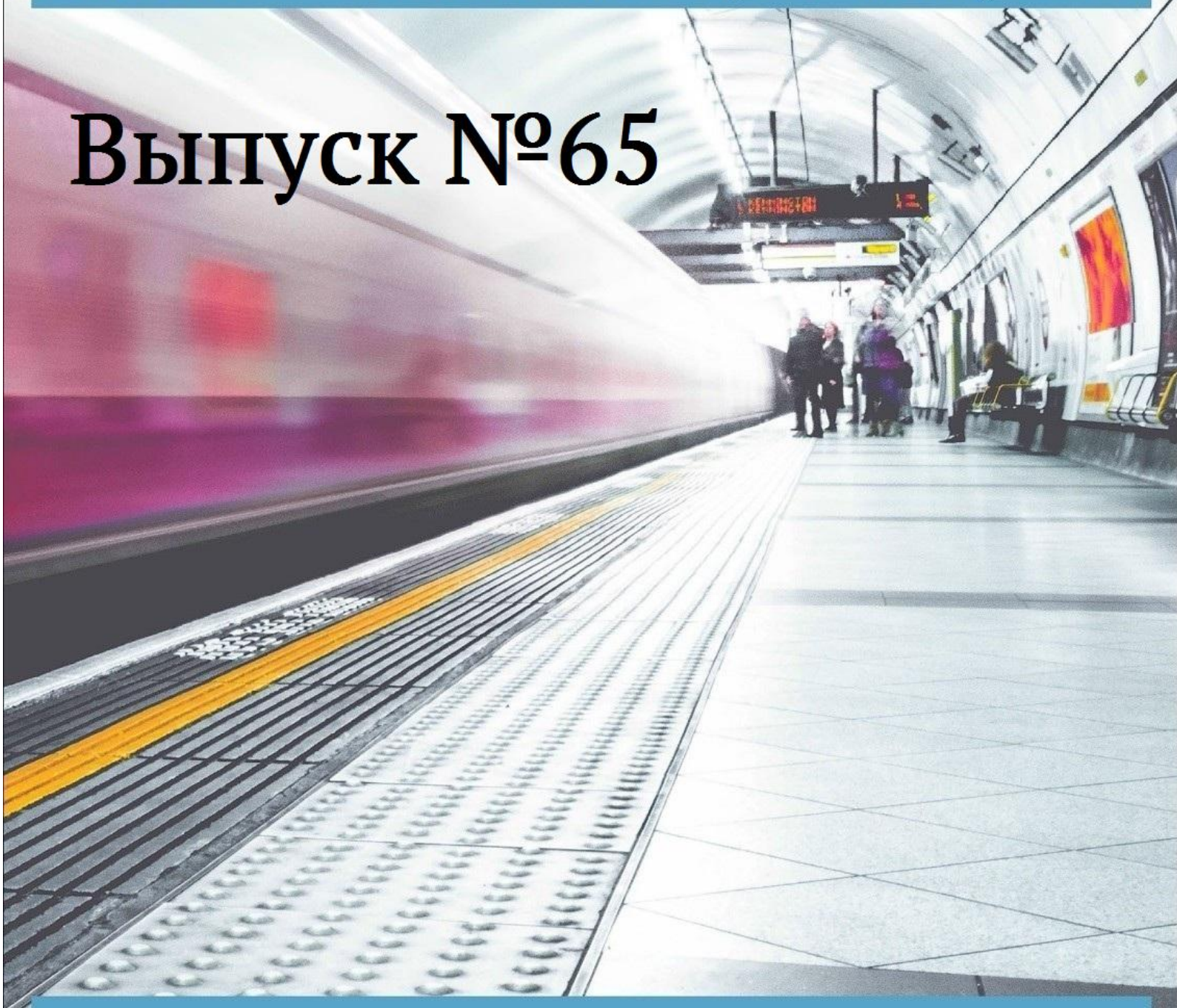
# ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

Публикации для студентов, молодых ученых и научно-преподавательского состава на www.t-nauka.ru

ISSN 2500-1132 Издательский дом "Плутон" www.idpluton.ru



## Выпуск №65

КЕМЕРОВО 2019

09 декабря 2019 г.
ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431
ISSN 2500-1132
УДК 378.001
Кемерово

Журнал выпускается ежемесячно, публикует статьи по естественным наукам. Подробнее на www.t-nauka.ru

За точность приведенных сведений и содержание данных, не подлежащих открытой публикации, несут ответственность авторы.

Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Зимина Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инжинерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И .Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент, кандидат технических наук, Московский политехнический университет

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

Моногаров Сергей Иванович - кандидат технических наук доцент Армавирского механико-технологического института (филиал) ФГОУ ВО КубГТУ

Шевченко Сергей Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры СЭУ, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота РФ

Отакулов Салим - Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Джизакского политехнического института

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Естественнонаучный журнал «Точная наука», входящий в состав «Издательского дома «Плутон», был создан с целью популяризации естественных наук. Мы рады приветствовать студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников. Надеемся подарить Вам множество полезной информации, вдохновить на новые научные исследования.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru
Подписано в печать 09.12.2019 г. Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 2.2. | Тираж 500.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.

Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Содержание

1. ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КР……...2
**Жогаштиев Н.Т., Ысламидинов А.Ы, Абдималик К. А., Ташполотов Ы., Садыков Э.**
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ИНЕРТНОГО ГАЗА В ДЛИННОМ ОТКРЫТОМ КВАРЦЕВОМ ТИГЛЕ ……...7
**Юлдашалиев Д.К., Усмонов Я.У., Каримов Б.Х., Тошматова Г.С.**
3. РЕШЕНИЕ РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОГОНКИ (ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ……..……..……..13
**Веретенников В.Н.**
4. ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ ТРЁХМЕРНОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТОВ……..…….……....19
**Ортиков О.А., Абдурахимова Ф.А., Халилова Х.Э.**
5. РАСПАД ФОТОНА. ВРЕМЯ ЖИЗНИ……..……..……..……....21
**Ломашевич С.А.**

**Жогаштиев Н.Т.**
**Zhogashtiev N.T.**
Кыргызский технический университет им.И.Раззакова

**Ысламидинов А.Ы.**
**Yslamidinov A.Y.**
Институт природных ресурсов ЮО НАН КР

**Абдималик К. А.**
**Abdimalik K.A.**
Ошский государственный университет

**Ташполотов Ы.**
**Tashbolotov Y.**
Ошский государственный университет
Институт природных ресурсов ЮО НАН КР
E-mail: itashpolotov@mail.ru

**Садыков Э.**
**Sadykov E.**
Ошский государственный университет
Институт природных ресурсов ЮО НАН КР

УДК 662.6.8

# ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КР

# GETTING COMPOSITION FUEL BASED ON MINERAL RESOURCE RESOURCES KR

**Аннотация.** В настоящей работе рассматривается технологии создания водоугольного композиционного топлива(ВУКТ) на основе угольных частиц с фракцией менее 10 мкм из различных месторождений юга Кыргызстана в качестве топлива для сжигания. Так как, до настоящего времени, еще не разработана технология получения ВУКТ с применением угольных мелочей КР. В связи с этим создание научно-технологических основ водоугольных топлив на основе минерально-сырьевых ресурсов Кыргызской Республики с использованием метода электромагнитной и гидродинамической активации угля и водной дисперсии является актуальной задачей. Основными компонентами для получения ВУКТ являются высокодиспергированные механически активированные угольные порошки, активированная вода и стабилизирующий реагент(гумат). Технология получения микросуспензий, совмещался процессом гидрофракционирования угольных частиц с дальнейшим процессом образования жидко-микротвердофазной суспензии. Таким образом, многократное гидродинамическое фракционирование, активация жидкой матрицы в зависимости от размера сопла и смешивание активированной воды с частицами угля(наполнителя), механически активированными в процессе соударения с поверхностью емкости является основой для получения ВУКТ.

**Annotation.** In this paper, we consider technologies for creating a water-carbon composite fuel (VUKT) based on coal particles with a fraction of less than 10 microns from various deposits in the south of Kyrgyzstan as fuel for combustion. Since, until now, the technology for producing VUKT using the coal fines of the Kyrgyz Republic has not yet been developed. In this regard, the creation of the scientific and technological foundations of coal-water fuels based on the mineral resources of the Kyrgyz Republic using the method of electromagnetic and hydrodynamic activation of coal and water dispersion is an urgent task. The main components for obtaining VUKT are highly dispersed mechanically activated carbon powders, activated water and a stabilizing reagent (humate). The technology of producing micro suspensions was

combined with the process of hydro-fractionation of coal particles with the further process of formation of a liquid-micro-solid-phase suspension. Thus, multiple hydrodynamic fractionation, activation of the liquid matrix depending on the size of the nozzle, and mixing of activated water with coal particles (filler) mechanically activated in the process of collision with the surface of the tank is the basis for obtaining VUKT.

**Ключевые слова:** водоугольное топливо, высокодисперсный порошок, вода, уголь, активация, смесь, технология.

**Key words:** coal-water fuel, fine powder, water, coal, activation, mixture, technology.

В [1,2], отмечено, что в таких странах как КНР, Япония, Италия, США, Швеция, Россия в последние годы большое внимание обращается к водоугольным композиционным топливам(ВУКТ), в качестве альтернативы к нефти. По нашему мнению это связано с разработкой технологии получения и сжигания ВУКТ в современных установках ТЭЦ.

Известно, что ВУКТ состоит из высокодисперсного порошка угля (60-65 %)[1-6], составляет 10÷200 мкм. Однако содержание в ВУКТ инертной водной дисперсии (от 40 до 50 %) требует тепловой стабилизации зоны воспламенения при сжигании ВУКТ. Наряду с этим, в ВУКТ также имеется минеральная часть угля(до 20-25%), что вызывает необходимость установки золоулавливающего оборудования.

Целью настоящей работы является технология создания ВУКТ на основе угольных частиц с фракцией менее 10 мкм из различных месторождений юга Кыргызстана в качестве топлива для сжигания. Так как, до настоящего времени, еще не разработана технология получения ВУКТ с применением угольных мелочей в КР. В связи с этим данное создание научно-технологических основ водоугольных топлив на основе минерально-сырьевых ресурсов Кыргызской Республики с использованием метода электромагнитной и физико-механической активации угля и водной дисперсии[7] является актуальной задачей.

По нашему мнению возможности применения ВУКТ в качестве жидкого топлива в первую очередь зависит от исследования следующих физико-технологических задач[1,2]:

- получение из твердого топлива угольных порошков с фракцией меньше 10 мкм с минимальными энергозатратами (эти затраты сейчас составляют порядка 30-35 кВт/ м3);
- деминерализация угольных суспензий (содержания солей до 2÷3%);
- разработка технологии получения ВУКТ с требуемыми реологическими и теплофизическими свойствами.

Анализ литературных и патентных данных показывают, что физико-механическая обработка угольных мелочей приводит к:

- активации углей за счет структурного изменения и образования дефектов;
- переходу твердого топлива в высокодисперсное состояние с высокой реакционной способностью, приводящее к увеличению скорости гетерогенных процессов, что вызывает значительного изменения реакционной способности угольного вещества.

Получение угля в высокодисперсном состоянии с фракцией менее < 1 мкм позволяет увеличения температуры воспламенения угольных частиц до ~350 °С (температура воспламенения дизельного топлива), а также при создании ВУКТ с теплотехническими свойствами идентичной дизельного топлива [1,2].

Таким образом, основной идеей технологии создания ВУКТ являются:

- получение высокодисперсного угля с целью деминерализации и активации угольных частиц;
- введение в ВУКТ стабилизирующих добавок;
- в качестве водной дисперсии использовать активированной воды[7];
- интенсивное перемешивание смеси для получения стабильной и однородной водоугольной дисперсии на основе эффекта кавитации[8,9].

Итак, основным ингредиентом для получения ВУКТ являются высокодиспергированный уголь и активированная вода и стабилизирующий реагент.

При содержании воды в ВУКТ более 20% происходит повышения теплоты испарения, изменяется состав и в результате увеличивается температура кипения и уменьшается давление насыщенных паров.

Этапы проведения научных исследований и полупромышленного испытания:

1. Проведение экспериментальных исследований по глубокой деминерализации углей и определение степени энергозатрат при гидродинамической кавитации водоугольной суспензии.

2. Разработать технологии получения стабильного ВУКТ:

- разработка технологического режима и оптимальных параметров технологического оборудования для глубокой деминерализации твердого угля;

- разработка технологии для получения угольных фракций с с размерами частиц менее 10 мкм;

- разработка режимы получения ВУКТ с высокодисперсной угольной фазой;

- разработка технологического процесса стабилизации ВУКТ путем включения реагентов(гуматы[10]).

3.Разработка и адаптация технической документации по производству промышленных технологических линий и отработка промышленной технологии получения ВУКТ.

Таким образом, для выполнения поставленных задач нами проведены экспериментальные исследования для получения ВУКТ с помощью кавитационной установки.

Измельчение исходного угольного сырья до уровня 50 мкм и ниже проводился в процессе гидродинамического фракционирования[11], на основе эффекта кавитации[12], где происходит интенсивная механическая деструкция материала и высокой эффективности разрушения частиц угля. Кроме того, в экспериментальной установке совмешены процесс тонкого измельчения с деминерализацией угля. Так как интенсивная гидродинамическая обработка позволит одновременно проводить глубокую деминерализацию угля, эмульгирование водной фазы и включение катализатора процесса.

Для получения ВУКТ использовали угли Узгенского угольного бассейна(месторождения Кара-Добо), физико-химические свойства которых представлены в таблице 1:

Таблица 1.

| Влажность,% | Летучесть,% | Зольность,% | Сера,% | Высшая теплота сгорания, ккал/кг |
|---|---|---|---|---|
| 0,42 | 11,6 | 1,52 | 0,09 | 7896 |

Каменные угли указанного месторождения измельчались с помощью шаровой мельницы и частицы с дисперсностью более 50 мкм отсеивали на сите и полученные угольные порошки добавляли в активированную воду, полученные в кавитационной установке[9,12].

Известно, что наличие в воде твердых частиц (низкоразмерных) определенного состава, концентрации, размера и других физико- технологических характеристик способны изменять с одной стороны свойства жидкости и с другой наполнителя. В этом смысле жидко-фазная суспензия представляет микротвердо-жидкофазную квазиравновесную систему, имеющую все свойства композиционной фазы.

В наших экспериментах технологии получения суспензий с микрочастицами, совмещался процессом гидрофракционирования[11] угольных частиц с дальнейшим получением суспензии в виде жидко-микротвердофазной системы.

Суть метода гидрофракционирования[11] состоит в том, что поток ультрадисперсных угольных частиц проходя через сопло Лаваля, направляется на преграду, где после соударения с поверхностью стеклянной емкости происходит микроразрушение частиц угля с отделением от поверхности микро- и ультрачастицы угля (макроскопические частицы угля оседают на дно сосуда). Отделившиеся микроскопические угольные порошки далее смешиваются с потоком воздуха и переходит на следующую емкость, где также взаимодействует с поверхностью. Во втором сосуде происходят такие же процессы разрушения и оседания как и в первом, т.е. крупные частицы угля оседают на дно емкости, а высокодисперсные вместе с воздухом попадает в третью емкость и т.д. После многократного фракционирования высокодисперсные угольные порошки попадают в сосуд с активированной . В последней емкости с водой оседание ультраразмерных частиц угля не происходит из-за их низкоразмерности. Наши исследования показывают, что размер угольных порошков, многократно отделившихся от поверхности материала емкости, имеет микро- и ультраразмеры, причем низкоразмерные частицы угля полностью смешиваются в водной дисперсии.

Предлагаемая технология гидроударного многократного фракционирования является

эффективным способом получения ультрадисперсных порошков угля и активации жидкостей за счет кавитации и создания жидко-ультра порошковой смеси. Таким образом, в основе разработанной технологии получения жидко-ультратвердофазной суспензии является метод многократногой гидроудара угольных частиц в преграду емкости и их разрушение, а также фракционирование угольных порошков.

Также установлено, что управление активностью жидкой фазы может осуществляться изменением давления воздушного потока с частицами угля, диаметрами сосуда(емкости) для диспергирования, количества каскада многократного фракционирования, размера сопла сосуда и других параметров процессов микрогетерогенной воздушной фазы. То есть многокаскадная гидроударная фракционная технология может обеспечить совмещение процессов образования ультрадисперсной твердой угольной фазы и жидкой суспензии, а также увеличить поверхностной активности последней.

К важным параметрам данного способа получения активированных суспензий на основе высокодисперсных углей является легкая управляемость процесса получения суспензий в промышленных масштабах, путем управления макропараметров процесса(давление потока, размер сопла, количество каскада).

К основным технологическим фактором разработанного гидроударного метода получения активированных водоугольных суспензий на основе ультрадисперсных порошков углей являются:

- образование ултрадисперсных порошков угля непосредственно внутри жидкой матрицы после многократного гидрофракционирования;
- развитая (большая) поверхность порошков угля;
- действие на водной дисперсии механо-технологических, физических и других процессов, происходящие при соприкосновении с ультрадисперсными порошками угля.

Таким образом, многократное гидродинамическое фракционирование, активация жидкой матрицы в зависимости от размера сопла и смешивание активированной воды с частицами угля(наполнителя), механически активированными в процессе соударения с поверхностью емкости является основой для получения ВУКТ[12].

**Библиографический список:**

1. Мурко В.И., Федяев В.И., Хямяляйнен В.А. Физико–технические основы водоугольного топлива. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2009. -195 с.

2.Зейденварг В.Е., Трубецкой К.Н., Мурко В.И., Нехороший И.Х. Производство и использование водоугольного топлива. 2001. -163 с.

3.Делягин Г. Н., Петраков А. П., Ерохин С. Ю., Дуняшева В. Л. Способ получения водоугольного топлива Пат. 2178455 Россия, МПК 7 C 10 L 1/32. Гос. унитар. предприятие НПО "Гидротрубопровод". N 2000127871/04; Заявл. 09.11.2000; Опубл. 20.01.2002.

4.Петраков А. П., Делягин Г. Н., Ерохин С. Ф., Нестеров Н. Н., Файезов Г., Асламов И., Мухитдинов Г.Н., Джафаров М., Джалолов К., Ахунов О. Способ получения водоугольного топлива Пат. 2192449 Россия, МПК 7 C 10 L 1/32. Гос. унитар. предприятие НПО "Гидротрубопровод" (RU), АООТ "Химзавод" (TJ). N 200117650/04; Заявл. 29.06.2001; Опубл. 10.11.2002.

5.Потапов В.П, Солодов Г.А., Заостровский А.Н., Папин А.В., Бабенко С.А., Семакина О.К. Способ получения водоугольного топлива и его состав Пат. 2277120 Россия, МПК 7 C 10 L 1/32. Гос. образ. учрежд. высш. проф. образ. Томск. политехн. ун-т. N 2005113320/04; Заявл. 03.05.2005; Опубл. 27.05.2006.

6.Петраков А.Д., Радченко С.М., Яковлев О.П..Способ получения водоугольного топлива и технологическая линия для его осуществления Заявка 2003123237/04 Россия, МПК 7 C 10 L 1/32. N 2003123237/04; Заявл. 23.07.2003; Опубл. 27.02.2005.

7.Алдашева Н.Т. Чилдебаев Б.С. Ташполотов Ы. Исследование физико-химического процесса получения активированной воды. //Журнал “Наука, техника и образование”(РФ), 2019, №8(61), с.16-21.

8.Абдалиев У.К., Ташполотов Ы., Ысламидинов А.Ы., Матмусаев У.Водоэмульсионное топливо: условия получения, особенности и свойства// Наука и новые технологии, 2013, №2. с.11-19.

9.Абдалиев У.К., Ташполотов Ы.Суу-эмульсиялык күйүүчү аралашманы алуунун технологиясы. Монография. /Улуттук илимдер академиясы. Түштүк бөлүмү. Жаратылыш байлыктары институту.- Ош: “Окуу китептерин даярдоо” басмаканасы, 2018.- 117 б.

10.Асанов Р.Э., Абдалиев У.К., Ташполотов Ы. Исследование зависимостей удельной электрической проводимости низко-концентрированной водоугольной суспензии (ВУС) от концентрации реагента гумата натрия и от концентрации твердой фазы суспензий// Журнал “Бюллетень науки и практики”,2017,№12(25), С. 257-262.

11. Жогаштиев Н.Т., Турдубаева Ж., Садыков Э., Дуйшеева С. Разработка технологии получения наноструктурных материалов на основе местных минерально-сырьевых ресурсов // Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.econf.rae.ru/article/7502., 06.03.2013.

12.Асанов Р.Э., Абдалиев У.К., Ысманов Э.М., Ташполотов Ы. Получение стабильной водоугольной суспензии способом гидродинамической кавитации при разных концентрациях//Известия ВУЗов Кыргызстана, 2017. №7, С.31-34.

**Юлдашалиев Дилшод Кулдашалиевич**
преподаватель, Ферганский государственный Университет, Узбекистан, г.Фергана
E-mail: b_karimov48@mail.ru
**Усмонов Якуб Усмонович**
кандидат технических наук, доцент, Ферганский государственный Университет, Узбекистан, г.Фергана
**Каримов Боходир Хошимович**
Кандидат физика-математических наук, доцент, Ферганский государственный Университет, Узбекистан, г.Фергана, E-mail: b_karimov48@mail.ru
**Тошматова Гулхаё Саидахмат кизи**
Магистр, Ферганского государственного Университета, Узбекистан, г.Фергана

**Yuldashaliyev Dilshod Quldoshalievich**
Teacher, Fergana Country's University, Uzbekistan, Fergana city
E-mail: b_karimov48@mail.ru
**UsmonovYakubUsmonovich**
Assistant of professor about technologic science, docent, Fergana Country's University, Uzbekistan, Fergana city
**Karimov Boxodir Xoshimovich**
Assistant of professor about physic-mathematical science, docent, Fergana Country's University, Uzbekistan, Fergana city, E-mail: b_karimov48@mail.ru
**Toshmatova Gulxayo Saidmat's daughter**
Magistrate of Fergana Country's University, Uzbekistan, Fergana city

УДК 537.32

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ИНЕРТНОГО ГАЗА В ДЛИННОМ ОТКРЫТОМ КВАРЦЕВОМ ТИГЛЕ

# DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR PRODUCING THERMOELECTRIC MATERIALS UNDER INERT GAS PRESSURE IN A LONG OPEN QUARTZ CRUCIBLE

**Аннотация:** Разработана технология получения термоэлектрических материалов под давлением инертного газа в длинном открытом кварцевом тигле. Термоэлектрических материалов в количестве 20 г были приготовлены в открытых кварцевых тиглях различных диаметров. Было проведено эксперименты получение термоэлектрических материалов в «длинных» тиглях разных диаметров соответственно 0,785 см$^2$; 2,01 см$^2$ и 3,14 см$^2$.

**Abstract:** Development technology for get thermoelectric materials under mass of inert gas in long open coarse tingle. Twenty gram of thermoelectric materials was get in coarse tingles of some paramours. Was experiments for get thermoelectric materials in "long" tingle of some diameters for 0.785 sm$^2$; 2.01 sm$^2$ and 3.14 sm$^2$.

**Ключевые слова:** термоэлектрические материалы, технология, давления, инертный газ, кварцевый тигель, термоЭДС, избытка теллура.

**Keywords:** thermoelectric materials, technology, inert gas, coarse tingle, thermo EGH, more of tellur.

В промышленности и исследовательских лабораториях применяется множество методов выращивания кристаллов. Техника выращивания кристаллов непрерывно совершенствуется, по мере того как быстро растет и ширится применение кристаллов.

Из всех известных в настоящее время способов получения термоэлектрических материалов наибольшее распространение получил ампульной способ. Существующая ампульная технология достаточна трудоемкая и трудная для получения термоэлектрических материалов в больших количествах. Кроме того, ампульная технология требует значительного расхода дорогостоящего кварца.

Технология получения термоэлектрических материалов под давлением инертного газа, разработанная в лаборатории гелиотехники энергетического института им. Г.М. Кржижановского [1-2]. Эта технология свободна от перечисленных выше недостатков, однако она разработана только для материалов, предназначенных для холодильных устройств. Эта технология даст возможностьзначительно повысить производительность и обеспечит хорошее улучшение производства термоэлектрических свойств материалов, получаемых в больших количествах в промышленных условиях (3-5 кг за плавку). Одновременно эта технология решает вопрос многократного использования контейнера. Дело в том, что после проведения плавки в конусных кварцах, а также после легкого постукивания материал извлекается из опрокинутого тигля, не нарушая его целости и целости «поплавка». Таким образом, удается сэкономить большое количество дорогостоящего кварца.

Условия получения по данной технологии материалов для термогенераторов мало изучены.

Учитывая выше изложенное, мы смогли провести путь к разработке технологии изготовления термоэлектрических материалов под давлением инертного газа [2].

В результате проведения настоящего исследования была разработана новая технология получения термоэлектрических слитков под давлением инертного газа, которая позволила проводить плавки в открытом тигле без затвора.

В работе рассмотрено улучшение технологи в направлении её упрощения. Хотя технология использования контейнера с затвором – «поплавком», для получения сплавов чрезвычайно проста, тем не менее еще проще проводить процесс плавленияв открытых тиглях без всякого затвора.

Плавки в открытом тигле имеют свои особенности. Термоэлектрические свойства сплава зависят от величины потерь материала за счет испарения в процессе плавки. Потери же, в свою очередь, определяются температурой плавления компонентов, площадью зеркала испарения, конвекцией и диффузией. В результате проведенных нами исследований было установлено, что геометрия тигля (его высота и площадь поперечного сечения), а также высота слитка и высота свободного пространства над расплавом внутри тигля являются важными технологическими параметрами, определяющими термоэлектрические свойства получаемых слитков. Для характеристики этих параметров были введены критерии процесса плавления материалов в открытых тиглях под давлением инертного газа. Критерий, определяющие влияние высоты слитка в тигле данной площади, был назван коэффициентом слитка.

$$K_{сл} = \frac{S}{h_{сл}} \qquad (1)$$

где S- площадь поперечного сечения слитка (тигля) (см$^2$)

$h_{сл}$- высота слитка (см)

$K_{сл}$- коэффициент слитка (см).

Этот критерий характеризует процессы диффузии.

Критерий, определяющий влияние высоты свободного пространства над поверхностью расплава в тигле данной площади, был назван коэффициентом свободного пространства

$$K_{св} = \frac{S}{h_{св}} \qquad (2)$$

где S- площадь поперечного сечения тигля (см$^2$)

$h_{сл}$- высота свободного пространства над расплавом внутри тигля (см)

$K_{сл}$- коэффициент свободного пространства (см).

Этот критерий характеризует процессы конвекции внутри тигля над расплавом. Отношение этих двух критериев характеризует процесс сплавления и было названо коэффициентом сплавления:

$$K_{спл} = \frac{K_{сл}}{K_{св}} = \frac{h_{св}}{h_{сл}} \qquad (3)$$

Коэффициент свободного пространства дает возможность разграничить длинные тигли от коротких тиглей, в которых конвективные процессы способствуют в большей степени улетучиванию вещества из поверхности расплава.

Кроме процессом диффузии и конвекции, на испарение вещества в процессе плавки оказывает

влияние давление паров компонентов сплава и самого соединения. Поэтому при получении различных сплавов значения критериев «коэффициент слитка» и «коэффициент свободного пространства» будут отличаться и разграничение «длинных» и «коротких» тиглей для каждого сплава проводится отдельно.

Так, для сплава $Bi_2Te_3$-$Bi_2Se_3$ имеет место следующее разграничение. Если отношение площади тигли к его высоте $\frac{S_T}{H_T} > 0{,}2$ см, то такой тигель независимо от количества сплавляемой в нем шихты относится к категории «коротких». Для сплава $Bi_2Te_3$-$Sb_2Te_3$ короткий тигель будет соответствовать значению $\frac{S_T}{H_T} > 0{,}314$ см. Если значения этих отношений меньше 0,2 см или 0,314 см, от такой тигель в зависимости от количества загружаемой в него шихты (высоты слитка) может быть отнесен к разряду длинных или коротких по коэффициенту свободного пространства:

Длинный тигель не имеет ограничение по высоте, поэтому $К_{св}$ может иметь любое значение меньше 0,2 см или 0,314 см. в коротком тигле можно получать вещества с необходимыми свойствами, если высота свободного пространства над сплавом на меньше определенной величины: этот предел характеризуется для сплава $Bi_2Te_3$-$Bi_2Se_3$: $K_{св} \leq 1{,}45$ см, а для сплава $Bi_2Te_3$-$Sb_2Te_3$: $K_{св} \leq 1{,}53$ см.(Таблица 1) Процессы сплавления в коротких и длинных открытых тиглях отличаются. Эти вопросы рассматривается отдельно.

Таблица 1

| Сплав | Длинный тигель | Короткий тигель |
|---|---|---|
| $Bi_2Te_3$-$Bi_2Se_3$ | $K_{св} \leq 0{,}2$ см | 1,45см, $K_{св} \geq 0{,}2$ см |
| $Bi_2Te_3$- $Sb_2Te_3$ | $K_{св} \leq 0{,}314$ см | 1,53 см, $K_{св} \geq 0{,}314$ см |

Данной статье рассматривается получение сплавов в «длинных» тиглях разных диаметров. Как известно, невозможно получить сплавы с необходимыми характеристиками в открытых тиглях больших диаметров, так как вследствие большой площади поверхности расплава количество потерь сплава за счет испарения столь значительно, что не дает возможности получить полупроводниковые сплавы со строго определенными характеристиками. Это наглядно можно проиллюстрировать на следующем примере.

Сплавы в количестве 20 г были приготовлены в открытых кварцевых тиглях различных диаметров. Площадь зеркала испарения сплавов была соответственно 0,785 см$^2$; 2,01 см$^2$ и 3,14 см$^2$. В таблице 2 приведены результаты этих экспериментов влияние площади зеркала испарения на термоэлектрическиесвойства слитка и количества потерь

Таблица 2

| Состав вес % | Площадь испарения S см$^2$ | Удельная электропроводимость $\sigma$, см$^{-1}$.см$^{-1}$ | Коэффициент термоЭДС $\alpha$, мкв/град. | Вес шихты Рч | Процент потерь М % |
|---|---|---|---|---|---|
| Bi-54,1678<br>Te-39,6924<br>Se-6,1398 | 0,785<br>2,01<br>3,14 | 170<br>100<br>70 | -140<br>+240<br>+90 | 20<br>20<br>20 | 0,13<br>0,20<br>0,24 |

Из таблицы 2 видно, с увеличением площади тигля при постоянном количестве шихты изменяется электропроводность и коэффициент термоЭДС. Удельная электропроводность уменьшается, а коэффициент термоЭДС меняет знак, в результате чего полупроводник приобретает дырочную проводимость. Таким образом, полупроводниковый сплав электронной проводимости получается только в тигле диаметром в 1,0 см. При проведения плавок в открытых тиглях потери вещества за счет испарения настолько велики, что термоэлектрические свойства материалов

получаются совершение неудовлетворительными. Поэтому при проведении плавок в открытых тиглях для компенсации потерь вводятся (соответственно поперечному сечению тигля) сверх того избытка халькогена, который вводится для корректирования свойств основы.

а) Получение основы, пригодной для легирования за счет введения в шихту сверхстехиометрического теллура.

Здесь и после плавки проводились в кварцевых тиглях (пробирках) следующих диаметров 1,0 см (S= 0,785 см$^2$), 1,6 см (S= 2,01 см$^2$) и 2,0 см (S= 3,14 см$^2$). В тиглях диаметром 1,0 см сплавляли 10 г шихты, а в тиглях диаметром 1,6 см и 2,0 см сплавляли 20 г шихты.

Результаты этих исследований приведены на рис.1,2,3. В тигле диаметром 1,0 см с увеличением количества введенного в шихту избыточного теллура коэффициент термоЭДС сначала растет, достигая максимума при концентрации 0,08% вес избытка теллура, а при дальнейшем увеличением избытка теллура вплоть до 0,6% вес коэффициент термоЭДС падает. Однако в указанном интервале концентраций для тиглей диаметром не более 1,0 см знак термоЭДС не меняется, свидетельствуя о том, что в этой область все сплавы характеризуются электронной проводимостью. Вместе с тем процент потер при увеличении избытка водимого теллура также увеличивается поперечного сечения 2,01 см$^2$. Здесь вплоть до избытка теллура 0,1% вес сплавы вообще имеют дырочную проводимость, и только при введения в шихту избытка теллура более 0,1% вес термоЭДС меняет свой знак на отрицательный, и полупроводник приобретает электронную проводимость. Максимальная величина отрицательной термоЭДС наступает в этом случае при введении в шихту избытка теллура в количестве 0,25% вес, достигая значения -262 мкВ/град. Процент потерь с увеличением избытка теллура растет. Начиная с концентрации 0,6% вес, и выше изменение коэффициента термо ЭДС и удельной электропроводность замедлятся. На рис.1.приведена результаты влияние избытка теллура на изменения термоэлектрических свойств основы $Bi_2Te_3$- $Bi_2Se_3$ синтезированной в кварцевом тигле без затвора площадью S= 0,785 см$^2$.

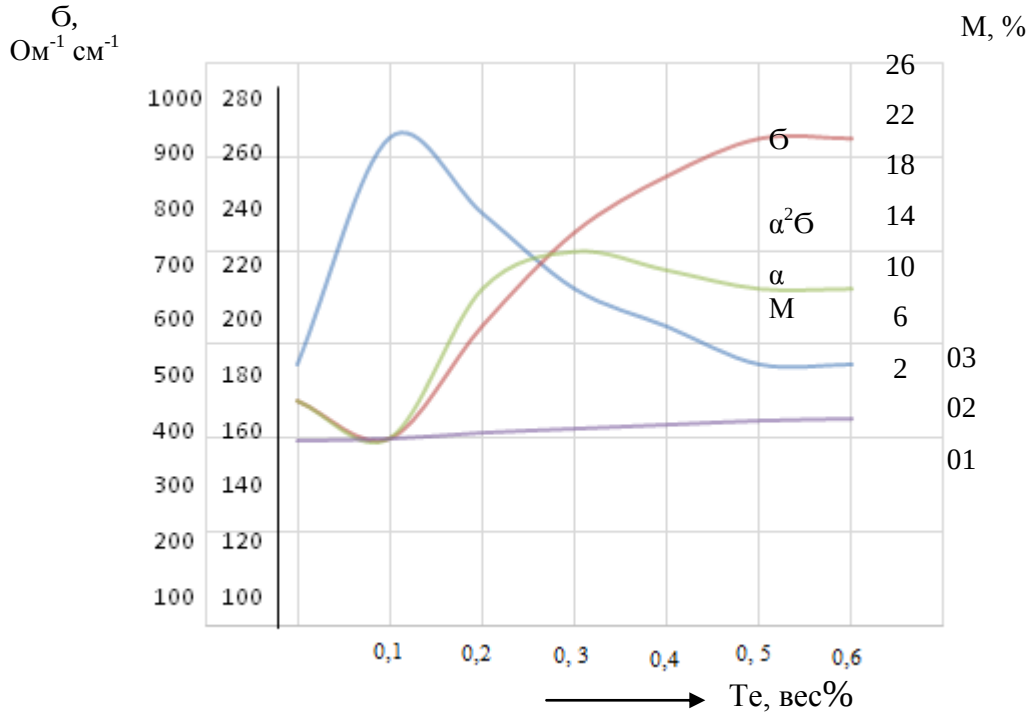



Рис. 1. Влияние избытка теллура на изменения термоэлектрических свойств основы $Bi_2Te_3$-$Bi_2Se_3$ синтезированной в кварцевом тигле без затвора площадью S= 0,785 см$^2$

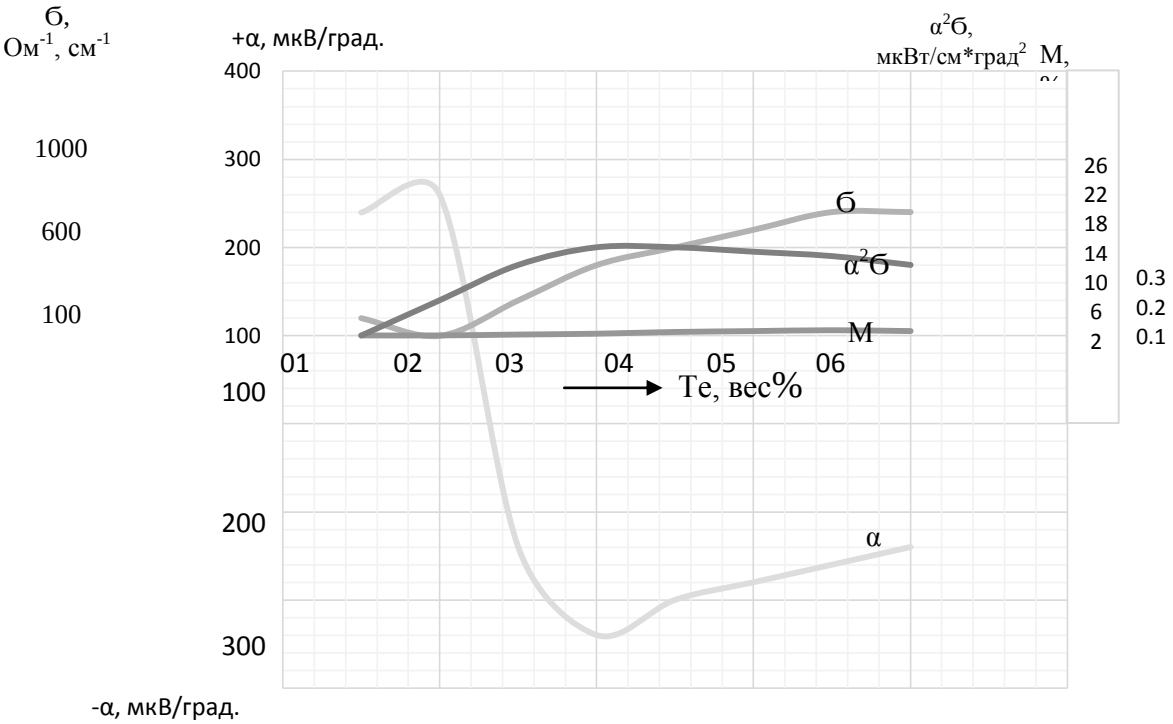



Рис.2. Влияние избытка теллура на изменение термоэлектрических свойств основы $Bi_2Te_3$-$Bi_2Se_3$,синтезированной в кварцевом тигле без затвора площадью S=2,01 см$^2$

На рис.2 приведены опыты с тиглями большего диаметра 1,6 см (площадь S=2,01 см$^2$).

Сравнивая результаты, полученные при сплавлении шихты в тиглях разных диаметром, можно указать на то что количество потери за счет испарения в процессе плавки увеличивается линейно с увеличением избытка теллура, вводимого в шихту. При этом скорость увеличения процента потерь, определяемая тангенсом угла наклона прямой потерь и абсциссой количества избытка теллура, увеличивается с увеличением площади тигля.

Из приведенных графиков также следует, что при указанных количествах сплавляемой шихты основа, пригодная для легирования, в тигле диаметром 1,0 см (площадь сечения тигля 0,785 см$^2$) получается при введении избытка теллура 0,25% вес, в тигле диаметром 1,6 см (площадь сечения 2,01 см$^2$) при введение 0,4% вес, избытка теллура, а в тигле диаметром 2,0 см (площадь сечения 3,14 см$^2$) основа, пригодная для легирования, получается при ведении в шихту 0,675% избытка теллура. Термоэлектрические свойства такой основы, следующие: $\sigma$ = 580 см$^{-1}$.см$^{-1}$, $\alpha$ = 200 мкВ/град.

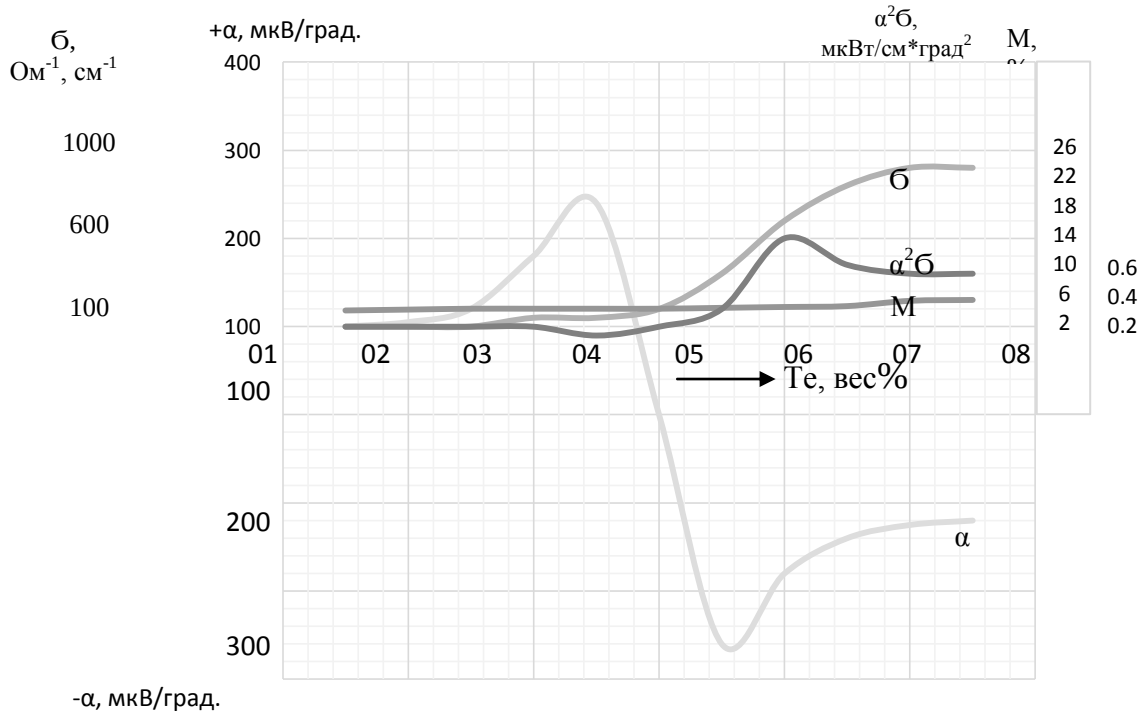



Рис.3. Влияние избытка теллура на изменение термоэлектрических свойств основы

**Выводы:** Разработана технология получения термоэлектрических материалов под давлением инертного газа в длинном открытом кварцевом тигле. Из приведенных экспериментов следует, что при указанных количествах сплавляемой шихты основа, пригодная для легирования, в тигле диаметром 1,0 см (площадь сечения тигля 0,785 см$^2$) получается при введении избытка теллура 0,25% вес, в тигле диаметром 1,6 см (площадь сечения 2,01 см$^2$) при введение 0,4% вес, избытка теллура, а в тигле диаметром 2,0 см (площадь сечения 3,14 см$^2$) основа, пригодная для легирования, получается при ведении в шихту 0,675% избытка теллура. Термоэлектрические свойства такой основы, следующие: $\sigma$ = 580 см$^{-1}$.см$^{-1}$, $\alpha$ = 200 мкВ/град.

**Библиографический список:**

1. Лайнер Д.И. и др. Термоэлектрические свойства полупроводников. - М: АН.России, 1963.

2.Набиев МБ. Усмонов Я., Атакулов Ш.Б., Онаркулов К.Э. Легирующая добавка для термоэлектрического материала п-типа тройного сплава $B1_2Te_3$- $B1_23e_3$.-Вестник ФерГУ, 2012, вып. № 2.

**Веретенников Валентин Николаевич**
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

**Veretennikov Valentin Nikolaevich**
Russian state hydrometeorological University

УДК 519.63

# РЕШЕНИЕ РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОГОНКИ (ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ)

# SOLUTION OF THE DIFFERENCE EQUATION BY DIFFERENTIAL RUN (COMPUTATIONAL EXPERIMENTS)

**Аннотация:** Рассматривается метод дифференциальной прогонки численного решения краевой задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка методом сеток. Проводятся вычислительные эксперименты при решении задачи Коши разными методами (Эйлера, Эйлера-Коши, Рунге-Кутта). При практической оценке погрешности найденного решения используется двойной пересчет и правило Рунге.

**Abstract:** The method of differential sweep the numerical solution of the boundary value problem for ordinary differential equations of the second order by the grid method. Conducted computing experiments for solving the Cauchy problem by different methods (Euler, Euler-Cauchy, and the Runge-Kutta). In a practical estimate of the error of the solution found using the double counting and generally Runge.

**Ключевые слова:** краевая задача, метод сеток, задача Коши, вычислительная схема, дифференциальная прогонка, прямая прогонка, обратная прогонка, вычислительный эксперимент, равномерная сетка, двойной пересчет, правило Рунге.

**Keywords:** boundary value problem, the grid method, Cauchy problem, a computational scheme, differential sweep, straight sweep, reverse sweep, computing experiment, uniform grid, double-counting rule Runge.

Введение. Краевые задачи часто возникают при изучении гидрометеорологических процессов и явлений (иногда в результате разделения переменных в уравнениях с частными производными

Цели и задачи. Овладение практическими навыками численного решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений методом сеток. Закрепление теоретических знаний в области численных методов. Проведение вычислительных экспериментов по решению краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Закрепление навыков программирования и использование графических средств визуализации.

Описание метода решения. Рассмотрим метод сеток в применении к обыкновенному дифференциальному уравнению [1]

$$p(x)y'' + q(x)y' + r(x)y = f(x) \quad a \le x \le b \tag{1}$$

Коэффициенты $p(x), q(x), r(x)$ и правая часть $f(x)$ считаются непрерывными на отрезке $[a; b]$, функция $p(x)$ положительной. Для уравнения (1) рассмотрим третью краевую задачу

$$\alpha_0 y(a) + \beta_0 y'(a) = \gamma_0,\ \alpha_1 y(b) + \beta_1 y'(b) = \gamma_1, \tag{2}$$

$$|\alpha_0| + |\beta_0| > 0, |\alpha_1| + |\beta_1| > 0, \tag{3}$$

где $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ – заданные постоянные.

Вопросы существования и единственности функции $y(x)$ рассматриваются в курсе дифференциальных уравнений. Будем предполагать, что $y(x)$ существует, единственна и существуют производные от $y(x)$ достаточно высокого порядка.

В методе дифференциальной прогонки задача Коши решается не для исходного уравнения (1), а для некоторых других дифференциальных уравнений (меньшего порядка).

Положим

$$y'(x) = y_1(x) \cdot y(x) + y_2(x), a \le x \le b. \quad (4)$$

Так как

$$y'' = y_1' y + y_1^2 y + y_1 y_2 + y_2',$$

то подстановка выражений для $y'$ и $y''$ в уравнение (1) приводит его к виду

$$p(y'y + y_1^2 y + y_1 y_2 + y_2') + q(y_1 y + y_2) + ry = f$$

или

$$y(py_1' + y_1^2 + qy_1 + r) + py_1 y_2 + py_2' + qy_2 = f. \quad (5)$$

В качестве $y_1$ выберем функцию, обращенную в нуль сумму в скобках, т.е. функцию, удовлетворяющую уравнению

$$py_1' + y_1^2 + qy_1 + r = 0. \quad (6)$$

С учетом (6) уравнение (5) принимает вид

$$py_1 y_2 + py_2' + qy_2 = f. \quad (7)$$

Из условий (2) при $\beta_0 \neq 0$ имеем

$$\alpha_0 y(a)/\beta_0 + y'(a) = \gamma_0/\beta_0,$$

а из (4) при $x = a$

$$y_1(a)y(a) - y'(a) = -y_2(a),$$

откуда

$$y_1(a) = -\alpha_0/\beta_0,\ y_2(a) = \gamma_0/\beta_0. \quad (8)$$

Итак, при $\beta_0 \neq 0$ вычислительная схема метода дифференциальной прогонки для задачи (1) - (3) может быть следующей:

1) Решаем задачи Коши:

$$y_1' = -(y_1(y_1 + q) + r)/p,\ y_1(a) = -\alpha_0/\beta_0, \quad (9)$$

$$y_2' = f/p - y_2(y_1 + q/p),\ y_2(a) = \gamma_0/\beta_0 \quad (10)$$

относительно $y_1(x)$ и $y_2(x)$ для $x \in [a; b]$;

2) используя значения $y_1(x), y_2(x)$, находим $y(x)$ как решение задачи Коши:

$$\begin{aligned} &y'(x) = y_1(x)y(x) + y_2(x), a \le x \le b, \\ &y(b) = (\gamma_1 - \beta_1 y_2(b))/(\alpha_1 + \beta_1 y_1(b)). \end{aligned} \quad (11)$$

Решение задач (9) и (10) называют прямой прогонкой, а вычисление $y(x)$ как решение задачи (11) – обратной прогонкой.

При $\beta_0 = 0$ можно положить

$$y = y_1 y' + y_2. \quad (12)$$

Тогда, если $\alpha_0 \neq 0$, то прямая прогонка состоит в решении задач Коши:

$$\begin{aligned} &y_1' = 1 + y_1(q + ry_1)/p,\ a \le x \le b, \\ &y_1(a) = -\beta_0/\alpha_0; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} &y_2' = y_1(ry_2 - f)/p, a \le x \le b, \\ &y_2(a) = \gamma_0/\alpha_0. \end{aligned} \quad (14)$$

После вычисления $y_1(x)$ и $y_2(x)$ находят $y(x)$ как решение задачи Коши:

$$y(x) = y_1(x)y'(x) + y_2(x),\ a \le x \le b,$$
$$y(b) = \left(\gamma_1 y_1(b) + \beta_1 y_2(b)\right)/\left(\beta_1 + \alpha_1 y_1(b)\right). \qquad (15)$$

Если выполняются условия $\alpha_0\beta_0 \le 0,\ \alpha_1\beta_1 \ge 0,\ q(x) \le 0,\ x \in [a;b]$, то метод дифференциальной прогонки будет устойчив к погрешностям вычислений.

Описанный алгоритм реализован в виде программы на Турбо-Паскале, предназначенной для решения краевой задачи (1) – (3) для линейного дифференциального уравнения второго порядка.

*Входные параметры*: $a; b -$ значения левого и правого концов отрезка $[a; b]$;
$a0, b0, g0$ – константы, входящие в граничные условия на левом конце отрезка $[a; b]$;
$a1, b1, g1$ – константы, входящие в граничные условия на правом конце отрезка $[a; b]$;
$Px, Qx, Rx, Fx -$ имя функций, вычисляющих значения функций $p(x), q(x), r(x)$, $f(x)$;
$n -$ число частей, на которое делится отрезок $[a; b]$ узлами сетки;
$Lp, Kp$ – рабочие массивы, размерности $n + 1$ каждый;
$Yi$ – двумерный рабочий массив, размерности $(n + 1) \times 3$;
EULER, EK, RK – процедуры решения задач Коши соответственно по формулам Эйлера, Эйлера-Коши и Рунге-Кутта на прямом ходе и $EL1, EK1 -$ процедуры решения задачи Коши по формулам Эйлера и Эйлера-Коши на обратном ходе.

*Выходные параметры*: $Y -$ массив из $n + 1$ чисел, содержащий вычисленное приближенное значение решения $y(x)$ задачи (1) – (3) в узлах сетки.

Перед обращением к программе необходимо:

1) составить функции (FUNCTION) Px, Qx, Rx, Fx вычисления коэффициентов уравнения $p(x), q(x), r(x), f(x)$;
2) присвоить фактические значения параметрам $a, b, a0, b0, g0, a1, b1, g1, n$.
3) Выбрать метод (Эйлера, Эйлера-Коши или Рунге-Кутта), который будет использован при решении задач Коши.

Результаты вычислений задач, рассмотренных в примерах 1-3, методом дифференциальной прогонки приведены соответственно в таблицах1-4.

Численное решение задачи состоит в нахождении приближенных значений $y_0, y_1, \cdots, y_n$ искомого решения $y(x)$ в точках $x_0, x_1, \cdots, x_n$.

Введём равномерную сетку точек $x_k = x_0 + kh, h = (b - a)/h$ и обозначим

$$p(x_k) = p_k,\ q(x_k) = q_k,\ r(x_k) = r_k,\ f(x_k) = f_k,\ y(x_k) = y_k.$$

Пример 1. Найти решение краевой задачи

$$x^2 y'' - 3xy' + 4y = 0.5x^3, 1 \le x \le 4,$$
$$y(1) = 0.5, \quad y(4) = 0.$$

*Решение*. Здесь $p(x) = x^2,\ q(x) = -3x,\ r(x) = 4,\ f(x) = 0.5x^3$,

$$\alpha_0 = 1,\ \beta_0 = 0,\ \gamma_0 = 0.5,\ \alpha_1 = 1,\ \beta_1 = 0,\ \gamma_1 = 0.$$

В результате вычислений по программе получены следующие результаты, записанные в таблице 1 (для обратного хода использован метод Эйлера). В этой же таблице приводятся для сравнения значения точного решения данной задачи.

Таблица 1

| $k$ | $x_k$ | Методы | | | $y(x_k)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Эйлера | Эйлера-Коши | Рунге-Кутта | |
| | | $y_k$ | $y_k$ | $y_k$ | |
| 0 | 1.0 | 0.5389 | 0.5414 | 0.5415 | 0.5000 |
| 1 | 1.3 | 0.5015 | 0.5020 | 0.5020 | 0.4588 |
| 2 | 1.6 | 0.3113 | 0.3053 | 0.3053 | 0.3121 |
| 3 | 1.9 | 0.0214 | 0.0072 | 0.0072 | 0.0866 |
| 4 | 2.2 | -0.3160 | -0.3384 | -0.3384 | -0.1815 |
| 5 | 2.5 | -0.6449 | -0.6741 | -0.6741 | -0.4496 |
| 6 | 2.8 | -0.9060 | -0.9392 | -0.9392 | -0.6697 |
| 7 | 3.1 | -1.0372 | -1.0706 | -1.0706 | -0.7906 |
| 8 | 3.4 | -0.9742 | -1.0028 | -1.0028 | -0.7576 |
| 9 | 3.7 | -0.6509 | -0.6687 | -0.6688 | -0.5137 |
| 10 | 4.0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Пример 2. Найти приближенное решение краевой задачи

$$y'' - 2xy' - 2y = -4x,\ 0 \le x \le 1,$$
$$y(0) - y'(0) = 0,\ y(1) = 1 + e$$

на равномерной сетке.

*Решение*. Здесь $p(x) = 1,\ q(x) = -2x,\ r(x) = -2,\ f(x) = -4x$,

$$\alpha_0 = 1,\ \beta_0 = -1,\ \gamma_0 = 0,\ \alpha_1 = 1,\ \beta_1 = 0,\ \gamma_1 = 1 + e.$$

В результате вычислений по программе получены следующие результаты, записанные в таблице 2 (для обратного хода использован метод Эйлера-Коши). В этой же таблице приводятся для сравнения значения точного решения данной задачи.

Таблица 2

| $k$ | $x_k$ | Методы | | | $y(x_k)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Эйлера | Эйлера-Коши | Рунге-Кутта | |
| | | $y_k$ | $y_k$ | $y_k$ | |
| 0 | 0.0 | 1.0028 | 1.0054 | 1.0054 | 1.0000 |
| 1 | 0.1 | 1.1127 | 1.1156 | 1.1156 | 1.1100 |
| 2 | 0.2 | 1.2436 | 1.2465 | 1.2465 | 1.2408 |
| 3 | 0.3 | 1.3972 | 1.4001 | 1.4001 | 1.3942 |
| 4 | 0.4 | 1.5769 | 1.5797 | 1.5797 | 1.5735 |
| 5 | 0.5 | 1.7878 | 1.7904 | 1.7904 | 1.7840 |
| 6 | 0.6 | 2.0375 | 2.0398 | 2.0398 | 2.0333 |
| 7 | 0.7 | 2.3367 | 2.3387 | 2.3387 | 2.3323 |
| 8 | 0.8 | 2.7006 | 2.7021 | 2.7021 | 2.6965 |
| 9 | 0.9 | 3.1509 | 3.1517 | 3.1517 | 3.1479 |
| 10 | 1.0 | 3.7183 | 3.7183 | 3.7183 | 3.7183 |

Пример 3. Найти приближенное решение краевой задачи

$$y'' + e^x y' + xy/2 = x^2,\ 0.1 \le x \le 1.1,$$
$$y(0.1) - 1.2y'(0.1) = 0,\ 2y(1.1) - 2.5y'(1.1) = -4$$

на равномерной сетке.

*Решение*. Здесь $p(x) = 1,\ q(x) = e^x,\ r(x) = x/2,\ f(x) = x^2$,

$$\alpha_0 = 1, \beta_0 = -1.2, \gamma_0 = 0, \alpha_1 = 2, \beta_1 = -2.5, \gamma_1 = -4.$$

В результате вычислений по программе получены следующие результаты, записанные в таблице 3 (для обратного хода использован метод Эйлера).

Таблица 3

| $k$ | $x_k$ | Методы | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Эйлера | Эйлера-Коши | Рунге-Кутта |
| | | $y_k$ | $y_k$ | $y_k$ |
| 0 | 0.1 | -1.2982 | -1.2981 | -1.2981 |
| 1 | 0.2 | -1.3927 | -1.3927 | -1.3927 |
| 2 | 0.3 | -1.4729 | -1.4733 | -1.4733 |
| 3 | 0.4 | -1.5385 | -1.5392 | -1.5392 |
| 4 | 0.5 | -1.5891 | -1.5901 | -1.5901 |
| 5 | 0.6 | -1.6245 | -1.6258 | -1.6258 |
| 6 | 0.7 | -1.6449 | -1.6465 | -1.6465 |
| 7 | 0.8 | -1.6506 | -1.6524 | -1.6524 |
| 8 | 0.9 | -1.6423 | -1.6444 | -1.6443 |
| 9 | 1.0 | -1.6210 | -1.6233 | -1.6233 |
| 10 | 1.1 | -1.5888 | -1.5905 | -1.5905 |

При практической оценке погрешности найденного решения обычно используют двойной пересчет и правило Рунге [2]. В таблице 4 приведены приближенные оценки погрешности значений$y_k^{(i)}$ по правилу Рунге в каждом узле, полученные с шагами $h = 0.1$ и $h/2$ соответственно.

Таблица 4

| $k$ | $x_k$ | Погрешность методов | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Эйлера | Эйлера-Коши | Рунге-Кутта |
| | | $\varepsilon_k$ | $\varepsilon_k$ | $\varepsilon_k$ |
| 0 | 0.1 | 0.0096 | 0.0096 | 0.0096 |
| 1 | 0.2 | 0.0091 | 0.0092 | 0.0091 |
| 2 | 0.3 | 0.0085 | 0.0085 | 0.0085 |
| 3 | 0.4 | 0.0074 | 0.0076 | 0.0076 |
| 4 | 0.5 | 0.0063 | 0.0066 | 0.0066 |
| 5 | 0.6 | 0.0051 | 0.0055 | 0.0055 |
| 6 | 0.7 | 0.0039 | 0.0043 | 0.0043 |
| 7 | 0.8 | 0.0027 | 0.0031 | 0.0031 |
| 8 | 0.9 | 0.0015 | 0.0020 | 0.0020 |
| 9 | 1.0 | 0.0004 | 0.0010 | 0.0010 |
| 10 | 1.1 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 |

В таблице 5 приведены результате вычислений полученные, когда для обратного хода использован метод Эйлера-Коши.

Таблица 5

| $k$ | $x_k$ | Методы | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Эйлера | Эйлера-Коши | Рунге-Кутта |
| | | $y_k$ | $y_k$ | $y_k$ |
| 0 | 0.1 | -1.2403 | -1.2404 | -1.2403 |
| 1 | 0.2 | -1.3376 | -1.3378 | -1.3377 |
| 2 | 0.3 | -1.4219 | -1.4223 | -1.4223 |
| 3 | 0.4 | -1.4927 | -1.4933 | -1.4933 |
| 4 | 0.5 | -1.5492 | -1.5502 | -1.5502 |
| 5 | 0.6 | -1.5913 | -1.5925 | -1.5952 |
| 6 | 0.7 | -1.6186 | -1.6202 | -1.6201 |
| 7 | 0.8 | -1.6314 | -1.6332 | -1.6332 |
| 8 | 0.9 | -1.6300 | -1.6320 | -1.6320 |
| 9 | 1.0 | -1.6152 | -1.6174 | -1.6174 |
| 10 | 1.1 | -1.5888 | -1.5905 | -1.5905 |

В таблице 6 приведены приближенные оценки погрешности значений $y_k^{(i)}$ по правилу Рунге в каждом узле, полученные с шагами $h = 0.1$ и $h/2$ соответственно (для обратного хода использован метод Эйлера-Коши).

Таблица 6

| $k$ | $x_k$ | Погрешность методов | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Эйлера | Эйлера-Коши | Рунге-Кутта |
| | | $\varepsilon_k$ | $\varepsilon_k$ | $\varepsilon_k$ |
| 0 | 0.1 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0000 |
| 1 | 0.2 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 |
| 2 | 0.3 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 |
| 3 | 0.4 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 |
| 4 | 0.5 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 |
| 5 | 0.6 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 |
| 6 | 0.7 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0000 |
| 7 | 0.8 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0000 |
| 8 | 0.9 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0000 |
| 9 | 1.0 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 1.1 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 |

Анализ результатов вычислительного эксперимента позволяет сделать выводы и об аппроксимационных свойствах схемы и о выборе сеточной области для различных методов решения задачи Коши.

Внимательному и мыслящему читателю советуем сравнить результаты вычислительных экспериментов с методом ортогональной прогонки [2

**Библиографический список:**

1. Крылов В.Н., Бобков В.В., Монастырный П.И. Вычислительные методы, том II. – М.: Наука. 1977. – 400 с.

2. Веретенников В.Н, Большаков В.А. Вычислительный эксперимент при решении разностного уравнения методом ортогональной прогонки. ТНЖ Точная наука № - Кемерово. - 2019

**Ортиков Ойбек Акбаралиевич**
**Ortikov Oybek Akbaralievich**
к.т.н
**Абдурахимова Фазилат Абдуллаевна**
**Abdurakhimova Fazilat Abdullaevna**
к.т.н., ст.преп.
**Халилова Хавохон Элшодовна**
**Xalilova Xavoxon Elshodovna**
ст.преп.
Преподователи Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности на кафедра «Инженерная и компьютерная графика»
направление «Точная наука»

УДК 004.92

# ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ ТРЁХМЕРНОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТОВ

# TRAINING OF STUDENTS IN THREE-DIMENSIONAL TECHNICAL MODELING OF ELECTRONIC MODELS OF SUBJECTS

**Аннотация**:Статья написана о приемуществе трёхмерного моделирования , где мы можем видеть полностью устройсво детали в трёхмерном пространстве и также имеем информацию о её внутреннем устройстве.

**Annotation:**The Article is written benefits about three- dimensional modeling, where we can see completely device of the detail in three- dimensional space and also have information on her(its) internal device.

**Ключевая слова:**студент,черчения, инженерная графика, модель

**Keywords:** Student, drawing, engineering graphics, model

В последнее время к выпускникам вузов предъявляются повышенные требования по владению компьютерными программами с графическим редактором – «КОМПАС», «AutoCad» и др. Студенты, освоившие плоское (двухмерное) черчение, часто считают, что трехмерное моделирование – это нечто сложное, требующее больших затрат времени и сил для изучения, а само выполнение твердотельных пространственных объектов значительно сложнее, чем черчение на плоскости. На самом деле все оказывается с точностью наоборот, в чем студенты убеждаются при освоении ими пространственного черчения. Кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» проводится обучение студентов механических и технических специальностей с использованием пространственного моделирования в системе «AutoCAD», что имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами обучения черчению. Как известно, при изучении курса инженерной графики наряду с ручным вычерчиванием чертежей различных типов давно используется и компьютерная графика, в частности система «AutoCAD». Система «AutoCAD» позволяет выполнять как плоские чертежи, так и пространственные, также использование трехмерных моделей в этой системе имеет ряд достоинств, существенно облегчающий процесс обучения. Поэтому после ознакомления студентов с основными возможностями системы AutoCAD, создания ими и оформления плоского чертежа для закрепления основных навыков работы им предлагается выполнить пространственную модель детали в системе «AutoCAD». [1]

Обучение трехмерному проектированию наиболее эффективно начинать с выявления определяющего примитива – тела, к которому удобно добавлять или из которого более короткими ходами можно вычитать материал электронной модели при помощи булевых операций. Определяющим примитивом целесообразно выбрать многогранную призму или тело вращения, в зависимости от технологии изготовления [2].

Пространственная модель всегда выглядит более реалистичной, чем плоская, даже если она и далека от реального объекта. Пространственную модель можно рассмотреть с любой стороны и из любой точки пространства, что позволяет студентам получить более наглядное представление о

детали. Имеется возможность проверить взаимодействие отдельных элементов детали между собой и просмотреть модель изнутри, используя различные разрезы и сечения. Пространственную модель всегда можно преобразовать в плоские виды, которые необходимы для формирования плоского чертежа. Кроме того, программа «AutoCAD» позволяет выполнять аксонометрические проекции с вырезанием части детали для более полного представления о внутреннем устройстве детали. При обучении студентов по такой методике появляется возможность более углубленного изучения трехмерного моделирования, переходя от создания отдельных деталей к сборочным узлам. Очень важно и то, что студенты в трёхмерном моделировании полностью закрепляют проекционное черчение и полностью имееют представление о детали которая изображена на 3D моделировании. На рисунке -1 указывается выполнение задания выполняемое студентами 2-го курса механических специальностей выполненное с помощью трёхмерного моделирования.

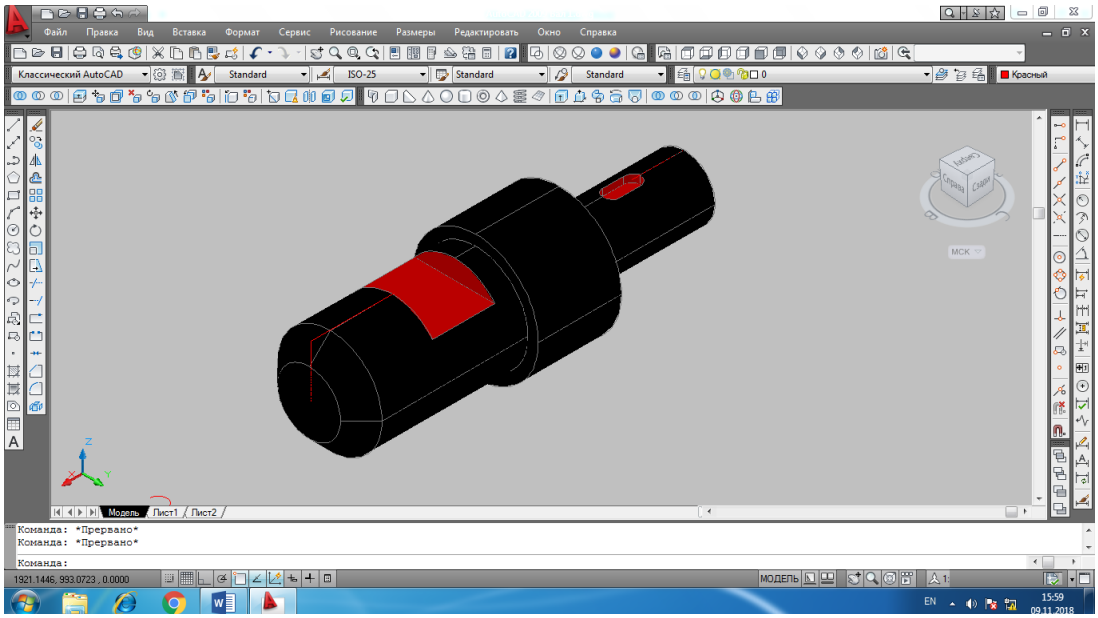



Рисунок -1

В современных условиях освоение графических дисциплин являются важной частью инженерных компетенций выпускников технических вузов. Современные проектировщики должны уверенно владеть ГОСТами, стандартами проектирования, знать нормы разработки и правила оформления проектно-технической документации, владеть методами проектирования и проведения технико-экономических расчетов, иметь навыки проектирования и разработки чертежей. Как показала практика, студенты гораздо быстрее осваивают трехмерное моделирование, при этом экономится время для формирования плоского чертежа и закрепления знаний и навыков по оформлению чертежа в соответствии со стандартами ЕСКД.

**Библиографическая список:**

1. Шабека, Л.С. «Занимательное графическое моделирование на компьютере» 2010.г. – 208 с. Учебное пособие. Минск.

2. Серков С. А. Инновационное образование в области конструирования машин в НИУ «МЭИ» / С. А. Серков // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 августа. – 2015. Часть 1.М.: “АР-Консалт”.-с.77-79.

**Ломашевич Святослав Александрович**
**Lomashevich Svyatoslav Aleksandr**
Начальник Теор. Отдела. К Ф-М Н. Направление - математическая физика.
Исследовательский Центр Харитоново. Калуга 37177. 8-911-736-55-09 .
E – mail: lamasvet@yandex.ru

УДК 530.1

# РАСПАД ФОТОНА. ВРЕМЯ ЖИЗНИ.

# DECOMPOSITION OF THE PHOTON. LIFETIME.

**Аннотация.** Определена нижняя граница существования фотонов по энергии. Рассмотрен процесс распада фотона . Приведена формула времени жизни и доказан процесс перекачки первоначальной энергии фотона в энергию потенциальную, для которой вычислена формула, исходя из энергии обменного взаимодействия для тождественных частиц.

**Summary:** The lower bound for the existence of photons in energy is determined. The photon decay process is considered. The lifetime formula is given and the process of transferring the initial photon energy into potential energy is proved, for which the formula is calculated based on the exchange interaction energy for identical particles.

**Ключевые слова:** бозоны, распад фотона, время жизни фотона, потенциальная энергия фотона.

**Keywords:** bosons, photon decay, photon lifetime, photon potential energy.

## ВРЕМЯ ЖИЗНИ ФОТОНА ДО РАСПАДА.

В предыдущих работах [1] исследован одиночный фотон в вакууме и определены:

- линейная зависимость энергии от времени

$$\varepsilon = \varepsilon_0(1 - \frac{t}{t_1}) \qquad (1)$$

- время жизни фотона

$$t_1 = \frac{h}{\theta} \mathrm{e}^{\frac{h}{\theta} v_o}$$

- статистические параметры : энтропия , свободная энергия [ 1 ] .

Ранее [1] установлено, что модуль распределения $\theta$ , входящий в формулу статистических распределений, традиционно обозначаемый кТ , в сущности представляет некоторую общую энергию в распределениях Ферми и Бозе-Эйнштейна (далее Б-Э) и предположительно является квантом энергии связи в формировании Б-Э статистики бозонов, а также квантом энергии в акте уменьшения энергии фотона:

$$hv_1 = hv_0 - \theta \ , \quad hv_2 = hv_1 - \theta \qquad \text{и т.д.}$$

## НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ПО ЭНЕРГИИ ДЛЯ ФОТОНА.

Рассмотрение энергетического равенства при распаде фотона возможно с предположением (постулированием) потери энергии $\theta$ , которая вычислена в [1] и равна $\theta$ на каждом акте распада.

Константа $\theta$ в статистиках Б-Э и Ферми, которая так же представляет квант энергии при трансформации каждого из фотонов ансамбля $hv_o, hv_1, hv_2$ … в последующий, одновременно $\theta$ является энергией связи при формировании распределения бозонов

К сему, следует добавить следующее: постоянно встречающееся количество из двух констант $\frac{h}{\theta}$ имеет размерность [с] и гипотетически может быть представлено как квант времени, наименьший допускаемый природой интервал времени: $q = \frac{h}{\theta}$ ( это время релаксации $-10^{-12}$с , ).

Итак, фундаментальные представления о квантовании электромагнитного излучения ограничены некоторым порогом , определяемым из формулы времени жизни фотона. Принимая квант времени по величине равным времени релаксации и предположив t = e10^(-12) (

приблизительно ноль времени жизни фотона ) получаем ограничение по частоте излучения порядка $10^{12}$ колебаний в секунду – что близко к фону радиочастотного диапазона, именуемого как микроволновый фон с температурой 2,7 град. Кельвина.

Квантование излучения происходит не во всем диапазоне электромагнитных волн, а только в пространстве частот , ограниченных снизу , указанной величиной , ниже этого значения происходит распространение волн. Уменьшение энергии, при достижении порога завершается исчезновением кванта как частицы и далее энергия существует в виде волн.

Существующее представление о том, что фотон - вечен ( столкновения с другими частицами не рассматриваются ) при движении в абсолютном вакууме - ошибочно, поскольку из формулы ( 1 ) следует его распад в продолжении времени

$$t_1 = \frac{h}{\theta} \mathrm{e}^{\frac{h}{\theta} v_o}$$

зависящим от начальной энергии. Причем, исследован путь перераспределения начальной энергии в энергию потенциального поля.

## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ФОТОННОГО ПОЛЯ.

Рассмотрение энергетического баланса [1] позволяет заключить , что энергия , излучаемая при каждом акте распада фотона , аккумулируется в энергию связи частиц.

При исследовании тождественных частиц со спином равным нулю обнаруживается, что кроме силового возникает коллективное взаимодействие [ 2 ], т. н. квазипотенциальная (далее потенциальная) энергетическая связь, т.ч. для двух частиц-бозонов эта энергия $U(r)$:

$$U(r) = -\frac{1}{\beta} ln(1 + \exp\left(-\frac{2}{R_0^2} r^2\right))$$

где: $R_0^2 = \frac{2\beta h^2}{m}$ , $\beta = \frac{1}{kT}$ ,

т.е. для фотонов в ансамбле трека это равенство с учетом:

$$m = \frac{hv}{c^2}; \quad r = \frac{h}{\theta} c \, , kT = \theta \, , R_0^2 = \frac{2h^2}{\theta m} \, ,$$

($r$-расстояние между вторичными фотонами в t-системе наблюдателя, $\frac{h}{\theta}$ –интервал времени между актами распада) преобразуется в $U(v)$:

$$U(v) = -\theta \ln\left(1 + \exp\left(-\frac{hv}{\theta}\right)\right).$$

в потенциальную энергию Б – Э распределения т.е. с исчезновением фотона энергия переходит полностью в энергию потенциальную , обуславливающую энергию формирования распределения Б-Э ,

Ранее установлено, что модуль распределения $\theta$ , входящий в формулу статистических распределений, традиционно обозначаемый КТ, в сущности представляет некоторую общую энергию в распределениях Ферми и Бозе-Эйнштейна (далее Б-Э) и предположительно является квантом энергии связи в формировании Б-Э статистики бозонов, а также квантом энергии в акте уменьшения энергии фотона:

$$hv_1 = hv_0 - \theta \, , \quad hv_2 = hv_1 - \theta \quad \text{и т.д.}$$

## СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ РАСПАДЕ ФОТОНА

Рассмотрение энергетического равенства при распаде фотона возможно с предположением (постулированием) потери энергии $\theta$ , которая вычислена в [3] и равна $\theta$ на каждом акте распада.

Дифференциал количества бозонов в интервале энергии $(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon)$

$$dn = \frac{(z-1)}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1} = \frac{\frac{d6}{h} - 1}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1}$$

где $d6$ - эл-т объёма фазового пространства $(x, p_x)$:

$$d6 = dx \cdot dp_x$$

Энергия в конце распада фотона при $t = t_1$ $(dE = d\varepsilon dn)$, $p = \frac{hv}{c}$

$$E = d\varepsilon \int_o^x \int_{\varepsilon_o}^o \left(\frac{dx dp_x}{h} - 1\right) \frac{1}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1} =$$

$$= d\varepsilon \int_o^x \int_{\varepsilon_o}^o \left(\frac{dx \cdot d(h\nu)}{c \cdot h} - 1\right) \frac{1}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1} =$$

$$= \int_o^{ct_1} dx \int_{\varepsilon_o}^o \frac{1}{hc} \frac{\varepsilon d\varepsilon}{\left(epx\frac{\varepsilon}{\theta} - 1\right)} - \int_{\varepsilon_o}^o \frac{d\varepsilon}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1} =$$

$$= \frac{ct_1}{hc} \int_{\varepsilon_o}^o \frac{\varepsilon d\varepsilon}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1} - \int_{\varepsilon_o}^o \frac{d\varepsilon}{exp\frac{\varepsilon}{\theta} - 1}$$

Представим окончательный результат (указав, что первый интервал вычисляется по частям с переменной $\frac{\varepsilon}{\theta}$ ), обозначив слагаемые: первый интеграл $E_1$ и второй - $E_2$ . Отметим [3] , что $e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}}$=m – числу актов распада

$$E_1 = \varepsilon_0 + \theta - \theta e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}} \quad ,$$

$$E_2 = -\theta + \theta e^{\frac{\varepsilon_0}{\theta}} = \theta(m-1)$$

Первое значение энергии $E_1$ адекватно описывает процесс перекачки энергии из $h\nu_o$ в потенциальную энергию связи статистики Б-Э:

$$E_1 = \varepsilon_o + \theta - m\theta = h\nu_o - (m-1)\theta \ ,$$

$(m-1)\theta$ - соответствует энергии ”отданной” фотоном при всех $m$ актах распада, которая в точности равна энергии $\varepsilon_0$ (при разложении экспонент в ряд):

$$E_1 = \varepsilon_0 + \theta - \theta\left(1 + \frac{\varepsilon_0}{\theta}\right) = \varepsilon_0 + \theta - \theta - \theta\frac{\varepsilon_0}{\theta} = 0$$

Следует заключить, что с распадом фотона вся энергия переходит в потенциальную энергию связи:

$$h\nu_o \to (m-1)\theta$$

Однако, энергия системы остаётся равной первоначальной энергии $\varepsilon_0$, причём если в $E_1$ величина $(m-1)\theta$ входила с минусом, то в $E_2$ эта величина положительна и равна энергии связи и $\varepsilon_0$.

Окончательно $E = E_1 + E_2 = \varepsilon_0$ , но с исчезновением фотона энергия переходит полностью в энергию потенциальную , обуславливающую энергию формирования распределения Б-Э , что справедливо как для Т-системы [3] трека фотона , так и для системы t-наблюдателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основываясь на фундаментальных законах статистической физики и принципа наименьшего действия получено уравнение распада фотона и его времени жизни, которые гласят: фотон распадается с формированием потенциального поля с энергией равной энергии излучённого фотона.

**Библиографичекий список:**

1. С.А.Ломашевич . Фотон. Уравнение и теория распада. – СПб изд. ‘Культ Информ Пресс’ , 2015. – 76 стр. ISBN 978-5-8392-0553-6. ( Гл. 4 Квантовое уравнение фотона, стр. 36).

2. В.Г.Левич, Ю.А.Вдовин, В.А.Мямлин, Курс Теоретической Физики. Т. 2. Изд. “ НАУКА” , Москва, 1971. ( стр. 263 и 607 ).

.

Научное издание

Коллектив авторов

ISSN 2500-1140

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2019