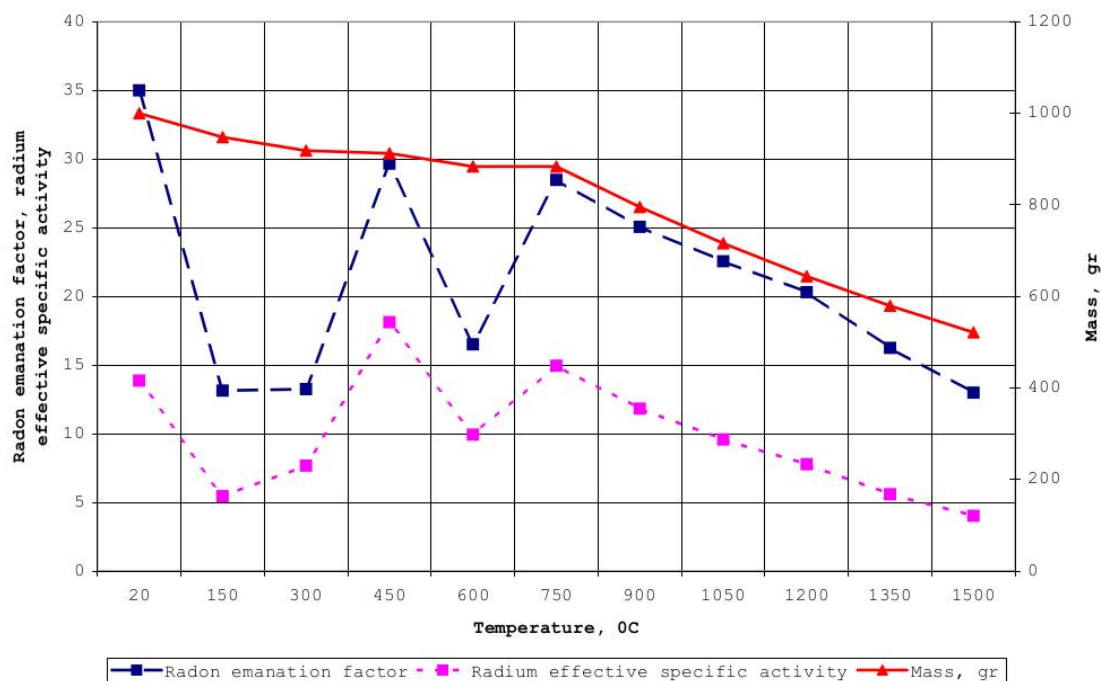
Table 2 – Radon emanation factor, Radium effective specific activity and materials' mass on different stage of burning

№	T = 20°C			T = 150°C			T = 300°C		
	η, %	A _{Ra} η, Bq/kg	m, g	η, %	A _{Ra} η, Bq/kg	m, g	η, %	A _{Ra} η, Bq/kg	m, g
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	39.27	4.29	1000	41.27	3.50	1000	27.85	2.75	987.3
2	35.01	13.87	1000	13.14	5.45	948.0	13.25	7.68	918.7
3	25.43	14.71	1000	20.52	11.95	995.3	19.09	10.36	990.7
4	23.42	7.00	1000	18.9	5.85	970.7	30.08	9.43	969.3
5	49.23	2.37	1000	27.23	1.21	915.3	5.22	0.21	930.7
№	T = 450°C			T = 600°C			T = 750°C		
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	22.16	1.84	987.3	41.44	5.68	930.0	66.3	3.33	838.0
2	29.67	18.12	912.7	16.51	9.93	884.0	28.49	14.95	884.0
3	26.18	15.72	990.7	19.77	11.15	990.7	21.83	11.20	985.3
4	21.25	5.56	965.3	22.14	6.68	965.3	21.92	6.55	956.0
5	7.19	0.48	802.0	9.17	0.84	773.3	5.45	0.37	773.3
№	T = 900°C			T = 1050°C			T = 1200°C		
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	50.87	7.71	780.0	50.1	7.06	658.0	43.3	6.71	591.3
2	25.07	11.83	795.3	22.56	9.58	716.0	20.31	7.77	644.0
3	21.39	9.76	788.0	20.75	7.58	622.7	16.6	4.85	591.3
4	19.73	5.60	908.0	17.75	4.79	817.3	16.86	4.36	654.0
5	4.73	0.22	766.7	4.68	0.21	690.0	4.37	0.20	620.7
№	T = 1350°C			T = 1500°C					
1	29	30	31	32	33	34			
1	26.6	5.2	549.3	18.6	2.61	526.7			
2	16.25	5.59	579.3	12.99	4.02	521.3			
3	4.98	0.87	532.0	1.99	0.21	478.7			
4	9.44	1.10	588.7	3.30	0.23	530.0			
5	4.17	0.15	558.7	3.33	0.09	502.7			

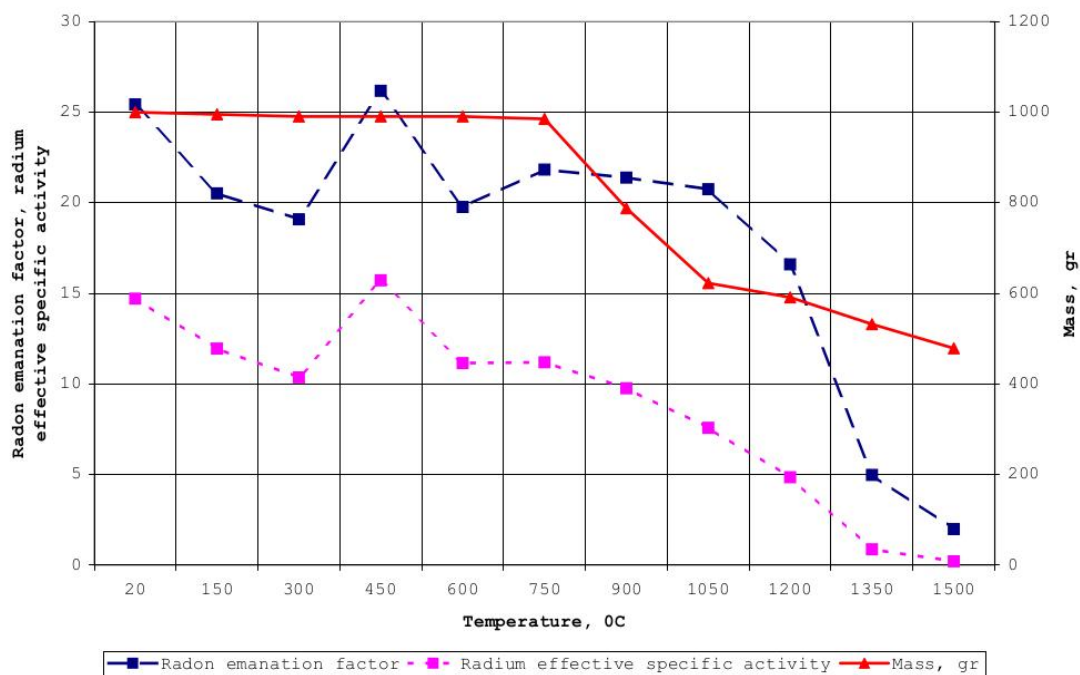
As it is clearly seen from the table and diagrams within the process of heat treatment the sample's mass, radon emanation factor, and radium specific activity are changed. The changes of the enumerated characteristics take place due to different reasons.

According to the Table 2 data let us diagram dependencies of emanation factor, of radium effective specific activity, of the material mass on the burning temperature. As an example, we will take clay (2) and limestone (3).

When analyzing the diagrams (see Fig. 2) one can outline two areas. The first one corresponds to the temperature range of 20-750°C. In this area, we observe multidirectional changes of radon emanation factor and radium effective specific activity. The second area corresponds to the temperature range of 750-1500°C. Reduced radon emanation factor and radium effective specific activity are characteristic for this area. Throughout the whole temperature range reducing of mass of the researched materials is observed.



a)



b)

Fig. 2 – Dependencies of radon emanation factor, radium effective specific activity, and mass on the building temperature:
a – clay; b – limestone

It is necessary to mention, that in our opinion the second area is more significant, because only with temperatures over 750°C it is feasible to acquire qualitative building materials with desired properties. The determining significance in the case belongs to chemical and mineralogical makeup; those being able to change not only in different deposits, but also within one deposit.

For the said reason while the analysis of observations we will use values of radon emanation factor and radium effective specific activity for the range of 750-1500°C. Let us make a graph of radon emanation factor dependence for the same materials (see above).

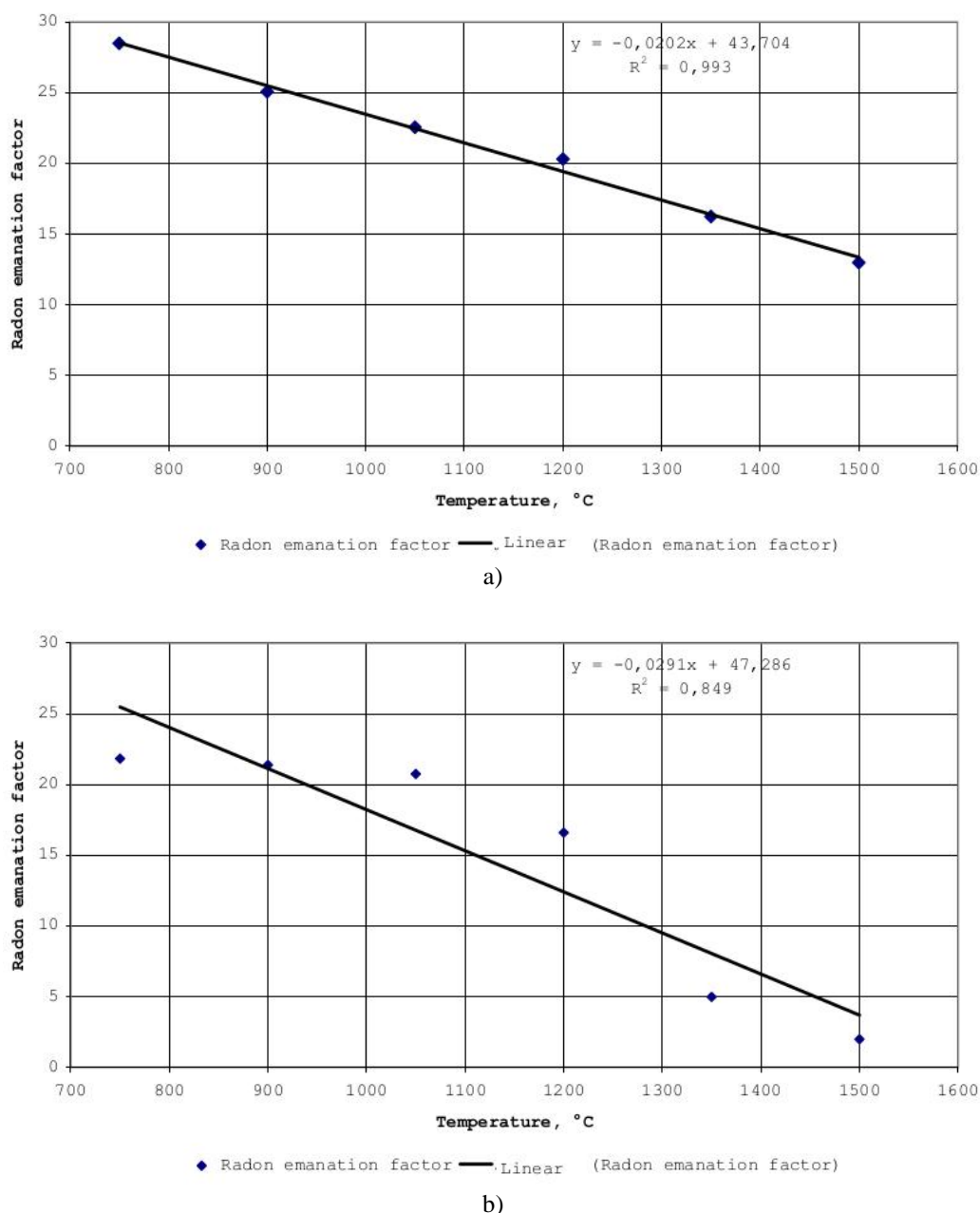


Fig. 3 – Correlation field of radon emanation factor on temperature:
a – clay; b – limestone

When analyzing the graph (see Fig. 3) we can suppose the dependencies to be of linear character. The regularity governing the process looks in general like: $y=ax+b$, with a and b to be regression equation factor, x is burning temperature, and y is radon emanation factor. Let us determine correlation factor for radon emanation factor depending on temperature. It will make -0.9965 for clay (2), and -0.9214 – for lime stone (3). The acquired values show, that bonds between the variables is very strong and there is a linear inversely proportional dependence. Consequently, with growth of temperature in the second interval radon emanation factor falls. Let us estimate the significance of the correlation factor, and for this purpose observe two hypotheses. The basic one is $H_0: r_{xy} = 0$, and the alternative is $H^1 r_{xy} \neq 0$. To verify H_0 hypothesis we will compute t-Student statistic, and it makes $t_{calc} = -23.903$ for clay, and $t_{calc} = -4.7414$ for lime stone. We compare the acquired value with critical value $t_{v,\alpha}$ by Student distribution (with $v = 4$ and fiducial probability $\alpha = 0.05$) $t_{v,\alpha} = 2.77645$. There comes a conclusion that between the variables there is a dependence, and the acquired correlation factor is significant. Let us determine quantitative bonds between the dependent values. To define a dependence degree between a response and factor we will use covariation and correlation values.

To reveal the regression pattern (i.e. a and b factors) we will use graphical method, namely trend line construction on a graph in the MS Excel environment. The factors a and b for clay will be equal to -0.0202 and 43.704 correspondingly, and for lime stone (3) -0.0291 and 47.286 . The regression equation will look:

$$y = -0.0202x + 43.704, \quad (3)$$

$$y = -0.0291x + 47.286. \quad (4)$$

On the diagram (see Fig. 3) there is the approximation validity value, which for clay (2) is equal $-R^2=0.993$, and for lime stone (3) $-R^2=0.849$. R^2 values are close to 1, that witnesses the trend line to be close to factual data, and consequently they correspond to reality.

Discussion

As it is obvious from Table 2 and graphs in Fig. 2 within the process of heat treatment changes of radon emanation factor, radium effective specific activity, and samples' mass under research take place. Changes of the enumerated characteristics occur due to different reasons.

Within the temperature range of 20 to 200°C physically bound water is removed from clay stock. Under 200-300°C organic and silty admixtures are burned out. Under the temperatures of 300-750°C dehydration of clay minerals occurs, and temperatures of 750°C and over and characterized by liquid glass phase to appear, and there take place dissolution of some mineral components and new minerals' formation.

The change of the emanation factor on the first stage can be explained in the following way. While samples' preparation the material was previously grinded, so its specific surface and apparent density changed. Removal of physically bound water and burning-out of organic admixtures during initial burning period bring to both the mineral's porosity and apparent density changes. Therefore, the emanation factor change depends on and is determined by the amount of physically bound water removed while the heating and by the degree of the material's specific surface increase. A preliminary ignition of materials within the temperature range of 300 to 450°C causes significant emanation factor changes connected obviously to termination of some disturbance of mineral's crystal lattice, and to the observed material mass change. An inflation of emanation factor of rocks containing minerals of crystal structure, which do not decompose under heating, is observed with temperature corresponding the beginning of mineral's crystal lattice destruction ($\approx 700^\circ\text{C}$). With an increase of burning temperature over 700°C there begin process of release of natural materials, that contain ^{226}Ra . This is conditioned by reducing of surface tension forces when liquid glass phase starts. Dependently on which of the two processes, and namely mass change or minerals' containing ^{226}Ra evaporation, will be dominant, so that process will determine radon emanation factor change.

Similar processes, but of weaker intensity occur when lime stone and chalk burning. An intensive radon release by carbonate rocks is connected with their dissociation with high temperatures. Carbonate rocks already under insignificant heating release greater part of the contained radon.

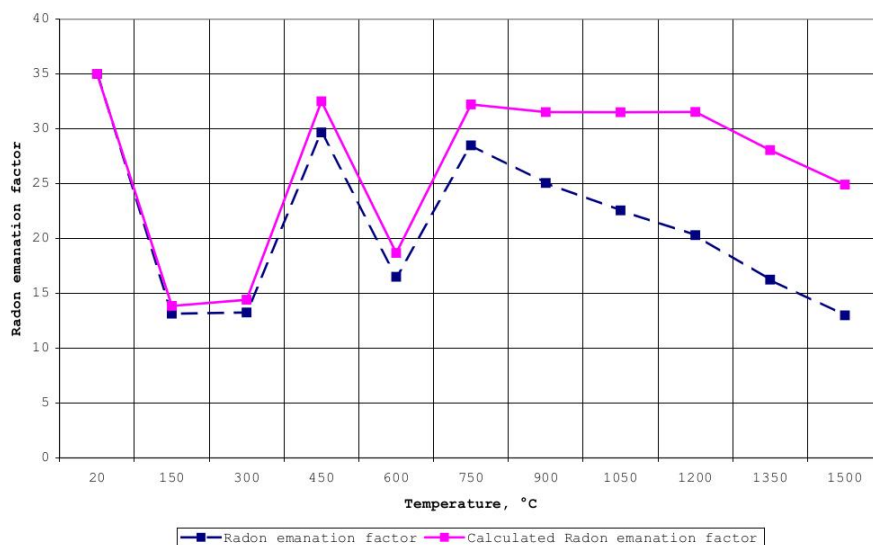
For lime stones, chalk, and gypsum it is characteristic to release gaseous components (CO_2 , SO_2). As a result of decarbonizing and SO_2 removal there occurs reduction of mass apparent density of materials.

Removal of gaseous products, crystal lattice destruction under high temperatures lead to chemical bounds attenuation in materials and enable removal of the distributed in the materials ^{222}Ra and ^{226}Ra . However, in comparison with clays the changes of emanation factor are not significant, because the intensity of the both above mentioned processes is approximately similar. Chalk is an exclusion, because of its loose structure and less density. Gypsum stone keeps aloof. Its main difference from the other observed materials consists in the fact, that dehydration process starts already under 55°C , and up to $180\text{--}200^\circ\text{C}$ it is practically finished (i.e. $1.5\text{H}_2\text{O}$ released). However, when reaching 550°C and more the remaining water is released.

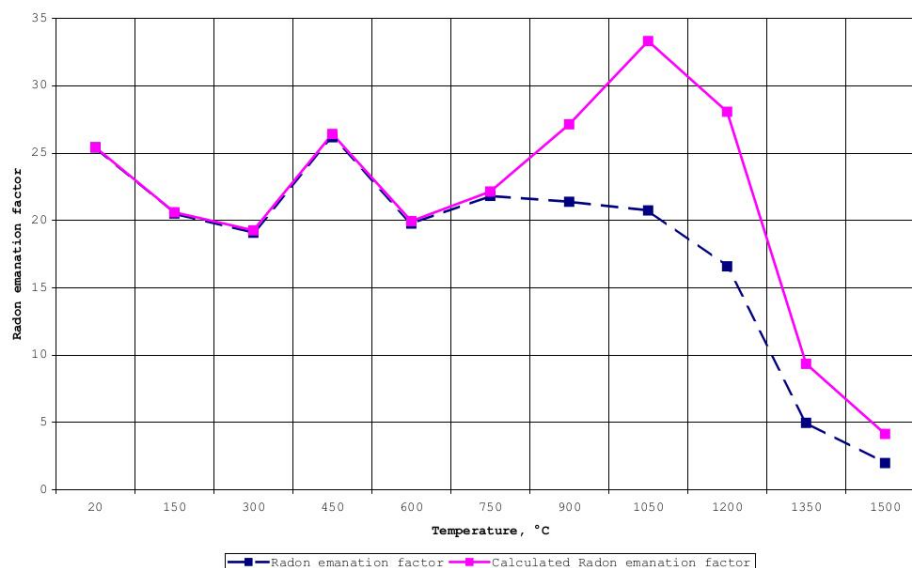
With increasing the temperature up to 1200°C and more abrupt decrease of emanation factor is witnessed. Burning under such high temperatures leads to complete destruction of the initial crystal lattice, to appearing of the burned material liquid glass phase and to its recrystallization and neoformations' occurrence. This process prevails over that of radon release with increase of glassy and amorphous phases in the material. Consequently, natural materials, containing radium, firmly «pressurize» in the new aggregates. Creation of fritted surface prevents emanations' release into material's pores and reduces radon emanation factor. In other words, there occurs radon atoms' redistribution. Angle of inclination of emanation factor curve points on an intensity of radon release processes. The sharper the angle the more intensive is the process.

Processes similar to those described above also occur in case if a material usually is not subjected to heat treatment, for instance sand stone.

We suppose it necessary to compare the radon emanation factor data obtained experimentally with calculated ones. For this we will make an assumption that emanation factor depends on mass change of the researched sample. Having accepted the assumption we will construct a graph for clay (2) and limestone (3).



a)



b)

Fig. 4 – Dependence of experimental and calculated radon emanation factor on burning temperature:
a – clay; b – limestone

As it is seen on the graph (Fig. 4) experimental and calculated curves differ substantially for both materials. At that the difference become substantial on achieving 750°C and higher burning temperature. This indicates, that while burning a part of radon releases not for the account of emanation, but at the expense of the influence of heat treatment. The similar process occurs with radium, because otherwise, experimental and calculated curves would coincide, or would be very close (influence of measurement error).

Conclusion

The acquired results indicate that from the viewpoint of the population radiation safety it is demanded to increase the stock burning temperature to acquire materials with the lowest values of radon emanation factor. This in the end leads to reducing of irradiation dose of population. However, this statement suffers two great shortcomings. The first is economical and comes to the fact that increase of burning temperature will lead to growth of material cost for the account of additional fuel used. The second one, technological consists in the awareness that an uncontrolled increase of burning temperature of any materials will result to spoilage.

From the above said it follows that nowadays the main way to solve the problem is search of optimal technological conditions of production. Such conditions when with minimal technological fuel consumption, stock burning temperature (and as a result fuel consumption) would allow to acquire qualitative building materials (with demanded properties), including demands on values of radon emanation factor.

We are to estimate this direction, taking into consideration all current influences and distant consequences.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. I., UNITED NATIONS, New York, 2010. 106 p.
2. Effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces, UNITED NATIONS, New York, 2009. 142 p.
3. Соколов П.Э. Необходимость контроля радиоактивности строительных материалов / П.Э. Соколов, О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов // Строительные материалы. – 1995. - № 9. – С. 18-19.
4. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. / Э.М. Крисюк. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
5. Королева Н.А. Выделение радона из строительных материалов в жилище / Н.А. Королева, Н.И. Шалак, Э.М. Крисюк и др. // Гигиена и санитария. – 1984. - №5. – С. 64-66.
6. Eisenbud M. Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources. / M. Eisenbud, T. Gesel. 4th Edition, Academic Press, 1997. – 684 p.
7. Bräuner E.V. Variation in residential radon levels in new Danish homes / E.V. Bräuner, T.V. Rasmussen, L. Gunnarsen // Indoor Air. – 2013. - № 23(4). – p. 311-317.
8. Kobeissi M.A. Assessment of indoor and outdoor radon levels in South Lebanon / M.A. Kobeissi, O. El Samad, K. Zahraman, ets. // International journal of disaster risk science. – 2014. - № 5(3). – p. 214-226.
9. Čurguz Z. Long-term measurements of radon, thoron and their airborne progeny in 25 schools in Republic of Srpska / Z. Čurguz, Z. Stojznovska, Z. Žunic, ets. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. - №148. – p. 163-169.
10. Madureira J. Radon in indoor air of primary schools: determinant factors, their variability and effective dose / J. Madureira, I. Paciência, J. Rufo, ets. // Environmental Geochemistry and Health. – 2016. - №38(2). – p. 523-533.

11. Stajic J.M. Measurement of radon exhalation rates from some building materials used in Serbian construction / J.M. Stajic, D. Nikezic // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2014. - №303. – p. 1943-1947.
12. Walczak K. Radon permeability of insulating building materials / K. Walczak, J. Olszewski, M. Zmyslony // *Nukleonika*. – 2016. - №61(3).
13. Kovler K. The national survey of natural radioactivity in concrete produced in Israel / K. Kovler // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2017. - №168. – p. 46-53.
14. Szabó Z. Radioactivity of natural and artificial building materials a comparative study / Z. Szabó, P. Völgyesi, H. Nagy, ets. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. - №118. – p. 64-74.
15. Sola P. Estimation of indoor radon and the annual effective dose from building materials by ionization chamber measurement / P. Sola, W. Srinuttrakul, S. Laoharajanaphand, ets. // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2014. - № 302(3). – p. 1531-1535.
16. Iwaoka K. Natural radioactivity and radon exhalation rates in man-made tiles used as building materials in Japan / K. Iwaoka, M. Hosoda, N. Suwankot, ets. // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2015. - №167(1-3). – p. 135-138.
17. Li Y. Determination of natural radioactivity, ^{222}Rn and ^{220}Rn exhalation rates and radiation hazards of fly ash and fly ash brick used in Baotou, China / Y. Li, X. Lu, X. Zhang // *Nuclear Technology and Radiation Protection*. – 2016. - №31(3). – p. 282-290.
18. Zhang Y.G. Study on the Reduction of Radon Exhalation Rates of Concrete with Different Activated Carbon / Y.G. Zhang, Y. Wang, C.Y. Yang, ets. // *Key Engineering Materials*. – 2017. - № 726. – p. 558-563.
19. Amaral P. Influence of Dimension Stones on the Increase of Radon Gas Levels Indoors / P. Amaral, A. Artur, D. Bonotto, ets. // *Key Engineering Materials*. – 2014. - № 634. – p. 548-558.
20. Harb S. Effect of Grain Size on the Radon Exhalation Rate and Emanation Coefficient of Soil, Phosphate and Building Material Samples / S. Harb, N. Ahmed, S. Elnobi // *Journal of Nuclear and Particle Physics*. – 2016. - № 6(4). – p. 80-87.
21. Kovács T. Radon exhalation study of manganese clay residue and usability in brick production / T. Kovács, A. Shahrokhi, Z. Sas, ets. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2017. - №168. – p. 15-20.
22. Sas Z. Influencing effect of heat-treatment on radon emanation and exhalation characteristic of red mud / Z. Sas, J. Szántó, J. Kovács, ets. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. - №148. – p. 27-32.
23. Соколов П.Э. Анализ влияния тепловой обработки на радиоактивность строительных материалов / П.Э. Соколов // *Безопасность жизнедеятельности, XXI век: материалы Междунар. науч. симп. / ВолгГАСА*. – Волгоград, 2001. – С. 66-67.
24. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – Введ. 1995-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 11 с.
25. Измерение активности гамма-излучающих радионуклидов на сцинтилляционном спектрометре с использованием пакетов программ SM и EXPRESS: Методические рекомендации / ВНИИФТРИ. М., 1993. – 31 с.
26. Друзягин А.В. Измерение содержания гамма-излучающих радионуклидов на сцинтилляционных и полупроводниковых гамма-спектрометрах / А.В. Друзягин, А.П. Исаков, В.П. Романцов и др. // *АНРИ*. – 1994. - №3. – С. 12-16.
27. Гамма-спектрометрический анализ проб объектов окружающей среды, содержащих природные радионуклиды. Методические рекомендации. СПб.: НИИРГ. – 1992. – 79 с.
28. Шалак Н.И. Измерение эманирования строительных материалов / Н.И. Шалак, Э.М. Крисюк // *Радиационная гигиена*. – 1980. - №9. – С. 35-37.
29. Крисюк Э.М. Определение концентрации радона в воздухе методом адсорбции на активированном угле и измерение активности с помощью гамма-спектрометра / Э.М. Крисюк, Н.И. Шалак, В.И. Миронов // *Радиационная гигиена*. – 1982. - №11. – С. 125-127.
30. Соколов П.Э. Проблемы радиационной безопасности в производстве и использовании строительных материалов / П.Э. Соколов – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 85 с.
31. Соколов П.Э. Радиационные аспекты производства строительных материалов / П.Э. Соколов // *Форум*. – 2016. - №2(3). – С. 115-120.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. I., UNITED NATIONS, New York, 2010. 106 p.
2. Effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces, UNITED NATIONS, New York, 2009. 142 p.
3. Sokolov P.E. Neobhodimost' kontrolja radioaktivnosti stroitel'nyh materialov [The need for control of radioactivity of building materials] / P.E. Sokolov, O.P. Sidel'nikova, Y.D. Kozlov // *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. – 1995. - №9. – P. 18-19. [in Russian]
4. Krisjuk Je.M. Radiacionnyj fon pomeshhenij [Background radiation areas]. / Je.M. Krisjuk. – M.: Energoatomizdat, 1989. – 120 p. [in Russian]
5. Koroleva N.A. Vydelenie radona iz stroitel'nyh materialov v zhilishhe [Allocation of radon from building materials in the home] / N.A. Koroleva, N.I. Shalak, Je.M. Krisjuk, ets. // *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. – 1984. - №5. – P. 64-66. [in Russian]
6. Eisenbud M. Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources. / M. Eisenbud, T. Gesel. 4th Edition, Academic Press, 1997. – 684 p.
7. Bräuner E.V. Variation in residential radon levels in new Danish homes / E.V. Bräuner, T.V. Rasmussen, L. Gunnarsen // *Indoor Air*. – 2013. - № 23(4). – p. 311-317.

8. Kobeissi M.A. Assessment of indoor and outdoor radon levels in South Lebanon / M.A. Kobeissi, O. El Samad, K. Zahraman, ets. // International journal of disaster risk science. – 2014. - № 5(3). – p. 214-226.
9. Ćurguz Z. Long-term measurements of radon, thoron and their airborne progeny in 25 schools in Republic of Srpska / Z. Ćurguz, Z. Stojznovska, Z. Žunic, ets. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. - №148. – p. 163-169.
10. Madureira J. Radon in indoor air of primary schools: determinant factors, their variability and effective dose / J. Madureira, I. Paciência, J. Rufo, ets. // Environmental Geochemistry and Health. – 2016. - №38(2). – p. 523-533.
11. Stajic J.M. Measurement of radon exhalation rates from some building materials used in Serbian construction / J.M. Stajic, D. Nikezic // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. - №303. – p. 1943-1947.
12. Walczak K. Radon permeability of insulating building materials / K. Walczak, J. Olszewski, M. Zmysłony // Nukleonika. – 2016. - №61(3).
13. Kovler K. The national survey of natural radioactivity in concrete produced in Israel / K. Kovler // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. - №168. – p. 46-53.
14. Szabó Z. Radioactivity of natural and artificial building materials a comparative study / Z. Szabó, P. Völgyesi, H. Nagy, ets. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. - №118. – p. 64-74.
15. Sola P. Estimation of indoor radon and the annual effective dose from building materials by ionization chamber measurement / P. Sola, W. Srinuttrakul, S. Laoharajanaphand, ets. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. - № 302(3). – p. 1531-1535.
16. Iwaoka K. Natural radioactivity and radon exhalation rates in man-made tiles used as building materials in Japan / K. Iwaoka, M. Hosoda, N. Suwankot, ets. // Radiation Protection Dosimetry. – 2015. - №167(1-3). – p. 135-138.
17. Li Y. Determination of natural radioactivity, ^{222}Rn and ^{220}Rn exhalation rates and radiation hazards of fly ash and fly ash brick used in Baotou, China / Y. Li, X. Lu, X. Zhang // Nuclear Technology and Radiation Protection. – 2016. - №31(3). – p. 282-290.
18. Zhang Y.G. Study on the Reduction of Radon Exhalation Rates of Concrete with Different Activated Carbon / Y.G. Zhang, Y. Wang, C.Y. Yang, ets. // Key Engineering Materials. – 2017. - № 726. – p. 558-563.
19. Amaral P. Influence of Dimension Stones on the Increase of Radon Gas Levels Indoors / P. Amaral, A. Artur, D. Bonotto, ets. // Key Engineering Materials. – 2014. - № 634. – p. 548-558.
20. Harb S. Effect of Grain Size on the Radon Exhalation Rate and Emanation Coefficient of Soil, Phosphate and Building Material Samples / S. Harb, N. Ahmed, S. Elnobi // Journal of Nuclear and Particle Physics. – 2016. - № 6(4). – p. 80-87.
21. Kovács T. Radon exhalation study of manganese clay residue and usability in brick production / T. Kovács, A. Shahrokhi, Z. Sas, ets. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. - №168. – p. 15-20.
22. Sas Z. Influencing effect of heat-treatment on radon emanation and exhalation characteristic of red mud / Z. Sas, J. Szántó, J. Kovács, ets. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. - №148. – p. 27-32.
23. Sokolov P.E. Analiz vliyaniya teplovoy obrabotki na radioaktivnost' stroitel'nykh materialov [Analysis of the influence of heat treatment on the radioactivity of building materials] / P.E. Sokolov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti, XXI vek [Safety, XXI century] / VSUACE. – Volgograd, 2001. – P. 66-67. [in Russian]
24. GOST 30108-94. Materialy i izdeliya stroitel'nye. Opredelenie udelnoy ehffektivnoy aktivnosti estestvennykh radionuklidov [Materials and products building. Definition of specific effective activity natural radionuclides]. – Vved. 1995-01-01. M.: – Standartinform, 2007. – 11 p. [in Russian]
25. Izmerenie aktivnosti gamma-izluchayushchikh radionuklidov na scintil-ljacionnom spektrometre s ispol'zovaniem paketov programm SM i EXPRESS: Metodicheskie rekomendacii [Measurement of activity of gamma-emitting radionuclides in scintil-translational spectrometer using software packages such as SM and EXPRESS: guidelines] / VNIIFTRI. M., 1993. – 31 p. [in Russian]
26. Druzjagin A.V. Izmerenie sodержaniya gamma-izluchayushchikh radionuklidov na stsintillyatsionnykh i poluprovodnikovyykh gamma-spektrometrakh [Measurement of the content of gamma-emitting radionuclides on scintillation and semiconductor gamma-spectrometers] / A.V. Druzjagin, A.P. Isakov, V.P. Romanzov ets. // ANRI. – 1994. – №3. – P. 12–16. [in Russian]
27. Gamma-spektrometricheskij analiz prob ob"ektov okruzhayushchey sredy, sodержashchikh prirodnye radionuklidy [Gamma-spectrometric analysis of environmental samples containing natural radionuclides]. Metodicheskie rekomendatsii [Methodical recommendation]. SPb.: NIIRG. – 1992. – 79 c.
28. Shalak N.I. Izmerenie emanirovaniya stroitel'nykh materialov [Measurement emalirovanaya building materials] / N.I. Shalak, Je.M. Krisjuk // Radiatsionnaya gigiena [Radiation hygiene]. – 1980. - №9. – P. 35-37.
29. Krisjuk Je.M. Opredelenie kontsentratsii radona v vozdukh metodom adsorbtsii na aktivirovannom ugle i izmerenie aktivnosti s pomoshch'yu gamma-spektrometra [Determination of the concentration of radon in air by adsorption on activated carbon and measurement of activity using a gamma-ray spectrometer] / Je.M. Krisjuk, N.I. Shalak, V.I. Mironov // Radiatsionnaya gigiena [Radiation hygiene]. – 1982. - №11. – P. 125-127.
30. Sokolov P.E. Problemy radiacionnoj bezopasnosti v proizvodstve i ispol'zovanii stroitel'nykh materialov [Problems of radiation safety in the production and use of building materials] / P.E. Sokolov. – Volgograd. VolGASA, 2003. – 85 p. [in Russian]
31. Sokolov P.E. Radiacionnye aspekty proizvodstva stroitel'nykh materialov [Radiological aspects of production of construction materials] / P.E. Sokolov // Forum [Forum]. – 2016. - №2(8). – P. 115-120. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.010>**ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ВОДЫ**

Научная статья

Тергемес К. Т.^{1,*}, Дараев А. М.², Джулаева Ж. Т.³, Касымова А. Е.⁴, Садвокасова Ж. Д.⁵¹ ORCID: 0000-0002-1825-0023,

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан;

² ORCID: 0000-0001-9904-2283,

Казахский национальный исследовательский технический университет, Алматы, Казахстан;

³ ORCID: 0000-0001-9246-3851;⁴ ORCID: 0000-0002-0102-8799;⁵ ORCID: 0000-0003-3332-9219,^{3,4,5} Казахская академия транспорта и коммуникаций, Алматы, Казахстан

* Корреспондирующий автор (tergemes[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье рассматриваются возможности энергосбережения в перекачке воды, на базе электропривода. В этой статье мы рассматриваем возможности энергосбережения в насосных агрегатах для перекачки воды, на основе регулируемого электропривода. Представлены стандартные характеристики центробежного насосного агрегата, и пути экономии электрической энергии в насосных агрегатах, иллюстрированы энергетической диаграммой системы «преобразователь частоты – электрический двигатель – центробежный насос».

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, энергоэффективность, регулируемый электропривод, расход воды, центробежный насос.

WAYS OF ENERGY SAVING IN PUMPING UNITS FOR WATER PUMPING

Research article

Tergemes K.T.^{1,*}, Daraev A.M.², Djulaeva Zh.T.³, Kasymova A.E.⁴, Sadvokasova Zh.D.⁵¹ ORCID: 0000-0002-1825-0023,

Almaty University of Energy and Communication, Almaty, Kazakhstan;

² ORCID: 0000-0001-9904-2283,

Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan;

³ ORCID: 0000-0001-9246-3851;⁴ ORCID: 0000-0002-0102-8799;⁵ ORCID: 0000-0003-3332-9219,^{3,4,5} Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author (tergemes[at]mail.ru)

Abstract

In this article, the authors consider the possibilities of energy saving in water pumping, based on an electric drive. We consider the possibilities of energy saving in pumping units for pumping water, based on a regulated electric drive. The standard characteristics of a centrifugal pumping unit are presented, and ways to save electrical energy in pumping units are illustrated by the energy diagram of the system "frequency converter – electric motor – centrifugal pump."

Keywords: efficiency factor, energy efficiency, adjustable electric drive, water flow, centrifugal pump.

Общеизвестно, что центробежные насосы (ЦН) являются одной из самых больших групп потребителей электрической энергии. Они получили широкое распространение во всех отраслях промышленности. В частности, ЦН частые применения получили в перекачках воды горячего и холодного водоснабжения в городах, в перекачках нефти на нефтеперекачивающих станциях, где мощности приводных двигателей достигают до 1,5-2,5 МВт. Центробежные насосы обладают широкими пределами производительности мощности и приводных двигателей.

В процессе подачи и распределения воды в сети городского водо- и теплоснабжения затрачиваются значительное количество электрической энергии в зависимости от режима функционирования насосных установок. Насосные установки, осуществляющие подачу воды в городскую сеть, работают в условиях широкого изменения диапазона нагрузок. Для этих условий выбор их эффективного, энергосберегающего способа управления, целесообразных параметров затруднен. Потребляемая центробежными насосами электроэнергия расходуется в большей степени на преодоление сил гидравлического трения в задвижках, сил трения в сальниках, подшипниках, на высоту подъема жидкости, в трубопроводах и т.п.

Обеспечение различных режимов функционирования центробежных насосов для перекачивания воды осуществляется задвижками (так называемыми клапанами регулирования), демпферами и заслонами (дресселированием) при неизменной скорости приводного механизма. При этом существенные потери мощности имеют место в регулирующих элементах и напрямую связаны с преодолением дополнительных сил, возникающих при гидравлическом трении, а также потери электрической энергии по длине трубопроводов, до следующей станции насосных агрегатов. Их объем обусловлен диапазоном регулирования таких параметров на выходе, как напор и подача жидкости, и может достигать величины порядка 50% от потребляемой электроэнергии приводным механизмом. Высокий уровень автоматизации управляемого электрического привода может позволить исключить эти потери.

Использование электрического привода с механизмами регулирования и его работа с применением управления

мощностью будет не только способствовать уменьшению потребления энергии насосными установками, но также позволит сохранять оптимальную частоту ротации при заданных параметрах (напор и подача). Электрический привод с механизмами регулирования, а также работа при пониженной частоте вращения на протяжении значительного периода времени работы, будут способствовать значительному снижению износа как напорно-регулирующих механизмов, так и кинематических механизмов самого электропривода и насосной установки, снижению риска утечки переносимой жидкости. Плавное регулирование напора (давления) при переходном режиме с необходимой частотой воздействия (интенсивностью) позволяет снизить риски возникновения аварий, и, соответственно, опасных их последствий в трубопроводах сетей водо и теплоснабжения за счёт снижения гидравлических ударов [2].

Управляя такими параметрами режимов работы насосных установок, как изменение частоты вращения механизмов, мы имеем возможность постоянно использовать их с повышенным значением КПД, т.е. с более высокой эффективностью.

Для осуществления таких задач находят применение промышленные преобразователи частоты, выпускаемые фирмами производителями, такие как АВВ, Сименс, Шнайдер-электрик и другие [4], [5], [6].

С помощью насоса с регулируемой частотой вращения можно сохранять на определённом заданном уровне давление в трубопроводах. При падении/возрастания давления до величины, отличной от заданной, частотному преобразователю поступает сигнал на повышение или снижение частоты вращения. Если частота вращения насосной установки достигает своего максимума или минимума, то либо останавливается, либо приходит в работу один из насосов постоянной частоты вращения соответственно.

Из вышеизложенного следует что, применение насосных установок с регулируемой частотой вращения может способствовать [2], [3]:

- недопущению существенного варьирования давления в сети;
- устранению потерь, связанных с начальным регулированием потока;
- уменьшению уровня шума и вибрации, а также резонансных явлений в трубопроводах сетей водо и теплоснабжения;
- снизить риск водяного удара и кавитации благодаря плавному ускорению и запаздыванию работы устройства;
- заменить вышедшие из употребления приборы контроля скорости, обладающие низкой эффективностью;
- продлить период эксплуатации элементов конструкции насосной установки (рабочего колеса, опорных подшипников и уплотнений насоса);
- эффективно управлять скоростью насоса.

Все промышленные преобразователи частоты выше указанных и других фирм-производителей имеют идентичные схемы электрической силовой части, состоящий из:

- выпрямителя (управляемые, полу управляемые и неуправляемые),
- цепей постоянного тока,
- инвертора (напряжения или тока).

Большинство (до 90%) преобразователей частоты выпускается с неуправляемым выпрямителем, автономным инвертором напряжения на IGBT транзисторах (см. рис. 1).

Преобразователи классифицируются в зависимости от количества фаз на однофазные и трехфазные. Система управления и программное обеспечение у каждого производителя свои [4], [5].

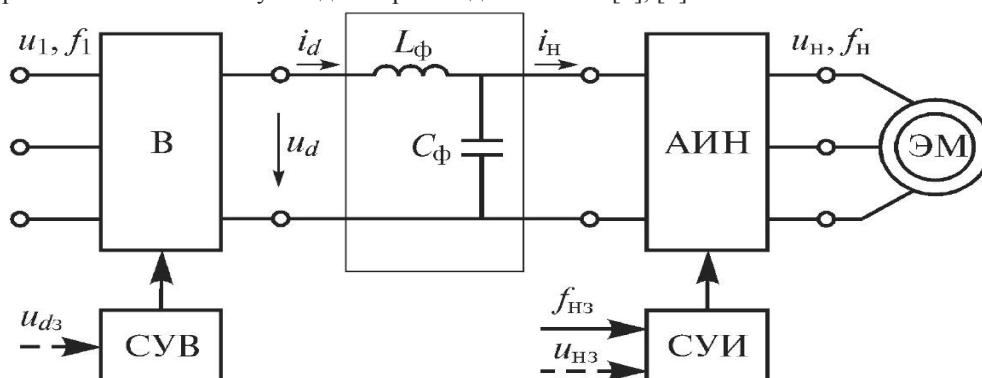


Рис. 1 – Схема преобразователя частоты

Значительная часть (до 90%) преобразователей частоты имеют в своем составе неуправляемый выпрямитель, цепь постоянного тока, автономный инвертор напряжения. Практически ПЧ всех фирм-производителей имеют такую классическую силовую схему, где инверторы выполняются на IGBT-транзисторах и отличаются только программным обеспечением, а также изготовителями самих транзисторов. Современные преобразователи частоты имеют широкий диапазон регулирования величин частоты и напряжения на выходе. Также многие ПЧ выполнены с возможностью векторного управления, что вполне подходит для осуществления регулирования скорости вращения насосных установок, имеющих «вентиляторные характеристики» по нагрузке.

На рисунке 2 можно видеть зависимость характеристик изменения напора жидкости, мощности и коэффициента полезного действия от подачи жидкости для типовых центробежных насосов.

Мы знаем, что характеристики центробежного насоса имеют прямую связь с частотой вращения. Рассматривая собственно насос (без учета давления на выходе) при частоте вращения N , отличающейся от номинальной частоты вращения N_n , получим что:

- подача Q пропорциональна отношению (N/N_n) ,

- полный динамический напор пропорционален $(N/N)^2$,
- мощность P пропорциональна $(N/N)^3$

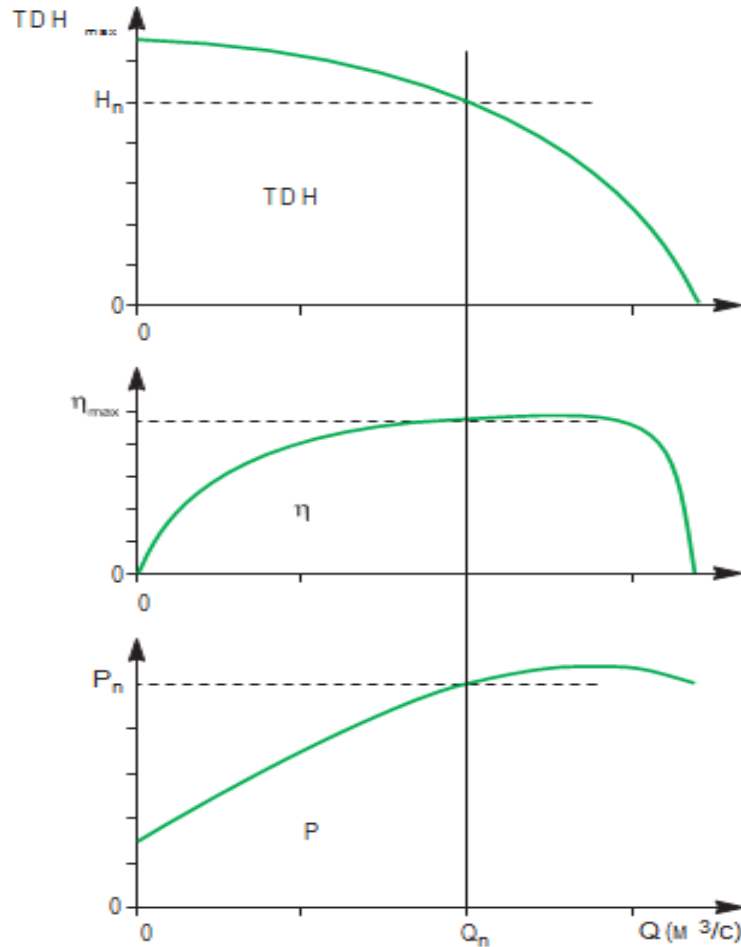


Рис. 2 – Стандартные характеристики центробежного насоса

Исследование энергопотребления центробежной насосной установки лучше проводить с помощью энергетической диаграммы (см. рисунок 3) [7]. Согласно кривой данной диаграммы в процессе перехода электрической энергии, потребляемой установкой, в потенциальную и кинетическую энергии перемещаемой насосом жидкости, обнаруживаются потери в четырёх основных элементах центробежной насосной установки: частотном преобразователе $\Delta P_{пч}$, электрическом двигателе $\Delta P_{дв}$, турбомеханизме $\Delta P_{тм}$, магистрали $\Delta P_{м}$. По величине коэффициента полезного действия (КПД), зависящей от многих параметров, можно судить об энергетической эффективности данной системы.

Например, эффективность ПЧ имеет зависимость от расчетных величин k_p ; частоты тока на выходе, нагрузки, генерируемой двигателем, а эффективность двигателя имеет связь с параметрами используемой электрической машины (обмотки статора и ротора, обладающие электрическим сопротивлением, схемы соединения обмоток статора, магнитные характеристики стали и др.) R_m , нагрузка, порождаемая насосной установкой I , частота тока, потребляемого обмоткой статора $f(ed) = f(R_m, f, I)$. Если говорить о турбомеханизме, то на его эффективность будет влиять скорость вращения вала n , угол поворота лопастей, производительность Q и напор H (tm) = $f(n; Q; H;)$, от кривых магистрали - производительность Q_m , статический напор $H_{ст}$ и скоростной напор H_v - будет зависеть ее КПД ($M = f(Q_m; H_{ст}; H)$) [7]

Расчет и изучение взаимосвязи коэффициента полезного действия как отдельных элементов, так и всей системы, могут способствовать поиску целесообразных параметров системы, а также определению энергосберегающих режимов работы:

$$\begin{aligned}
 \eta_{пч} &= f(k_p; f; I) \\
 \eta_{дв} &= f(R_m; f; I) \\
 \eta_{тм} &= f(n; Q; H; \alpha) \\
 \eta_M &= f(Q_M; H_{cm}; H_v)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Таким образом, через общий КПД установки, можем выразить функцию оптимизации [2], [3], [8]:

$$\eta_{аз} = \eta_{пч} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{тм} \cdot \eta_M \Rightarrow \max \tag{2}$$

Для получения максимальной эффективности работы установки, нужно провести исследование энергетических индексов отдельных компонентов рассматриваемой системы, показанные энергетической диаграммой.

КПД насосной установки в целом имеет тесную взаимосвязь как с эффективностью каждого элемента системы в совокупности, так и с величинами параметров системы «частотный преобразователь – асинхронный двигатель –

насосная установка». КПД также учитывает все виды потерь, связанные с преобразованием электроэнергии в механическую энергию приводного двигателя, а эту механическую энергию в энергию движущейся воды. КПД насосного агрегата и характер его изменения также существенно зависит от типа насоса и его конструктивного изменения. Потому следует подробно исследовать, а также выполнить оценку влияния данных параметров на общую эффективность центробежной насосной установки с регулируемым электрическим приводом [9], [10].

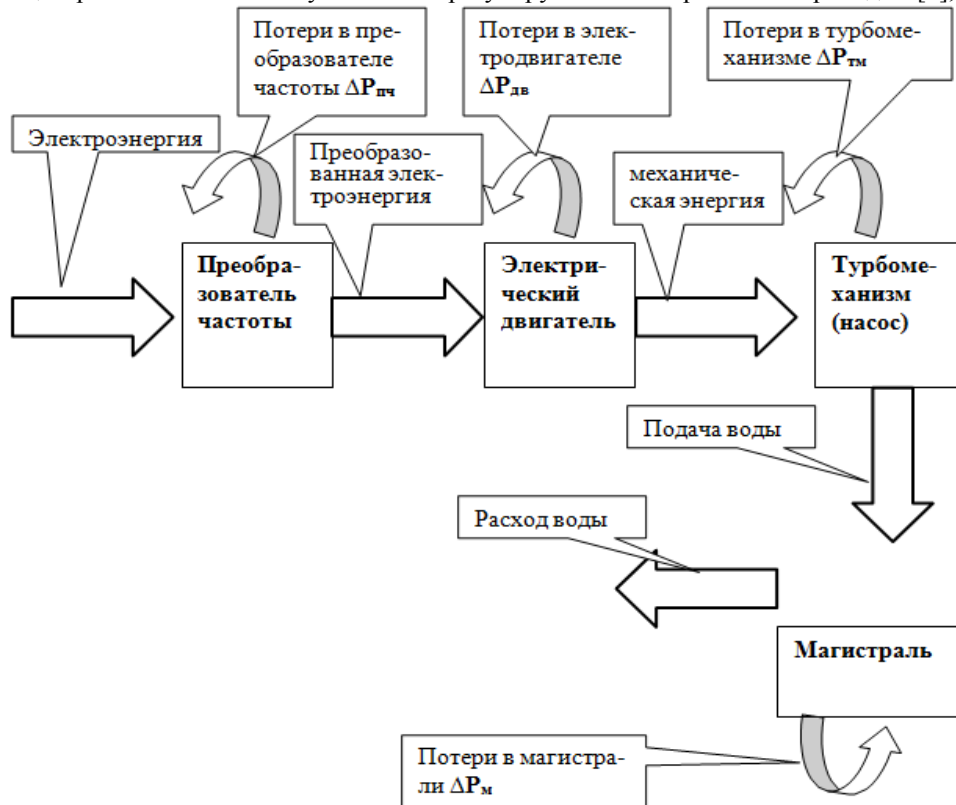


Рис. 3 – Энергетическая диаграмма насосного агрегата

На рисунке 3 приведена энергетическая диаграмма насосного агрегата, где показаны основные потери электрической энергии в узлах системы «ПЧ-ЭД-ЦН», начиная от преобразователей частоты до магистрали перекачки воды [8].

Выводы

1. При определении общих потерь электрической энергии необходимо учесть потери на каждом узле элементов системы «Преобразователь частоты – электрический двигатель – центробежный насос – магистраль (трубопровод)», согласно ее энергетической диаграмме.

2. Для получения более детального анализа энергетической эффективности установок перекачки воды, необходимо исследовать графики зависимости коэффициента полезного действия системы «частотный преобразователь–асинхронный двигатель – центробежный электронасос» от каждого составляющего этой системы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М.: АCADEMA, 2004. – 256 с.
- Лезнов Б. С. Энергосбережения и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
- Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок / Б. С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.
- Карэн М. ABB's Energy Portfolio Management Solutions presented at Asian Power Utility Forum in Jakarta [Электронный ресурс] / М. Карэн // Материалы форума «Asian Power Utility». – 2017. – URL: new.ABB.com/ru (дата обращения: 28.04.2018).
- Эльфляйн Н. Рецепт эффективности [Электронный ресурс] / Н. Эльфляйн // Журнал «Картины будущего». – 2015. – URL: w3.siemens.ru (дата обращения: 28.04.2018).
- Официальный сайт компании «ShneiderElectric». – URL: <http://www.schneider-electric.com>. (дата обращения: 28.04.2018).
- Дидич В. А. Пути энергосбережения в насосных установках системы мелиорации и орошения / В. А. Дидич // Научный журнал КубГАУ. – Кубань, 2011. – №69. – 23 с.
- Николаев В. Г. Энергосберегающие методы управления режимами работы насосных установок систем водоснабжения и водоотведения: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук / В. Г. Николаев. – Москва, 2010. – 48 с.

9. Горгонов А. В. Взаимодействие насосных установок первого подъема и очистных сооружений водоподготовки / А. В. Горгонов // Водоснабжение и сантехника. – Москва, 2010. – №1. – 34 с.

10. Горгонов А.Н. Регулируемый электропривод насосных агрегатов первого поодаема станций водоподготовки / А. Н. Горгонов, Г. Б. Онищенко // Вестник ИГЭУ. – Авановск, 2012. – №6. – С.131-134.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Braslavskij I. Ja. Jenergoberegajushhij asinhronnyj jelektroprivod [Energy-saving asynchronous electric drive] / I. Ja. Braslavskij, Z. Sh. Ishmatov, V. N. Poljakov. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 256 p. [in Russian]

2. Leznov B. S. Jenergoberezhennija i reguliruemij privod v nasosnyh i vozduhoduwnyh ustanovkah [Energy saving and adjustable drive in pumping and blowing plants] / B. S. Leznov. – М.: Jenergoatomizdat, 2006. – 360 p. [in Russian]

3. Leznov B.S. Chastotno-reguliruemij jelektroprivod nasosnyh ustanovok [Frequency-controlled electric drive of pumping units] / B. S. Leznov. – М.: Mashinostroenie , 2013. – 176 p. [in Russian]

4. Karen M. ABB's Energy Portfolio Management Solutions presented at Asian Power Utility Forum in Jakarta [Electronic resource] / M. Karen // Materialy foruma «Asian Power Utility» [Materials of the forum "Asian Power Utility"]. – 2017. – URL: new.ABB.com/ru (accessed 28.04.2018).

5. Jel'fljajn N. Recept jeffektivnosti [Effectiveness Recipe] / N. Jel'fljajn // Zhurnal «Kartiny budushhego» [Magazine "Pictures of the Future"]. – 2015. – URL: w3.siemens.ru. [in Russian]

6. Oficial'nyj sajт kompanii «ShneiderElectric» [Official website of the company "ShneiderElectric"]. – URL: <http://www.schneider-electric.com>. (accessed 28.04.2018). [in Russian]

7. Didich V.A. Puti jenergoberezhennija v nasosnyh ustanovkah sistemy melioracii i oroshennija [Ways of energy saving in pumping installations of the irrigation and irrigation system] / V. A. Didich // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific journal of KubSAU]. – Kuban, 2011. – №69. – 23 p. [in Russian]

8. Nikolaev V. G. Jenergoberegajushhie metody upravlenija rezhimami raboty nasosnyh ustanovok sistem vodosnabzhenija i vodootvedennija [Energy-saving methods for controlling the operating modes of pumping installations for water supply and drainage systems]: dis. ... of Doctor of Technical Sciences / V. G. Nikolaev – Moscow, 2010. – 48 p. [in Russian]

9. Gorgonov A. V. Vzaimodejstvie nasosnyh ustanovok pervogo pod'ema i ochistnyh sooruzhenij vodopodgotovki [Interaction of pumping units of the first lifting and treatment facilities of water treatment] / A. V. Gorgonov // Vodosnabzhenie i santechniki [Water supply and sanitary engineering]. – Moscow, 2010. – №1. – 34 p. [in Russian]

10. Gorgonov A. N. Reguliruemij jelektroprivod nasosnyh agregatov pervogo pod'ema stancij vodopodgotovki [Adjustable electric drive of pumping units of the first rise of water treatment stations] / A. N. Gorgonov, G. B. Onishhenko // Vestnik IGJeU [Bulletin of Ivanovo State Power University]. – Avnovsk, 2012. – №6. – P.131-134. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.011>**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ 16- α -[^{18}F]ФТОР-17 β -ЭСТРАДИОЛА, РАДИОТРЕЙСЕРА ДЛЯ ПЭТ ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

Научная статья

Федорова О.С.¹, Николаева В.С.², Красикова Р.Н.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0002-9122-9622;² ORCID: 0000-0003-2206-2343,^{1,2} Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;³ ORCID: 0000-0002-4201-7949,^{1,3} Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук (ИМЧ РАН), Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (raisa[at]ihb.spb.ru)

Аннотация

Предложен новый метод твердофазной экстракции (ТФЭ) для очистки 16 α -[^{18}F]фтор-17 β -эстрадиола ([^{18}F]ФЭС), радиофармпрепарата (РФП) для ПЭТ диагностики эстроген-позитивного (ER+) рака молочной железы. [^{18}F]ФЭС получен методом нуклеофильного радиофторирования циклического сульфанильного предшественника MMSE с последующим снятием защиты гидролизом в кислой среде. Для выделения [^{18}F]ФЭС из реакционной смеси методом ТФЭ исследованы одноразовые картриджи на основе различных сорбентов. Было показано, что использование картриджа OASIS WAX 3cc является наиболее эффективным и позволяет получить [^{18}F]ФЭС с радиохимической чистотой >99 % и остаточным содержанием MMSE и химических примесей 2-5 мкг/мл, что позволяет использовать данный РФП в доклинических и клинических исследованиях. Содержание этанола в инъекционной форме препарата составляет 5%, что отвечает требованиям, предъявляемым Государственной Фармакопеей. Преимуществом нового метода очистки является простота, быстрота (40 мин) и возможность автоматизации в современных модулях синтеза. Использование на стадии очистки одноразовых ТФЭ картриджей удовлетворяет современным требованиям GMP.

Ключевые слова: фтор-18, 16 α -[^{18}F]фтор-17 β -эстрадиол, [^{18}F]ФЭС, твердофазная экстракция, позитронная эмиссионная томография, ПЭТ, радиофармпрепараты, ER+ рак молочной железы.

USAGE OF SOLID-PHASE EXTRACTION METHOD FOR PURIFICATION OF 16- α -[^{18}F]FLUORINE-17 β -ESTRADIOL, A RADIOTRACER FOR PET DIAGNOSTICS OF BREAST CANCER

Research article

Fedorova O.S.¹, Nikolaeva V.S.², Krasikova R.N.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0002-9122-9622;² ORCID: 0000-0003-2206-2343,^{1,2} St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;³ ORCID: 0000-0002-4201-7949,^{1,3} Federal State Budgetary Institute of Science, The Institute of the Human Brain named after N.P. Bekhtereva, Russian Academy of Sciences (IHB of RAS), St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (raisa[at]ihb.spb.ru)

Abstract

A new method of solid-phase extraction (SPE) for the purification of 16 α -[^{18}F]fluorine-17 β -estradiol ([^{18}F]FES), radiopharmaceutical (RPC) for PET diagnostics of estrogen-positive (ER +) breast cancer is proposed. [^{18}F]FES was obtained by nucleophilic radiofluorination of the cyclic sulfanyl precursor MMSE with subsequent deprotection by hydrolysis in an acidic medium. In order to separate [^{18}F]FES from the reaction mixture by SPE method, disposable cartridges based on various sorbents have been studied. It was shown that the use of the OASIS WAX 3cc cartridge is the most effective and allows to obtain [^{18}F]FES with radiochemical purity > 99% and the residual content of MMSE and chemical impurities of 2-5 $\mu\text{g}/\text{ml}$, which allows using this RPC in preclinical and clinical studies. The content of ethanol in the injection form of the drug is 5%, which meets the requirements of the State Pharmacopoeia. The advantage of the new cleaning method is simplicity, speed (40 min) and the possibility of automation in modern synthesis modules. The use of disposable SPE cartridges at the purification stage meets modern GMP requirements.

Keywords: fluorine-18, 16 α -[^{18}F]fluorine-17 β -estradiol, [^{18}F]FES, solid-phase extraction, positron emission tomography, PET, radiopharmaceuticals, ER+ breast cancer.

Позитронная эмиссионная томографии (ПЭТ) - наиболее информативный метод медицинской визуализации, входящий в группу методов ядерной медицины (радионуклидной диагностики). Основная область клинического применения ПЭТ - онкодиагностика. Внедрение этой в буквальном смысле революционной технологии в клиническую практику в 90-е годы открыло новые возможности для *in-vivo* дифференциации злокачественных и доброкачественных новообразований, определения распространенности опухолевого процесса (уточнения стадии роста опухоли), выявления рецидивов и метастазов после проведенного лечения, областей некроза, планирования и

оценки эффективности противоопухолевой терапии [1]. В качестве радиофармпрепаратов (РФП) в ПЭТ используют биологически активные соединения, меченные короткоживущими радионуклидами с позитронным типом распада, из которых наибольшее применение получил ^{18}F ($T_{1/2}$ 109.7 мин). В ПЭТ диагностике опухолей молочной железы (МЖ) широко применяется 16α - ^{18}F фтор-17 β -эстрадиол (^{18}F ФЭС) [2], накопление которого отражает распределение рецепторов к эстрогенам (ER+). Более 75% опухолей МЖ являются гормонально зависимыми, экспрессирующими ER+ рецепторы [3], при этом крайне важно, что опухоли с высоким содержанием ER+, как правило, высоко дифференцированные и хорошо реагируют на гормональную терапию.

Наиболее распространенным методом синтеза ^{18}F ФЭС, предложенным Лим и его коллегами [4], является стереоселективное ^{18}F -фторирование циклического предшественника, 3-О-метоксиметил-16,17-О-сульфурил-16-эпиэстриол (MMSE), с последующим кислотным гидролизом. Методики, используемые в различных ПЭТ центрах, отличаются типом межфазного катализатора (криптофикс K2.2.2 или тетрабутиламмоний карбонат) на стадии радиофторирования и составом реагентов на стадии гидролиза/снятия защиты (HCl или HCl/ацетонитрил), а также временем протекания каждой стадии. Метод [4] был взят за основу и в настоящей работе, схема синтеза и условия реакций приведены на Рис. 1.

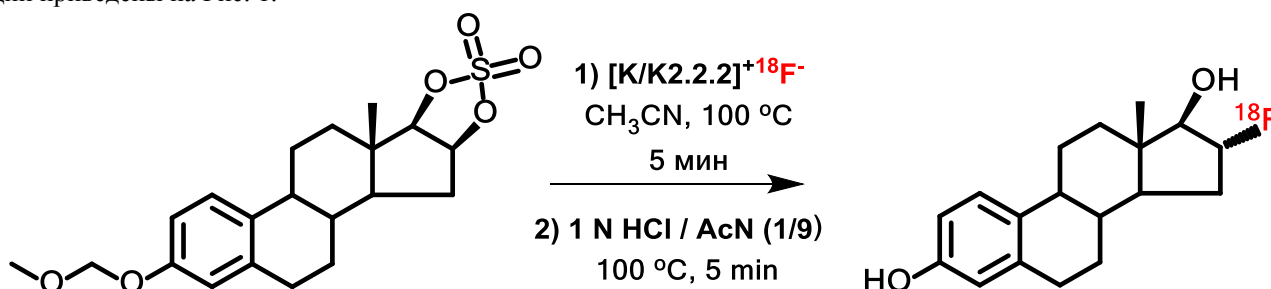


Рис. 1 – Синтез ^{18}F ФЭС методом прямого нуклеофильного радиофторирования со стереоселективным раскрытием цикла предшественника MMSE

Конечной стадией синтеза любого РФП является очистка и получение инъекционной формы препарата в буфере, разрешенном для клинического применения. Традиционно ^{18}F ФЭС выделяют из реакционной смеси методом полупрепаративной ВЭЖХ [5-8]. Этот метод обеспечивает высокую чистоту продукта, однако, является длительным, а сама система ВЭЖХ (насос, инжектор, детекторы) требует дополнительного пространства внутри защитного свинцового бокса и технического обслуживания. В связи с этим тенденцией последних лет является использование на стадии очистки РФП более простых и быстрых методов твердофазной экстракции (ТФЭ), хорошо поддающихся автоматизации. В ТФЭ применяют специальные патроны (картриджи), где внутри инертной полиэтиленовой или полипропиленовой оболочки помещается сорбент (45-150 мг), плотно упакованный между двумя пористыми перегородками. Картриджи являются одноразовыми, они легко устанавливаются в линии переноса реагентов в автоматизированные модули синтеза, как это показано на рис. 2., а набор имеющихся сорбентов позволяет решать самые разные задачи.

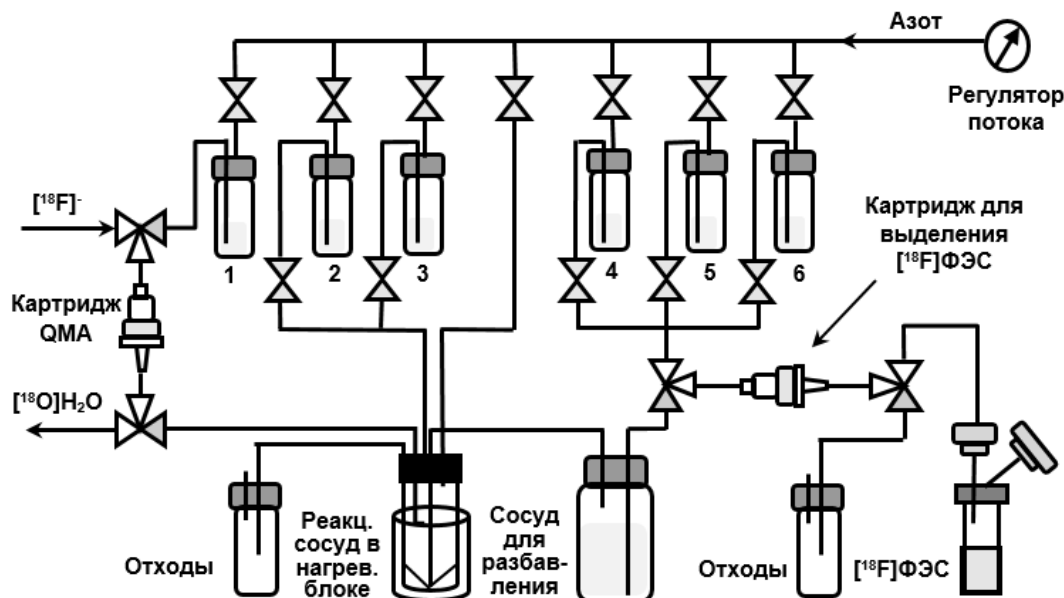


Рис. 2 – Блок схема дистанционно-управляемого модуля синтеза ^{18}F ФЭС с ТФЭ очисткой

Впервые метод ТФЭ для очистки ^{18}F ФЭС был применен в 2011 г. [9]. Методика была достаточно сложной: реакционную смесь пропускали через три последовательно соединенных картриджа с различными сорбентами (C18 Sep-Pak, OASIS WAX 3 cc и OASIS HLB 3cc), которые затем промывали 40% этанолом для удаления примесей. ^{18}F ФЭС элюировали с картриджем 5 мл 95% этанола, после чего проводили дополнительную очистку продукта на картридже Alumina N. Радиохимический выход (РХВ) ^{18}F ФЭС составлял $(20 \pm 5)\%$ при времени синтеза 75 минут [9]. Основным недостатком метода является необходимость использования большого объема этанола (5 мл) на стадии элюирования. Поскольку вводимая пациенту концентрация этанола не должна превышать 10% (а по нормам Российской Фармакопее

5%), элюат, содержащий $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$, приходилось переносить обратно в реактор и упаривать этанол при 90°C . Эта процедура не может быть реализована в большинстве автоматических модулей синтеза. Кроме того, по длительности синтеза предложенный метод мало отличается от классического с очисткой методом полупрепаративной ВЭЖХ.

Целью настоящей работы является разработка нового метода очистки $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ с использованием одного картриджа, без промежуточной стадии упаривания этанола, и сокращение времени синтеза. Последнее является особенно важным с учетом периода полураспада фтора-18 (110 мин).

Радионуклид фтор-18 получали по ядерной реакции $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$, реализуемой при облучении протонами мишени циклотрона, заполненной водой, обогащенной кислородом-18 ($[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$). Полученный радионуклид стабилизируется в химической форме ^{18}F -фторид-иона, который выделяют из облученной воды сорбцией на анионообменной смоле (картридж QMA, рис. 2) с последующим элюированием раствором, содержащим комплекс криптанда K2.2.2 с и карбоната калия в смеси $\text{MeCN}/\text{H}_2\text{O}$ 96/4, согласно ранее разработанной методике. После удаления растворителей в токе азота при 130°C радионуклид в составе активированного комплекса $[\text{K 2.2.2}]\text{K}^{+18}\text{F}^{-}$, использовали в реакции нуклеофильного радиофторирования. На этой стадии (Рис. 1) использовали 2 мг предшественника MMSE (Huayì Isotopes, Китай) и безводный ацетонитрил (Криохром, Россия) в качестве растворителя. На второй стадии (гидролиз и снятие защиты) использовали смесь 1 N HCl/MeCN в соотношении 1/9.

Контроль протекания каждой стадии, а также эффективность выделения продукта при ТФЭ очистке контролировали методом радиоТСХ (ТСХ сканнер МиниГита фирмы raytest, Германия; пластины силикагель 60 с УФ 254 нм). Анализ радиохимической и химической чистоты проводили методом радиоВЭЖХ (хроматограф Дионекс, США, с детектором УФ и детектором по радиоактивности, Carrol Ramsay Associates, США). Условия радиоВЭЖХ: колонка X-Bridge C18, 150 x 4,6 мм (Waters), градиентный режим $\text{CH}_3\text{CN} + \text{H}_2\text{O}$, скорость потока 2,0 мл/мин, УФ 280 нм: 0 - 1,0 мин 20% CH_3CN ; 1,0 - 9,0 мин. 20 - 90% CH_3CN линейное увеличение; 9,0 - 9,2 мин 90 - 20% CH_3CN линейное снижение; 9,2 - 15,0 мин. 20% CH_3CN - изократический режим; значения R_t для ФЭС и MMSE составляли, соответственно, 5,3 и 8,7 мин.

В результате оптимизации время каждой синтеза было сокращено вдвое, по сравнению с данными других авторов [4-9] и составляло 5 мин. Кроме того, были исключены длительные процедуры упаривания растворителя и промежуточной очистки, что существенно упрощает автоматизацию и сокращает время синтеза.

Для очистки методом ТФЭ реакционную смесь, полученную после гидролиза, передавливали током азота в сосуд для разбавления 1, смешивали с 10 мл воды при барботировании газообразным азотом и пропускали через одноразовый картридж. Были протестированы следующие картриджи: Oasis WAX, Oasis HLB, SepPak C18 plus, SepPak QMA light, SepPak Alumina N light и SepPak Alumina N plus. Затем картридж промывали 2 мл 40% водного этанола (за исключением картриджей на основе Alumina и Sep-Pak QMA light), промывной раствор отбрасывали. Промывка картриджа 40% этанолом позволяет удалить сорбированный (непрореагировавший на первой стадии синтеза) $[^{18}\text{F}]\text{фторид}$, а также нерадиоактивные примеси с низкой липофильностью. Продукт $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ элюировали с картриджа 1 мл 95% этанола, элюат собирали в стерильный пенициллиновый флакон, содержащий 19 мл 0.9% раствора NaCl. Таким образом $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ получали в виде изотонического раствора (объем 20 мл) с содержанием этанола 5 %, разрешенного к применению. Результаты ТФЭ очистки $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ с использованием различных типов картриджей приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты очистки $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ методом ТФЭ

N	Тип картриджа ТФЭ	Промежуточная промывка картриджа	Способ элюирования $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$	РадиоТСХ хроматограмма конечного продукта после выделения, $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ – пик справа
11	Sep-Pak C18 plus	2 мл 30% этанола, потом 2 мл 40% этанола	1 мл этанола	
22	Sep-Pak Alumina N light	Нет	Очистка методом пропускания, $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ в 10 мл смеси вода/АсN/HCl	
33	Sep-Pak Alumina N plus	Нет	Очистка методом пропускания, $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ в 10 мл смеси вода/АсN/HCl	
44	Sep-Pak QMA light	Нет	Очистка методом пропускания, $[^{18}\text{F}]\text{ФЭС}$ в 10 мл смеси вода/АсN/HCl	

Окончание табл. 1 – Результаты очистки [^{18}F]ФЭС методом ТФЭ

55	OASIS WAX 3cc	2 мл 40% этанола	1 мл этанола	
66	OASIS HLB 3cc	2 мл 40% этанола	1 мл этанола	

Как видно из данных таблицы 1, наиболее эффективным для ТФЭ очистки является картридж OASIS WAX 3 cc (строка 5 табл. 1), где на радиоТСХ хроматограмме элюата обнаруживается практически единственный пик, соответствующий [^{18}F]ФЭС. При использовании данной методики около 45% активности, сорбированной на картридже, элюируется в виде целевого продукта. Эта активность может быть увеличена за счет использования большего объема этанола, однако при этом трудно будет удовлетворять условиям минимального (5%) содержания этанола в инъекционном растворе. Время синтеза составляет всего 45 мин.

Следует отметить, что при разработке метода ТФЭ очистки достаточно просто подобрать условия, обеспечивающую высокую радиохимическую чистоту продукта, однако, гораздо сложнее достичь высокой химической чистоты. Так, при использовании «классического» обращенно-фазового картриджа Sep-Pak C18 plus (строка 1, табл. 1) радиохимическая чистота также была высокой (более 95%, достаточной для использования в ПЭТ). Однако ВЭЖХ анализ продукта показал присутствие химических примесей (предшественника MMSE и других химических примесей, детектируемых в УФ-области) в количестве 20-40 мкг/мл, тогда как в случае OASIS WAX 3 cc содержание этих примесей составляло 2-5 мкг/мл. Согласно рекомендациям FDA [10] максимальное количество не идентифицированных химических примесей не должно превышать 120 мкг во вводимой дозе при применении препарата в течение 14 суток. [^{18}F]ФЭС, полученный в результате очистки на картридже OASIS WAX 3 cc, вполне удовлетворяет этим требованиям, принимая во внимание тот факт, что РПП пациенту вводят однократно болюсом объемом не более 5 мл. В этом случае максимальное содержание примесей составит 100 мкг в 20 мл.

В заключение, разработанный простой и удобный метод ТФЭ очистки [^{18}F]ФЭС с использованием картриджа OASIS WAX 3 cc позволяет получить данный РПП с высокой химической и радиохимической чистотой за 45 мин. Новый метод очистки легко адаптируется в современные автоматизированные модули синтеза и соответствует требованиям GMP.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Wood K. A. Positron Emission Tomography in Oncology: A Review / K. A. Wood, P. J. Hoskin, M. L. Saunderson // Clinical Oncology. – 2007. – Vol. 19. – P. 237-255.
2. Van Kruchten M. PET imaging of oestrogen receptors in patients with breast cancer / M. van Kruchten, E. G. de Vries, M. Brown and others // Lancet Oncology. – 2013. – Vol. 14. – P. e465 – e475.
2. Liao G. L. [^{18}F]Fluoroestradiol PET: Current Status and Potential Future Clinical Applications / G. L. Liao, A. S. Clark, E. K. Schubert and others // J. Nucl. Med. – 2016. – V. 57. – P. 1269-1275.
3. Sundararajan L. ^{18}F -Fluoroestradiol / L. Sundararajan, H. M. Linden, J. M. Link and others // Semin. Nucl. Med. – 2007. – Vol. 37. – P. 470-476.

4. Lim, J. L. The use of 3-methoxymethyl-16-beta, 17-beta-epiestriol-*O*-cyclic sulfone as the precursor in the synthesis of [¹⁸F]-16α-fluoroestradiol / J. L. Lim, L. Zheng, M. Berridge and others // Nucl. Med. Biol. – 1996. – Vol. 23. – P. 911-915.
5. Romer J. Automated Production of 16α-[¹⁸F]fluoroestradiol for Breast Cancer Imaging / J. Romer, F. Fuchtnner, J. Steinbach // Nucl. Med. Biol. – 1999 – Vol. 26. – P. 473-479.
6. Dixit M. Synthesis of Clinical-Grade [¹⁸F]Fluoroestradiol as a Surrogate PET Biomarker for the Evaluation of Estrogen Receptor-Targeting Therapeutic Drug // M. Dixit, J. Shi, L. Wei and others // Int. J. Mol. Imaging. 2003. Research article ID 278607.
7. Mori T. Automatic synthesis of 16α-[¹⁸F]fluoro-17β-estradiol using a cassette-type [¹⁸F]fluorodeoxyglucose synthesizer / T. Mori, S. Kasamatsu, C. Mosdzianowski // Nucl. Med. Biol. – 2006. – Vol. 33. – P. 281-286.
8. Oh S. J. The automatic production of 16α-[¹⁸F]fluoroestradiol using a conventional [¹⁸F]FDG module with a disposable cassette system / S. J. Oh, D. Y. Chi, C. Mosdzianowski and others // Appl. Rad. Isot. – 2007. – Vol. 65. – P. 676-681.
9. Knott K. E. Simplified and automatic one-pot synthesis of 16α-[¹⁸F]fluoroestradiol without high-performance liquid chromatography purification / K. E. Knott, D. Gratz, S. Hubner and others // J. Label. Compd. Radiopharm. – 2011. – V. 54. - 749-753.
10. Guidance for Industry. Genotoxic and Carcinogenic Impurities in Drug Substances and Products: Recommended Approaches. U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration. Center for Drug Evaluation and Research (CDER). December 2008.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.012>

СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ПАТОГЕНЕТИЧЕСКУЮ ТЕРАПИЮ РОЖИ

Научная статья

Ермакова Л.А.^{1,*}, Гопаца Г.В.², Титирян К.Р.³, Журавлев А.С.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-8918-2271;

^{1,2,3} Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия;

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (dep140infection[at]gmail.com)

Аннотация

Изложены современные данные о заболеваемости рожей и факторах, предрасполагающих к ее развитию. Представлены текущие направления изучения патогенеза заболевания, дан обзор основных методов патогенетической терапии рожи и профилактики ее рецидивов. Показана актуальность применения препаратов, оказывающих иммуномодулирующее влияние на факторы врожденного иммунитета. Обоснована необходимость использования патогенетической терапии, моделирующей активность макрофагального фагоцитоза, в комплексной терапии рожи нижних конечностей.

Ключевые слова: рожа, патогенез, терапия, профилактика.

MODERN VIEWS ON THE PATHOGENETIC THERAPY OF ERYSIPELAS

Research article

Ermakova L.A.^{1,*}, Gopatsa G.V.², Titiryan K.R.³, Zhuravlev A.S.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-8918-2271, MD,

^{1,2,3} Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia;

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

* Corresponding author (dep140infection[at]gmail.com)

Abstract

Present-day data on the incidence of erysipelas and factors predisposing to its development are presented in the paper. Current directions for studying the pathogenesis of the disease are presented, as well as an overview of the main methods of pathogenetic therapy of erysipelas and prevention of its relapse. The relevance of the use of drugs that have an immunomodulating effect on the factors of innate immunity is shown. The necessity of using pathogenetic therapy, which simulates the activity of macrophagal phagocytosis, in the complex therapy of erysipelas of the lower extremities is substantiated.

Keywords: erysipelas, pathogenesis, therapy, prevention.

Частота встречаемости рожи продолжает оставаться на достаточно высоком уровне, составляя 12-15 случаев на 10 тысяч взрослого населения [1]. Высокая распространенность рожи в популяции, тенденция к формированию рецидивирующего течения после первичного эпизода заболевания, приводящего в подавляющем большинстве случаев к развитию лимфедемы, и, в последующем, фибредемы, способствует последующей частичной или полной утрате трудоспособности.

Известен целый ряд факторов, предрасполагающих к роже и позволяющих представить портрет пациента, страдающего этим заболеванием. Рожей болеют преимущественно женщины в периоде менопаузы, имеющие избыточный вес [2]. Ряд авторов полагает, что это связано с особенностями обмена веществ и уровнем половых гормонов [1]. Нередко у этих пациентов выявляется хроническая патология ЛОР-органов и сахарный диабет [3], [4]. В 70-75% случаев патологический процесс локализуется на нижних конечностях, уже подверженным фоновым для рожи заболеваниям или состояниям, таким как варикозная болезнь, трофические язвы, микоз ногтей и стоп, экзема, врожденный или приобретенный лимфостаз и др. [5], [6], [7].

В связи с вышеизложенным целью работы явился обзор научных работ, касающихся вопросов диагностики и терапии рожи, опубликованных в течение последних 15-20 лет.

Исследователи отмечают, что несмотря на частую встречаемость рожи, врачи первичного звена медицинской помощи нередко не распознают это заболевание, для постановки которого не требуется никаких диагностических тестов [8]. Ошибки гиподиагностики регистрируются в 2-4% случаев всех неправильных диагнозов и связаны с обращением пациента к врачу в первые часы заболевания, когда местные симптомы еще могли не появиться. У таких пациентов ошибочно диагностируются ОРВИ, грипп, внебольничная пневмония и т.д. Значительно чаще, в 25-34% случаев, отмечается гипердиагностика рожи, связанная с ошибками при проведении дифференциальной диагностики с заболеваниями со сходной клинической симптоматикой (экземой, токсикодермией, диабетической ангиопатией, узловатой эритемой абсцессом, некротическим фасциитом, тромбофлебитом и др.) [8].

Применяемые в настоящее время антибиотики могут оказывать угнетающее действие на факторы врожденного иммунитета (фагоцитоз, активность лизоцима, обмен нуклеиновых кислот, репаративные и регенераторные процессы), также приводят к формированию устойчивых к антибактериальной терапии штаммов гемолитического стрептококка, а также к его трансформации в L-формы.

Низкая эффективность этиотропных препаратов как в отношении обратного нивелирования симптомов в остром периоде заболевания, так и в предотвращении рецидивов, заставила исследователей обратить свой взгляд на патогенетическую терапию рожи. Развитие рецидивов нередко связано с длительным персистированием L-форм гемолитического стрептококка в виде эндогенных очагов внутри макрофагов дермы [4]. Многие ученые пришли к

выводу, что лечение рожи должно быть комбинированным и включать в себя как антибактериальные, так и иммуномодулирующие препараты. Основная задача такого комплексного воздействия на организм – стимуляция факторов врожденного иммунитета организма и, прежде всего, макрофагального фагоцитоза, ориентированная на нивелирование бактериальных и L-форм гемолитического стрептококка.

В связи с этим особую популярность при лечении рожи в последнее время получили иммуномодуляторы (тималин, Т-активин, иммунофан, ронколейкин, левамизол и др.) [4].

Вернулся интерес к аутогемотерапии. Отдельные исследователи вместо широко распространенных инъекций цельной аутокрови стали использовать гемолизат аутокрови, добываясь гемолиза при добавлении в цельную аутокровь стерильного дистиллята, либо воздействуя ультразвуковыми волнами. Показано, что применение гемолизата аутокрови оказывает нормализующее влияние на ряд показателей неспецифической и специфической резистентности организма [4].

Также специалисты начали уделять внимание местному воздействию на очаг воспаления. Хорошие результаты в отношении нивелирования симптомов были получены при применении местной озонотерапии [9]. При возникновении осложненных форм рожи с успехом была апробирована методика с локальным воздействием на очаг воспаления аквакомплекса титана глицеросольвата [10].

Повышенная функциональная активность фагоцитов играет основную роль в развитии тяжелых форм рожи. Сниженная же функциональная активность макрофагов, наоборот, приводит к последующим рецидивами заболевания. Это подтолкнуло исследователей к поиску препаратов, обратимо подавляющих избыточную активность макрофагов в остром периоде рожи и восстанавливающих ее к периоду реконвалесценции, наряду с повышением активности других факторов врожденного иммунитета (лизоцима, интерферонов) [11]. Для реализации этой задачи стал успешно применяться галавтилин – местная форма аминодигидрофалазиндиона натрия [2]. В дальнейшем выяснилось, что активность макрофагов и моноцитов в одних случаях нужно подавлять (при геморрагических формах рожи, при которых редко возникают рецидивы), а в других – активировать (при эритематозных формах заболевания, часто в дальнейшем приводящих к рецидивам). С этой целью при эритематозных формах заболевания стали назначать гемолизат аутокрови, а при геморрагических – эмоксипин [11].

В последнее время появилась возможность моделировать активность макрофагов в зависимости от характера местного очага воспаления. Свойством регулировать фагоцитоз макрофагов по принципу обратной связи обладают средства, относящиеся к системным энзимам. Использование при роже препаратов системной энзимотерапии дало возможность регулировать местный иммунный ответ и активность протеолитических процессов в зависимости от характера местных изменений в очаге и снизить частоту рецидивов [12].

Выводы. Обзор научной литературы свидетельствует, что несмотря на повсеместную встречаемость рожи, целый ряд патогенетических аспектов заболевания изучен недостаточно, что диктует необходимость проведения дальнейших исследований. Требуется разработка простых в использовании диагностических алгоритмов, а также поиск новых терапевтических методов воздействия на различные звенья патогенеза, конечным итогом которых должны явиться способы комбинированной этиопатогенетической терапии, основанные на принципах доказательной медицины. Необходимы четкие, апробированные алгоритмы дифференциальной диагностики этого заболевания, а также разработка современных стандартов терапии рожи, основанная на принципах доказательной медицины.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Еровиченков А.А. Актуальные аспекты современной клиники, лечения и реабилитации больных рожей / А.А. Еровиченков, С.А. Потекаева, Г.И. Анохина // Фарматека. - 2012. - №20. - С. 62-67.
2. Жаров М.А. Клинические проявления рожи и эффективность терапии с применением аминоталгидразидов и лазерного излучения / М.А. Жаров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. - 2006. - № 12. - С. 141-145.
3. Амбалов Ю.М. Применение методов математического моделирования в фармакоэкономическом анализе терапии рожи нижних конечностей / Ю.М. Амбалов, Н.Ю. Пшеничная, А.П. Коваленко // Успехи современного естествознания. - 2005. - № - 10. - С. 32-33.
4. Пшеничная Н.Ю. Роль неспецифических и специфических факторов резистентности кожи в патогенезе рожистого воспаления и коррекция их нарушений: автореф. дис. канд. мед. наук / Н.Ю. Пшеничная, Москва, 1996. - 24 с.
5. Московская Т.В. Протеолитические системы при роже: концепция нарушений и оптимизация терапии / Т.В. Московская, Н.Ю. Пшеничная, Н.М. Добаева // Фундаментальные исследования. - 2014. - № 4-1. С. 122-128.
6. Пшеничная Н.Ю. Рожа: программа оптимизации диагностики и лечения, фармакоэкономический анализ: автореф. дис. докт. мед. наук / Н.Ю. Пшеничная, Ростов-на-Дону, 2005. - 36 с.
7. Амбалов Ю.М. Эпидемиологический анализ заболеваемости рожей в г. Ростове-на-Дону / Ю.М. Амбалов, Н.Ю. Пшеничная, М.В. Ахмидинова // Успехи современного естествознания. - 2004. - №8. - С. 62.
8. Пшеничная Н.Ю. Качество распознавания рожи врачами первого звена медицинской помощи и пути его улучшения / Н.Ю. Пшеничная // Эпидемиология и инфекционные болезни. - 2005. - № 5. - С. 58 -60.
9. Михайленко О.С. Использование местной озонотерапии в лечении больных различными формами рожи / О.С. Михайленко, А.А. Еровиченков, А.С. Потекаева и др. // Инфекционные болезни. - 2015. - №3. - С. 71-5.
10. Глухов А. А. Современный подход к комплексному лечению рожистого воспаления / А.А. Глухов, Е.А. Бражник // Фундаментальные исследования. - 2014. - №. 10-2. - С. 411-415.

11. Амбалов Ю.М. Использование линкомицина, гемолизата аутокрови и эмоксипина в реабилитационной терапии больных рожей нижних конечностей / Ю.М. Амбалов, В.П. Кузнецов, А.П. Коваленко и др. // International Journal on Immunorehabilitation. - 1997. - №4. - С. 36.

12. Пшеничная Н.Ю. Клиническая и патогенетическая эффективности применения препаратов системной энзимотерапии в лечении рожки нижних конечностей / Н.Ю. Пшеничная, Т.В. Москвитина Т.В., Н.М. Добаева // Фундаментальные исследования. - 2014. - №4. - С. 120-127.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Eroichenkov A.A. Aktual'nye aspekty sovremennoj kliniki, lecheniya i reabilitatsii bol'nyh rozhej [Actual aspects of modern clinic, treatment and rehabilitation of patients with erysipelas] / A.A. Eroichenkov, S.A. Potekhaeva, G.I. Anohina // Farmateka [Farmateka]. - 2012. - №20. - P. 62-67. [in Russian]

2. Zharov M.A. Klinicheskie proyavleniya rozhi i ehffektivnost' terapii s primeneniem aminofthalgidrazidov i lazernogo izlucheniya [Clinical manifestations of erysipelas and the effectiveness of therapy with the use of aminophthalhydrazide and laser radiation] / M.A. Zharov // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Series: Natural Sciences]. - 2006. - № 12. - P. 141-145. [in Russian]

3. Ambalov Yu.M. Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya v farmakoeconomicheskom analize terapii rozhi nizhnih konechnostej [Application of methods of mathematical modeling in pharmacoeconomic analysis of the treatment of erysipelas of the lower extremities] / Yu.M. Ambalov, N.Yu. Pshenichnaya, A.P. Kovalenko // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. - 2005. - № - 10. - P. 32-33. [in Russian]

4. Pshenichnaya N.Yu. Rol' nespecificheskikh i specificheskikh faktorov rezistentnosti kozhi v patogeneze rozhistogo vospaleniya i korrekciya ih narushenij: avtoref. dis.kand. med. nauk [The role of non-specific and specific factors of skin resistance in the pathogenesis of erysipelas and correction of violations: autoref. dis. PhD] / N.Yu. Pshenichnaya, Moskva [Moscow], 1996. - 24 p. [in Russian]

5. Moskovaya T.V. Proteoliticheskie sistemy pri rozhe: koncepciya narushenij i optimizaciya terapii [Proteolytic systems at erysipelas: the concept of violations and the optimization of therapy] / T.V. Moskovaya, N.YU. Pshenichnaya, N.M. Dobaeva // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. - 2014. - № 4-1. P. 122-128. [in Russian]

6. Pshenichnaya N.Yu. Rozha: programma optimizatsii diagnostiki i lecheniya, farmakoeconomicheskij analiz: avtoref. dis. dokt. med. nauk [Erysipelas: program optimization of diagnosis and treatment, pharmacoeconomic analysis: abstract. diss. on doctor of Medical Science] / N.Yu. Pshenichnaya, Rostov-na-Donu, [Rostov-on-Don] 2005. - 36 p. [in Russian]

7. Ambalov Yu.M. Ehpidemiologicheskij analiz zabolevaemosti rozhej v g. Rostove-na-Donu [Epidemiological analysis of the incidence of erysipelas in the city of Rostov-na-Donu] / Yu.M. Ambalov, N.Yu. Pshenichnaya, M.V. Ahmidinova // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. - 2004. - №8. - P. 62. [in Russian]

8. Pshenichnaya N.Yu. Kachestvo raspoznavaniya rozhi vrachami pervogo zvena medicinskoj pomoshchi i puti ego uluchsheniya [The quality of recognition of erysipelas by doctors of the first level of medical care and ways to improve it] / N.Yu. Pshenichnaya // Epidemiologiya i infekcionnye bolezni [Epidemiology and infectious diseases]. - 2005. - № 5. - P. 58 - 60. [in Russian]

9. Mihajlenko O.S. Ispol'zovanie mestnoj ozonoterapii v lechenii bol'nyh razlichnymi formami rozhi [Use of the local ozone therapy in the treatment of patients with various forms of erysipelas] / O.S. Mihajlenko, A.A. Eroichenkov, A.S. Potekhaeva and others // Infekcionnye bolezni [Infectious diseases]. - 2015. - №3. - P. 71-75. [in Russian]

10. Gluhov A. A. Sovremennij podhod k kompleksnomu lecheniyu rozhistogo vospaleniya [Modern approach to the complex treatment of erysipelas] / A.A. Gluhov, E.A. Brazhnik // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. - 2014. - №. 10-2. - P. 411-415. [in Russian]

11. Ambalov Yu.M. Ispol'zovanie linkomicina, gemolizata autokrov i ehmoksipina v reabilitacionnoj terapii bol'nyh rozhej nizhnih konechnostej [Use of lincomycin, of hemolysate autologous blood and emoxipin in the rehabilitation therapy of patients with erysipelas of lower extremities] / Yu.M. Ambalov, V.P. Kuznecov, A.P. Kovalenko and others // International Journal on Immunorehabilitation. - 1997. - №4. - P. 36. [in Russian]

12. Pshenichnaya N.Yu. Klinicheskaya i patogeneticheskaya ehffektivnosti primeneniya preparatov sistemnoj ehznimoterapii v lechenii rozhi nizhnih konechnostej / N.Yu. Pshenichnaya, T.V. Moskovaya, N.M. Dobaeva // Fundamental'nye issledovaniya. - 2014. - №4. - P. 120-127. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.013>**РАССЕЯННЫЙ СКЛЕРОЗ. СРАВНЕНИЕ УРОВНЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В ОМУТНИНСКОМ (СЕВЕРНЫЙ) И УРЖУМСКОМ (ЮЖНЫЙ) РАЙОНАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

Мильчаков Д.Е.^{1,*}, Романов А.В.²^{1,2} Кировский государственный медицинский университет, Киров, Россия

* Корреспондирующий автор (AlexanderAnderson1[at]yandex.ru)

Аннотация

Представлены основные теории этиологии и патогенеза рассеянного склероза. Рассмотрены основные симптомы, приведены типы течения заболевания. Проведено сравнение уровня встречаемости рассеянного склероза у мужчин и женщин. Обращено внимание на возрастную характеристику дебюта рассеянного склероза. Основной задачей публикации является оценка влияния географического фактора на риск возникновения рассеянного склероза методом сравнения показателей встречаемости заболевания в Омутнинском районе (Северный) и Уржумском районе (Южный) Кировской области.

Ключевые слова: рассеянный склероз, риск, Омутнинский район, Уржумский район, географический фактор.

MULTIOCLAR SCLEROSIS. COMPARISON OF INCIDENCE RATE IN OMTNINSKIY (NORTHERN) AND URZHUMSKIY (SOUTHERN) DISTRICTS OF THE KIROV REGION

Research article

Milchakov D.E.^{1,*}, Romanov A.V.²^{1,2} Kirov State Medical University, Kirov, Russia

* Corresponding author (AlexanderAnderson1[at]yandex.ru)

Abstract

The main theories of the etiology and pathogenesis of multiocular sclerosis are presented. The main symptoms are considered, the types of the course of the disease are given. The level of occurrence of multiple sclerosis in men and women was compared in the study. Attention is paid to the age characteristic of the debut of multiocular sclerosis. The main objective of the paper is to assess the impact of the geographical factor on the risk of multiocular sclerosis by comparing the incidence of the disease in Omutninskiy District (Northern) and Urzhumskiy District (Southern) of the Kirov Region.

Keywords: multiocular sclerosis, risk, Omutninskiy district, Urzhumskiy district, geographical factor.

Рассеянный склероз – хроническое прогрессирующее демиелинизирующее заболевание, характеризующееся появлением очагов поражения в центральной и периферической нервной системе. Наиболее часто заболевание регистрируется у молодых субъектов в возрасте от 20 до 40 лет [4, С. 909]. Болезнь была впервые описана Жан-Мартеном Шарко в 1868 году.

Поражения нервной ткани при РС не имеют четкой локализации и могут находиться в различных участках ЦНС одновременно, что приводит к огромному разнообразию неврологических симптомов.

Общее число пациентов с диагнозом рассеянный склероз по всему миру составляет 2 млн человек, из которых 150 тысяч официально зарегистрированы в России. По распространению рассеянного склероза страны подразделяются:

1. Высокого риска (90+случаев на 100.000 населения)
2. Вероятно высокого риска (30-90 случаев на 100.000 населения)
3. Среднего риска (10-29 случаев на 100.000 населения)
4. Низкого риска (менее 10 случаев на 100.000 населения)

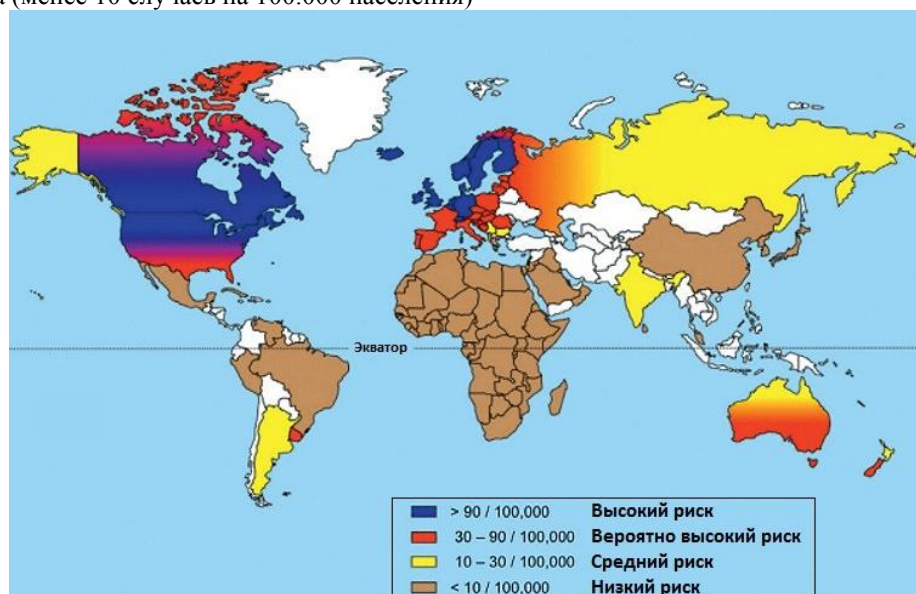


Рис. 1 – Географическая карта мира по степени встречаемости рассеянного склероза

Этиология

Общепринято считать, что РС является заболеванием, ведущая роль в котором принадлежит патологическому иммунному ответу. Наиболее распространенная теория возникновения рассеянного склероза – аутоиммунная, но до сих пор нет точного ответа, какого типа эти реакции, первичного или вторичного.

Современная наука предполагает, что рассеянный склероз это мультифакторное заболевание, вызываемое неблагоприятным сочетанием эндогенных и экзогенных факторов.

1. К эндогенным факторам, возможно, относятся гены системы HLA II, обуславливающих нарушение иммунного ответа.

2. К экзогенным факторам относятся географический фактор, климат, перенесенные вирусные или микробные заболевания, экология [8, С. 20].

Роль различных факторов в развитии Рассеянного склероза

1-Факторы внешней среды

В последнее время все чаще высказываются мнения о влиянии факторов внешней среды на развитие РС. Отдельно выделяют инсоляцию, т.к. у больных РС часто замечается недостаток витамина D в организме. 90% витамина D синтезируется в коже под действием инсоляции. Главной функцией веществ группы Витамин D является регуляция всасывания кальция и фосфора в ЖКТ. Активная форма витамина D может угнетать провоспалительные Th-1 лимфоциты, активировать Th-2 лимфоциты, синтезирующие провоспалительные цитокины. Есть предположения, что оптимальный уровень синтеза витамина D снижает риск развития РС [2, С. 123].

2-Географические факторы

Представители одной расы или этнической группы болеют РС в разной степени на разных географических территориях. Например, число случаев заболевания на 100.000 чернокожего населения США значительно выше, чем число случаев заболевания на 100.000 чернокожего населения Африки. В странах Европы риск заболеваемости РС достаточно велик, однако этнические европейцы, рожденные и проживающие в странах Африки, болеют значительно реже. Точно ответа, что именно лежит в основе этих различий нет, но можно предположить, что географическое положение так или иначе влияет на развитие РС..

Помимо этого, наблюдения показывают, что при миграции из зоны с высоким риском развития рассеянного склероза в зону с низким риском лиц до 15 лет, вероятность того, что они заболеют, снижается, а при миграции лиц старше 15 лет, вероятность заболевания остается высокой [4, С. 910].

3-Генетические факторы

Достоверно доказана роль наследственности в развитии рассеянного склероза. Риск развития заболевания у родственников первой линии больного в 4-20 раз выше, чем у других представителей популяции [5, С. 662]. Если один из двух близнецов заболел, то вероятность возникновения болезни у второго монозиготного близнеца выше в 7 раз, чем у гетерозиготного [4, С. 910]. Однако, многие исследования показывают нелинейное снижение опасности возникновения заболевания в зависимости от удаления по степени родства, это говорит о том, что рассеянный склероз не укладывается в рамки моногенного наследственного заболевания [9, С. 304]. Наследственная предрасположенность к РС, в большей вероятности, полигенная. Одной из главных генетических причин являются гены HLA системы, локализованные в хромосоме №6. В настоящее время считается, что риск возникновения рассеянного склероза связан с антигенами HLA: A3, B7, DR-2 гаплотип, включающий DQ-6 и DR-4 (в меньшей степени) [4, С. 910].

4-Гормональные факторы

Женщины болеют в 3-5 раз чаще, чем мужчины. У больных мужчин была замечена положительная корреляция между количеством эстрадиола и степенью развития заболевания [3, С. 290].

Очагом РС называется участок ткани ЦНС в котором произошла или происходит в данный момент демиелинизация. (синоним – бляшка). Бляшки подразделяются на острые, т.е. активные очаги демиелинизации, старые, т.е. неактивные, законченные очаги демиелинизации, и старые бляшки в процессе активации, т.е. появление демиелинизационной активности у старых бляшек, обычно по краям. Есть предположение о процессах ремиелинизации в активных бляшках, но, учитывая тот факт, что этот процесс имеет медленное течение, к выздоровлению от заболевания это привести не может.

Патогенез развития

На данный момент практически все исследования утверждают, что основным механизмом развития рассеянного склероза является иммунологический процесс против белков собственного организма. Считается, что одним из первых событий в процессе развития является активация Т-хелперных клеток (CD4) на периферии (вне ЦНС). Происходит взаимодействие рецепторов на поверхности Т-хелпера с антигенами, связанными с молекулами HLA II на антигенпрезентирующих клетках. При этом в качестве антигена может выступать персистирующий инфекционный агент. Т-хелперы выделяют активационные провоспалительные цитокины, чем обуславливают активацию других клеток иммунной системы, таких как CD8 Т-клетки, макрофаги, В-клетки, а так же Th-17, которые синтезируют интерлейкины 17 и 22, повышающие проницаемость гематоэнцефалического барьера. После миграции в ЦНС происходит реактивация Т-клеток антигенпредставляющими клетками (макрофаги, микроглиоциты), начинается усиленная продукция провоспалительных цитокинов, в результате чего В-клетки утрачивают врожденную толерантность к различным структурам миелина. На этом этапе наблюдается стабильное увеличение титра аутоантител к различным структурным компонентам миелина и к клеткам, его синтезирующим – олигодендроцитам [4, С. 911].

После острого воспалительного дебюта заболевания начинается превалировать нейроденегеративная фаза [1, С. 207], подтверждением которой являются:

1. Наличие «стабильных черных дыр» на МРТ.
2. Апоптоз олигодендроцитов.
3. Гибель нейронов не только в очагах демиелинизации, но и в не поврежденном веществе ткани.
4. Нарастающая атрофия головного и спинного мозга.

5. Развитие когнитивных нарушений.

Условия разрушения миелина достаточно хорошо изучены, при этом до сих пор точно не известно, что провоцирует аксональную и нейрональную дегенерацию. Предположительно это объясняется следующими факторами:

1. Атака демиелинизированных аксонов иммунными клетками.
2. Отсутствие трофики аксона. (Трофическая поддержка миелина).
3. Длительное нахождение нервных клеток и их отростков в воспалительной среде [1, С. 208].

Симптомы рассеянного склероза разнообразны. Заболевание не характеризуется четким симптоматическим комплексом, характерно высокой вариабельностью комбинаций симптомов и видами самих симптомов. Начало заболевания одинаково часто проявляется моно- и полисимптоматически. Часто РС начинается со слабости нижних конечностей, чувства онемения различных частей тела, зрительными нарушениями с последующим восстановлением, парестезиями, ощущением прохождения тока по позвоночнику (симптом Лермитта). Иногда первым проявлением может послужить валкая походка, сопровождающаяся нистагмом и головокружением [10, С. 63].

Поздние стадии болезни характеризуются поражением пирамидных, мозжечковых путей, нарушениями чувствительности всего тела, дисфункциями отдельных черепных нервов.

Типические симптомы РС:

1. Парезы.
2. Статическая атаксия.
3. Патологические рефлексы, например кистевой патологический рефлекс.
4. Парестезии различных областей тела.
5. Нистагм.
6. Патологии черепных нервов.

7. «Синдром диссоциации», т.е. несоответствие между симптомами поражения одной или нескольких функциональных систем.

8. Хореические гиперкинезы. Тремор регистрируется редко.
9. Судороги, спазмы.
10. Императивные позывы к мочеиспусканию или задержки стула и мочи.
11. Боли неврологического характера.
12. Нейропсихические нарушения.

Классифицируется течение рассеянного склероза следующим образом:

1. Ремиттирующее течение – наличие обострений (не менее 24 часов) с существенным усилением существующих или появлением новых симптомов, и наличие четких ремиссий, причем последний период может составлять месяцы и годы. Частота – 85-95%.

2. Вторично-прогрессирующее течение – наличие, помимо обострений и ремиссий, стадии хронического прогрессирования. Заболевание неуклонно прогрессирует. В течение 10 лет сменяет ремиттирующее течение у 50% больных, а в течение 25 лет у 80%.

3. Первично-прогрессирующее течение – неуклонное нарастание признаков заболевания на протяжении всей жизни. Ремиссии отсутствуют. До 15% от общего числа заболевших.

Патологическая анатомия рассеянного склероза

Множественные очаговые повреждения различных отделов ЦНС, которые характеризуются демиелинизацией и гибелью олигодендроцитов. В процесс вовлечены осевые цилиндры нервных волокон. Гибель олигодендроцитов и демиелинизация сочетаются с пролиферацией волокнистых астроцитов и микроглии, что приводит к образованию бляшки.

В диагностике рассеянного склероза наиболее часто используются следующие методы:

1-МРТ головного и спинного мозга

При оценке МРТ изображений у пациентов с РС необходимо учитывать размеры, форму, однородность, расположение очагов, характер контрастирования. Прогностически неблагоприятными будут множественность очагов, расположение очагов в субтенториальных структурах, большие размеры, неровность контуров [6]. Очаги рассеянного склероза (бляшки) видны на рис. 2.

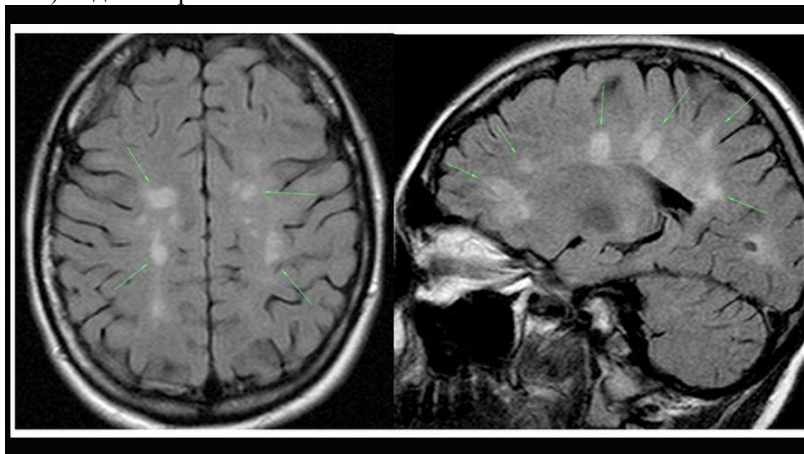


Рис. 2 – Бляшки на МРТ при рассеянном склерозе
Примечание: стрелками указаны бляшки на МРТ

2- ВП (вызванные потенциалы)

Это метод выделения слабых и сверхслабых изменений электрической активности мозга в ответ на стимул различной модальности. Следует иметь в виду, что выявить поражения ЦНС на ранних стадиях развития рассеянного склероза при помощи ВП не всегда возможно, т.к. отсутствует повреждение проводящих чувствительных путей. Но методом ВП можно лучше, чем при МРТ, выявлять очаги поражения в спинном мозге и в стволе мозга [7, С. 98].

Сравнение заболеваемости РС в северном (Омутнинский) и южном (Уржумский) районах Кировской области

Население Омутнинского района – 43.360 человек.

Таблица 1 – Учет больных рассеянным склерозом на 01.03.2018 по Омутнинскому району

Возраст (годы)	Мужчины	Женщины	Всего
0-18 лет	0	1	1
19-40 лет	4	7	11
40+ лет	2	10	12

Примечание: Всего – 6 мужчин, 18 женщин.

Таблица 2 – Дебют рассеянного склероза по возрасту. Данные на 01.03.2018 по Омутнинскому району

Возраст дебюта	Мужчины	Женщины	Всего
0-18 лет	0	2	2
19-40 лет	4	13	17
40+ лет	2	3	5

Расчет риска возникновения заболевания на 100.000 населения: если на 43.360 человек приходится 24 пациента, то на 100.000 человек эта цифра будет равна 55 (Вероятно высокий риск).

Данные по Уржумскому району Кировской области:

Население Уржумского района – 24.096 человек.

Количество пациентов по диспансерному учету на 01.03.2018 г. – 11 человек.

4 мужчины, 7 женщин.

Расчет риска возникновения заболевания на 100.000 населения: если на 24.096 человек 11 пациентов с диагнозом рассеянный склероз, то в переводе на 100.000 человек эта цифра равна 44. (Вероятно высокий риск, но ниже, чем в северном (Омутнинском) районе).

Заключение

По представленным данным мы не можем сделать конкретные выводы, но имеем возможность наблюдать некоторые тенденции:

1-В северной районе РС встречается чаще. (Подтверждение «теории географического фактора»)

2-Женщины болеют РС чаще, чем мужчины.

3-Дебют РС в возрасте от 20 до 40 лет.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Siffrin V. Multiple sclerosis - candidate mechanisms underlying CNS atrophy. / Siffrin V, Vogt J, Radbruch H, et al. – New York: Wiley, 2010. P. 202-210.
2. Каронова Т.Л. Рассеянный склероз и уровень обеспеченности витамином D / Каронова Т.Л., Шмонева И.А., Тотолян Н.А. // Артериальная гипертензия. – 2015, том 21, №2. С. 121-129.
3. Myers L.W. Immunologic therapy for secondary and primary progressive multiple sclerosis. / L.W. Myers. – Los Angeles: Wiley, 2001. P- 286–293.
4. Неврология, национальное руководство под редакцией Е.И. Гусева, А.Н. Коновалова, В.И. Скворцовой // 2010. С. 909-920.
5. Гусев Е.И. Неврологические симптомы, синдромы и болезни, энциклопедический справочник, 2-е издание / Гусев Е.И., Никифоров А.С., Камчатнов П.Р. 2014. С. 662.
6. Матвеева Т.В. Клинико-визуализационные особенности дифференциальной диагностики рассеянного склероза / Матвеева Т.В., Ибатуллин М.М., Хафизова И.Ф. 2013. С. 283-284.
7. Шмидт Т.Е. Рассеянный склероз, руководство для врачей, 5-е издание / Шмидт Т.Е., Яхно Н.Н. 2016. С. 97-99.
8. Столяров И.Д. Рассеянный склероз, диагностика, лечение, специалисты / Столяров И.Д., Бойко А.Н. 2008. С. 19-25.
9. Фаворова О.О. Рассеянный склероз как полигенное заболевание: современное состояние проблемы / Фаворова О.О., Кулакова О.Г., Бойко А.Н. // Генетика. – 2010, том 46, №3. С. 302-313.
10. Абдурахманова Р.Ф. Рассеянный склероз: этиология, патогенез и клиника, часть 1 / Абдурахманова Р.Ф., Иззатов Х.Н., Хадибаева Г.Р. и др. // Вестник последипломного образования в сфере здравоохранения, №3, 2016. С.- 60-64.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Siffrin V. CNS atrophy. / Siffrin V, Vogt J, Radbruch H, et al. - New York: Wiley, 2010. P. 202-210.

2. Karonova T.L. Rasseyanny skleroz i uroven' obespechennosti vitaminom D [Multicocular Sclerosis and Vitamin D] Maintenance Level / Karonova T.L., Shmonina I.A., Totolyan N.A. // Arterialnaya gipertenziya [Arterial hypertension]. – 2015, Vol. 21, No.2. P. 121-129. [in Russian]
3. Myers L.W. Immunologic Therapy for Secondary and Primary Progressive Multicocular Sclerosis / L.W. Myers. – Los Angeles: Wiley, 2001. P.286-293.
4. Nevrologiya, natsional'noye rukovodstvo [Neurology, National Textbook] edited by Ye.I. Gusev, A.N. Konovalova, V.I. Skvortsova // 2010. P. 909-920. [in Russian]
5. Gusev E.I. Nevrologicheskiye simptomy, sindromy i bolezni, entsiklopedicheskiy spravochnik [Neurological Symptoms, Syndromes and Diseases, Encyclopaedic Reference book, 2nd edition] / Gusev E.I., Nikiforov A.S., Kamchatnov P.R. 2014. P. 662. [in Russian]
6. Matveeva T.V. Kliniko-vizualizatsionnyye osobennosti differentsial'noy diagnostiki rasseyannogo skleroza [Clinical and Visualization Features of Differential Diagnosis of Multicocular Sclerosis] / Matveeva T.V., Ibatullin M.M., Khafizova I.F. 2013. P. 283-284. [in Russian]
7. Schmidt T.E. Rasseyanny skleroz, rukovodstvo dlya vrachey, 5-ye izdaniye [Multicocular Sclerosis, Manual for Doctors, 5th edition] / Schmidt TE, Yakhno N.N. 2016. P. 97-99. [in Russian]
8. Stolyarov I.D. Rasseyanny skleroz, diagnostika, lecheniye, spetsialisty [Multicocular Sclerosis, Diagnosis, Treatment, Specialists] / Stolyarov I.D., Boyko A.N. 2008. P. 19-25. [in Russian]
9. Favorova O.O. Rasseyanny skleroz kak poligennoye zabolevaniye: sovremennoye sostoyaniye problemy [Multicocular Sclerosis as Polygenic Disease: Current State of Problem] / O. Faavorova, O. Kulakova, A. Boyko. // Genetics. – 2010, Vol. 46, No.3. P. 302-313. [in Russian]
10. Abdurakhmanova R.F. Rasseyanny skleroz: etiologiya, patogenez i klinika, chast' 1 [Multicocular Sclerosis: Etiology, Pathogenesis and Clinic, Part 1] / Abdurakhmanova RF, Izzatov Kh.N., Khadibaeva GR, Mavlyanov T.K. // Bulletin of postgraduate education in the field of public health, No. 3, 2016. P. 60-64. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.014>

ВОЗМОЖНОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ МЕТАСТАТИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Обзор

Снахо Б.А.^{1,*}, Синянская М.П.², Карамизова М.И.³, Мерзлова Н.Ю.⁴, Айдунова Х.С.⁵,
Нажмуудинова Х.А.⁶, Водождокова Р.Ю.⁷, Мамчуева М.С.⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (alievna88[at]gmail.com)

Аннотация

В данной статье будут рассмотрены различные варианты хирургического лечения метастатических поражений позвоночника. Материалом послужило изучение ряда отечественных и зарубежных научных статей, начиная с 2000 по 2017гг. Оперативное лечение метастатических поражений позвоночника в большинстве случаев являются паллиативным, направленным на восстановление неврологического дефицита, уменьшение болевого синдрома, осуществление локального контроля над опухолевым ростом, восстановление стабильности в пораженном сегменте.

Ключевые слова: метастазы позвоночника, вертебропластика, декомпрессионно-стабилизирующие операции.

POSSIBILITIES OF SURGICAL TREATMENT OF METASTATIC LESIONS OF SPINE

Review

Snakho B.A.^{1,*}, Sinyanskaya M.P.², Karamizova M.I.³, Merzlova N.Yu.⁴, Aidunova Kh.S.⁵, Nazhmudinova Kh.A.⁶,
Vodozhdokova R.Yu.⁷, Mamchueva M.S.⁸

Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (alievna88[at]gmail.com)

Abstract

The article presents various options for surgical treatment of metastatic spine lesions. The material presented is the study of a number of domestic and foreign scientific articles, for the period of 2000 to 2017. Operative treatment of metastatic spinal lesions in most cases is palliative, aimed at restoring the neurological deficit, reducing the pain syndrome, implementing local control over tumor growth, restoring stability in the affected segment.

Keywords: spinal metastases, vertebroplasty, decompression-stabilizing operations.

Опухоли позвоночника – один из важных и трудных в плане лечения и диагностики разделов клинической онкологии и вертебрологии. Одной из наиболее частых локализаций метастатического поражения при различных злокачественных опухолях является костная ткань (96% опухолевых поражений позвоночника являются метастатическими), что занимает третье место по частоте встречаемости после вторичного поражения легких и печени. Основными источниками метастазов в позвоночник являются: рак молочной железы, рак почки, рак легкого и рак предстательной железы. Средний возраст пациентов на момент лечения составлял 45-60 лет. Грудной отдел находится на первом месте по частоте возникновения опухолевых поражений среди всех отделов позвоночника. Но уровень метастазирования зависит от локализации первичной опухоли: при раке молочной железы чаще поражается

шейный отдел позвоночника, метастатические карциномы половых органов - поясничный отдел позвоночника. В большинстве наблюдений опухоль локализовалась в телах позвонков, реже в отростках и дужках [13].

Различали две стадии течения заболевания. Первая стадия проявлялась локальной болью, корешковой болью, корешковым неврологическим дефицитом. Опухоль в этой стадии, как правило, характеризовалась внутрикостным расположением (поражение тела и дужки позвонка тип I по классификации Tomita), отсутствовала компрессия спинного мозга. Во второй стадии появлялись проводниковые неврологические нарушения, опухоль распространялась паравертебрально или интраканально (распространение на ножку позвонка, тип II по классификации Tomita), возникала компрессия спинного мозга. [15]. В целом клиническая картина зависела от уровня поражения позвоночника и его фазы (невралгической, спондилодеформации, компрессионной), хотя быстрое развитие метастатического процесса стирало такие границы [14], [16].

Средний промежуток времени между развитием болевого синдрома и диагностикой метастаза составил 5,7±1,4 мес, между диагностикой и лечением - 2,1±0,5 мес.[6].

Во всех исследованиях были использованы шкалы оценки тяжести состояния больных: VAS, ASIA, индекс Карновского-КПС, опросник KJQOL (SF-36). Основная шкала, по которой определяется целесообразность хирургического лечения: шкала Tokuhashi, при интерпретации результатов которой радикальное удаление опухоли рекомендуется больным, набравшим в общей сложности 9 баллов и более. При наличии 4 баллов и менее хирургическое вмешательство как метод лечения не рекомендуется. При наличии 5-8 баллов показана паллиативная операция в сочетании с облучением или химиотерапией [2].

Показаниями к оперативному вмешательству служат: патологический перелом позвонка, осложненный компрессией спинного мозга; корешковый синдром с нестабильностью позвоночника; нарастающая компрессия спинного мозга и/или некупируемый болевой синдром [1], [3].

Противопоказаниями для хирургического лечения являются: 1) тяжелое общее состояние больного; 2) длительно существующий (в течение нескольких суток) глубокий неврологический дефицит; 3) обширное поражение метастазами легких; 4) поражение костей нижних конечностей с высоким риском развития патологического перелома [1].

Известно, что основными целями лечения больных с опухолевым поражением позвоночника являются: уменьшение болевого синдрома; восстановление неврологического дефицита; осуществление локального контроля над опухолевым ростом; восстановление стабильности в пораженном сегменте [16].

Метастатическое поражение позвоночника может носить остеобластный или остеолитический характер, что, в основном, связано с морфологией первичной опухоли. К примеру, при раке легкого и раке молочной железы опухолевый процесс носит остеолитический характер [14]. Это в дальнейшем будет иметь важное значение при выборе хирургической тактики. Если опухоль носит остеобластный характер (то есть происходит ее разрастание), ее можно удалить единым блоком путем спондилэктомии, либо корпорэктомии. А при остеолитическом метастатическом очаге возможно применение чрескожной пункционной вертебропластики, при которой идет заливка очага цементом.

Основным видом оперативного лечения метастатических поражений позвоночника является выполнение декомпрессионно-стабилизирующих мероприятий.

В современных условиях производят метастазэктомию с выполнением декомпрессионной ламинэктомии или декомпрессионно-стабилизирующей ламинэктомии, корпорэктомии, спондилэктомии с формированием переднего или заднего опорного комплекса [5], [10], [11]. Хирургические вмешательства рекомендуется проводить задним доступом, так как они менее травматичны по сравнению с операциями передним доступом и обладают достаточным декомпрессивным потенциалом. Однако из-за невозможности задним доступом удалить компримирующий фактор декомпрессивный эффект непродолжителен. Таким образом, операции передним доступом более эффективны в отношении удаления опухоли, но вместе с тем и более травматичны по сравнению с операциями задним доступом [1]. В ходе операции также возможно выполнение расширенной декомпрессивной ламинэктомии с резекцией суставных отростков с последующей фиксацией позвонка металлоконструкцией. При этом может быть стойкое снижение болевого вертеброгенного синдрома в течение нескольких месяцев после хирургического лечения. Исходами данного вида операции являются: у 30% больных уменьшение болевого синдрома. В среднем в 40% случаев наблюдалось регрессирование неврологической симптоматики. В послеоперационном периоде смерть пациентов была связана со спинальными (12%) и инфекционными осложнениями (6%) и наступала спустя 28 месяцев после проведенного лечения.

Гарантом надежности декомпрессионного эффекта после удаления метастатического очага является прочная стабилизация оперированных позвоночных сегментов, которой можно добиться путем использования индивидуально изготовленных металлоконструкций с применением транспедикулярной фиксации, многоуровневых эндокорректоров и различных вариантов межтелового спондилодеза с применением аутокости (аваскулярного малоберцового трансплантата из гребня подвздошной кости), кейджей, заполненных аутокостной стружкой, костным аллотрансплантатом большеберцовой кости [3].

Одним из наиболее распространенных способов стабилизации позвоночника является чрескожная пункционная вертебропластика - эффективный метод лечения, при котором костный цемент под давлением вводится в поврежденный позвонок, позволяющий в короткие сроки восстановить опорную функцию позвоночного столба, тем самым уменьшить болевой синдром (развитие обезболивающего эффекта через 48 часов) [13]. В результате лечения данным способом наблюдалось: у 70% больных - уменьшение болевого синдрома, у 30% - отсутствие прогрессирования заболевания. Осложнения встречались в 9-10% случаев: корешковый синдром, экстравазация цемента, рецидив болевого синдрома (14%). Риск развития новых переломов позвонков - 17,9% [18]. Преимуществом данного метода является отсутствие коллапса позвонков, а недостатком - то, что летальный исход наступал спустя в среднем 12-13 месяцев после лечения.

Схожий способ стабилизации позвоночника - чрескожная кифопластика. Она представляет собой минимально инвазивную, радиологически управляемую процедуру, которая включает инъекцию костного цемента в целевые позвонки после введения баллона в тело позвонка для создания полости [4]. После применения данного метода у 85%

больных наблюдается уменьшение болевого синдрома. Преимущества – инъекции цемента под низким давлением с предварительным созданием полости (более безопасный метод по сравнению с чрескожной вертебропластикой); с помощью баллона можно восстановить среднюю дооперационную высоту позвонка; бессимптомная экстравазация цемента в 11,5% случаев [4], [18]. Риск развития повторного перелома – 14,1%. [18]

Необходимо отметить, что чрескожные вертебро- и кифопластика на неврологическую симптоматику влияния не имеют.

Еще одним инновационным способом устранения опухоли в позвоночнике является метод радиочастотных термоабляций опухолей в сочетании с последующей вертебропластикой. После данного вмешательства у 76% пациентов выявляется уменьшение болевого синдрома. Осложнения (5%) – возникновение болевого синдрома; возникновение патологических переломов (30%). Смерть наступала у 19% пациентов спустя 9 месяцев после лечения. Неврологические осложнения возникают чаще всего, если метастаз находится в грудном отделе позвоночника [17]. Этот метод применяется в комбинации с другими способами лечения при небольших опухолях, не сопровождающихся развитием неврологического дефицита.

Самый новый и эффективный способ - *minimally invasive cavity-coblation method with kyphoplasty*. Суть метода полости/кобляции заключается в следующем: первым этапом в позвоночный столб селективно в область метастаза вводят зонд и создают пространство в позвоночном теле путем кобляции - разрушения опухолевой ткани при помощи использования высокочастотной плазменной энергии при низкой температуре. Благодаря применению «холодной» плазмы происходит разрушение молекулярных мостиков между опухолевыми клетками, что способствует уничтожению опухолевой ткани в месте воздействия зонда; затем производят кифопластику. В 4,1% случаев (40 пациентов из 987) отмечена экстравазация цемента. Инфекционные и неврологические осложнения не наблюдались [19].

Таким образом, совершенствование медицинских технологий, инструментария в настоящее время позволяют осуществлять данной категории больных операции, направленные на декомпрессию спинного мозга с купированием или уменьшением болевого синдрома и неврологической симптоматики и стабилизацию позвоночника на различных уровнях.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Нагорный Е.Б. Опыт применения декомпрессионно-стабилизирующих операций у больных с множественными злокачественными опухолями грудного и поясничного отделов позвоночника / Нагорный Е.Б., Надулич К.А., Теремшонов А. В. и др. // Травматология и ортопедия России - 2010г. - № 2 - С. 146-148.
2. Алиев М. Д. Метастатическое поражение позвоночника у больных раком молочной железы. Факторы прогноза / Алиев М. Д., Степанова А.М., Мусаев Э.Р. и др. // Сибирский онкологический журнал – 2015. - № 3 – С. 61-67.
3. Чиссов В.И. Первый опыт радикального удаления первичных и метастатических опухолей позвоночника / Чиссов В.И., Решетов И.В., Щетинин В.В. и др. // Хирургия позвоночника – 2005. - № 1 – С. 85-90.
4. Qian Z. Kyphoplasty for the treatment of malignant vertebral compression fractures caused by metastases / Qian Z, Sun Z, Yang H. and others // Clinical Neuroscience – 2011. - №18 – 763-767 p.
5. Валиев А. К. Вертебропластика в плане комбинированного лечения больных с опухолевым поражением позвоночника / Валиев А. К., Мелузова О. М., Кукушкин А. В. и др. // Вестник РОНЦ им.Н.Н.Блохина РАМН – 2003. – С. 49-52
6. Семков А. С. Хирургическое лечение костных метастазов рака почки / Семков А. С., Махсон А. Н., Петерсон С. и др. // Онкоурология – 2010. - №4 – С. 10-15
7. Жообасарова Д.Ж. Частота метастатических поражений позвоночника при различных локализациях первичных опухолей // Нейрохирургия и неврология Казахстана – 2015. - №1 – С. 24-28.
8. Пташников Д.А. Алгоритм хирургического лечения больных с опухолями позвоночника / Пташников Д.А., Усиков В.Д., Корытова Л.И. и др. // Травматология и ортопедия России – 2010. - №2 – С. 132-135.
9. Ардашев И. П. Диагностика и хирургическая стабилизация позвоночника при опухолевых поражениях / Ардашев И. П., Носков В.П., Гатин В.Р. и др. // Медицина в Кузбассе - 2004. - №3 - С. 9-13.
10. Алиев Д. Нейроортопедические принципы лечения первичных и метастатических опухолей позвоночника, осложненных компрессией спинного мозга и корешков / Алиев Д., Каллистов В.Е., Каранадзе А.Н. и др. // Вестник РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН - 2003.- С. 101-104.
11. Кострицкий С.В. Хирургическое лечение больных с метастазами рака почки в позвоночник / Кострицкий С.В., Широкоград В.И., Семенов Д.В. и др. // Онкоурология – 2014. - №3 – С. 40-41.
12. Аганесов Л.Г. Хирургическое лечение новообразований верхнегрудного отдела позвоночника / Аганесов Л.Г., Хейло Л.Л. // Травматология и ортопедия России – 2010. – №2 – С. 143-145.
13. Козлов Д.М. Хирургическое лечение больных с метастатическими и первичными опухолями шейного отдела позвоночника, осложненными компрессией спинного мозга: Дис. канд. мед.наук: 14.00.22 / Козлов Дмитрий Михайлович; Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова. - М., 2005. – 125 с.
14. Столярова О.Ю. Метастазы в позвоночник при раке легкого / Столярова О.Ю., Думанский Ю.В., Синяченко О.В. и др. // Боль.Сушавы.Позвоночник – 2015. - №4 - С. 10-14.
15. Слынько Е.И. Результаты нейрохирургического лечения опухолей позвоночника / Слынько Е.И., Аль-Кашки И.И., Пастушин А.И. // Украинский нейрохирургический журнал – 2013. -№4 – С. 12-17.
16. Валиев А. К. Малоинвазивные методы диагностики и лечения больных с метастатическим поражением позвоночника / Валиев А. К., Каллистов В. Е., Мусаев Э.Р. и др. // Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН – 2010. - №4 – С. 2-5.

17. Бухаров А.В. Малоинвазивные методы в лечении пациентов с опухолевым поражением костей: Дис.канд.мед.наук: 14.00.14 / Бухаров Артем Викторович; Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова. – М., 2009. – 95 с.

18. Tancioni F. Percutaneous vertebral augmentation in metastatic disease: state of the art / Tancioni F., Lorenzetti M.A., Navarra P. and others // Support Oncology – 2011. - №9 – 4-10 p.

19. Dabravolski D. Surgical treatment of tumours and metastases of the spine by minimally invasive cavity-coblation method / D. Dabravolski1, J. Eber, A. Lahm and others, 2017.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nagorny E.B. Opyt primeneniya dekompressionno-stabiliziruyushchikh operatsiy u bol'nykh s mnozhestvennymi zlokachestvennymi opukholyami grudnogo i poyasnichnogo otdelov pozvonochnika [Usage Experience in Decompression-stabilizing Operations in Patients with Multiple Malignant Tumors of Thoracic and Lumbar Spine] / Nagorny E.B., Nadulich K.A., Teremshonok A.V. and others // Travmatologiya i ortopediya Rossii [Traumatology and Orthopedics of Russia] – 2010. – No.2 – P.146-148. [in Russian]

2. Aliev M.D. Metastaticheskoye porazheniye pozvonochnika u bol'nykh rakom molochnoy zhelezy. Faktory prognoza [Metastatic Spinal Injury in Patients with Breast Cancer. Prognosis Factors] / Aliev M.D., Stepanova A.M., Musaev E.R. and others // Sibirskiy onkologicheskii zhurnal [Siberian oncology journal] – 2015. – No. 3 – P.61-67. [in Russian]

3. Chissov V.I. Pervyy opyt radikal'nogo udaleniya pervichnykh i metastaticheskikh opukholey pozvonochnika [First Experience of Radical Removal of Primary and Metastatic Tumors of Spine] / Chissov V.I., Reshetov I.V., Shchetinin V.V. and others // Khirurgiya pozvonochnika [Spine Surgery] – 2005. – No.1 – P.85-90. [in Russian]

4. Qian Z. Kyphoplasty for the treatment of malignant vertebral compression fractures caused by metastases / Qian Z., Sun Z., Yang H. and others // Clinical Neuroscience – 2011. – No. 18 – 763-767 p.

5. Valiev A.K. Vertebroplastika v plane kombinirovannogo lecheniya bol'nykh s opukholevym porazheniyem pozvonochnika [Vertebroplasty in Terms of Combined Treatment of Patients with Neoplastic Lesion of Spine] / Valiev A.K., Meluzova O.M., Kukushkin A.V. and others // Vestnik RONTs im. N. N. Blokhina RAMN [Bulletin of the RNTS named after N.N. Blokhin RAMS] – 2003. – P. 49-52 [in Russian]

6. Semkov A.S. Khirurgicheskoye lecheniye kostnykh metastazov raka pochki [Surgical Treatment of Bone Metastases of Kidney Cancer] / Semkov A.S., Makhson A.N., Peterson S.B. and others // Onkourologiya [Oncourology] – 2010. – No.4 – P.10. -15 [in Russian]

7. Zhabasaraeva D.Zh. Chastota metastaticheskikh porazheniy pozvonochnika pri razlichnykh lokalizatsiyakh pervichnykh opukholey [Frequency of Metastatic Spine Lesions in Various Localizations of Primary Tumors] // Neyrokhirurgiya i nevrologiya kazakhstana [Neurosurgery and neurology of Kazakhstan] – 2015. – No.1 - P.24-28. [in Russian]

8. Ptashnikov D.A. Algoritm khirurgicheskogo lecheniya bol'nykh s opukholyami pozvonochnika [Algorithm of Surgical Treatment of Patients with Spinal Tumors] / Ptashnikov D.A., Usikov V.D., Korytova L.I. and others // Travmatologiya i ortopediya Rossii [Traumatology and Orthopedics of Russia] – 2010 – No.2 – P.132-135. [in Russian]

9. Ardashev I.P. Diagnostika i khirurgicheskaya stabilizatsiya pozvonochnika pri opukholevykh porazheniyakh [Diagnosis and Surgical Stabilization of Spine for Tumor Lesions] / Ardashev I.P., Noskov V.P., Gatlin V.R. and others // Meditsina v Kuzbasse [Medicine in Kuzbass] – 2004. – No. 3 – P.9-13. [in Russian]

10. Aliev D. Neyroortopedicheskiye printsipy lecheniya pervichnykh i metastaticheskikh opukholey pozvonochnika, oslozhnennykh kompressiyey spinnogo mozga i koreshkov [Neuroorthopedic Principles of Treatment of Primary and Metastatic Tumors of Spine, Complicated by Compression of Spinal Cord and Roots] / Aliev D., Kallistov V.E., Karanadze A.N. and others // Vestnik RONTs im. N. N. Blokhina RAMN [Bulletin of the RNTS named after N.N. Blokhin RAMS] – 2003. – P.101-104. [in Russian]

11. Kostritsky S.V. Khirurgicheskoye lecheniye bol'nykh s metastazami raka pochki v pozvonochnik [Surgical Treatment of Patients with Metastases of Kidney Cancer in Spine] / Kostritsky S.V., Shirokorad V.I., Semenov D.V. and others // Onkourologiya [Oncourology] – 2014. – No. 3 – P.40-41. [in Russian]

12. Aganesov L.G. Khirurgicheskoye lecheniye novoobrazovaniy verkhnegrudnogo otdela pozvonochnika [Surgical Treatment of Neoplasms of Upper Thoracic Spine] / Aganesov L.G., Kheylo L.L. // Travmatologiya i ortopediya Rossii [Traumatology and orthopedics of Russia] – 2010. – No.2 – P.143-145. [in Russian]

13. Kozlov D.M. Khirurgicheskoye lecheniye bol'nykh s metastaticheskimi i pervichnymi opukholyami sheynogo otdela pozvonochnika, oslozhnennymi kompressiyey spinnogo mozga [Surgical Treatment of Patients with Metastatic and Primary Tumors of Cervical Spine, Complicated by Compression of Spinal Cord] Phd thesis in medicine: 14.00.22 / Kozlov Dmitry Mikhailovich; Sechenov Moscow Medical Academy – M., 2005. – 125p. [in Russian]

14. Stolyarova O.Yu. Metastazy v pozvonochnik pri rake legkogo [Metastases in Spine with Lung Cancer] / Stolyarova O.Yu., Dumansky Yu.V., Sinyachenko O.V. and others // Bol'. Sustavy. Pozvonochnik [Pain. Joints. Spine] – 2015. – No.4 – P.10-14. [in Russian]

15. Slynko E.I. Rezul'taty neyrokhirurgicheskogo lecheniya opukholey pozvonochnika [Results of Neurosurgical Treatment of Tumors of Spine] / Slynko E.I., Al-Kashkash I.I., Pastushin A.I. // Ukrainskiy neyrokhirurgicheskii zhurnal [Ukrainian Neurosurgical Journal] – 2013. – No.4 – P.12-17. [in Russian]

16. Valiev A.K. Maloinvazivnyye metody diagnostiki i lecheniya bol'nykh s metastaticheskimi porazheniyem pozvonochnika [Minimally Invasive Methods of Diagnosis and Treatment of Patients with Metastatic Spinal Cord Injury] / Valiev A.K., Kallistov V.E., Musaev E.R. and others // Vestnik RONTs im. N. N. Blokhina RAMN [Bulletin of the RNTS named after N.N. Blokhin RAMS] – 2010. – No.4 – P.2-5. [in Russian]

17. Bukharov A.V. Maloinvazivnyye metody v lechenii patsiyentov s opukholevym porazheniyem kostey [Minimally Invasive Methods in Treatment of Patients with Tumor Lesion of Bones] dis. of PhD in medicine: 14.00.14 / Bukharov Artem Viktorovich; Moscow Sechenov Medical Academy. – M., 2009. – 95p. [in Russian]

18. Tancioni F. Percutaneous vertebral augmentation in metastatic disease: state of the art / Tancioni F., Lorenzetti M., Navarra P. and others // Support Oncology – 2011. – No.9 – 4-10p.
19. Dabravolski D. Surgical treatment of tumours and metastases of the spine by minimally invasive cavity-coblation method / D. Dabravolski1, J. Eber, A. Lahm and others, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.015>**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ В ПОПУЛЯЦИЯХ *VACCINIUM VITIS-IDAEA* L. НА СЕВЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Научная статья

Данилова М.А.^{1,*}, Щегловитова Е.А.²¹ ORCID: 0000-0002-1916-9709;^{1,2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

* Корреспондирующий автор (ruadry[at]list.ru)

Аннотация

Была изучена семенная продуктивность в трех популяциях брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) в Красновишерском районе на севере Пермского края. Полученные данные сопоставлены с исследованиями прошлых лет, проводимыми в соседнем районе. Выявлен показатель семенной продуктивности, наиболее достоверно отражающий межпопуляционные различия, – потенциальная семенная продуктивность. Число цветков на 1 парциальный куст и коэффициент плодоцветения в большей степени зависят от внешних условий, чем потенциальная семенная продуктивность. Наиболее вариабельно и зависимо от случайных факторов число ягод на 1 парциальный куст. Все изученные популяции производят достаточное количество выполненных семян для семенного возобновления.

Ключевые слова: брусника обыкновенная, семенная продуктивность, популяция.**VARIABILITY OF SOME INDICES OF SEED PRODUCTIVITY IN POPULATIONS OF *VACCINIUM VITIS-IDAEA* L. IN THE NORTH OF PERM TERRITORY**

Research article

Danilova M.A.^{1,*}, Scheglovitova E.A.²¹ ORCID: 0000-0002-1916-9709;^{1,2} Perm State National Research University, Perm, Russia

* Corresponding author (ruadry[at]list.ru)

Abstract

Seed productivity in three populations of red bilberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in Krasnovishersky district in the north of the Perm region was studied. The obtained data are compared with the studies of past years conducted in the neighboring region. The indicator of seed productivity, the most reliably reflecting interpopulation differences, is revealed – potential seed productivity. The number of flowers per one partial shrub and the coefficient of fruit bloom is more dependent on external conditions than potential seed productivity. The most variable and dependent on random factors is the number of berries per one partial shrub. All studied populations produce a sufficient number of seeds for seed renewal.

Keywords: cowberry, seed productivity, population.

Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) является типичным представителем рода *Vaccinium* L., представленным в Пермском крае также *V. uliginosum* L. и *V. myrtillus* L. В северных районах края они часто доминируют в травяно-кустарничковом ярусе лесных сообществ. Это ценное ресурсное пищевое и лекарственное растение. Значение семенного размножения для распространения и поддержания природных популяций брусники изучено не полностью. Многие исследователи в разные годы указывали на значительное преобладание вегетативного размножения над семенным и даже отмечали полное отсутствие семенного возобновления в отдельных популяциях [12, С. 191], [13, С. 196], [6, С. 294], [2, С. 22]. Тем не менее, для многих популяций брусники характерна высокая семенная продуктивность и урожайность ягод [10, С. 119-121], [3, С. 57]. Показатели семенной продуктивности важны для оценки генетического разнообразия данного вида и для оценки адаптационных возможностей отдельных популяций.

Была проведена оценка семенной продуктивности в трех популяциях брусники в Красновишерском районе Пермского края. В выборки были включены молодые генеративные и средневозрастные генеративные парциальные кусты в равных соотношениях для всех изученных популяций. Диагнозы возрастных состояний для брусники обыкновенной были приведены согласно онтогенетическому развитию отдельных парциальных кустов [9, С. 41-46]. Семенная продуктивность растений изучалась по общепринятой методике [1, С. 826-831].

Все популяции расположены в зоне средне-таежных пихтово-еловых лесов с преобладанием Камско-Печерско-Западноуральских пихтово-еловых лесов [8, С. 16-19, 182] в труднодоступных областях с низкой антропогенной нагрузкой.

В 2017 году цветение брусники в изученных популяциях началось в середине июля, сбор цветков производился с 15 июля. Массовое созревание ягод происходило в начале сентября. Сроки наступления цветения и плодоношения сильно отличаются от 2011 и 2012 гг., когда изучались популяции брусники в близлежащем районе. Наиболее вероятная причина этого – разница сумм эффективных температур, влияющих на сроки фенофаз. В 2012 году цветение брусники началось 15 мая при достижении суммы эффективных температур 296 С°. 15 июля уже массово созревали ягоды (сумма эффективных температур 1593 С°). В 2017 году массовое цветение началось в середине июля при накоплении 976 С°. Возможно, запаздывание связано с длительным периодом низких температур и заморозками в начале вегетации, которые не смогли компенсировать даже достаточно высокие среднесуточные температуры в июне и июле. Плодоношение началось в сентябре при сумме эффективных температур 1744 С°. Отмечено, что для растений

семейства *Ericaceae* обычны сильные колебания наступления и продолжительности различных фаз в зависимости от абиотических факторов, и, как правило, связанные с минимальным необходимым количеством тепла [11, С. 6]. Наши наблюдения показывают, что минимальное количество тепла является необходимым, но не единственным фактором, лимитирующим наступление цветения.

Все три изученные популяции показали в среднем невысокое число цветков на один парциальный куст и, соответственно, еще меньшее число ягод. Средние показатели намного ниже, чем в 2012 году [3, С. 56]. Наиболее вероятное объяснение этому – поздние заморозки и в целом более низкие температуры в начале вегетационного периода.

В популяции 1 число цветков на 1 парциальный куст варьировало от 2 до 8, в популяции 2 пределы вариации находились между 2 и 10, и в популяции 3 этот показатель колебался от 2 до 11. Число плодов было очень малым (от 0 до 4), на некоторых замаркированных парциальных кустах сформировавшихся плодов не было, хотя цветение на этих кустах наблюдалось. Этот признак является наименее надежным, т.к. значительное количество плодов утрачивается в процессе созревания из-за случайных факторов (неблагоприятные погодные условия, животные, антропогенная нагрузка).

Коэффициент плодоцветения сходен во всех трех популяциях (табл. 1), достоверных межпопуляционных отличий по этому параметру не наблюдается.

Таблица 1 – Плодоцветение *Vaccinium vitis-idaea* L. в природных популяциях Красновишерского района Пермского края

Характеристика	Число цветков на один парциальный куст, ($M \pm m$)	Cv, %	Коэффициент плодоцветения, ($M \pm m$)	Cv, %
популяция 1	5,78 \pm 0,19,	24	0,27 \pm 0,01	33
популяция 2	8,32 \pm 0,44	37	0,28 \pm 0,01	33
популяция 3	6,31 \pm 0,36	36	0,31 \pm 0,01	28

Второй важный показатель семенной продуктивности популяции – это коэффициент продуктивности, который является отношением реальной и потенциальной семенной продуктивности. Потенциальная семенная продуктивность (ПСП) определяется у брусники числом семян на одну завязь. Реальная семенная продуктивность (РСП) соответствует числу семян в одном плоде. Коэффициент продуктивности (отношение между РСП и ПСП) отображает долю семян, развившихся в полноценные, выполненные семена. Все эти показатели продемонстрировали высокую степень вариабельности в изученных популяциях (табл. 2).

Все исследованные популяции Красновишерского района отличаются друг от друга по показателям ПСП. Для популяций 1 и 2 эмпирическое значение критерия Колмогорова-Смирнова соответствует 2,14. Для 2 и 3 популяций – 5,02. Для 1 и 3 популяций – 3,13. Это превышает стандартные табличные значения, таким образом, отличия между популяциями по данному признаку можно считать достоверными. Реальная семенная продуктивность не коррелирует напрямую с ПСП. Коэффициенты продуктивности также очень вариабельны и достоверно отличаются во всех трех популяциях друг от друга.

Потенциальная семенная продуктивность в популяциях брусники Красновишерского района достаточно велика. Она существенно отличается в большую сторону от показателей ПСП в популяциях брусники Чердынского района, исследованных ранее. С одной стороны, сходство климатических, почвенных факторов и характера фитоценозов между обоими районами, а с другой стороны межпопуляционная вариабельность данного признака позволяет предположить, что разница показателей обусловлена генетическими отличиями между популяциями. Также нельзя исключать воздействие метеорологических условий в год проведения исследования. Решение этого вопроса требует дополнительных наблюдений.

Таблица 2 – Семенная продуктивность *Vaccinium vitis-idaea* L. в природных популяциях Красновишерского района Пермского края

Популяции	Популяция 1	Популяция 2	Популяция 3
Потенциальная семенная продуктивность, (шт. семян на 1 завязь) $M \pm m$	32,91 \pm 0,82	40,34 \pm 1,24	30,49 \pm 0,38
Cv, %	18	22	9
Реальная семенная продуктивность, (шт. семян на 1 плод) $M \pm m$	13,74 \pm 0,72	12,73 \pm 0,81	16,36 \pm 0,64
Cv, %	37	45	28
K_{np}	0,43 \pm 0,02	0,33 \pm 0,02	0,54 \pm 0,02
Cv, %	41	50	29

Используемые показатели оценки семенной продуктивности неравноценны. Число цветков и ягод на 1 парциальный куст и коэффициент плодоцветения не показали достоверных отличий между популяциями, в большей степени они зависят от внешних факторов таких, как температура воздуха и почвы, влажность, антропогенная нагрузка. Это подтверждают как наши наблюдения, так и многочисленные авторы [7, С. 9], [5, С. 153-158, 196, 197], [4, С. 83], [3, С. 56]. Потенциальная семенная продуктивность и коэффициент продуктивности достоверно отличаются

в различных популяциях, обследованных в один период времени и находящихся в одинаковых климатических и метеорологических условиях. Степень зависимости данных признаков от климатических условий требует дальнейшего изучения. Для дальнейшего использования данного признака в качестве диагностического при оценке генетического разнообразия популяции и межпопуляционной дифференциации необходимо установить зависимость внутривидовой составляющей вариативности ПСП от клональной структуры популяции.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений / И.В. Вайнагий // Ботанический журнал. Т. 59. – 1974. – № 6. – С. 826–831.
2. Глотов Н.В. Структура клонов брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) / Н.В. Глотов, Л.В. Прокопьева // Состояние и перспективы использования недревесных ресурсов леса: сб. ст. международной науч.-практ. конф. 10–11 сентября 2013 г., Кострома / ВНИИЛМ. – Пушкино, 2014. – С. 22–24.
3. Данилова М.А. Семенная продуктивность *Vaccinium vitis-idaea* L. в Чердынском районе Пермского края / М.А. Данилова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – Выпуск 2-1 (21). – С. 56–57.
4. Ермакова О.Д. К экологии брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) в южном Прибайкалье (хр. Хамар-Дабан) / О.Д. Ермакова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: материалы XIII международной науч.-практ. конф. / Алтайский государственный университет. – Барнаул, 2014 г. – С. 83–84.
5. Конобеева А.Б. Брусничные в Центрально-Черноземном регионе / А.Б. Конобеева. – Мичуринск – наукоград РФ: Изд-во Мичурин. гос. аграр. ун-та, 2007. – 230 с.
6. Лузянина О.В. Проявление несовместимости у брусничных / О.В. Лузянина // Генетические источники лекарственных и ароматических растений: сб. трудов международной конференции / Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений. – Москва, 2001. – С. 293–297.
7. Мазная Е. А. Влияние промышленных выбросов на состояние и структуру ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. (Кольский п-ов) / Е.А. Мазная // Растительные ресурсы. Т.37. – 2001. – Вып.3. – С. 1–12.
8. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области / С.А. Овеснов. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 1997. – 252 с.
9. Прокопьева Л.В. Онтогенез брусники обыкновенной *Vaccinium vitis-idaea* L. / Л.В. Прокопьева, Л.А. Жукова, Н.В. Глотов // Онтогенетический атлас лекарственных растений. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. 2000. – С. 39–46.
10. Прокопьева Л.В. Урожайность ягод в ценопопуляциях брусники / Л.В. Прокопьева, Н.В. Глотов // Проблемы экологии и природопользования в бассейнах рек Республики Марий Эл и сопредельных регионов: сб. матер. межрег. науч.-практ. конф. / Государственный природный заповедник «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола, 2006 г. – С. 119–122.
11. Рупасова Ж.А. Особенности феноритмики вересковых на площадях выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси / Ж.А. Рупасова, А.П. Яковлев, Г. И. Булавко // Известия национальной Академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2012. – № 2. – С. 5–9.
12. Синская Е.Н. К вопросу о полиморфизме некоторых видов *Vaccinium* / Е.Н. Синская, М.С. Щенкова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, Т. 18. – 1928. – Вып.4. – С. 185–222.
13. Ritchie J.C. Biological flora of the British Isles: *Vaccinium myrtillus* L. / J. C. Ritchie // Journal of Ecology. V. 44. – 1956. – №1. – P. 291–299.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vaynagi I.V. O metodike izucheniya semennoy produktivnosti rasteniy [About Technique of Studying of Seed Efficiency of Plants] / I.V. Vainagi // Botanichesky zhurnal [Botanical Journal]. V. 59. – 1974. – No. 6. – P. 826-831. [in Russian]
2. Glotov N.V. Struktura klonov brusniki obyknovnoy (*Vaccinium vitis-idaea* L.) [Structure of clones of cowberry common (*Vaccinium vitis-idaea* L.)] / N.V. Glotov, L.V. Prokopyev // State and perspectives of non-timber forest resources use: Coll. of works of international scientific-practical. conf. September 10-11, 2013, Kostroma / VNIILM. – Pushkino, 2014. – P. 22-24. [in Russian]
3. Danilova M.A. Semennaya produktivnost' *Vaccinium vitis-idaea* L. v Cherdynskom rayone Permskogo kraya [Seed Productivity of *Vaccinium Vitis-idaea* L. in Cherdynsky District of the Perm Region] / M.A. Danilova // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. – 2014. – Is. 2-1 (21). – P. 56-57. [in Russian]
4. Ermakova O.D. K ekologii brusniki (*Vaccinium vitis-idaea* L.) v yuzhnom Pribaykal'ye (khr. Khamar-Daban) [To Ecology of Cowberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in the southern Baikal region (the Khamar-Daban range)] / O.D. Ermakova // Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: Materials of the 13th International Scientific and Practical Conference of Conference in Altai State University. – Barnaul, 2014 – P. 83-84. [in Russian]
5. Konobeeva A.B. Brusnichnyye v Tsentral'no-Chernozemnom regione [Cowberry in Central Black Earth Region] / A.B. Konobeeva. – Michurinsk – scientific city of the Russian Federation: Michurin Publishing House. State. Agrarian. University, 2007. – 230 p.
6. Luzyanina O.V. Proyavleniye nesovmestimosti u brusnichnykh [Manifestation of Incompatibility in Cranberries] / O.V. Luzyanina // Genetic sources of medicinal and aromatic plants: Works of the International Conference / All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants. - Moscow, 2001. – P. 293-297. [in Russian]
7. Maznaya E.A. Vliyaniye promyshlennykh vybrosov na sostoyaniye i strukturu tsenopopulyatsiy *Vaccinium myrtillus* L. i *Vaccinium vitis-idaea* L. (Kol'skiy p-ov) [Effect of Industrial Emissions on Condition and Structure of Coenopopulations of *Vaccinium Myrtillus* L. and *Vaccinium vitis-idaea* L. (Kola Peninsula)] / Maznaya E.A. // Rastitelnye resursy [Vegetable resources]. V.37. – 2001. – Is. 3. – P. 1-12. [in Russian]
8. Ovesnov S.A. Konspekt flory Permskoy oblasti [Review of Flora of Perm Region] / S.A. Ovesnov – Perm: Perm. state. University, 1997. – 252 p. [in Russian]

9. Prokopieva L.V. Ontogenez brusniki obyknovnoy *Vaccinium vitis-idaea* L. [Ontogenesis of Cowberry *Vaccinium vitis-idaea* L. / L.V. Prokopieva, L.A. Zhukova, N.V. Glotov // Ontogeneticheskiy atlas lekarstvennykh rasteniy [Ontogenetic Atlas of Medicinal Plants]. – Yoshkar-Ola: Mar. state. univ. 2000. – P. 39-46. [in Russian]
10. Prokopieva L.V. Urozhaynost' yagod v tsenopopulyatsiyakh brusniki / L.V. Prokop'yeva, N.V. Glotov [Yields of Berries in Cenopopulations of Red Bilberry] / L.V. Prokopyev, N.V. Glotov // Problems of Ecology and Nature Management in the Basins of the Rivers of the Republic of Mari El and Adjacent Regions: Sat. mater. interagregation. scientific-practical. conf. state nature reserve "Big Kokshaga". – Yoshkar-Ola, 2006 – P. 119-122. [in Russian]
11. Rupasova Zh.A. Osobennosti fenoritmiki vereskovykh na ploshchadyakh vybyvshikh iz promyshlennoy ekspluatatsii torfyanykh mestorozhdeniy severa Belarusi [Specifics of Heather Phenorhythmics in Areas of Peat Deposits of North of Belarus that Have Left the Industrial Exploitation] / Zh.A. Rupasova, A.P. Yakovlev, G.I. Bulavko // Izvestiya natsionalnoy Akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of biological sciences]. – 2012. – No. 2. – P. 5-9. [in Russian]
12. Sinskaya E.N. K voprosu o polimorfizme nekotorykh vidov *Vaccinium* [On Issue of Polymorphism of Some *Vaccinium* Species] / E.N. Sinskaya, M.S. Schenkov // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Selection]. V. 18. – 1928. – Is. 4. – P. 185-222. [in Russian]
13. Ritchie J.C. Biological flora of the British Isles: *Vaccinium myrtillus* L. / J. C. Ritchie // Journal of Ecology. V. 44. - 1956. - № 1. - P. 291-299.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.016>

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭРИТРОЦИТОВ IN VITRO

Научная статья

Катюхин Л.Н.*

ORCID: 0000-0003-2176-4862,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (lion[at]iephb.ru)

Аннотация

Представлены результаты изменений агрегационных и деформационных показателей эритроцитов при воздействии на кровь крыс излучением инфракрасного спектра широкого диапазона. Показано непосредственное тепловым действием поддержание нативных реологических свойств красных клеток. Подтверждено проявление неспецифического феномена адаптивных возможностей крови теплокровных при стрессе и патологии в результате морфологических трансформаций красных клеток. Феномен проявляется в регуляции вязкостного гомеостаза крови зрелыми эритроцитами за счет реципрокных последствий прямой положительной связи их реологических детерминант.

Ключевые слова: эритроциты, эктацитометрия, агрегация, инфракрасный свет.

EFFECT OF INFRARED SPECTRUM EMISSION ON RHEOLOGICAL INDICATORS OF ERYTHROCYTES IN VITRO

Research article

Katyukhin L.N.*

ORCID: 0000-0003-2176-4862,

Federal State Budgetary Institution of Science, I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (lion[at]iephb.ru)

Abstract

The results of changes in aggregation and deformation parameters of erythrocytes in the blood of rats are presented at its exposition by the emission of a wide infrared spectrum. It is shown that thermal action does not mediate maintenance of the native rheological properties of red cells. The manifestation of the nonspecific phenomenon of the adaptive capabilities of the blood of hematothermal animals under stress and pathology as a result of morphological transformations of red cells was confirmed. The phenomenon manifests itself in the regulation of viscous homeostasis of the blood by mature red blood cells due to the reciprocal consequences of direct positive connection of their rheological determinants.

Keywords: erythrocytes, ektacytometry, aggregation, infrared light.

Многовековой опыт человечества свидетельствует, что согревающее тепло оказывает лечебное действие при восстановлении от различных травм, ушибов, растяжений, способствует заживлению ран, рассасыванию гематом, т.е. обладает выраженным реабилитационным эффектом. Инфракрасный свет проникает в кожу достаточно глубоко и достигает густой сети поверхностных микрососудов. Считается, что основой лечебного эффекта инфракрасного излучения на внутренние органы является прогревание тканей организма. Действительно, при падении длинноволнового инфракрасного излучения на кожный покров расслабляются гладкие мышцы кровеносных сосудов, вследствие чего они расширяются. При этом ускоряется кровоток, улучшается процесс кровообращения. Однако

трудно предположить, что излучение может непосредственно повышать температуру крови, протекающей по капиллярам с достаточно высокой скоростью. Кровь имеет высокую теплоемкость, а внутренняя температура тела и даже поверхностных слоев кожи стабилизирована в узком диапазоне за счет функционирования разнообразных физиолого-биохимических механизмов. Очевидно, что организм животных подобно растениям под действием радиации Солнца в процессе эволюции выработал специальные механизмы поглощения и утилизации лучистой энергии, но биохимические основы взаимодействия излучения с живыми клетками до конца не охарактеризованы [1].

Физиологическая и биохимическая активность клеток зависит от функционирования их мембранных систем. Поэтому эритроциты, как первичные акепторы, меняя свои барьерные свойства, могут служить пусковым звеном физиологических процессов, инициируемых излучением. Ввиду отсутствия корректных сведений об изменении агрегационных и деформационных параметров эритроцитов, и для исключения прямого теплового действия инфракрасного излучения мы провели изучение реологических характеристик красных клеток в термостабилизированных условиях, располагая пробы на тающем льду.

Приборы и методы исследования

Исследованы реологические свойства эритроцитов крови 12 крыс-самцов одного возраста линии Вистар. Методом пьезодинамической агрегометрии в микрообъеме в собственной модификации [2] оценивали способность эритроцитов к спонтанной агрегации. Измерялись следующие агрегационные параметры: прочность агрегатов эритроцитов $T_{полн}$, скорость агрегации $1/T_{агр}$, где $T_{агр}$ – полупериод агрегации, и интегральный индекс агрегации как $I_{агр} = T_{полн}/T_{агр}$. Деформационные свойства эритроцитов оценивали с помощью метода градиентной осмотической эктацитометрии [3]. Деформационные параметры следующие: интегральная деформируемость ($I_{деф}$), структурная целостность, или водная проницаемость мембран ($I_{мин}$) [4], параметр $O_{мин}$, оценивающий форму, или удельную поверхность эритроцитов (S/V), и параметр $O_{гипер}$, по величине которого судят о степени дегидратации гемоглобина. Облучение 5 мл цельной стабилизированной гепарином в концентрации 100 ед/мл крови производили полным спектром инфракрасного излучения (ИКО) спектрофотометра SPECORD M82 в течение 3 часов в кювете площадью 1 $см^2$, помещенной в наполненную тающим льдом пенопластовый контейнер. Для уменьшения испарения кювету покрывали пластиной из CsI с диапазоном оптической прозрачности 0,25–55,0 мкм, изолирующей фотометрический отсек. Контрольные пробы располагали в соседнем отсеке. Измерения параметров эритроцитов у контрольных животных производили через 3 часа после декапитации. Данные оценивались с помощью прикладной программы Excel 5. Цифровые и графические результаты представлены среднеарифметическими значениями с их стандартными среднеквадратическими отклонениями. Достоверность отличий подсчитана с применением t -критерия Стьюдента для 5%-ного уровня значимости.

Результаты исследования

Произведенные эксперименты показали, что реологические параметры эритроцитов изменяются по отношению к контрольным значениям однонаправленно как в результате инкубации крови без ИКО, так и после ИКО. Как видно из рисунка 1, хранение проб на льду в отсутствие освещения вызвало достоверное уменьшение деформируемости эритроцитов (параметр $I_{деф}$) (таблица 1), увеличение водной проницаемости ($I_{мин}$) и дегидратацию гемоглобина эритроцитов ($O_{гипер}$), на что указывает смещение в гипоосмотическую область правого крыла осмоскана [5]. Дискоидная форма эритроцитов не изменилась (см. табл., $O_{мин}$).

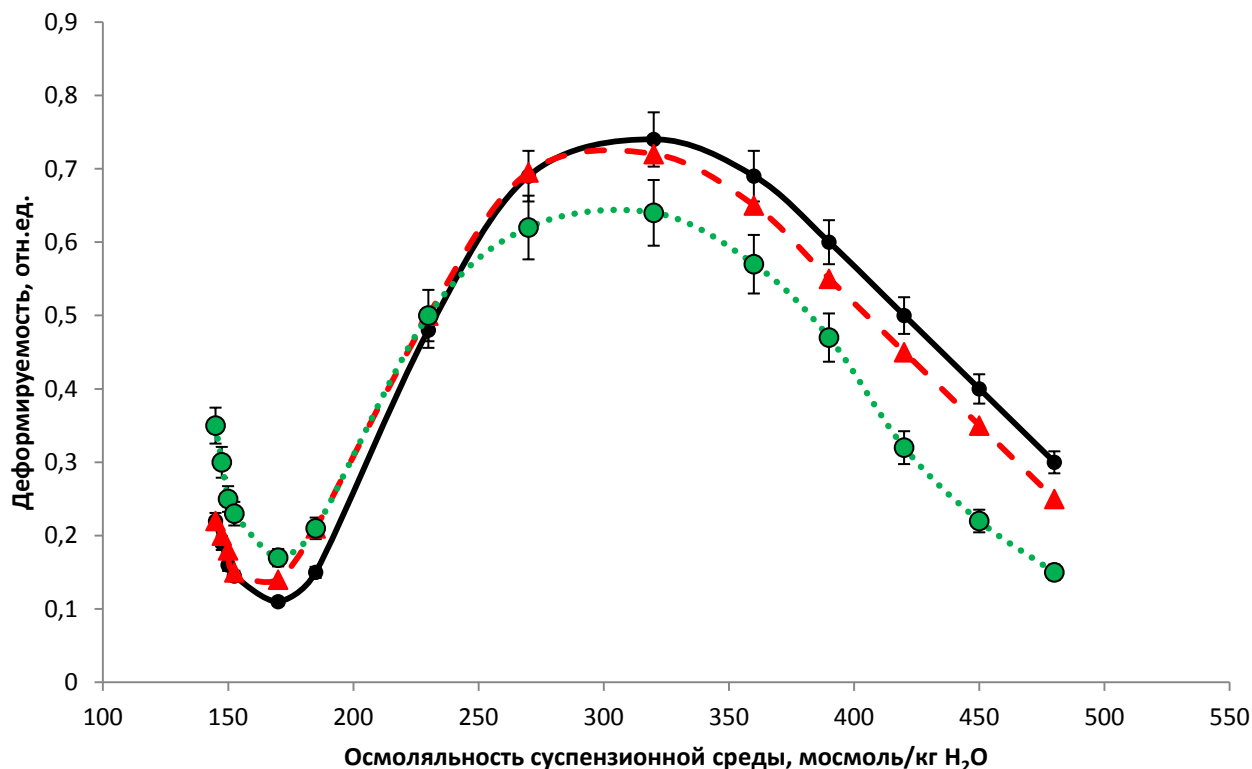


Рис. 1 – Осмограммы эритроцитов
Примечание: контроль (•), без ИКО (○), с ИКО (Δ)

Таблица 1 – Реологические показатели эритроцитов

Показатели	Идеф	Имин	Омин	Огипер	Тполн	1/Тагр	Іагр
	Отн. ед.		мосмоль/кг H ₂ O		Сек	Сек ⁻¹	Отн.ед.
Контроль	0,74±0,02	0,110±0,008	170±1	460±6	72±3	0,010±0,001	0,7±0,1
Без ИКО	0,64±0,03*	0,170±0,010*	172±2	418±5*	64±3*	0,008±0,001*	0,5±0,1*
ИКО	0,72±0,04	0,140±0,010*	160±1*	445±7	66±3	0,009±0,001	0,6±0,1

Примечание: *- $p < 0.05$.

После ИКО деформируемость не отличалась от контрольной, а водная проницаемость-таки достоверно повышалась, но значительно меньше, чем без ИКО. А вот дискоидность эритроцитов, или S/V , увеличилась. Гемоглобин дегидратирован только в виде тенденции.

В отсутствие ИКО, судя по изменениям параметров Тполн, 1/Тагр и, соответственно, Іагр, прочность агрегатов эритроцитов достоверно понизилась. Под влиянием ИКО динамика этих изменений аналогична, но, как показывает статистический обсчет, только в виде тенденции (см. рис.2). На рисунке 3 представлены результаты корреляционного анализа взаимоизменений деформируемости эритроцитов и скорости их спонтанной агрегации: достоверной связи реологических детерминант эритроцитов после.

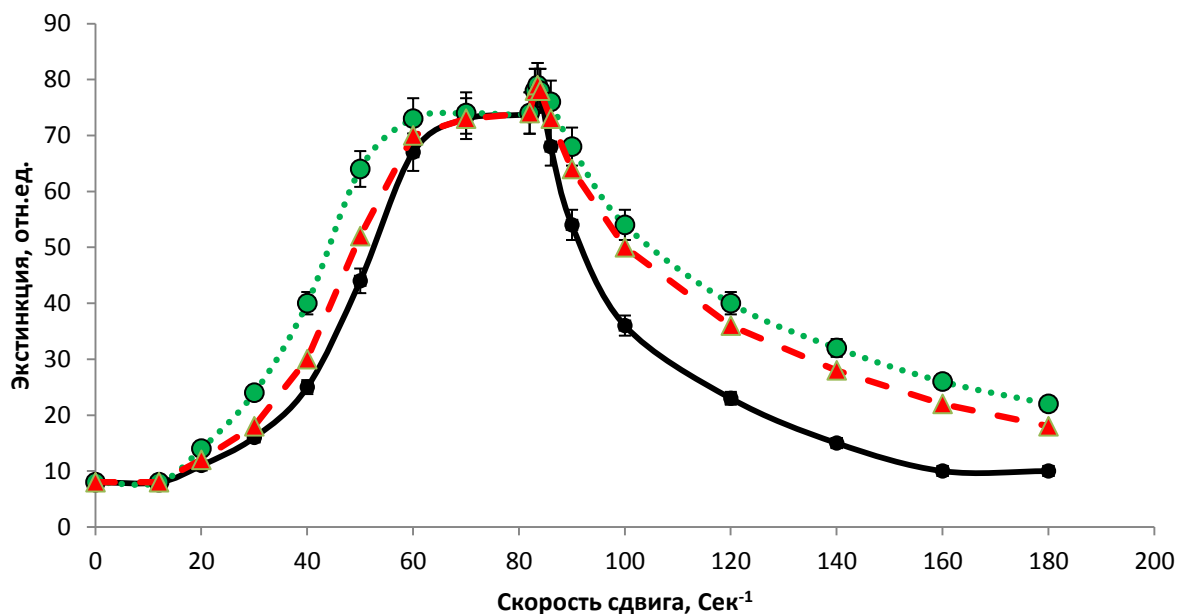


Рис. 2 – Агрегограммы эритроцитов

Примечание: контроль (•), без ИКО (○), с ИКО (Δ)

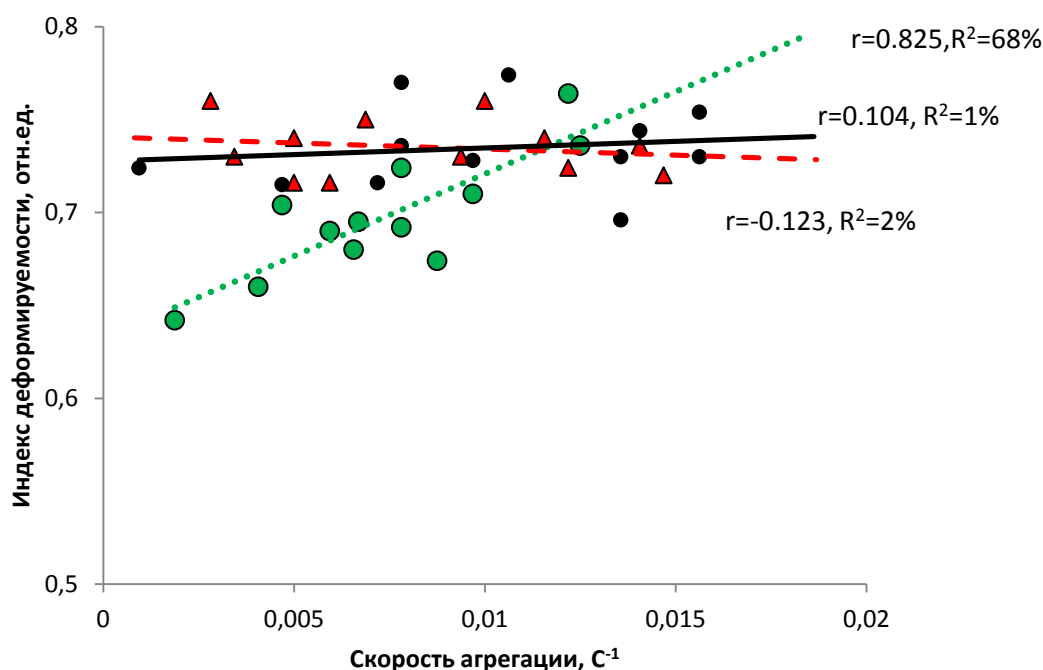


Рис. 3 – Регрессионные зависимости деформируемости и скорости агрегации эритроцитов

Примечание: контроль (•), без ИКО (○), с ИКО (Δ)

ИКО и в контроле не выявляется. Однако при хранении на льду в течение 3 часов в отсутствие ИКО выявляется достоверная прямая положительная связь реологических детерминант, близкая к функциональной.

Обсуждение результатов

ИКО в современной медицинской практике используется для успешной терапии чрезвычайно широкого круга заболеваний. Замечен биологический эффект дальних инфракрасных лучей на заживление ран. Даже при заболеваниях сердечнососудистой системы стали применять облучение крови больных светом газового гелий-неонового лазера, имеющего многомодовую характеристику спектра. Электромагнитные излучения в широком диапазоне вызывают уменьшение скорости оседания эритроцитов, предохраняя их от механического разрушения, задерживают появление в крови патологических эритроцитов, увеличивая их дискоидность [6], [7].

Биостимулирующее действие различных энергетических доз ИКО широко документировано в литературе. Низкоинтенсивное ИКО крови снижает уровень перекисей, увеличивает активность ацетилхолинэстеразы мембраны красных кровяных клеток, индуцируя долгосрочные конформационные переходы в клеточной мембране [8], [9]. Это приводит к изменениям структурных состояний и мембранных белков, и липидного бислоя, т.е. увеличению текучести мембран в гидрофобных и гидрофильных областях [10], [11]. Считается, что в инфракрасной области энергии фотонов достаточно только для увеличения энергии колебательных процессов биологических молекул. По этой причине действие ИКО на организм иногда связывают только с тепловым эффектом в поверхностных тканях. Но при совпадении характеристической с частотами внешнего воздействия вполне ожидаемы изменения функциональной активности биологических систем. Таким образом, результат воздействия излучения на кровь и эритроциты уже не рассматривается как тепловой эффект [25]. Чувствительность живых организмов к действию низкоинтенсивного ИКО сегодня связывается с неравновесностью систем, находящихся в метастабильных состояниях. В отношении реакции крови предполагается, что в красном диапазоне именно молекула гемоглобина является первичным фотоакцептором света. С учетом влияния на фракцию гемоглобина, связанную с мембраной, ИКО может вызывать конформационные перестройки белок-липидных взаимодействий и мембранного транспорта ионов и воды [13].

В данном исследовании мы попытались исключить эффект теплового воздействия на кровь, стабилизировав температуру образцов при 0°C. С помощью современных высокочувствительных методов оценены изменения реологических параметров эритроцитов при облучении проб крови широким спектром ИКО *in vitro*. Как показано, облучение проб крови демпфирует снижение реологических свойств эритроцитов, наблюдаемое при их длительном хранении, когда деформируемость эритроцитов ухудшается как за счет снижения вязкоэластических свойств мембран, так и в результате обезвоживания гемоглобина и соответственно повышения внутренней вязкости. Возможна потеря осмотической силы ионных насосов при хранении крови, что приводит к потере упругости изоволемической сферы в точке Омин, где эритроциты набухают до изотропной сферы. В свежей крови у нативных эритроцитов, когда еще нет дефицита АТФ и не произошла модификация белков, тургор мембраны и мощность насосов достаточны для сопротивления сдвигу при измерении, и в этой точке деформируемость минимальна (параметр I_{мин}). При длительном хранении даже набухший до изоволемической сферы эритроцит, мембрана которого при физиологических напряжениях сдвига нерастяжима [14], приобретает способность деформироваться в ячейке Куэтта при осмотических условиях, соответствующих Омин. Следовательно, происходит утечка воды из клетки, и индекс деформируемости в этих условиях повышается. С другой стороны, процесс объединения эритроцитов в агрегаты является сложным и многофакторным, по-видимому, связанным с деформационными свойствами. Как состояние определенных мембранных белков, так и белков плазмы, покрывающих клеточную поверхность, влияет на агрегацию эритроцитов и не остается безучастным при морфологических трансформациях [2], [15].

Нами подтверждено проявление неспецифического феномена адаптивных возможностей крови теплокровных, проявляющееся при стрессе и патологии в результате морфологических трансформаций красных клеток. Он представляет собой регуляцию вязкостного гомеостаза крови зрелыми эритроцитами за счет реципрокных последствий прямой положительной связи реологических детерминант эритроцитов [2]. Как следует из данных корреляционного анализа, в контрольных пробах деформируемость и скорость агрегации не обнаруживают связи. Хранение же крови в течение 3 часов даже на льду вызывает тесную прямую положительную связь между ними, близкую к функциональной. Однако, помещение проб в поток ИКО возвращает связь между ними, точнее ее отсутствие, к нормальному соотношению, оказывая нормализующее действие на утрачивающие свои нативные функциональные свойства эритроциты при длительном хранении.

Выводы

Облучение крови инфракрасным светом приводит к восстановлению частично утраченных при хранении деформационных и агрегационных свойств эритроцитов, что способствует поддержанию нативных реологических параметров эритроцитов.

Подтвержден феномен неспецифической связи реологических детерминант, представляющий собой дополнительный механизм адаптивных возможностей организма по регуляции вязкостных свойств крови зрелыми эритроцитами у млекопитающих.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России «Физиологические механизмы адаптации человека и животных к экстремальным и периодически меняющимся геогелиофизическим и метеорологическим факторам» АААА-А18-118012290142-9.

Funding

The work was carried out within the framework of the state task of the Russian Academy of Sciences "Physiological mechanisms of human and animal adaptation to extreme and periodically changing geoheliophysical and meteorological factors" АААА-А18-118012290142-9.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Medenica L. The use of polarised polychromatic non-coherent light alone as a therapy for venous leg ulceration / L. Medenica, M. Lens // Journal of Wound Care. - 2003.- Vol. 12.- № 1. - P. 37-40. doi: 10.12968/jowc.2003.12.1.26456
2. Katiukhin L.N. Erythrocyte shape transformation in physiological regulation of blood viscosity / L.N. Katiukhin // Open J. of Mol. and Integr. Physiol. - 2013. - Vol. 3. - № 4 - P. 194-198. <http://dx.doi.org/10.4236/ojmip.2013.34025>
3. Johnson R.M. Ektacytometry of red blood cells / R.M. Johnson // Meth. Enzymol. - 1989. - Vol. 173(T). - P. 35-54. PMID: 2779431
4. Katiukhin L.N. A method for evaluation of membrane permeability for water by the erythrocyte osmotic deformability profiles / L.N. Katiukhin // Bull. Exp. Biol. and Med. - 2014. - Vol. 157.- № 1. - P. 116-118. doi: 10.1007/s10517-014-2505-1.
5. Clark M.R. Osmotic gradient ektacytometry: comprehensive characterization of red cell volume and surface maintenance / M.R. Clark, N. Mohandas, S.B. Shohet // Blood. - 1983. - Vol. 61.- №5. - P. 899-910. PMID: 6831052.
6. Komorowska M. Erythrocyte response to near-infrared radiation / M. Komorowska, A. Cuissot, A. Czarnoleski et al. // J. Photochem. Photobiol. B. - 2002. - Vol. 68.- №2-3. - P. 93-100. PMID: 12468203
7. Blot S.I. The use of laser Doppler imaging in measuring wound-healing progress / S.I. Blot, S.J. Monstrey // Arch Surg. - 2001. - Vol. 136.- № 1. - P. 116. PMID: 11146792
8. Chludzińska L. Near-infrared radiation protects the red cell membrane against oxidation / L. Chludzińska, E. Ananicz, A. Jarosławska et al. // Blood Cells Mol Dis. - 2005.- Vol. 35.- № 1. - P.74-79. doi: 10.1016/j.bcmd.2005.04.003
9. Kujawa J. The effect of near-infrared MLS laser radiation on cell membrane structure and radical generation / J. Kujawa, K. Pasternak, I. Zavodnik et al. // Lasers Med. Sci. - 2014. - Vol. 29.- № 5. - P. 1663-1668. doi: 10.1007/s10103-014-1571-y
10. Kujawa J. Effect of low-intensity (3.75-25 J/cm²) near-infrared (810 nm) laser radiation on red blood cell ATPase activities and membrane structure / J. Kujawa, L. Zavodnik, I. Zavodnik et al. // J. Clin. Laser Med. Surg. - 2004. - Vol. 22.- № 2.- P.111-117. PMID: 15165385
11. Pasternak K. Influence of MLS laser radiation on erythrocyte membrane fluidity and secondary structure of human serum albumin / K. Pasternak, O. Nowacka, D. Wróbel et al. // Mol. Cell. Biochem.- 2014. - Vol. 388. - № 1-2. - P.261-267. doi: 10.1007/s11010-013-1917-y
12. Walski T. Near infrared light induces post-translational modifications of human red blood cell proteins / T. Walski, A. Dyrda, M. Dzik et al. // Photochem. Photobiol. Sci. - 2015.- Vol. 14.- № 11. - P. 2035-2045. doi: 10.1039/c5pp00203f
13. Yanhong C. Reactive effect of low intensity He-Ne laser upon damaged ultrastructure of human erythrocyte membrane in Fenton system by atomic force microscopy / C. Yanhong, G. Zhouyi, Z. Yanping et al. // Acta Biochim Biophys. Sinica. - 2007. - Vol. 39.- № 7. - P.484-489. PMID: 17622467
14. Garcia H.G. Thermodynamics of biological processes / H.G. Garcia, J. Kondev, N. Orme et al. // Methods Enzymol.- 2011. - Vol. 492. - P. 27-59. doi: 10.1016/B978-0-12-381268-1.00014-8
15. Bazanovas A.N. Erythrocyte: A systems model of the control of aggregation and deformability / A.N. Bazanovas, A.I. Evstifeev, S.F. Khaiboullina et al.//Biosystems.- 2015.-Vol.131.- P. 1-8. doi: 10.1016/j.biosystems.2015.03.003

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.017>**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ПОРОД КУР РАЗНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПО INDEL-МУТАЦИИ В ПРОМОТОРЕ ГЕНА ПРОЛАКТИНА**

Научная статья

Митрофанова О.В.^{1,*}, Дементьева Н.В.², Крутикова А.А.³¹ ORCID: 0000-0003-4702-2736;² ORCID: 0000-0003-0210-9344;³ ORCID: 0000-0003-2561-145X;^{1,2,3} Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (mo1969[at]mail.ru)

Аннотация

Проведена оценка частоты встречаемости indel-полиморфных вариантов в промоторе гена пролактина у кур биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ. Для анализа были взяты двадцать пород разного направления продуктивности. В большинстве изученных популяций наблюдался полиморфизм в этом участке гена пролактина, встречались гетерозиготы in/del, а также оба вида гомозигот. У китайских шелковых и карликовых кохинхинов полиморфизм по этому гену отсутствовал, встречались лишь гомозиготы del/del. Гомозиготы по делеции с высокой частотой были обнаружены так же и у бентамок, нью-гемпширов, суссексов. Но у них встречались и гетерозиготы in/del, хотя и с небольшой частотой. Высокая частота встречаемости гомозигот in/in отмечена у голландских белохохлых кур.

Ключевые слова: куры, пролактин, indel- полиморфизм, биоресурсная коллекция, частоты генотипов, частоты аллелей.

GENETIC HETEROGENEITY OF BREEDS OF HENS OF DIFFERENT DIRECTIONS OF PRODUCTIVITY BY INDEL-MUTATION IN THE PROMOTER OF THE PROLACTIN GENE

Research article

Mitrofanova O.V.^{1,*}, Dementieva N.V.², Krutikova A.A.³¹ ORCID: 0000-0003-4702-2736, PhD in Biology,² ORCID: 0000-0003-0210-9344, PhD in Biology,³ ORCID: 0000-0003-2561-145X, PhD in Biology,^{1,2,3} All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Agricultural Animals – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution, Federal Scientific Center for Animal Husbandry – AUIAB named after L.K. Ernst, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (mo1969[at]mail.ru)

Abstract

The frequency of occurrence of indel-polymorphic options in the promoter of the prolactin gene in chickens of the bioresource collection of VNIIGRZH is estimated in the paper. Twenty species of different directions of productivity were taken for analysis. In the majority of studied populations, polymorphism was observed in this region of the prolactin gene, in/del heterozygotes, and also both types of homozygotes were encountered. The Chinese silk and dwarf cochins had no polymorphism for this gene, only the del/del homozygotes were encountered. Homozygotes for deletion with a high frequency were also found in bantam, new Hampshires, and Sussexes. But they also had in/del heterozygotes, albeit with a small frequency. A high incidence of in/in homozygotes was noted in Dutch white-hens.

Keywords: chickens, prolactin, indel-polymorphism, bioresource collection, frequencies of genotypes, frequencies of alleles.

Человеческий фактор оказался решающим в процессе создания биоразнообразия пород и популяций домашних кур. Несмотря на высокую долю промышленной птицы в современном птицеводстве сохраняются и продолжают разводиться редкие и малочисленные группы. Они пользуются спросом у любителей-птицеводов, а также служат хорошей базой для изучения закономерностей наследования различных фенотипических и продуктивных признаков.

Благодаря бурному развитию методов молекулярной генетики к настоящему времени структура ДНК домашней курицы полностью расшифрована. В различных базах данных накоплено огромное количество информации об отдельных генах и некодирующих последовательностях, постоянно выявляются все новые полиморфизмы ДНК, идет анализ взаимосвязей генов с признаками.

Современные исследования направлены на поиск различных вариантов полиморфизма, которые могут оказаться связанными с хозяйственно-полезными признаками. У кур это особенно актуально, поскольку для них характерна быстрая смена поколений. Это дает селекционеру шанс получить эффект селекции в течение незначительного времени, если вести отбор по генам-кандидатам важных признаков.

Пролактин, являясь одним из эффекторных гормонов передней доли гипофиза, по своему химическому составу относится к пептидным гормонам. Он входит в семейство пролактиноподобных белков, которое включает в себя также соматотропин, пролиферин, плацентарный лактоген. Эти гормоны отличает не только сходная структура, но и близкие биологические свойства. У птиц пролактин оказывает ярко выраженное влияние на репродуктивные показатели [1, С. 2].

Ген пролактина у кур ассоциирован с хромосомой 2 и состоит из пяти экзонов и четырех интронов [2, С. 473]. Активный поиск полиморфизмов этом гене направлен как на выявление однонуклеотидных замен (single nucleotide polymorphisms, SNP), так и мутации на основе вставки-удаления участка гена (indel - мутация) [3, С. 4].

У кур выявлены взаимосвязи между отдельными SNP в 2-х экзонах и интронах гена пролактина с показателями живой массы и возрастом наступления половой зрелости, а замена в экзоне 5 – с яйценоскостью [4, С. 132]. У гусей найдена связь С/Т - полиморфизм в экзоне 5 пролактинового гена с яйценоскостью и массой яйца [5, С. 66]. Обнаружено влияние на продуктивные показатели кур С/Т локуса, расположенного 5'-нетранслируемой области в этом гене [6, С. 1072].

Мутация по indel-типу в виде вставки длиной 24 пары нуклеотидов, выявленная в промоторной области пролактинового гена в положении 358, положительно ассоциировалась с яйценоскостью птицы, а также влияла на уменьшение инстинкта насиживания [7, С. 394], [8, С. 86]. Выявлено влияние полиморфизмов в пролактиновом гене кур на показатели массы тела [9, С. 843].

Основная цель настоящей работы – проанализировать частоту встречаемости полиморфизма, основанного на инсерции-делеции размером 24 п.н. в промоторной области пролактинового гена кур.

Материалом для работы являлась ДНК, выделенная из крови кур ряда пород биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ различного направления продуктивности (табл. 1).

Таблица 1 – Направление продуктивности пород кур, оцененных по indel-полиморфизму в гене пролактина

Порода кур	n	Направление продуктивности
Узбекская бойцовая	20	Бойцовая
Московская бойцовая	20	Бойцовая
Голландская белохохлая	15	Декоративная
Султанка	20	Декоративная
Бентамка ситцевая	20	Декоративная
Китайская шелковистая	15	Декоративная
Кохинхин карликовый	14	Декоративная
Брама палевая	20	Мясная
Кохинхин черный	20	Мясная
Фавероль	15	Мясная
Австралоп черный	9	Мясо-яичная
Черно-пестрый австралорп	20	Мясо-яичная
Амрокс	20	Мясо-яичная
Андалузская голубая	11	Мясо-яичная
Суссекс светлый	47	Мясо-яичная
Нью-гемпшир	20	Мясо-яичная
Аврора	19	Яичная
Итальянская куропатчатая	20	Яичная
Украинская ушанка	18	Яичная
Курчавая	20	Яично-мясная

Кровь в объеме 100-500 мкл отбирали в пробирку, содержащую антикоагулянт (200 мМ ЭДТА). После перемешивания образцы замораживали при температуре -20°C. ДНК выделяли по стандартной методике фенольным методом с использованием протеиназы К («Сибэнзим», Новосибирск). ДНК растворяли в ТЕ-буфере.

Для выявления мутации использовали праймеры, синтезированные компанией «Евроген» (Москва) 5'GGTGGGTGAAGAGACAAGGA-3' (прямой) и 5'-TGCTGAGTATGGCTGGATGT-3' (обратный). ПЦР проводили в общем объеме 10 мкл, содержащем 1 ед. Taq - полимеразы, по 0,15 мМ каждого dNTP, по 0,3 мкМ каждого праймера и 100-150 нг ДНК.

ПЦР проводили по схеме: 1) первоначальная денатурация (95°C, 5 мин); 2) денатурация - 95°C (15 сек); 3) отжиг праймеров - 60°C (15 сек); 4) синтез цепи - 72°C (15 сек); 5) финальный синтез - 72°C (10 мин). Этапы 2-4 повторяли последовательно 30 раз. Амплификацию проводили на термоциклере Bio-rad (США).

Ампликоны разгоняли в горизонтальном 2% агарозном геле в течение 1-1,5 часов в зависимости от степени расхождения фрагментов. Наблюдалось три полиморфных варианта. Гомозиготы in/in были представлены в виде фрагмента ДНК размером 154 пары нуклеотидов, гомозиготы del/del – фрагментом 130 пар нуклеотидов. У гетерозигот in/del можно было наблюдать оба фрагмента на одной дорожке.

Частоту встречаемости генотипов рассчитывали по формуле:

$$P_A = n_{AA}/N,$$

где P_A - частота встречаемости особей генотипа AA в популяции, n_{AA} - число выявленных особей с генотипом AA, N – общее число особей в эксперименте;

$$P_B = 1 - P_A$$

P_B - частота встречаемости особей генотипа BB в популяции.

Частоты аллеля A в популяции рассчитывали как сумму частоты встречаемости гомозигот AA с половиной частоты встречаемости гетерозигот AB. Частота аллеля B вычисляется путем вычитания значения частоты аллеля A из 1.

В таблице 2 представлены частоты встречаемости генотипов и аллелей по мутации в гене пролактина у кур.

Таблица 2 – Частота встречаемости аллелей и генотипов по indel-мутации в промоторной части гена пролактина у кур ряда пород биоресурсной коллекции

Порода	n	Частоты генотипов			Частоты аллелей	
		in/in	in/del	del/del	in	del
Узбекская бойцовая	20	0,2	0,55	0,25	0,475	0,525
Московская бойцовая	20	0,05	0,45	0,5	0,275	0,725
Голландская белохохлая	15	0,6	0,333	0,067	0,766	0,234
Султанка	20	0,35	0,5	0,15	0,6	0,4
Бентамка ситцевая	20	0	0,1	0,9	0,05	0,95
Китайская шелковистая	15	0	0	1	0	1
Кохинхин карликовый	14	0	0	1	0	1
Брама палевая	20	0,3	0,45	0,25	0,525	0,475
Кохинхин черный	20	0,15	0,6	0,25	0,45	0,55
Фавероль	15	0	0,6	0,4	0,3	0,7
Австралоп черный	9	0,222	0,556	0,222	0,5	0,5
Черно-пестрый австралорп	20	0,15	0,55	0,3	0,425	0,575
Амрокс	20	0,05	0,4	0,55	0,25	0,75
Андалузская голубая	11	0,09	0,272	0,636	0,23	0,77
Суссекс светлый	47	0,021	0,19	0,765	0,117	0,861
Нью-гемпшир	20	0	0,1	0,9	0,05	0,95
Аврора	19	0,263	0,526	0,21	0,526	0,474
Итальянская куропатчатая	20	0,2	0,3	0,5	0,35	0,65
Украинская ушанка	18	0	0,388	0,612	0,194	0,806
Курчава	20	0,05	0,45	0,5	0,275	0,725

Анализ генетической структуры популяций кур из биоресурсной коллекции по indel-мутации в гене пролактина показал, что практически все группы характеризуются значительным уровнем полиморфизма. Исключение составили представители китайских шелковых кур и карликовых кохинхинов. У них полиморфизм по этому гену отсутствовал, встречались лишь гомозиготы del/del.

Высокая частота встречаемости гомозигот del/del по мутации в промоторной области гена пролактина наблюдалась у бентамок, нью-гемпширов, суссексов. Но у них встречались и гетерозиготы in/del, хотя и с небольшой частотой.

Частота встречаемости делеции в гене пролактина у большинства исследованных особей превосходила частоту встречаемости инсерции. Такая тенденция может негативно сказаться на показателях яйценоскости, поскольку именно наличие в позиции 385 промоторной области гена пролактина вставки 24 пары нуклеотидов связывают со снижением инстинкта насиживания у кур [10, С. 182].

На общем фоне выделяются представители голландской белохохлой породы. У них наблюдалась высокая частота встречаемости гомозигот in/in и гетерозигот in/del, что повлияло и на соотношение частот аллелей в пользу аллеля in. Для этой популяции отмечался хороший уровень интенсивности яйценоскости и стабильность яйцекладки.

Таким образом, большинство проанализированных пород кур из биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ характеризуются полиморфизмом по indel-мутации в промоторной части гена пролактина. Тенденция к повышенной частоте встречаемости делеций в этом участке гена может отрицательно сказаться на таком продуктивном показателе как яйценоскость.

Финансирование

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке ФАНО России в рамках ГЗ АААА-А18-118021590138-1 с использованием популяций кур из биоресурсной коллекции ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» (ВНИИГРЖ, Санкт-Петербург – Пушкин).

Funding

The study was carried out with the financial support of the FASO Russia within the framework of the GZ АААА-А18-118021590138-1 with the use of populations of hens from the bioresource collection of the Central Collection of Genetic Collection of Rare and Endangered Chicken Rocks (VNIIGRZH, St. Petersburg-Pushkin).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Kansaku N. Prolactin and growth hormone in birds: protein structure, gene structure and genetic variation / N. Kansaku, G. Hiyama, T. Sasanami and others // J. Poultry Sci. – 2008. – 45. – P. 1–6.
2. Miao Y.-W. Mapping of the prolactin gene to chicken chromosome / Y.-W. Miao, D.W. Burt, I.R. Paton and others // Anim. Genet. - 1999. - V.30. - P. 473.

3. Liang Y. Polymorphisms of 5' flanking region of chicken prolactin gene / Y. Liang, J. Cui, G. Yang and others // Domestic Anim. Endocrinol. – 2006. – 30. – P. 1–16.
4. Rashidih H. Association of prolactin and prolactin receptor gene polymorphisms with economic traits in breeder hens of indigenous chickens of Mazandaran province /H. Rashidih, G. Rahimi-Mianjig, A. Farhadia and others // Iran. J. Biotech. - 2012. - V.10.- P. 129-135.
5. Wang C. Polymorphism of the prolactin gene and its association with egg production traits in native Chinese ducks / C. Wang, Z. Liang, W. Yu and others // Afr. J. Anim. Sci. - 2011. - V.41. - P. 64-69.
6. Chen H.-Q. The novel genetic change in 5'-untranslated region of goose prolactin gene and their distribution pattern in different goose breeds / H.-Q. Chen, H.-Q. Wei, J. Qin and others // Asian J. Anim. Vet. Adv. - 2011. - V. 6. - P. 1069-1075.
7. Kulibaba R.A. Prolactin and growth hormone gene polymorphisms in chicken lines of ukrainian selection / R.A. Kulibaba, A.P. Podstreshnyi // Cytology and Genetics. - 2012. - V.46. - P. 390-395.
8. Jiang R.S. Single nucleotide polymorphisms in the 5'-flanking region of the prolactin gene and the association with reproduction traits in geese / R.S. Jiang, L.L. Zhang, Z.Y. Geng and others // Afr. J. Anim. Sci. - 2009. - V.39. - P. 83-87.
9. Jiang R.S. Association of polymorphisms for prolactin and prolactin receptor genes with broody traits in chickens / R.S. Jiang, G.Y. Xu, X.Q. Zhang and others // Poultry Science. - 2005. - V.84. - P. 839–845.
10. Mitrofanova O. V. Association of polymorphic variants in MSTN, PRL, and DRD2 genes with intensity of young animal growth in Pushkin breed chickens / O.V. Mitrofanova, N.V. Dementeva, A.A. Krutikova and others // Cytology and Genetics. – 2017.- V. 51.- N. 3. - P. 179-184.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.018>**ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ИНВАЗИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ КАРАСЯ ЯКУТСКОГО
(CARASSIUS CARASSIUS JACUTICUS, KIRILLOV)**

Научная статья

Степанов К.М.^{1,*}, Платонов Т.А.², Нюкканов А.Н.³, Кузьмина Н.В.⁴¹ ORCID: 0000-0002-5238-8102,

Якутский научный центр комплексных медицинских проблем, Якутск, Россия;

² ORCID: 0000-0002-2655-4031;³ ORCID: 0000-0002-1202-7484;⁴ ORCID: 0000-0003-1381-4444,^{2,3,4} Якутская сельскохозяйственная академия, Якутск, Россия

* Корреспондирующий автор (Stenko07[at]mail.ru)

Аннотация

В статье даны результаты исследований пищевой ценности и степени зараженности карася якутского озера Центрально-якутской равнины Республики Саха (Якутия). Установлено, что отличительная особенность якутских карасей по сравнению с европейскими – высокая жирность (до 10 % против 2,5 %), высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот, макро- и микроэлементов, витаминов, обладают высокой энергетической ценностью. Наиболее распространенными паразитарными болезнями карася озер Центрально-якутской низменности влияющие на качество и товарный вид рыбы, являются микоспоридиозы вызываемые родом *Myxobolus*, диграммоз и филометроидоз негативное влияние на качество которого зависит от интенсивности инвазии паразита.

Ключевые слова: карась якутский, пищевая и биологическая ценность, инвазия, паразиты рыб, Якутия.

NUTRITION VALUE AND MAIN INVASION DISEASES OF YAKUT CRUCIAN (CARASSIUS CARASSIUS JACUTICUS, KIRILLOV)

Research article

Stepanov K.M.^{1,*}, Platonov T.A.², Nyukkanov A.N.³, Kuzmina N.V.⁴¹ ORCID: 0000-0002-5238-8102,

Yakutsk scientific center of complex medical problems, Yakutsk, Russia;

² ORCID: 0000-0002-2655-4031;³ ORCID: 0000-0002-1202-7484;⁴ ORCID: 0000-0003-1381-4444,^{2,3,4} Yakut Agricultural Academy, Yakutsk, Russia;

* Corresponding author (Stenko07[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of researches of nutrition value, and a degree of infection of a crucian in the Yakut lake of the Central Yakut plain of the Republic of Sakha (Yakutia) are given. It is established that the high fat content (up to 10% vs. 2.5%), the high content of polyunsaturated fatty acids, macro- and microelements, vitamins, have a high energy value in comparison with the European ones. The most common parasitic diseases of the crucian of the Central Yakut lowland affecting the quality and presentation of fish are myxosporidiosis caused by the genus *Myxobolus*, digrammosis and phyllometroidosis, a negative effect on the quality of which depends on the intensity of the parasite infestation.

Keywords: Yakut crucian, food, and biological value, invasion, parasites of fish, Yakutia.

Якутский карась в прошлые времена для якутов Центральной Якутии, Вилюйской группы улусов был основной пищей, которая спасала в трудные времена нехватки продуктов питания якутское население.

Якутский карась является особым подвидом золотого карася и официально назван как якутский карась Кириллова (*Carassius carassius jacuticus* Kirillov) по имени первого ученого, описавшего якутского карася, доктора биологических наук Ф.Н. Кириллова [3, С. 3-8].

Озеро Ниджили, является одним из крупнейших на Центрально-Якутской равнине, площадь зеркала воды озера составляет 118,3 км², площадь водосборного бассейна – 1029 км², длина озера 32,9 км, ширина около 2,3–5,8 км, а глубина местами достигает 7-9 м. Ниджилинский карась, признанный по своим вкусовым качествам лучшим в Якутии, имеет наибольший спрос у населения по сравнению с карасями, выловленными из других озер. Ежегодный вылов, которого достигал до 345 т без учета любительского лова [5, С. 35-36].

Уникальность вкусовых качеств и большой спрос карася озера Ниджили у местного потребителя явилось основанием данных исследований.

Для исследования пищевой и биологической ценности карася отбирались по 5 особей каждого пола IV-V (3-5 лет) возрастных групп, так как эти особи этих групп активно нерестующие, вследствие чего накопление питательных веществ происходит намного быстрее, нежели у старых и молодых особей, и они занимают наибольший процент в промышленном улове.

Таблица 1 – Выход филе и отходов карася якутского

Водоем	Ед. изм.	Масса карася	Филе	Внутренности	Голова	Плавники	Чешуя
оз. «Ниджили» Кобяйского улуса	г %	290,00 100	125,20 43,2	76,00 26,2	62,20 21,4	9,30 3,2	17,00 5,9

Приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют о том, что у крупных карасей выход рыбной продукции без использования внутренностей составляет только до 43,2 %, а у мелких – до 57,5 %. Поэтому необходимо разработать технологии производства рыбных продуктов с включением внутренностей, что позволит увеличить выход съедобной части до 93,2 % и повысить эффективность производства рыбных продуктов из якутского карася [6, С. 83-87].

Отличительная особенность якутских карасей по сравнению с европейскими – высокая жирность (до 10 % против 2,5 %), высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот, макро- и микроэлементов, витаминов (табл. 2). Поэтому они обладают высокой энергетической ценностью.

Таблица 2 – Биохимический состав карася Якутии озеро Ниджили (в сырой массе) [4]

Компоненты	Показатели
Химический состав	
Вода, %	68,6
Белки, %	16,4
Жиры, %	11,0
Углеводы, %	0,90
Зола, %	1,05
Энергетическая ценность, ккал/100 г	159,00
Аминокислоты, мг/кг	
Незаменимые:	54,50
– лейцин	11,60
– лизин	13,90
– метионин	3,00
– триптофан	1,91
Заменимые:	
– тирозин	4,95
– цистин	1,90
Жирные кислоты, %	
Насыщенные	3,45
Мононенасыщенные	4,47
Полиненасыщенные:	3,08
– C _{18:2}	0,62
– C _{18:3}	0,05
– C _{20:4}	0,14
Содержание макроэлементов, мг/100 г	
Кальций	10,90
Калий	248,40
Магний	18,60
Натрий	86,30
Фосфор	198,40
Хлор	102,90
Содержание микроэлементов	
Железо, мг/100 г	6,20
Марганец, мкг/100 г	34,80
Медь, мкг/100 г	170,60
Цинк, мг/100 г	5,60
Фтор, мкг/100 г	116,90
Кобальт, мкг/100 г	8,94
Йод, мкг/100 г	76,80
Селен, мкг/100 г	14,87
Свинец, мг/кг	0,10
Кадмий, мг/кг	0,05
Ртуть, мг/кг	0,03
А, мг/100 г	2,60
В, мкг/кг	2,50
В ₆ , мг/кг	3,80
В ₁₂ , мкг/кг	4,00
Н, мкг/100 г	4,00

Окончание табл. 1 – Биохимический состав карася Якутии озера Ниджили (в сырой массе) [4]

Витамины	
РР, мг/100 г	4,60
В ₃ , мг/кг	3,90
В ₂ , мг/кг	1,50
В ₁ , мг/кг	2,90
В _с , мкг/100 г	4,80
Е, мг/кг	4,00

Для выявления инвазионных болезней карася озер Центрально-якутской равнины влияющих на товарное качество рыб нами методом полного паразитологического вскрытия в 2018 г. исследовано 45 экз. карасей озера Ниджили. Сбор и обработка паразитологического материала проводились стандартными методами [7]. Определяли вид паразита, экстенсивность и интенсивность инвазии.

По данным исследователей у карася озер Центрально-якутской низменности выявлено 37 видов паразитов из которых 19 видов простейших, 6 – моногеней, 2 – цестод, 4 – трематод, по 2 – нематод и скребней и по 1 – пиявке и паразитическому ракообразному [8, С. 68-69], [9, С. 115-118], среди которых нет инвазий, представляющих опасность для человека. Однако не все они в одинаковой мере наносят вред своему хозяину и препятствуют использованию пораженной рыбы в пищевых целях. Основная часть паразитов зарегистрированных у карася данных озер не влияют на товарные качества рыбной продукции [10, С. 7-10], [11, С. 59-63]. По нашим наблюдениям наиболее негативно влияют на качество карася такие инвазионные болезни как: микоспоририоз, диграмоз, и филометроидоз.

Микоспоририоз будучи паразитами самых разнообразных органов и тканей рыб, в ряде случаев вызывают острые заболевания, влияющие на товарные качества рыбной продукции. Микоспоририоз рода *Mухоболus* локализуясь в виде цист размером от 0,5-10 мм на жаберных лепестках, мышцах, брюшной полости и на серозной оболочке кишечника в зависимости от интенсивности инвазии (ИИ) негативно влияют на сроки хранения и товарный вид рыбы. По нашим исследованиям зараженность карасей микоспоририозами составляет 64,5% из них 10,4% с ИИ отрицательно влияющими на качество рыбы.

Одной из широко распространённых инвазионных болезней карася является диграмоз, вызываемый плероцеркоидами ремнецов *Digramma interrupta* из сем. *Ligulidae*. Паразитируют они в брюшной полости и вызывают атрофию внутренних органов, бесплодие, нередко разрыв брюшной стенки и гибель рыбы. Плероцеркоиды – крупные ремневидные гельминты белого или слегка желтоватого цвета, достигающие 25–50 см в длину и 1–1,5 см в ширину.

Болезнь регистрируют повсеместно в озерах, где обитает карась. Инвазированных плероцеркоидами рыб обнаруживали при отлове из водоёмов чаще в возрасте 2–5 лет. Экстенсивность инвазии в зависимости от сезона лова достигает 1-50% при интенсивности инвазии 1–3 гельминтов. Вспышки диграмоза имеют сезонный характер, и отмечается в весенне-летнее период. Негативное влияние гельминта на карася сводится на механическое воздействие на внутренние органы, которая вызывает интоксикацию организма хозяина продуктами метаболизма. У рыб отмечается гидремия мышечных тканей, истощение, что ухудшает пищевую ценность рыбы.

Филометроидоз - нематодозная болезнь карповых рыб возбудитель - нематода *Philometroides sanguinea*. Самки длиной 8-12,5 см ярко-красного цвета, паразитируют в чешуйных кармашках, под кожей хвостовых плавников и мышечной ткани. Самцы белого цвета, длиной 0,2-0,3 см, паразитируют в стенке плавательного пузыря, в почках и гонадах. Проявление инвазии на товарное качество карася зависит от интенсивности заражения, при этом рыба истощены, кожа гиперемирована, чешуя вокруг головы, на спине, боках и брюшке часто отсутствует, из-под чешуи наблюдаются красные узелки. Нами весной и осенью обнаруживались под кожей хвостовых плавников и чешуйных кармашках самки красного цвета в 43,7 % случаев с ИИ 3-27 экз.

Наиболее распространёнными паразитарными болезнями карася озера Центрально-якутской равнины влияющие на качество и товарный вид рыбы, являются микоспоририозы вызываемые родом *Mухоболus*, диграмоз и филометроидоз негативное влияние на качество которого зависит от интенсивности инвазии паразита.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Степанов К.М. От ритуальной еды до эконопитания сегодня / Степанов К.М., Чугунов А.В. // European Social Science Journal. 2013. № 10-1 (37). С. 302-306.
2. Stepanov K.M. Role of products from local raw materials in a food allowance of the population of the north / Stepanov K.M., Lebedeva U.M., Dyachkovskaya M.P. and others // News of Science and Education. 2014. Т. 10. № 10. С. 29.
3. Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии / А.Ф. Кириллов. – М.: Nauchnyiy mir, 2002. – 194 с.
4. Лебедева У.М. Основы рационального питания населения Якутии / У.М. Лебедева, А.Ф. Абрамов. – Якутск, 2015. – 248 с.
5. Слепцов Я.Г. Промысловое рыболовство Якутии: монография / Я.Г. Слепцов. – Новосибирск, 2002. – С. 35-36.
6. Гнедов А.А. Товароведная оценка качества северных видов рыбы-сырца / А.А. Гнедов, В.М. Поздняковский // Рыболовство. – 2010. – №2. – С.83-87.
7. Дифиллоботрииды рыб бассейна реки Лена / Платонов Т.А., Кузьмина Н.В., Собакина И.Г. и др. – Свидетельство о регистрации электронного ресурса №2393, ИНИПИ РАО ОФЭРНЮ, 01.03.2018.
8. Платонов Т.А. Паразитарные заболевания рыб реки Лены и их рыбохозяйственное значение / Т. А. Платонов, Н. В. Кузьмина // Достижение науки и техники АПК. – 2011. – №05. – С. 68-69.

9. Платонов Т.А. Коммунальное загрязнение р. Лена в окрестностях г. Якутска и его роль в распространении дифиллоботриоза / Т. А. Платонов, Н. В. Кузьмина, И. И. Бочкарев и др. // Наука и образование. – 2015. – № 3(79). – С. 115-118.

10. Степанов К.М. Пищевая ценность и основные инвазионные заболевания сибирской ряпушки (*coregonus sardinella valenciennes*) / Степанов К.М. Платонов Т.А., Кузьмина Н.В. // Colloquium-journal. 2018. № 2-1 (13). С. 7-10.

11. Позняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров / В.М. Позняковский. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1999. – С. 259.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Stepanov K.M. Ot ritual'noy yedy do ekopitaniya segodnya [From Ritual Food to Eco-nutrition Today] / Stepanov K.M., Chugunov A.V. // European Social Science Journal. 2013. No. 10-1 (37). P. 302-306. [in Russian]

2. Stepanov K.M. Role of products from the local raw materials in the food allowance of the population of the north / Stepanov K.M., Lebedeva U.M., Dyachkovskaya M.P., Dokhunaeva A.M. // News of Science and Education. 2014. 10. № 10. P. 29.

3. Kirillov A.F. Promyslovyye ryby Yakutii [Fishing Fishes of Yakutia] / A.F. Kirillov. – Moscow: The Scientific World, 2002. – 194 p. [in Russian]

4. Lebedeva, U.M. Osnovy ratsional'nogo pitaniya naseleniya Yakutii [Fundamentals of rational nutrition of the population of Yakutia] / U.M. Lebedeva, A.F. Abramov. - Yakutsk, 2015. - 248 p. [in Russian]

5. Sleptsov, Ya.G. Promyslovoye rybolovstvo Yakutii: monografiya [Commercial fishing in Yakutia: monograph] / Ya.G. Sleptsov. – Novosibirsk, 2002. – P. 35-36. [in Russian]

6. Gnedov A.A. Tovarovednaya otsenka kachestva severnykh vidov ryby-syrtsa [Commodity Evaluation of Quality of Northern Species of RAW fish] / A.A. Gnedov, V.M. Pozdnyakovsky // Rybolovstvo [Fishing]. – 2010. – No.2. – P.83-87. [in Russian]

7. Difillobotriidy ryb basseyna reki Lena [Diphylobothriids of Fish of Lena River Basin] / Platonov T.A., Kuzmina N.V., Sobakina I.G. and others – Cer [tificate of registration of electronic resource No. 2393, INIPI RAO OFERNiO, 01.03.2018. [in Russian]

8. Platonov T.A. Parazitarnyye zabolevaniya ryb reki Leny i ikh rybokhozyaystvennoye znachenie [Parasitic Diseases of the Fish of Lena River and Their Fishery Importance] / T. A. Platonov, N. V. Kuzmina // Dostizhenie nauki i tehniki APK [Achieving science and technology of the agro-industrial complex]. – 2011. – No.05. – P. 68-69. [in Russian]

9. Platonov T.A. Kommunal'noye zagryazneniye r. Lena v okrestnostyakh g. Yakutsk i yego rol' v rasprostraneni difillobotrioza [Communal pollution of the river. Lena in the vicinity of Yakutsk and its role in the spread of difillobotriosis] / T. A. Platonov, N. V. Kuzmina, I. I. Bochkaev and others // Nauka i obrazovanie [Science and Education]. – 2015. – No. 3 (79). – P. 115-118. [in Russian]

10. Stepanov K.M. Pishchevaya tsennost' i osnovnyye invazionnyye zabolevaniya sibirskoy ryapushki (*coregonus sardinella valenciennes*) [Nutritional Value and Basic Invasive Diseases of Siberian Cisco] (*coregonus sardinella valenciennes*) / Stepanov K.M., Platonov T.A., Kuzmina N.V. // Colloquium-journal. 2018. No. 2-1 (13). P. 7-10. [in Russian]

11. Poznyakovskiy, V.M. Gigiyenicheskiye osnovy pitaniya, bezopasnost' i ekspertiza prodovol'stvennykh tovarov [Hygienic Basis of Nutrition, Safety and Examination of Food Products] / V.M. Poznyakovsky. – Novosibirsk univ.: [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.019>**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО ТИПАМ РУД НА РАЗВЕДОЧНЫХ ГОРИЗОНТАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУТЕССАЙ-II**

Научная статья

Малюкова Н. Н.*

Киргизско-российский славянский университет, Бишкек, Кыргызстан

* Корреспондирующий автор (denis6605[at]mail.ru)

Аннотация

Распределение индивидуальных редкоземельных элементов по горизонтам имеет определенную закономерность и зависит от зональности в распределении редкоземельных минералов вниз по разрезу месторождения. Для каждого из промежуточных горизонтов месторождения преимущественно характерны определенные типы промышленных руд и присущие им своеобразные редкоземельные минеральные ассоциации, состав которых закономерно изменяется по разрезу месторождения.

Распределение редкоземельной минерализации контролируется определенными структурными элементами, существовавшими в тот или иной этап формирования месторождения, следовательно отдельные участки штокообразного рудного тела приобретают разное практическое значение для различных типов минерализации [3], [4, С. 115-116].

Ключевые слова: разведочные горизонты месторождения; промышленные типы редкоземельных руд; закономерность в размещении различных типов руд; распределение редкоземельных элементов.

RARE-EARTH MINERALIZATION DISTRIBUTION BY ORE TYPES AT EXPLORATION HORIZONS OF KUTESSAI-II DEPOSIT

Research article

Malyukova N.N.*

Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan

* Corresponding author (denis6605[at]mail.ru)

Abstract

The distribution of particular rare-earth elements along the horizons has a certain regularity and depends on the zone sequence in the distribution of rare-earth minerals down the section of the deposit. For each of the intermediate horizons of the deposit, certain types of industrial ores and their peculiar rare-earth mineral associations are inherently characteristic, the composition of which varies naturally concerning the deposit section.

The distribution of rare-earth mineralization is controlled by certain structural elements that existed at one or another stage of the formation of the deposit, hence individual parts of the rod-shaped ore body acquire different practical significance for different types of mineralization [3], [4, P. 115-116].

Keywords: exploratory horizons of the deposit; industrial types of rare-earth ores; the regularity in the placement of different types of ores; distribution of rare earth elements.

Кыргызская Республика является уникальной редкометальной провинцией. Месторождение Кутессай - II расположено в юго-западных отрогах Заилийского Ала-Тау, в Таса-Кеминском хребте, в пределах Актюз-Боординского рудного района и представляет собой один из интереснейших и уникальных по своей поли-редкометальности объектов в Средней Азии.

Добыча редкоземельных руд на месторождении началась еще в 60-х годах прошлого века. Руда перерабатывалась на Киргизском горно-металлургическом комбинате. Ассортимент продукции металлов, окислов, люминофоров на основе редкоземельных элементов достигал нескольких десятков марок из 14 редкоземельных металлов. Среднее содержание суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) в добываемых рудах составляло 0,26%. Основным видом продукции были оксиды иттрия, церия, лантана, неодима; в меньшем количестве производились оксиды эрбия, диспрозия, тербия, самария, неодима; в виде чистого металла производились: эрбий, диспрозий, тербий, гадолиний, неодим, иттрий. Месторождение Кутессай-II обеспечивало 80% потребности СССР в иттрии [1, С. 6], [2, С. 9]. С 1995 года месторождение законсервировано из-за ограниченного спроса на редкоземельную продукцию. Остаток балансовых запасов руды по состоянию на 01.01.2008 г. по месторождению составляет более 20 млн т, в рудных складах - 2,4 млн. тонн и в «хвостах» обогатительной фабрики, заскладированных в 4-х «хвостохранилищах» - около 6 млн тонн.

На сегодняшний день на месторождении государственным балансом учтены балансовые запасы категорий В+С₁+С₂ в количестве 51,5 тыс. т ΣTR₂O со средним содержанием 0,26% и забалансовые запасы в количестве 11,8 тыс. т ΣTR₂O со средним содержанием 0,07%.

В настоящее время рынок редкоземельной продукции стабилизировался, увеличился спрос на нее у предприятий электронной, электротехнической, приборостроительной и оборонной промышленности как ближнего, так и дальнего зарубежья.

Для стабильной подачи на обогатительную фабрику руды определенных технологических типов и сортов, совершенствования технологии обогащения и максимального извлечения редкоземельных элементов в концентрат - необходимо детальное изучение распределения редкоземельной минерализации на месторождении по типам руд, а так же составление минерального баланса для каждого типа руд на редкие земли. Кроме того, следует учитывать, что

месторождение Кутессай II является комплексным. Помимо редкоземельной, выявлены редкометальная и полиметаллическая минерализация. Установление закономерностей распределения редких металлов на месторождении, возможно, позволит наряду с редкими землями, молибденом, свинцом, висмутом и серебром дополнительно извлекать цирконий, гафний, тантал, ниобий, олово, торий, природно-легированный магнетит и др.

Анализ геологических исследований последних лет показывает, что месторождения Актюзского рудного поля по своему минеральному составу руд представляют собой комплексные редкоземельно-редкометальные объекты. В них установлены промышленные концентрации редких земель, тория, бериллия, циркония, гафния, ниобия, тантала, молибдена, олова. Следовательно, необходимо разработать комплексную технологию извлечения всех компонентов, содержащихся в рудах. В связи с этим большое значение имеет установление на месторождении горизонтальной и вертикальной зональности различных технологических типов руд.

Месторождение Кутессай II расположено в центральной части Актюзского рудного поля и представлено двумя метасоматическими измененными штоками гранофилов, прорывающих толщи протерозойских зеленых амфиболовых сланцев куперлисайской свиты, вблизи их контакта с протерозойскими гнейсами актюзской свиты.

В геологическом строении месторождения принимают участие вышеотмеченные гнейсы и сланцы, прорванные штокообразными телами гранофилов триаса (225-230 млн лет) и жильными породами – ортоклазитами, альбититами, аплитами, андезитовыми и диабазовыми порфиридами (Ким, 1972; Ким, Малюкова, 1992). Кроме того, широким распространением пользуются различные по составу и генезису метасоматические образования, возникшие в результате контактового и постмагматического взаимодействия вышеуказанных пород. Они представлены кварц-серицитовыми, кварц-хлорит-серицитовыми и кварц-хлоритовыми метасоматитами, окварцованными породами типа вторичных кварцитов, амфибол-пироксеновыми и биотит-хлоритовыми роговиками [5], [10].

Рудные тела - представлены, как отмечалось выше, минерализованными штоками первично-гранофирового состава. Первый шток – Центральный является по своим параметрам главным концентратором редкоземельного оруденения. Второй шток - Северный, параметры его незначительные, по своей морфологии он является «слепым», т.е. не выходит на дневную поверхность. Размеры обоих штоков увеличиваются с глубиной. Так, если на верхних горизонтах месторождения размеры Центрального штока равны 90 х 40 метров, то на нижних горизонтах они достигают 300 х 200 метров.

Центральная часть штокообразных тел сложена слабо измененными *гранофирами* (Ким и др., 1970), окаймляющимися зонами метасоматически преобразованных пород: кварц-серицитовыми и кварц-хлоритовыми. Последние через маломощные (2-5 м) контактовые роговики постепенно переходят в неизменные зеленые амфиболовые сланцы, которые часто бывают брекчированными. Вся бока штоков сложены окварцованными породами типа «вторичных кварцитов». Кроме выше отмеченных пород выделяются линзовидные обособления мономинерального кварца (силекситов), а в экзоконтактовых частях иногда отмечаются линзообразные тела «биотитовых роговиков», брекчии зеленых амфиболовых сланцев и кварц-полевошпатовых метасоматитов.

На месторождении выделяются основные промышленные типы редкоземельных руд: кварц-хлоритовый тип; кварц-серицитовый тип; измененные гранофиры; биотитовые роговики и ороговикованные сланцы; брекчированные амфиболовые сланцы; метасоматит по гнейсам; кварц-серицит-мусковитовый тип (грейзены); руды типа «вторичных кварцитов».

При анализе погоризонтных планов месторождения выявилась *вертикальная неоднородность распределения различных промышленных типов редкоземельных руд*. Из основных выделенных на месторождении типов руд - шесть (ороговикованные сланцы и биотитовые роговики, кварц-хлоритовый, кварц-серицитовый, брекчиевый, гранофировый типы и метасоматиты по гнейсам) распространены на всех горизонтах. Однако площади их развития на разных горизонтах имеют разные размеры. Два типа руд – руды типа вторичных кварцитов и кварц-серицит-мусковитовые метасоматиты приурочены только к определенным горизонтам, «биотитовые роговики» и вторичные кварциты развиты только на верхних горизонтах, с глубиной они выклиниваются или резко уменьшается их площадь развития, а биотитовые роговики с глубиной переходят в ороговикованные сланцы. Кварц-серицит-мусковитовый тип руд и метасоматиты по гнейсам, напротив, развиты только на нижних горизонтах.

Наблюдается определенная вертикальная минералогическая зональность рудных штоков. На верхних горизонтах в большей степени развита *фосфатно-карбонатная* редкоземельная минерализация (монацит, бастнезит, паризит и др.), ниже *карбонатно-силикатная* (карбонаты редких земель, циртолит, ферриторит и др.), и на самых нижних горизонтах – преобладает *силикатная минерализация* (циртолит, ферриторит). Определенная закономерность наблюдается и в размещении различных типов руд в горизонтальном сечении штоков: к центральным частям обычно приурочен кварц-серицитовый тип руды, а на периферии развиты кварц-хлоритовые метасоматиты, «биотитовые роговики» и брекчии сланцев [5], [6], [7], [8].

В результате многолетних исследований редкоземельных руд был выработан принцип выделения промышленных типов, основанный главным образом на петрографическом составе рудоносных пород. Правильность такого принципа подтверждена повышением обогащаемости руд и коэффициентом извлечения полезных компонентов при селективной отработке выделенных таким образом промышленных типов руд.

Основная промышленная ценность месторождения - редкоземельные металлы. В качестве попутных полезных компонентов на месторождении присутствуют: молибден, серебро, олово, вольфрам, бериллий, цирконий, свинец, медь, цинк, гафний, тантал, ниобий.

Анализ особенностей распределения рудной минерализации на *верхних горизонтах месторождения* показал, что редкоземельное оруденение развито неравномерно по всему объему штокообразного тела, и локализуется в определенных метасоматических зонах. Рудная минерализация концентрируется в различных по составу метасоматических породах. Распределение минерализации контролируется определенными структурными элементами, существовавшими в тот или иной этап формирования месторождения. Поэтому отдельные участки штокообразного рудного тела приобретают разное практическое значение для различных типов минерализации.

Для *верхних горизонтов* месторождения - основными минералами-концентраторами редких земель являются иттропаризит, итробастнезит, иттрофлюорит, флюоцерит, ксенотим, монацит, циртолит, малакон и ферриторит, реже встречаются амбатоаринит, и анкилит.

Минералами-носителями являются хлорит, серицит, кварц, амфибол. Первые сосредотачивают в своем составе 70-80 % общего количества редкоземельных элементов. Остальная часть редких земель рассеивается в минералах-носителях. Наибольшие содержания редких земель отмечаются в монаците, карбонатах TR, и ксенотиме, наименьшие – в циртолите, ферриторите, флюорите.

В размещении промышленных типов минерализации на *верхних горизонтах* наблюдается определенная закономерность: редкоземельная минерализация встречается, главным образом, в периферических частях трубчатых тел и приурочена к ослабленным кольцевым и полукольцевым структурам. В зеленых амфиболовых сланцах по мере приближения к рудным телам широко развиваются процессы серицитизации, хлоритизации, биотитизации, окварцевания, флюоритизации, карбонатизации и эпидотизации.

Вблизи контактов с рудными телами в сланцах встречаются зерна итробастнезита, циртолита, ферриторита, касситерита, малакона и магнетита. По мере удаления от рудных тел эти минералы полностью исчезают. Поэтому слабоизмененные брекчированные зеленые амфиболовые сланцы редко содержат промышленные количества редкоземельных элементов (более 0,14% $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$). По этой причине они, в основном, относятся к забалансовым рудам. Однако, в тех случаях, когда цементирующего материала (чаще всего гранофирового) в брекчированных сланцах достаточно много, или они сильно изменены, содержание редких земель в таких породах может повышаться в среднем до 0,26% (среднестатистические данные по 127 пробам). Из рудных минералов в данном типе руд присутствует карбонаты и фторкарбонаты редких земель, флюорит, циртолит, ферриторит, монацит, ксенотим. Ведущую роль среди рудных минералов играет итробастнезит, где сконцентрировано около 60% $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ и 41% Y_2O_3 .

Особенности распределения рудной минерализации на *нижних горизонтах* месторождения показал, что редкоземельное оруденение, также как и на верхних горизонтах, развито неравномерно по всему объему штокообразного тела, и локализуется в определенных метасоматических зонах. Основными типами руд нижних горизонтов являются: кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые метасоматиты; измененные гранофиры; биотитовые роговики; брекчированные измененные амфиболовые сланцы; метасоматиты по гнейсам.

Основными минералами-концентраторами полезных компонентов, кроме собственно редкоземельных карбонатов и монацита, являются циртолит, ферриторит, флюорит. На долю этих минералов приходится от 61 до 83% $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ и от 54 до 85% Y_2O_3 от общего их содержания в рудах.

На нижних горизонтах месторождения *кварц-хлоритовые метасоматиты* имеют довольно широкое распространение. Эти метасоматические породы характеризуются неравномерным содержанием как породообразующих, так и рудных минералов. Следует отметить, что в периферической, эндоконтактной части рудного штока наибольшее развитие имеет хлорит и пространственно связанные с ним рудные минералы, а по направлению к центру – серицит, циртолит и силикаты редких земель. Из редкоземельных минералов в наибольшем количестве присутствует иттропаризит, итробастнезит, иттрофлюорит. Очень часто встречается циртолит и малакон, реже ферриторит и монацит. Железосодержащими минералами здесь являются пирит, гематит и магнетит. В значительно меньшем количестве встречаются гетит и сидерит.

Отличительной чертой кварц-хлоритовых метасоматитов является то, что в них широко распространен хлорит, который выполняет как межзерновое пространство серицита, кварца, биотита, так и развивается по ним, иногда полностью их замещая. Хлорит является основным концентратом редкоземельных циркониевых и железосодержащих минералов. По данным спектрального анализа в рассматриваемом типе руд из цериевой группы элементов в повышенных количествах присутствует лантан (La), празеодим (Pr), самарий (Sm) и гадолиний (Gd); из иттриевой группы – диспрозий (Dy), иттербий (Yb) и иттрий (Y). Содержание иттрия очень высокое. Иногда оно составляет 50% от суммы всех редкоземельных элементов, а в среднем составляет около 30%.

В целом на всех *нижних горизонтах* месторождения цериевая группа редких земель преобладает над иттриевой. Как уже отмечалось, *промышленные типы редкоземельных руд* месторождения на разведочных горизонтах пространственно распространены неравномерно. Пространственная неравномерность наблюдается также в распределении рудных минералов по горизонтам даже в случае однотипных руд, развитых на разных горизонтах. При этом, несмотря на весьма неравномерное распределение промышленных типов руд по горизонтам, наблюдается определенная закономерность. Для каждого из промежуточных горизонтов преимущественно характерны определенные типы промышленных руд и присущие им своеобразные редкоземельные минеральные ассоциации, состав которых закономерно изменяется по разрезу месторождения.

Промышленные типы редкоземельных руд несколько отличаются друг от друга по количеству $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$, приходящемуся на различные минералы, т.е. по преобладающей форме минерального редкоземельного оруденения.

Для руд типа «*биотитовые роговики*» основным концентратом редких земель являются карбонаты редких земель (амбатоаринит, анкилит) и особенно монацит. Руды этого типа можно назвать карбонатно-фосфатными. В ороговикопованных сланцах, которые на нижних горизонтах замещают биотитовые роговики, наиболее распространенными минералами-концентраторами являются: циртолит и карбонаты редких земель.

Брекчиевый тип руд по основным минералам-концентраторам близок к предыдущему (карбонаты редких земель, монацит, циртолит), но с глубиной в нем уменьшается доля фосфатов и карбонатов, а доля циртолита увеличивается. Руды данного типа в основном имеют карбонатно-силикатную форму.

Для *кварц-хлоритового типа руд* характерна фтор-карбонатная (иттропаризит, итробастнезит) и частично силикатная (малакон) минеральная форма оруденения. В целом руды данного типа - силикатно-фтор-карбонатные.

В *гранофировом типе* руды несут в себе карбонатно-силикатную редкоземельную минерализацию. Силикатная форма минерализации представлена в основном циртолитом, и ферриторитом. Карбонаты и фторкарбонаты TR присутствуют в этих рудах в незначительном количестве. С глубиной количество фторкарбонатов и карбонатов TR

уменьшается, и руды становятся более силикатными. Все это характерно так же для кварц-серицитового и кварц-серицит-мусковитового типов руд, а так же для метасоматитов по гнейсам. Количество карбонатов и фторкарбонатов TR в них уменьшается, а количество силикатных минералов TR возрастает вниз по разрезу.

Для руд типа «вторичных кварцитов» характерна смешанная фосфатно-карбонатно-силикатная минеральная форма оруденения.

Таким образом, минеральная форма редкоземельного оруденения изменяется в вертикальном направлении: для верхних горизонтов характерно преобладание карбонатно-фосфатных редкоземельных руд, для средних – карбонатно-силикатных, а для нижних – силикатных руд.[5], [6], [7, С. 59-64], [9].

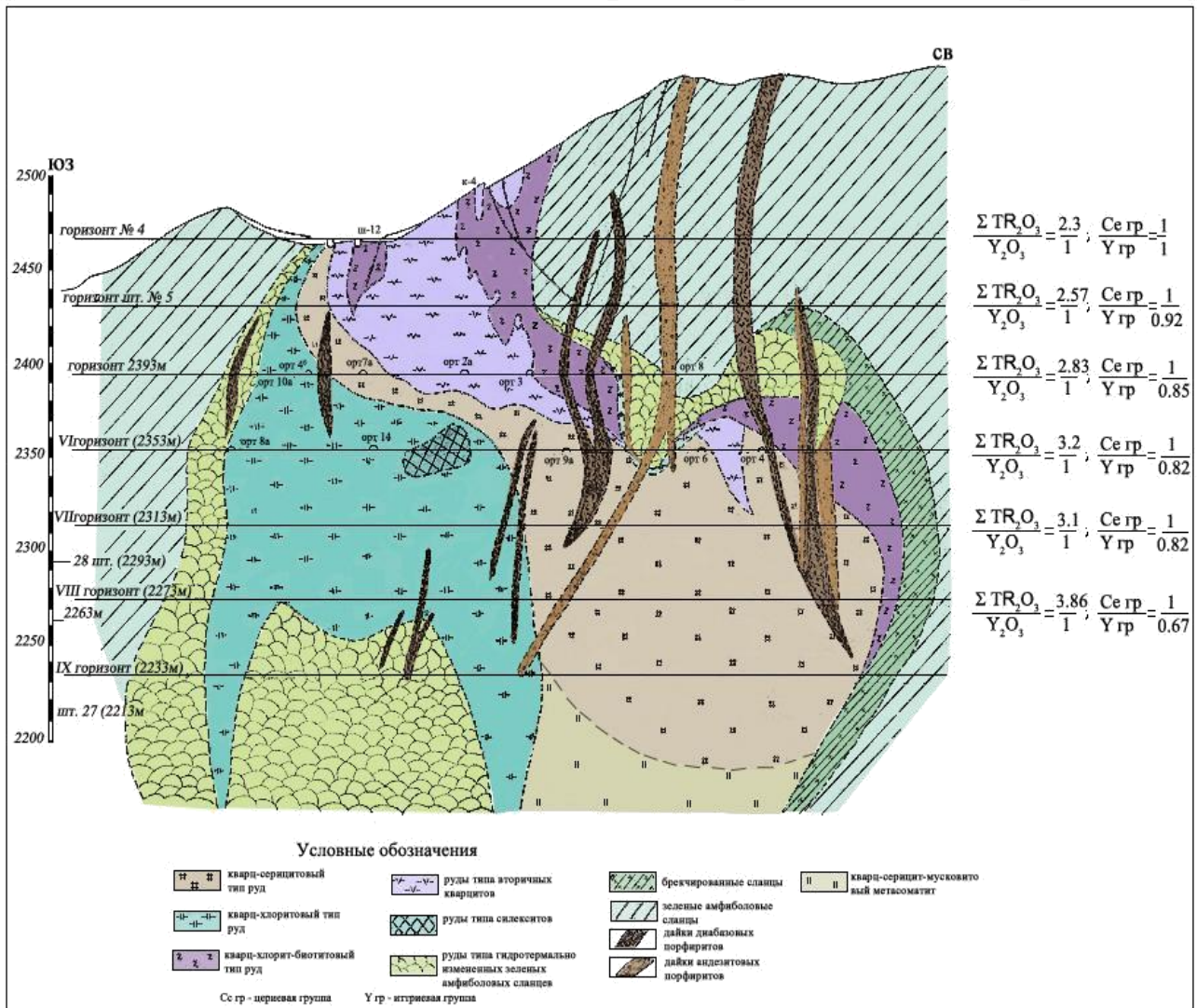


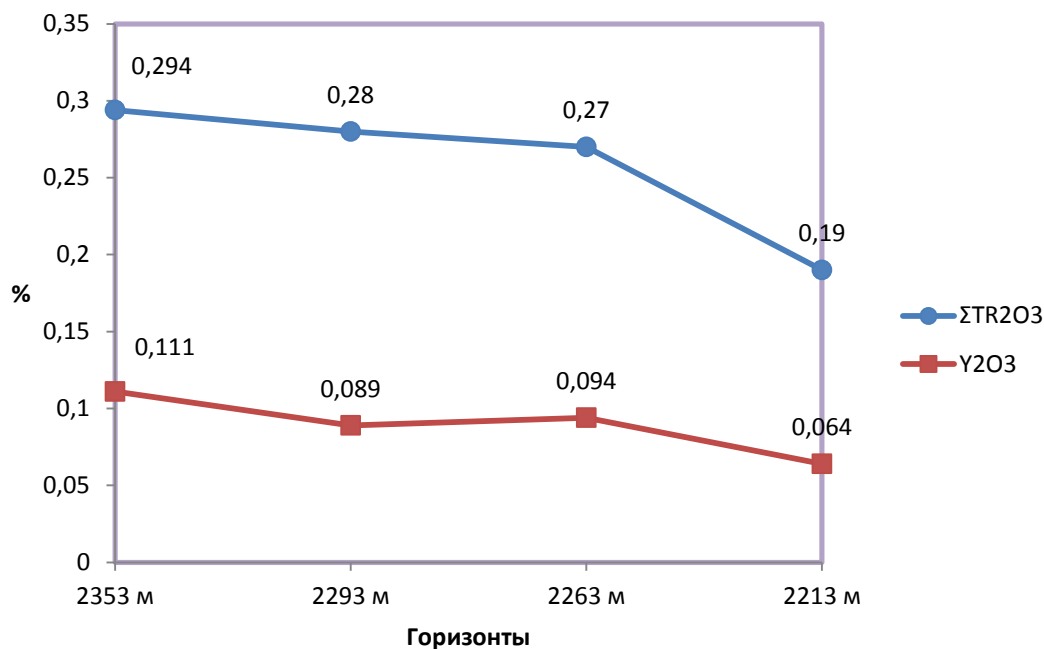
Рис. 1 – Продольный геологический разрез через месторождение Кутессай II

Примечание: Составили Малюкова Н.Н, Ким В.Ф., 2005 г.

С глубиной, по Ким, Малюковой (2005), большинство известных типов руд имеет тенденцию к выклиниванию и ниже горизонта 2200 м. основным типом руд становится кварц-серицит-мусковитовый тип и гидротермально измененные брекчированные сланцы (рис. 2). Однако из-за отсутствия достаточного количества данных для глубоких горизонтов месторождения, этот вопрос остается дискуссионным и требует доизучения [5, С. 1323].

Соответственно изменениям характера пространственного распространения различных промышленных типов руд на месторождении распределяются и слагающие их полезные компоненты. Это объясняется тем, что на верхних горизонтах развиты собственно «биотитовые роговики», а на нижних - метасоматически слабоизмененные «ороговикованные сланцы». В метасоматитах по гнейсам стабильные содержания сохраняются на верхних горизонтах и только на нижнем горизонте сокращаются наполовину. В кварц-серицит-мусковитовом типе содержания почти стабильны (0,17-0,15%). Средние содержания на интервале разреза наиболее значительны в кварц-хлоритовом типе (0,40%). Примерно одинаковы они для брекчированных сланцев и гранофирового типа руд (0,29-0,31%). Для биотитовых роговикиков и метасоматитов по гнейсам они составляют 0,21-0,21%, для кварц-серицитового и кварц-серицит-мусковитового - 0,185-0,16%.

Средние значения содержания ΣTR_2O_3 по разведочным горизонтам обнаруживают некоторую стабильность. На верхних горизонтах они составляют 0,29-0,27%, соответственно, и только на нижнем горизонте снижаются на 0,1% вследствие резкого падения здесь содержаний в ороговикованных сланцах до 0,06%, в кварц-серицитовом типе до 0,13% (рис. 2).

Рис. 2 – Средние содержания Σ TR2O3 и Y2O3 в рудах по разрезу

Эти данные отражают общую тенденцию к уменьшению содержания редких земель в рудах сверху вниз по разрезу месторождения.

Распределение индивидуальных редкоземельных элементов по горизонтам также имеет определенную закономерность, и, по-видимому, зависит от минеральной зональности в распределении редкоземельных минералов вниз по разрезу. Наибольшим распространением на всех горизонтах месторождения пользуются следующие редкие земли: иттрий, лантан, церий, неодим, празеодим, диспрозий, самарий и гадолиний.

Если рассматривать распределение цериевой и иттриевой групп РЭЗ по разрезу, то здесь отмечаются следующие закономерности: относительные средние содержания суммы редких земель цериевой группы по горизонтам сверху вниз в разрезе месторождения изменяются в сторону увеличения, при понижении в этом же направлении общего содержания редких земель. То есть увеличивается только лишь относительная доля цериевой группы.

Средние содержания (относительные) иттриевой группы по всем горизонтам меньше, чем содержания цериевой группы и снижаются вниз по разрезу. Коэффициент, характеризующий соотношение цериевой и иттриевой групп, таким образом, увеличивается сверху вниз (рис. 3)

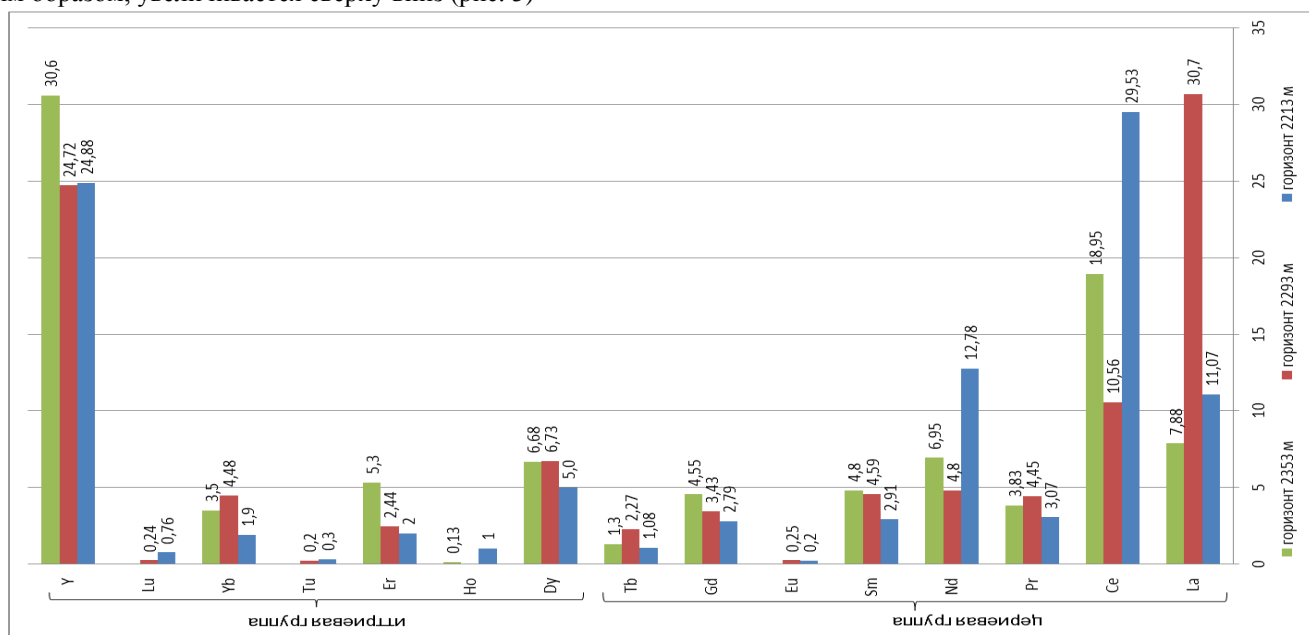


Рис. 3 – Содержание индивидуальных редкоземельных элементов по горизонтам месторождения Кутессай II (в % относительных)

Распределение индивидуальных редкоземельных элементов в целом по месторождению Кутессай II (в относительных %) приведено на рисунке 5. При этом на долю элементов цериевой группы приходится 57,66%, а на долю иттриевой группы – 40,73%, а соотношение $\Sigma\text{Ce}_{\text{гр}}/\Sigma\text{Y}_{\text{гр}}$ равно 1,42. Изменение соотношений двух групп

редкоземельных элементов на различных горизонтах месторождения соответствует распределению по этим горизонтам различных типов руд.

На верхних горизонтах месторождения наиболее широко распространены руды, которым присущи в основном иттриевые земли. С глубиной возрастает удельный вес гранофиновых и кварц-серицитовых руд, несущих, в основном, цериевые земли. В результате этого соотношение $\Sigma Ce_{гp} / \Sigma Y_{гp}$ с глубиной изменяется в сторону увеличения доли цериевой группы редкоземельных элементов от 1,04 до 1,75.

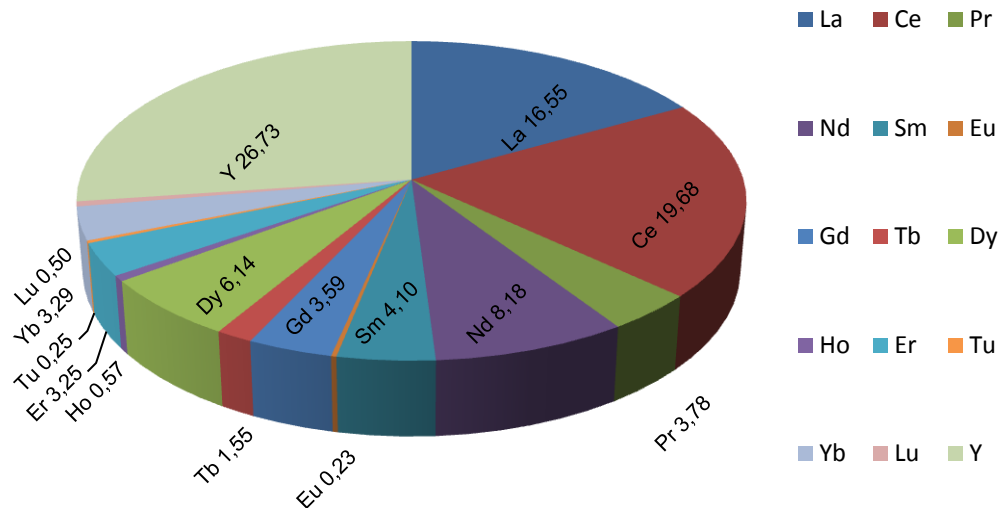


Рис. 4 – Распределение индивидуальных редкоземельных элементов в целом по месторождению Кутессай II (в относительных %)

Такое изменение соотношения цериевых и иттриевых редких земель и иттриевых редких земель по определенным типам руд на разных горизонтах месторождения объясняется их геохимическими особенностями в постмагматических процессах. Подвижные соединения цериевых земель устойчивы в высокотемпературных стадиях минералообразования (гранофиры, грейзены), а иттриевые - в низкотемпературных (кварц-хлоритовые образования).

Кутессай II, как и другие месторождения Актюзского рудного поля, по минеральному составу руд представляет собой комплексный редкоземельно-редкометалльный объект. Здесь установлены промышленные концентрации редкоземельных металлов, бериллия, циркония, гафния, ниобия, тантала, молибдена, олова и др. Поэтому при освоении месторождения необходимо разработать и совершенствовать комплексную технологию извлечения компонентов, содержащихся в рудах. В связи с этим большое значение имеет исследование горизонтальной и вертикальной зональности различных технологических типов руд и слагающих их минералов [6, С. 28].

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Редкоземельная минерализация месторождения Кутессай II сформирована в результате интенсивных метасоматических процессов, связанных с внедрением штоков гранофинов. Рудные тела на месторождении являются метасоматическими преобразованными породами, и минеральные типы руд выделяются в зависимости от характера метасоматических преобразований.

2. Характерной особенностью месторождения является концентрация основных и попутных компонентов в различных типах руд, требующих применения разной технологии их переработки. На месторождении выделяются следующие типы руд: кварц-хлоритовый, кварц-серицитовый, измененных гранофинов, кварц-мусковитовый, биотитовых роговиков, брекчированных сланцев, метасоматитов по гнейсам и окварцованных пород типа вторичных кварцитов. Первые три типа руд составляют 80% всех запасов месторождения и имеют высокие показатели обогащения.

3. В распределении различных промышленных типов редкоземельных руд на месторождении наблюдается следующая вертикальная и горизонтальная неоднородности:

- на верхних горизонтах развиты руды типа вторичных кварцитов и биотитовых роговиков, кварц-хлоритовые, кварц-серицитовые руды, руды из брекчированных и измененных амфиболовых сланцев, руды типа измененных гранофинов. С глубиной площадь их развития резко уменьшается или они выклиниваются, а биотитовые роговики преобразуются в ороговикованные сланцы.

- на нижних горизонтах выделяются кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые и кварц-серицит-мусковитовые метасоматиты; измененные гранофиры; биотитовые роговики; брекчированные измененные амфиболовые сланцы; метасоматиты по гнейсам. Руды типа вторичных кварцитов отсутствуют, появляются кварц-серицит-мусковитовые метасоматиты и метасоматиты по гнейсам. При этом вниз по разрезу площадь развития кварц-хлоритовых руд и руд

типа биотитовых роговиков уменьшается, но увеличивается площадь развития кварц-серицитовых руд. Ниже по разрезу все большее распространение получают кварц-серицит-мусковитовые метасоматиты.

- имеется определенная закономерность и в размещении различных типов руд в горизонтальном сечении рудных залежей. Так, к центральным частям штоков обычно приурочен кварц-серицитовый тип руд, а на периферии их развиты кварц-хлоритовые метасоматиты, «биотитовые роговики» и брекчии сланцев. Наиболее высокие содержания редкоземельной минерализации наблюдаются в краевых зонах, расположенных непосредственно на контакте штокообразных тел гранофиоров с зелеными амфиболовыми сланцами. При этом в Северном теле участки с максимальной концентрацией редкоземельных минералов сосредоточены в центральной и северо-восточной его частях.

4. По технологическим свойствам типы руд могут быть разделены на две основные группы: руды, содержащие в своем составе амфиболы, к которым относятся гидротермально-измененные брекчированные амфиболовые сланцы и ороговикопованные сланцы; руды, не содержащие в своем составе амфиболы (все остальные типы руд). Обе группы руд по минералогическому и химическому составу резко отличаются друг от друга. Очевидно, их следует обрабатывать раздельно и обогащать, не смешивая друг с другом.

5. Во всех типах руд основными минералами-концентраторами редких земель являются ториево-циркониево-редкоземельные минералы: монацит, флюоцерит, ксенотим, иттропаризит, иттробастнезит, циртолит (малакон), ферриторит и иттрофлюорит (флюорит), которые присутствуют в различных количественных соотношениях. При этом, даже при небольшом содержании в руде, собственно редкоземельные минералы имеют существенное значение в балансе редких земель, а ториево-циркониевые минералы (циртолит, ферриторит) и флюорит имеют второстепенное значение, несмотря на относительно большое количество их в руде.

6. Наблюдается определенная вертикальная минералогическая зональность рудных штоков. На верхних горизонтах месторождения в большей степени развита фосфатно-карбонатная редкоземельная минерализация (монацит, бастнезит, паризит и др.), ниже карбонатно-силикатная (карбонаты редких земель, циртолит, ферриторит и др.), и на самых нижних горизонтах увеличивается доля силикатной минерализации (циртолит, ферриторит).

7. Отмеченные на месторождении Кутессай II вертикальная и горизонтальная неоднородности состава руд и минералов-носителей редкоземельной минерализации, в целом, определяют поведение составляющих их элементов:

- при постепенном снижении содержаний суммы оксидов редких земель, отмечается резкое падение среднего содержания их на нижнем горизонте, обусловленное, очевидно, низкими содержаниями в ороговикопованных сланцах, кварц-серицитовом типах руд и уменьшением удельного веса основных типов руд на этом горизонте.

- уменьшение содержания оксида иттрия с глубиной проявляется аналогично изменению содержаний $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ в этом же направлении.

- в поведении большинства индивидуальных редкоземельных элементов по горизонтам много неясного и требует дальнейшего изучения.

8. Характерной особенностью месторождения Кутессай II является примерно равновеликое присутствие в рудах редких земель иттриевой и цериевой групп. Содержание иттриевой группы от общей суммы редких земель, согласно расчетам автора, в среднем для месторождения составляет 40,73%, цериевой - 57,66%.

9. На нижних горизонтах цериевые земли преобладают над иттриевыми, хотя на верхних горизонтах месторождения в кварц-хлоритовых метасоматитах и рудах типа вторичных кварцитов наблюдается обратная картина. С глубиной удельный вес гранофиоровых и кварц-серицитовых типов руд, несущих, в основном, цериевые земли, увеличивается и соотношение $\Sigma \text{CeGr} / \Sigma \text{YGr}$ изменяется в сторону увеличения доли цериевой группы (от 1,04 до 1,75), при незначительном снижении общего содержания $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$.

С учетом вышеизложенного и в связи с повышенным спросом на редкоземельную продукцию, необходимо продолжить детальные исследования распределения редкоземельных элементов на нижних горизонтах с использованием современных методик и новейшей аппаратуры.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Зуев В.Н. Иттропаризит из месторождений Ср. Азии / В. Н. Зуев, А. В. Костерин // Тр. ИМГРЭ АН СССР. - Вып.12. - 1961.
2. Зуев В.Н. Иттрофлюорит из месторождений Ср. Азии / В. Н. Зуев, А. В. Костерин // Тр. ИМГРЭ АН СССР. - Вып. 4. - 1960.
3. Djenchuraeva R.D. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining District, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan / R. D. Djenchuraeva, F. I. Borisov, N. T. Pak and others // URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ob (дата обращения: 13.02.18).
4. Kim V. The Ak-Tyuz rare-metal ore field. In: Geodynamics and Gold Deposits in the Kyrgyz Tien Shan / V. Kim, N. Malyukova, L. Raimbault // In: IGCP 373 International Field Conference, Bishkek and Kyrgyz Tien Shan, Kyrgyz Republic, 2001, IAGOD Guidebook Series. - V. 9. - Natural History Museum London. - pp. 115-124.
5. Malukova N. Zoning in the disposal of polymetallic- rare-earth molybdenum, zirconium, beryllium and tantalum-niobium mineralization in the Ak-Tyuz ore deposits (the Northern Tien Shan) / N. Malyukova, V. Kim // Mineral deposit research: Meeting the Global Challenge. - Vol. 2. - 2005. - China, 2005. pp. 1323-1326.
6. Malyukova N. Distribution of mineral ore types and grades of rare earth elements in the Kutessai II deposit / N. Malyukova. Bishkek, 2011. P. 28.
7. Malyukova N. Hypogene Zoning of Polymetallic Rare-Earth And Rare-Metal Deposits in The Ak-Tyuz Ore Field (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan) / N. Malyukova // Second International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Asia and Silk

Road Higher Education Cooperation Forum. Extended Abstract Volume. Edited by Changqian Ma, Paul T. Robinson, Roger Mason and Yunlong He. China University of Geosciences. - 16th - 21th October, 2015. - Wuhan, China. - P. 59-64.

8. Malyukova N. Hypogene Zoning of Polymetallic Rare-Earth And Rare-Metal Deposits in The Ak-Tyuz Ore Field (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan) / N. Malyukova // Second International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Asia and Silk Road Higher Education Cooperation Forum. Extended Abstract Volume. Edited by Changqian Ma, Paul T. Robinson, Roger Mason and Yunlong He. China University of Geosciences. - 16th - 21th October, 2015. - Wuhan, China. - P. 59-64.

9. URL: <http://arch.kyrlibnet.kg> (дата обращения: 13.02.18).

10. URL: <http://arch.kyrlibnet.kg> (дата обращения: 15.02.18).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zuev V.N. Ittroparizit iz mestorozhdeniy Sr. Azii [Yttrocrasite from the fields] Asia / V.N. Zuev, A.V. Kosterin // Tr. IMGRE AN USSR. – Is.12. – 1961. [in Russian]

2. Zuev V.N. Ittroflyuorit iz mestorozhdeniy Sr. Azii [Yttrofluorite from the fields]. Asia / V.N. Zuev, A.V. Kosterin // Tr. IMGRE AN USSR. – Is. 4. – 1960. [in Russian]

3. Djenchuraeva R.D. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining District, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan / R. D. Djenchuraeva, F. I. Borisov, N. T. Pak and others // URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob (accessed: 13.02.18).

4. Kim V. The Ak-Tyuz rare-metal ore field. In: Geodynamics and Gold Deposits in the Kyrgyz Tien Shan / V. Kim, N. Malyukova, L. Raimbault // In: IGCP 373 International Field Conference, Bishkek and Kyrgyz Tien Shan, Kyrgyz Republic, 2001, IAGOD Guidebook Series. - V. 9. - Natural History Museum London. - P. 115-124.

5. Malyukova N. Zoning in the disposal of polymetallic- rare-earth molybdenum, zirconium, beryllium and tantalum-niobium mineralization in the Ak-Tyuz ore deposits (the Northern Tien Shan) / N. Malyukova, V. Kim // Mineral deposit research: Meeting the Global Challenge. - Vol. 2. – 2005. - China, 2005. P. 1323-1326.

6. Malyukova N. Distribution of mineral ore types and grades of rare earth elements in the Kutessai II deposit / N. Malyukova. Bishkek, 2011. 28 p.

7. Malyukova N. Hypogene Zoning of Polymetallic Rare-Earth And Rare-Metal Deposits in The Ak-Tyuz Ore Field (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan) / N. Malyukova // Second International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Asia and Silk Road Higher Education Cooperation Forum. Extended Abstract Volume. Edited by Changqian Ma, Paul T. Robinson, Roger Mason and Yunlong He. China University of Geosciences. - 16th - 21th October, 2015. - Wuhan, China. - P. 59-64.

8. Malyukova N. Hypogene Zoning of Polymetallic Rare-Earth And Rare-Metal Deposits in The Ak-Tyuz Ore Field (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan) / N. Malyukova // Second International Workshop on Tethyan Orogenesis and Metallogeny in Asia and Silk Road Higher Education Cooperation Forum. Extended Abstract Volume. Edited by Changqian Ma, Paul T. Robinson, Roger Mason and Yunlong He. China University of Geosciences. - 16th - 21th October, 2015. - Wuhan, China. - P. 59-64.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ГАНЕ

Научная статья

Баах Д.^{1,*}, Харламова М.²¹ ORCID: 0000-0003-1253-4651;² ORCID: 0000-0002-1032 4186;^{1,2} Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (dbaah[at]mail.ru)

Аннотация

Эта статья основана на гипотезе о том, что экологически безопасный подход к переработке и утилизации твердых бытовых отходов в Гане вполне возможен. Развивающиеся страны должны вдохновляться такими примерами, как Австрия, Германия, Швеция и Япония, где уже есть успешные стратегии для экологически безопасной утилизации твердых бытовых отходов. Несмотря на ряд проблем, есть свидетельства недавних улучшений, которые говорят в пользу того, что экологически безопасная утилизация твердых бытовых отходов возможна для таких развивающихся стран, как Гана. Это означает, что эффективность любой предлагаемой системы утилизации ТБО должна оцениваться в свете энергетических, экономических и экологических (3Е) аспектов, таких как себестоимость системы, годовой объем выработанной энергии с отходов, и уровень выбросов углекислого газа (CO₂).

Ключевые слова: экологически безопасное использование, муниципальные твердые отходы, переработка, энергетика, Гана.

SUSTAINABLE UTILIZATION AND PROCESSING OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN GHANA

Research article

Baah D.^{1,*}, Kharlamova M.²¹ ORCID: 0000-0003-1253-4651;² ORCID: 0000-0002-1032 4186;

People's Friendship University of Russia, Moscow, Russia

* Corresponding author (dbaah[at]mail.ru)

Abstract

This article is based on the hypothesis that a sustainable approach to the processing and utilization of municipal solid waste in Ghana is very much possible. Developing countries must take inspiration from countries such as Austria, Germany, Sweden, and Japan who have successful strategies in place for sustainable solid waste management. Despite several challenges, there is evidence of recent improvements which suggests that sustainable solid waste and resources management is feasible for developing countries like Ghana. This means that performance of any proposed MSW utilization system must be evaluated in light of energy, economic, and environmental (3Es) aspects, such as system net cost, annual energy generated from the waste, and the carbon dioxide (CO₂) emissions of the system.

Keywords: sustainable utilization, municipal solid waste, processing, Energy, Ghana.

Introduction

Municipal solid wastes (MSWs) generation has a direct relationship with population growth process, the urbanization rate, change of lifestyle, and an increase in household income [3, P. 92-100], [4, P. 2 - 4]. It is therefore unsurprising that developing countries including Ghana are struggling with the proper management of such wastes because finding a cost effective and environmentally friendly scheme to deal with the situation has proven to be very difficult. Most of the waste generated in the country ends up in landfills but landfill sites located in all the 10 regions of Ghana is considered a controlled dump rather than a properly engineered landfill.

The country of Ghana is situated at the coast of western Africa, along the Gulf of Guinea, just a few degrees north of the equator. Agriculture accounts for nearly one-quarter of GDP and employs more than half of the workforce, mainly small landholders [2, P. 1-12]. Over the last three decades, Ghana's urban population has more than tripled, rising from 4 million to nearly 14 million people, and outpacing rural population growth [2, P. 4].

Satisfying energy demand through the use of renewable energy sources is the main agenda nowadays because of the fossil fuel depletion and environmental issues. To face the future problems in waste management, as well as securing the demand of renewable energy, it is necessary to reuse the resources of solid waste in energy production. Today, there are many technologies available which makes it possible to utilize the energy potential in solid waste.

The aim of this article is to study the potential of municipal solid waste as source of renewable energy. The analysis of generation capacity and composition of municipal solid waste will be main focus to establish the amount of energy that can be recovered from Municipal solid waste and how it could be converted to usable energy forms. The article highlights the following questions:

1. What constitutes good practice in solid waste management in developing countries including Ghana?
2. How far have developing countries generally progressed with 'modernizing' their solid waste management systems?
3. What are the appropriate next steps in developing its solid waste system?
4. What makes a solid waste system sustainable?

Material and methods

This article is basically a mix of survey, literature and reports review, as well as information from stakeholders in the waste management sector. Observation is also used and the results are interpreted using graphs and tables as well as forecasting method to project the data from 2010 which was basically chosen as the base year. A strategy will be proposed considering the countries limited budget including scheme for adoption.

Results and Discussion

Increasing population alongside rapid urbanization has come with increasing challenges to waste management and the situation is fast becoming critical considering the low budget of authorities dealing with the management of waste.

The figure below summarizes the relationship between population growth and waste generation (2010 is used as the base year).

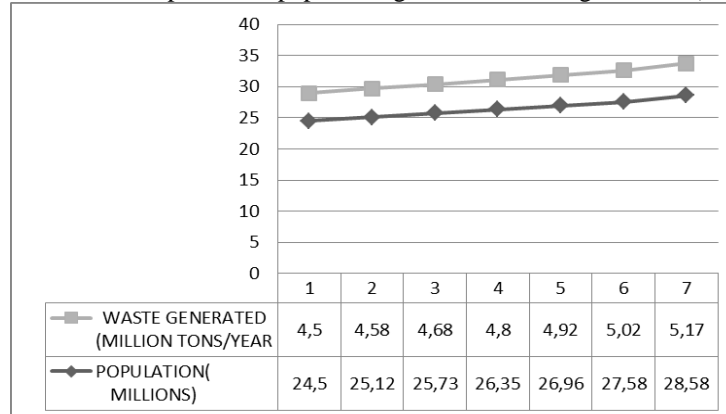


Fig. 1 – Relationship between population growth and waste generation

Note: Source World Bank.

Energy in Ghana and the potential of Bioenergy from MSW

Access to electricity, coupled with aggressive industrialization, is a key component in achieving economic and sustainable development [5, P. 3, 8]. Energy is a major requirement for economic growth and development. There is a direct link between energy use, economic growth and standard of living. [9, P. 5] In 2011 Ghana enacted a renewable energy law with the goal of increasing the country's renewable energy capacity to 10 per cent by 2020. Ghana has good potentials for developing their renewable energy sector [6, P. 94-102]. The energy content of waste provides good opportunities for energy generation, as a cheap, available source, which can contribute to increasing energy access and energy consumption and reduce energy poverty in Ghana. Biogas can be utilized to power combustion engines for motive power or electricity generation, space heating, water heating and process heating. If compressed, it can replace compressed natural gas for use in vehicles, where it can fuel an internal combustion engine or fuel cells. The gas is a clean and efficient fuel which burns without smoke or smell and it's used for direct combustion in cooking or lighting application. There are several small scale biogas digesters under operation in Ghana. This is the most used technology for organic waste (mostly sewage) management in Ghana whereby the gas produced is used for cooking and lighting. [6, P. 94-102]

Therefore it is important to estimate the biogas content of municipal solid waste in order to explore the opportunities available for its utilization. There are vast biomass resources including organic waste in Ghana that have the potential for use as feedstock for biogas production to reduce the over reliance of wood fuel and fossil fuel, and to help reduce the it would reduce greenhouse gas emissions which may be affecting climate change. Ghana having the technical potential of constructing about 278,000 biogas plants, only a little over 100 biogas plants has so far been established. [11, P 1]

This article therefore calculates the biogas content of MSW as discarded from the base year which is 2010 to 2016 and summarizes the results in the table below.

$$\text{Biogas}_{\text{MSW}} = Q_{\text{MSW}} \times C_{\text{O.F MSW}} \times C_{\text{TS}} \times \text{BMP}_{\text{MSW}} \dots \quad .. (1)$$

Biogas potential from municipal solid waste estimated in equation (1) as the product of the amount of municipal solid waste, concentration of organic fraction, concentration of total solid and biomethane potential of the waste. An organic fraction concentration of MSW of 64% was used from Asase et al., (2009), and $\text{BMP}_{\text{MSW}} = 0.32 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kgTS}$ (Gunaseelan, 1997). The total solid concentration (541) used was calculated based on estimates from Kemausuor et al., (2014). However, data on the annual MSW was estimated from Meiza et al., (2015) giving an annual waste for the entire population to be 4,524,760 tonnes which is approximately 4.5Mt.

Table 1 – Potential biogas content of msw (as discarded) from 2010 -2016

YEAR	Quantity of waste (Mt/yr)	Potential Biogas (Mm3 CH4/yr)
2010	4.50	498.5
2011	4.58	507.35
2012	4.68	518.43
2013	4.80	513.72
2014	4.92	545.01
2015	5.02	556.09
2016	5.17	572.71

Note: Source: Authors calculation based on estimates from Kemausuor et al., (2014).

Conclusion

The continuously significant increase in total quantity of MSW during the period 2010 – 2016 puts a strain on the existing MSW management system.

Most of the waste generated in Ghana ends up in landfill sites; therefore there is a need to explore the opportunities of landfill gas recovery. A sustainable approach to MSW management is very much possible in Ghana. This is because the high organic content of waste in Ghana offers a high potential for waste to energy industry to develop in Ghana especially in using anaerobic digestion but inhabitants must be made aware of the need to sort /separate their solid waste in order for this to become a sustainable option.

Energy recovery from waste can play a role in minimizing the impact of Municipal Solid Waste (MSW) on the environment and is highly feasible in Ghana considering the large amount of waste generated which are not managed efficiently. The potential contribution of waste to energy is even more important considering how critical energy is for sustainable development in Ghana. Some of the factors that justify the feasibility of energy production from MSW are the amount of MSW generated, characteristics and quality of the wastes, the type of technology used for the energy production and economic conditions (cost benefit analysis).

To ensure the sustainable function of a waste management project, factors such as technical, economic, institutional and social must be considered especially because technologies available have its advantages and disadvantages. The question that this article raises is that: Is Ghana prepared to tap into the market of renewable forms of energy and adopt utilization techniques?

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. The World Bank / What a waste. A global review of solid waste management // The Urban Development Series Knowledge papers. Washington, DC, USA. – 2012. - №15. - P. 12-17
2. Ghana Statistical Service (GSS) / Population and Housing Census Report, Accra, Ghana. // Main Report. - 2012. - P. 1-12
3. Henry R K. Municipal solid waste management challenges in developing countries / R K Henry, Z Yon sheng, D. Jun // Kenyan case study. Waste management. - 2006. - №26. - P.92–100
4. Scarlet N. Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas / N .Scarlet, V. Motola, J.F. Dallemand and others // Elsevier Science Publish. – 2015. - №50. - P. 2-4
5. Wikner E. Modeling Waste to Energy systems in Kumasi, Ghana / Emma Wikner // Master thesis in Environmental and Aquatic Engineering. Department of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences. - 2009. - P. 3& 8
6. Ofori–Boateng C. The prospects of electricity generation from municipal solid waste (MSW) in Ghana: A better waste management option / C. Ofori–Boateng, K. T. Lee, M. Mensah // Journal of Fuel Processing Technology- 2013. - № 110. - P. 94-102.
7. Kemausuor F. Assessment of Feedstock Options for Biofuels Production in Ghana / F. Kemausuor, J. O. Akowuah, E. Ofori // Journal of Sustainable Bioenergy Systems. – 2013. - № 3. - P.119-128 <http://dx.doi.org/10.4236/jsbs.2013.32017>
8. Miezah K. Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana / K. Miezah, K. Obiri-Dansoa, Z. Kádárc and others // Elsevier Science Publish. – 2015. - №46. – P.15-27.
9. Energy commission of Ghana (EC) / Strategic National Energy Plan 2006–2020.- P. 5
10. Murphy J. The benefits of integrated treatment of wastes for the production of energy / J. Murphy, E. McKeogh // Elsevier Science Publish. - 2006. - № 31. – P. 294–310
11. Arthur R. Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study/ R. Arthur, M. F. Baidoo, E. Antwi // Elsevier Science Publish. – 2011. - №36. – P.1

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.021>

ОБ ОБРАЗОВАНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СРОСТКОВ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

Научная статья

Жимулев Е.И.^{1,*}, Грязнов И.А.², Сонин В.М.³, Чепуров А.И.⁴

¹ ORCID: 0000-0003-3100-7195,

^{1,2,3,4} Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

* Корреспондирующий автор (ezhimulev[at]igm.nsc.ru)

Аннотация

Приводятся экспериментальные данные по росту параллельных сростков кристаллов алмаза при высоких давлениях и температуре. Обнаружено, что в результате увеличения пересыщения в ростовой системе на поверхности растущего монокристалла алмаза повышается концентрация центров кристаллизации, приводящая к появлению новых субиндивидов в параллельной ориентации и, в конечном итоге, к образованию параллельных сростков. Полученные результаты объясняют механизм образования подобных минералогических объектов, в том числе параллельных сростков природного алмаза.

Ключевые слова: алмаз, кристаллизация, высокие давления и температуры, морфология.

ON FORMATION OF PARALLEL DIAMOND CLUSTER CRYSTALS

Research article

Zhimulev E.I.^{1,*}, Gryaznov I.A.², Sonin V.M.³, Chepurov A.I.⁴

¹ ORCID: 0000-0003-3100-7195,

^{1,2,3,4} Institute of Geology and Mineralogy. V.S. Soboleva Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

* Corresponding author (ezhimulev[at]igm.nsc.ru)

Abstract

Experimental data on the growth of parallel intergrowths of diamond cluster crystals at high pressures and temperatures is presented. It is found that as a result of an increase in supersaturation in the growth system on the surface of a growing single crystal of diamond, the concentration of crystallization centers increases, leading to the appearance of new subindividuals in a parallel orientation and, ultimately, to the formation of parallel clusters. The obtained results explain the mechanism of formation of such mineralogical objects, including parallel clusters of natural diamond.

Keywords: diamond, crystallization, high pressures and temperatures, morphology.

Алмаз является самым драгоценным самоцветом на Земле. Испокон веков алмаз был королем среди драгоценных камней: его блеск, игра граней, в конечном итоге – стоимость, тешили самолюбие многих шахов, царей, вельмож.

С началом бурного развития промышленности на первый план вышли другие ценные его качества – экстремально высокая атомная плотность, химическая, механическая и радиационная прочность, а также чрезвычайно высокая теплопроводность, и это далеко не весь спектр удивительных свойств, присущих алмазу. Алмаз прозрачен в широком спектральном диапазоне от УФ до дальнего ИК (ТГц), способен работать при экстремальных температурах и давлениях, а так же в агрессивных средах. По количеству используемых алмазов в обрабатывающей промышленности теперь можно оценивать мощь и развитость экономики страны. Но кроме всего перечисленного, алмаз представляет огромную ценность для науки – он является бесценным хранилищем информации о многих процессах, происходивших с нашей планетой в древние времена, в нем запечатлены этапы развития планеты, он захватил в себя и сохранил в неизменности минералы и их парагенезисы.

Морфологии природного алмаза в научной литературе уделяется значительное внимание, поскольку она является одним из основных типоморфных признаков алмазов из различных месторождений [1, С. 8-9], [2, С. 39, 129], [3, С. 556], [4, С. 60]. При этом акцент делается, в основном, на морфологию монокристаллов. С другой стороны, «очень характерны для алмазов параллельные поликристаллические сростки с более или менее равновеликими индивидуумами. Такие сростки близки по внешнему виду и генезису кристаллам с полицентрическим развитием граней» (рис. 1) [4, С. 60]. Под полицентрическим развитием граней подразумевается такое строение граней, «на поверхности которых развиты пачки тригональных (или дитригональных) слоев, хаотично сдвинутых относительно друг друга, словно каждая последующая пачка «растет» из нового центра кристаллизации» [1, С. 9].

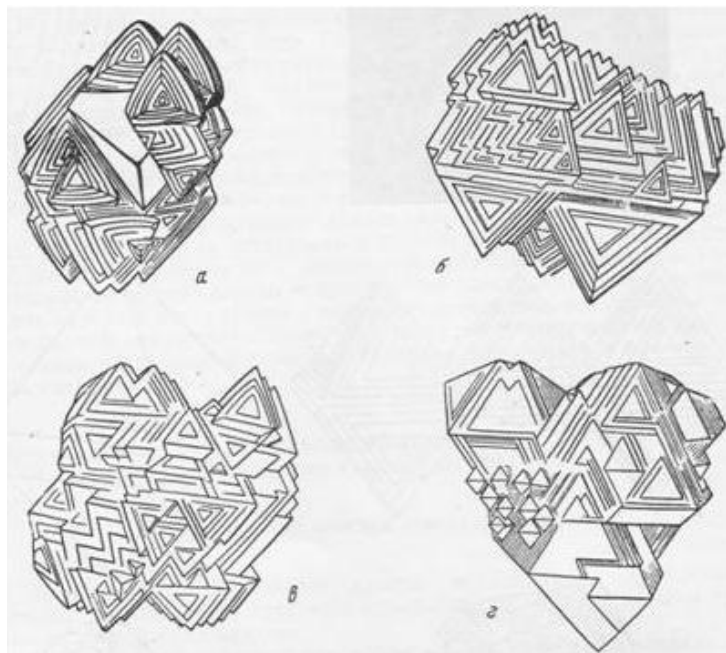


Рис. 1 – Параллельные сростки кристаллов природного алмаза по [4, С. 60]

Генезису сростков кристаллов алмаза и исследованию условий их появления уделяется много меньше внимания. В представленной статье приводятся экспериментальные данные по росту параллельных сростков кристаллов алмаза при высоких давлениях и температурах. Полученные результаты объясняют механизм образования подобных минералогических объектов, в том числе параллельных сростков природного алмаза.

Эксперименты проводились на беспрессовом многопуансонном аппарате типа «разрезная сфера» (БАРС) в твёрдофазной ячейке высокого давления, изготовленной из прессованных порошков тугоплавких оксидов ZrO_2 , CaO , MgO , с цилиндрическим графитовым нагревателем в системе Fe-Ni-C по известной методике [5, С. 240], [6, С. 206-207]. Кристаллизационный объем в экспериментах состоял из слоя графита – источника углерода (в центральной, более горячей зоне), слоя металла Fe (64 мас.%) – Ni и подложки из смеси ZrO_2 и CsCl с впрессованными затравочными кристаллами алмаза (в более холодной части кристаллизационного объема). В качестве затравок использовали мелкие синтетические кристаллы октаэдрического габитуса.

Параметры экспериментов: 5.5 ГПа, 1400°C. Определение давления проводили по калибровочной кривой, построенной при комнатной температуре по фазовым переходам в реперных веществах PbSe и Bi. Температуру оценивали по калибровочной кривой, выражающей зависимость мощности тока на нагревателе от показаний PtRh 30/6 термпары. Погрешность определения давления мы оцениваем величиной ± 0.2 ГПа, температуру - $\pm 25^\circ C$. Охлаждение образцов после проведения опытов производили закалкой – отключением электротока на нагревателе.

После экспериментов для выделения алмазов образцы растворяли в смеси кислот HCl и HNO_3 , а сами алмазы очищали в окислительной смеси (раствор $K_2Cr_2O_7$ в концентрированной H_2SO_4). После обработки в кислотах кристаллы алмаза промывали дистиллированной водой и высушивали при 120°C. Кристаллы изучали с помощью оптического микроскопа МБС-10 с фотоприставкой и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO 1430VP в ЦКП ИГМ СО РАН.

При указанных стабильно поддерживаемых P-T параметрах растут плоскогранные и остросреберные монокристаллы алмаза, кристаллографическая форма которых является комбинацией октаэдра и куба с дополнительными гранками тетрагон-триоктаэдра и ромбододекаэдра (рис. 2). Такие монокристаллы алмаза растут по тангенциально-послойному механизму. Рост нового слоя инициируется на вершинах и ребрах растущего кристалла, а затем распространяется на всю грань. Скорость распространения слоев сопоставима со скоростью образования новых. Плоскогранные и остросреберные монокристаллы алмаза образуются при скорости роста до 10 мг/час.

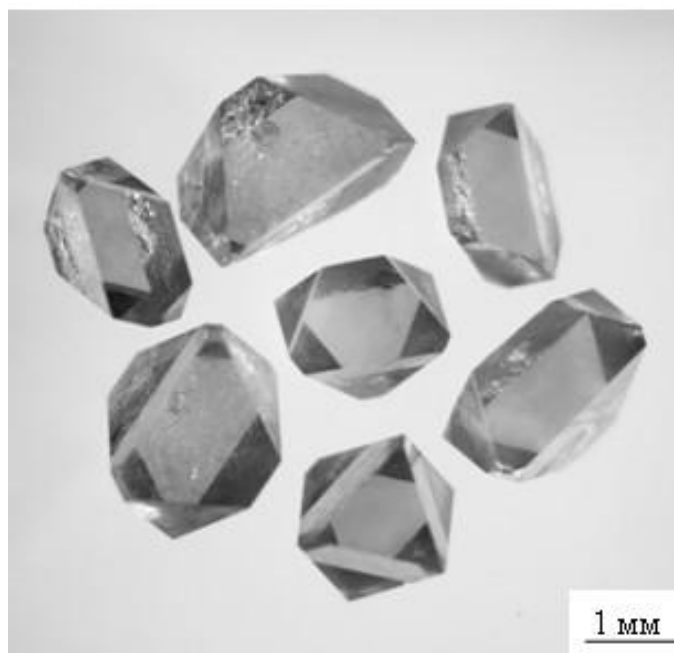


Рис. 2 – Монокристаллы алмаза, выращенные в системе Fe-Ni-C при высоких P-T параметрах

В продуктах одного из экспериментов были обнаружены не монокристаллы, а параллельные сростки кристаллов алмаза (рис. 3). Следует подчеркнуть, что на начальной стадии эксперимента на затравках росли монокристаллы алмаза, затем преобразовавшиеся в сростки отдельных субиндивидов в строго параллельной ориентировке. Морфология всех субиндивидов одинаковая и представляет собой комбинацию октаэдра и ромбододекаэдра. Подобное преобразование возможно в случае резкого увеличения скорости образования новых центров кристаллизации на поверхности растущего кристалла и торможения распространения слоев на гранях.

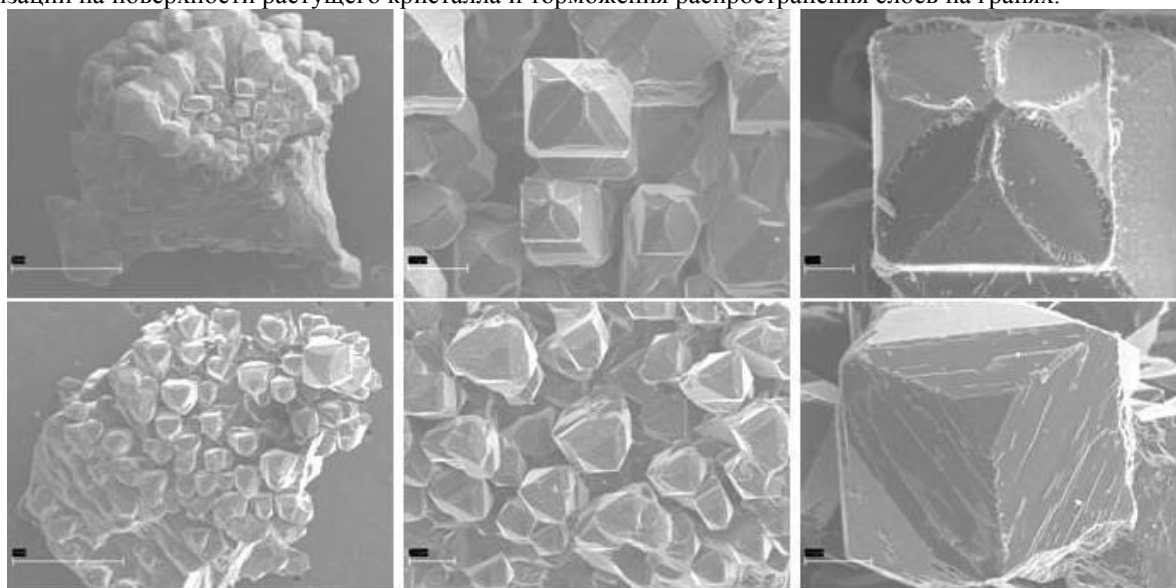


Рис. 3 – Параллельные сростки кристаллов синтетического алмаза, выращенные в системе Fe-Ni-C при высоких P-T параметрах (СЭМ - фотография)

Скорость образования новых центров кристаллизации возрастает с увеличением пересыщения в ростовой системе. Применительно к условиям, реализованным в экспериментах при высоких P-T параметрах, это явление наблюдалось в процессе падения температуры, что приводит, в свою очередь, к уменьшению растворимости в расплаве и, соответственно, выпадению углерода в виде новообразованных кристаллитов алмаза. Данное явление изучено при росте алмазов в условиях уменьшения температуры с разной скоростью [7, С. 41-42].

При скорости роста алмазов более 10 мг/час формируются скелетные кристаллы, а при очень высоких скоростях роста на гранях кристаллов появляются «корочки» очень дефектного алмазного слоя с шероховатыми поверхностями, на микроскопическом уровне состоящими из мельчайших субиндивидов, ограненных кристаллографическими формами, соответствующими основному кристаллу.

Таким образом, изображенные на рис. 3 параллельные сростки кристаллов алмаза, вероятно, образовались в результате сбоя в нагревательной системе аппарата высокого давления, приведшей к незначительному уменьшению температуры в ростовом объеме, что привело к увеличению концентрации новых центров кристаллизации. После кратковременного падения значение температуры восстановилась, но кристаллы алмаза продолжили расти уже как параллельные сростки. Строгая параллельная ориентировка субиндивидов обусловлена тем, что новые центры

кристаллизации появились на гранях монокристаллов алмаза. Следует подчеркнуть, что при спонтанной кристаллизации разориентированных кристаллов алмаза в случаях их контакта при росте, то есть формирования друзового агрегата, велика вероятность образования двойников [8, С. 925], что не наблюдается в сростках, изображенных на рис. 3.

Полицентрическое строение граней алмазов возникает при появлении новых слоев не только на вершинах и ребрах, но и непосредственно на гранях вследствие послойно-дислокационного механизма роста. При этом в местах выхода дислокаций на гранях образуются вицинальные холмики, являющиеся новыми центрами кристаллизации, от которых происходит распространение слоев по граням. Указанные ростовые холмики обычно имеют ступенчатые боковые поверхности и контуры, параллельные контурам граней. Дислокации в кристалле возникают в среде, обогащенной примесями, которые он захватывает при росте. Экспериментально это явление апробировано, например, при выращивании алмазов в металл-углеродных системах с добавками кремния или силикатов [9, С. 110], [10, С. 10-11]. В случае одновременного образования нескольких подобных холмиков на грани кристаллы алмаза при продолжении роста могут «распадаться» на несколько субиндивидов. В конечном итоге образуется параллельный сросток алмазов, состоящий из нескольких кристаллов.

На основании выше приведенных фактов, считаем, что предложенный механизм образования параллельных сростков кристаллов алмаза вследствие резкого увеличения концентрации новых центров кристаллизации при повышении пересыщения углерода корректен и для природных условий. Но увеличение пересыщения в природной ростовой среде более вероятно при поступлении новых порций углерода, чем в случае изменения Р-Т параметров.

Полученные нами экспериментальные данные могут быть полезны в совершенствовании технологии роста искусственных алмазов. Характерные морфологические скульптуры на гранях алмазов помогают делать выводы о температурных режимах в течение эксперимента, что необходимо для коррекции температуры в ростовой зоне в последующих экспериментах.

Кроме того опираясь на экспериментальные данные, располагая знаниями в каких условиях появились те или иные морфологические особенности на гранях искусственных кристаллах алмаза, можно решать обратную задачу. По гранной морфологии природных алмазов можно делать качественную оценку условий их образования, что в свою очередь позволит раскрыть еще одну загадку алмазообразования в недрах Земли.

Финансирование

Работа выполнена в рамках базового проекта № 0330-2016-0012.

Funding

The work was carried out within the framework of the basic project No. 0330-2016-0012.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Afanasiev V.P. Atlas of morphology of diamonds from Russian sources / V. P. Afanasiev, E.S. Yefimova, N.N. Zinchuk and others – Novosibirsk: SPC. UIGGM SB RAS, 2000. – 298 p.
2. Бартошинский З.В. Кристалломорфология алмаза из кимберлитов / З.В. Бартошинский, В.Н. Квасница – Киев: Наук. Думка, 1991. – 172с.
3. Зинчук Н.Н. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы / Н.Н. Зинчук, В.И. Коптиль – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 603с.
4. Орлов Ю.Л. Морфология алмаза / Ю.Л. Орлов – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 235с.
5. Chepurov A.I. Experimental studies of diamond formation at high PT-parameters (supplement to the model for natural diamond formation). / A.I. Chepurov, I.I. Fedorov, V.M. Sonin // Geologiya i Geofizika. – 1998. – Vol. 39. – №2. – P.234 – 244.
6. Zhimulev E. I. Diamond crystallization in the Fe–Co–S–C and Fe–Ni–S–C systems and the role of sulfide–metal melts in the genesis of diamond / E. I. Zhimulev, A. I. Chepurov, E. F. Sinyakova and others // Geochemistry International. – 2012. – Vol. 50. – №. 3. – P. 205–216.
7. Жимулев Е.И. О проблеме регенерации природных кристаллов алмаза / Е.И. Жимулев, В.М. Сонин, Д.Г. Багрянцев и др. // Отечественная геология. – 2002. – № 1. – С. 40–44.
8. Chepurov A.I. Formation on growth twins on mutual contact of diamond crystals / A.I. Chepurov, V.M. Sonin, I.I. Fedorov // Crystal Research and Technology. – 2000. – Vol. 35. – № 8. – P. 921–926.
9. Чепуров А.А. Влияние силикатов на рост синтетических кристаллов алмаза / А.А. Чепуров, В.М. Сонин, А.И. Чепуров // Записки ВМО. – 2002. – Ч. CXXXI. – № 1. – С. 107–110.
10. Kanda H. Growth hillocks on the {111} surface of high pressure synthetic diamond / H. Kanda, T. Oshawa // Diamond and Related Materials. – 1996. – Vol. 5. – P. 8–12.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Afanasiev V.P. Atlas of morphology of diamonds from Russian sources / V. P. Afanasiev, E.S. Yefimova, N.N. Zinchuk and others – Novosibirsk: SPC. UIGGM SB RAS, 2000. – 298 p.
2. Bartoshinsky Z.V. Cristallomorfologia almaza iz kimberlitov [Crystal morphology of diamond from kimberlites] / Z.V. Bartoshinsky, V.N. Kvasnitsa. – Kiev: Naukova Dumka, 1991. – 172 p. [in Russian]
3. Zinchuk N.N. Tipomorfizmalmazov Sibirskoy platformi [Typomorphism of diamonds of the Siberian platform] / N.N. Zinchuk, V.I. Koptil' – М.: ООО «Nedra-Biznescentr», 2003. – 603 p. [in Russian]
4. Orlov Y.L. Morfologia almaza [The morphology of a diamond] / Y.L. Orlov – М.: Izd-vo AN USSR, 1963. – 235 p. [in Russian]

5. Chepurov A.I. Experimental studies of diamond formation at high PT-parameters (supplement to the model for natural diamond formation). / A.I. Chepurov, I.I. Fedorov, V.M. Sonin // *Geologiya i Geofizika*. – 1998. – Vol. 39. – №2. – P.234–244.
6. Zhimulev E. I. Diamond crystallization in the Fe–Co–S–C and Fe–Ni–S–C systems and the role of sulfide–metal melts in the genesis of diamond / E. I. Zhimulev, A. I. Chepurov, E. F. Sinyakova and others // *Geochemistry International*. – 2012. – Vol. 50. – №. 3. – P. 205–216.
7. Zhimulev E.I. O probleme regeneratsii prirodnich cristallov almaza [On the problem of regeneration of natural diamond crystals] / E.I. Zhimulev, V.M. Sonin, D.G. Bagransev and others // *Otechestvennaya geologia [Otechestvennaya geologia]*. – 2002. – № 1. – P. 40–44. [in Russian]
8. Chepurov A.I. Formation on growth twins on mutual contact of diamond crystals / A.I. Chepurov, V.M. Sonin, I.I. Fedorov // *Crystal Research and Technology*. – 2000. – Vol. 35. – № 8. – P. 921–926.
9. Chepurov A.A. Vliyanie silikatov na rost sinteticheskikh cristallov almaza / A.A. Chepurov, V.M. Sonin, A.I. Chepurov // *Zapiski VMO*. – 2002. – Vol. CXXXI. – № 1. – P. 107–110. [in Russian]
10. Kanda H. Growth hillocks on the {111} surface of high pressure synthetic diamond / H. Kanda, T. Oshawa // *Diamond and Related Materials*. – 1996. – Vol. 5. – P. 8–12.