

ISSN 1694-6634

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ФИЗИКА

ИЛИМИЙ ЖУРНАЛЫ

2012

№2

ФИЗИКА
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель:

Институт физико-технических
проблем и материаловедения
Национальной академии наук
Кыргызской Республики

Журнал зарегистрирован в
Министерстве юстиции
Кыргызской Республики.
Свидетельство о регистрации
№1418 от 13 июня 2008 г.

ISSN 1694-6634

Адрес редакции:

720071, Кыргызская Республика,
г. Бишкек, проспект Чуй, 265-А

Тел.: 64-19-65

Факс: (996-312)431169, 431171

E-mail: merenkova@inbox.ru

ИЛИМИЙ ЖУРНАЛЫ
ФИЗИКА

Редакционная коллегия:

Главный редактор

К.М.Жумалиев-д.т.н., профессор,
академик НАН КР

Зам. Главного редактора

М.М.Кидибаев-д.ф.-м.н., профессор,
член-корреспондент НАН КР

Ответственный секретарь

Л.К.Меренкова-к.ф.-м.н.

Члены редколлегии:

А.Ж.Жайнаков-д.ф.-м.н., профессор
академик НАН КР

А.А.Кутанов-д.ф.-м.н., профессор
академик НАН КР

С.Ж.Токтомышев-д.ф.-м.н., профессор
академик НАН КР

Т.О.Орозобаков-д.ф.-м.н., профессор,
член-корреспондент НАН
КР

С.А.Алымкулов-д.т.н.

К.А.Каримов-д.ф.-м.н., профессор

Т.С.Королева-д.ф.-м.н.

В.П.Макаров-д.ф.-м.н., профессор

Р.М.Урусов-д.ф.-м.н., профессор

В.Н.Фоломеев-д.ф.-м.н.

Н.К.Джаманкызов-к.ф.-м.н.

К.Х.Хайдаров-к.ф.-м.н.

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ В ЦИФРОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Жумалиев К.М. академик НАН КР, **Бекболотов Т.Б.** д.т.н.,
Алымкулов С.А. д.т.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

В данной статье рассмотрены вопросы надежности передачи информации в ВОЛС. Предложенная методика позволяет исследовать взаимосвязь между надежностью передачи информации и параметрами ВОЛС.

PROBABILITY OF ERRORS IN DIGITAL OPTICAL CHANNELS

Jumaliev K.M., Bekbolotov T.B., Alymkulov S.A.

The issues of information transfer reliability in a fiber-optic communication line are considered in the article. With the proposed method it is possible to study interrelation between information transfer and fiber-optic communication line parameters.

Волоконно–оптические линии связи (ВОЛС) произвели революцию в телекоммуникациях, предоставив возможность создавать каналы связи практически с неограниченной пропускной способностью. При создании высокоэффективных оптических сетей на базе ВОЛС особенно актуальными становятся вопросы обеспечения надежности передачи информации. Достоверность передачи информации обусловлена помехоустойчивостью ВОЛС которая зависит от параметров и характеристик информационных оптических сигналов, помех и шумов. Помехоустойчивость ВОЛС практически предопределяет информационные, скоростные и надежности характеристики оптических сетей. Поэтому исследование помехоустойчивости ВОЛС является актуальной задачей.

Помехоустойчивость ВОЛС зависит с одной стороны параметрами и характеристиками информационного оптического излучения, с другой – оптическими шумами и помехами возникающими в различных частях ВОЛС. ВОЛС считается помехоустойчивой, если при воздействии различных помех и шумов допустимого уровня, информация принимается с достаточной достоверностью. Достоверность приема информации зависит от мощности передатчика, чувствительностью приемника, затуханием сигнала на разных длинах волн, от устройств коммутации сигналов др.

Важнейшим параметром ВОЛС по сути определяющим возможность практического применения является потери энергии оптического сигнала (затухание). Потери в ВОЛС связано поглощением энергии оптического сигнала в материале, рассеянием энергии на неоднородностях световолокна, вытеканием энергии через микротрещины в оболочке и др. Потери зависит как от конструктивно-технологического исполнения световодов, так и от длины волны. Итоговые потери сигнала в ВОЛС состоит из следующих компонентов: потери в сопряжении передатчика с волокном; потери в сопряжении волокна с приемником;

общие потери коннекторов; общие потери сращиваний; затухание оптического кабеля и др.

Важнейший параметр оптического волокна с точки зрения передачи информации является дисперсия. Дисперсия – это рассеяние во времени спектральных, модовых и поляризационных составляющих оптического сигнала.

Известны три типа дисперсии:

-межмодовая, которая характерна для многомодового волокна и обусловлена наличием большего числа мод, время распространения которых различно;

-хроматическая, которую подразделяют на материальную и волноводную дисперсии, при этом материальная обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны (ширины спектра излучения), а волноводная зависит от процессов распространения составляющих моды в сердцевине и оболочке, т.е. тоже от ширины спектра моды;

-поляризационная модовая дисперсия возникает вследствие различной скорости распространения двух взаимно перпендикулярных поляризационных составляющих одной моды.

Совокупная дисперсия световода определяется соотношением:

$\tau^2 = \tau_{\text{мм}}^2 + (\tau_{\text{м}} + \tau_{\text{с}})^2 + \tau_{\text{пм}}^2$, где $\tau_{\text{мм}}$ - межмодовая; $\tau_{\text{м}}$ - материальная; $\tau_{\text{с}}$ - волноводная; $\tau_{\text{пм}}$ - поляризационная.

Хроматическая дисперсия зависит от ширины спектра излучения

$$\tau_x = \tau_{\text{удм}} \cdot \Delta\lambda + \tau_{\text{удс}} \cdot \Delta\lambda,$$

где Δ -ширина спектра источника излучения; $\tau_{\text{удм}}$ и $\tau_{\text{удс}}$ (удельная нормированная) величина, измеряемая $\left[\frac{\text{нс}}{\text{нм}} \cdot \text{км} \right]$.

Дисперсия ВОЛС можно представить в виде:

$$\tau_{\text{дс}}^2 = \tau_{\text{мм}}^2 + (\tau_{\text{м}} + \tau_{\text{с}})^2 + \tau_{\text{пм}}^2 + \tau_x^2.$$

Дисперсия приводит к искажениям модулированного оптического излучения (сигнала) в первую очередь за счет нарушения исходных фазовых соотношений в его спектре. Так, в многомодовых ВОЛС энергия сигнала переносится рядом мод. Каждая мода в результате особенностей распространения соответствующей ей волны приобретает после прохождения по световоду определенной протяженности свой фазовый сдвиг или свою задержку по времени.

При когерентном суммировании в приемнике составляющих спектра сигнала, имеющих дополнительные фазовые сдвиги, происходит разрушение спектра сигнала и искажение формы сигнала. Если на входе световода оптический импульс имеет прямоугольной формы то, выходного оптического импульса искажается и длительность импульса увеличивается. Увеличение длительности импульса является прямым проявлением всех составляющих дисперсии.

Учитывая выше указанных факторов для оптического сигнала на выходе ВОЛС можно написать следующее математическое выражение для значений входного $V_{\text{вх}}$ и выходного $V_{\text{хвых}}$ оптических сигналов

$$V_{\text{хвых}} = z \cdot V_{\text{вх}} e^{-j\alpha L} e^{-j2kn \frac{\beta}{\tau_{\text{дс}}^2} \left(t - \frac{x}{\lambda \cdot \sin \gamma} \right)^2},$$

где α – коэффициент затухания; β – коэффициент аппроксимации; n – показатель преломления света световолокна; γ – угол преломления светового луча; λ – длина волны; k – постоянная распространения световой волны; z – коэффициент отражения торцевой поверхности световолокна; x – произвольная координата точки по длине световолокна, для которой определяется значения оптического сигнала. Непосредственная передача цифровых сигналов в оптических линиях, как правило, происходит с использованием преобразователей или конверторов линейных сигналов, в которых на передаче формируется линейный сигнал в подходящем коде.

Для передачи сигналов в оптических линиях почти исключительно применяются двухуровневые линейные коды т.к. передавать отрицательную оптическую мощность невозможно, а использование многоуровневой модуляции яркости потребует существенного усложнения схемы приемника. Передача сигналов в сети доступа в основном производится в виде двоичных элементов 1 и 0. Примеры этих кодов для оптической передачи информации:

-код с инверсией символов (Coded Mark Inversion, CMI),

-блочный код $mBnB$, где m двоичных символов замещаются группой n двоичных символов, причем $n > m$. В противоположность им в относительных кодах использование того или иного символа зависит от передачи предыдущего. Как абсолютные, так и относительные коды разделяются на коды NRZ (no return to zero) и RZ (return to zero). Примером кода NRZ служит уже рассмотренный абсолютный код, образованный сигналами с пассивной паузой. В кодах RZ каждый кодовый символ – посылка, отображающая «1» и «0» начинается и кончается на нулевом уровне (по огибающей). Для выполнения этого условия бинарный сигнал в позиции «1» должен иметь расщепление, т.е. состоять из двух частей, одна из которых является укороченным импульсом, а другая – укороченной паузой. В такой последовательности сигналов слияние «1» в этом случае исключено. Более совершенными с рассматриваемых позиций являются коды CMI и CMSP названные по имени их автора кодами Манчестера. В них бинарные сигналы имеют расщепление. Скремблированный NRZ – код, в котором производится установление паритетного числа двоичных «0» и «1» через процедуры сложения по модулю два информационной и квазислучайной двоичных последовательностей.

Для передачи информации по оптической линии происходит преобразование электрического сигнала в оптический сигнал путем модуляции источника света. Надежность передачи оптических сигналов и помехоустойчивость ВОЛС обусловлены паразитными оптическими шумами, помехами и искажениями информационных оптическими сигналами. Для оценки помехоустойчивости ВОЛС необходимо анализировать основные причины возникновения оптических шумов, помех и искажения информационных оптических сигналов. Оптические шумы – оптические лучи, которые возникают в оптическом канале из-за особенности распространения оптического излучения в среде, несовершенства оптических поверхностей, флуктуации числа фотонов и интенсивности оптического излучения, зернистости оптических материалов, физико-химических процессов, возникающих при взаимодействия оптических лучей с веществами и т.д. Причины оптических шумов трудно устранимы, но они носят регулярный характер, т.е. может быть установлена функциональная связь между оптическим шумом и вызывающей ее причинами. Оптические помехи – оптические лучи, нежелательный световой поток дифрагированный или рассеянный структурными

элементами ВОС, имеющие случайную природу и приводящие к искажению оптических информационных сигналов во время их передачи, преобразования, обработки и хранения.

Особенности шумов и помех в оптических системах передачи информации в том, что они либо генерируются одновременно с информационными оптическими излучениями, либо появляются в процессе распространения оптических сигналов. Часть энергии информационного оптического излучения превращается в энергию оптических шумов и помех. Достоверность передачи информации можно характеризовать следующими параметрами:

- интенсивностью оптических сигналов 1 и 0 - I_1 и I_0 ;
- отношениями сигнал/ помеха: $(C/P)_1 = I_1 / I_p$, $(C/P)_0 = I_0 / I_p$;
- отношениями сигнал/ шум: $(C/S)_1 = I_1 / I_{ш}$, $(C/S)_0 = I_0 / I_{ш}$;
- контрастностью оптических сигналов 1 и 0: $k = I_1 / I_0$.

Для повышения надежности передачи данных в подавляющем большинстве ВОЛС как было показано выше с точки зрения достоверности передачи информации используются цифровые методы. Это связано с тем, что искажения формы бинарных (двоичных) сигналов, возникающие в линии, не приводят к появлению искажений передаваемых сообщений до тех пор, пока правильно распознаются 0 и 1. Это же обстоятельство исключает накопление искажений при многократной регенерации сигналов в протяженных ВОЛС. Чаще всего бинарные сигналы, в случае значительного превышения их уровня над шумами и помехами обеспечивает высокое качество передачи сообщений. Основными характеристиками цифровых ВОЛС, являются скорость передачи и вероятность ошибки при приеме бинарных сигналов. Скорость определяется при технической передаче последовательности периодически чередующихся бинарных сигналов 0 и 1. Информационный поток составляют кодовые комбинации сигналов, соответствующие отсчетам сообщения. Они состоят из импульсов, в том числе и «слипшихся» (одновременно, следующих подряд). Ошибка при передаче данных происходит из-за искажения бинарных сигналов и действия помех и шумов. Искажения формы бинарных сигналов, возникают из-за не идеальных физических параметров линии связи, существующих помех и полосой пропускания ВОЛС. Из-за того, что каналы связи обладают некоторой конечной (а, не бесконечной, как хотелось бы) пропускной способностью, информация по сети передается не мгновенно, а за некоторое конечное время (которое равно, частному от деления объема памяти в битах на пропускную способность ВОЛС). Полоса пропускания многомодового оптического волокна характеризуется

$$\Delta F = \frac{0,44}{\tau},$$

τ – длительность оптического сигнала.

Пропускная способность с одной стороны зависит от параметров физической среды, а другой – определяется способом передачи данных. Искажения низкочастотных и высокочастотных гармоник из-за конечности полосы пропускания приводят к тому, что фронты передаваемых импульсов теряют прямоугольные формы. При когерентном суммировании составляющих спектра сигнала, имеющих дополнительные фазовые сдвиги, происходит разрушение спектра и искажение формы сигнала. Наиболее наглядно это прослеживается на бинарных сигналах. Если передаваемый сигнал, например, гауссовой формы,

имеет по уровню 0,5 длительность, то принятый импульс (без учета искажений в приемнике) растягивается. Порог чувствительности приемника представляет собой минимальную мощность сигнала на входе приемника, при котором он способен корректно распознавать дискретную информацию, содержащуюся в сигнале. Очевидно, что для нормальной работы линии связи необходимо, чтобы минимальная мощность передаваемого сигнала, даже ослабленная затуханием линии связи, превосходила порог чувствительности приемника. Проверка этого условия и является сутью расчета энергетического бюджета ВОЛС. Достоверность передачи данных характеризует вероятностью искажения каждого передаваемого бита данных. Иногда этот показатель называют интенсивностью битовых ошибок.

Вероятность ошибки $P_о$ характеризует вероятность неправильного распознавания бинарного сигнала. Причиной ошибок является существование помех и шумов в ВОЛС. Вероятность ошибки расшифровки полной – разрядной кодовой комбинации (слова) $P_{сл}$ соответствует ситуации искажения передаваемого сигнала хотя бы в одном из разрядов. Определение вероятности правильной передачи битовой информации по ВОЛС является сложной задачей т.к. параметры сигналов 1 и 0, помех и шумов зависят от многих факторов.

Расчет вероятности правильной передачи сигналов 1 и 0 будем вести при следующих допущениях:

-параметры каналов связи статистически независимы;

-параметры сигналов 1 и 0, помех и шумов распределены по нормальному закону.

Справедливость этого допущения основана на том, что на параметры бинарных сигналов 1 и 0, помех и шумов оказывает влияние множество случайных факторов, каждый из которых не является решающим.

Тогда вероятность правильного приема сигнала 1:

$$P_1 = 0,5 + \Phi \left(\frac{V_1 - V_{пор} - V_{ном}}{\sqrt{\mathcal{G}_1^2 + \mathcal{G}_{пор}^2 + \mathcal{G}_{ном}^2}} \right)$$

Вероятность правильного приема надежности сигнала 0

$$P_0 = 0,5 + \Phi \left(\frac{V_0 - V_{пор} - V_{ном} + V_{ном}}{\sqrt{\mathcal{G}_0^2 + \mathcal{G}_{пор}^2 + \mathcal{G}_{ном}^2}} \right)$$

где $\Phi(x)$ – интеграл вероятностей;

$V_1, V_0, V_{пор}, V_{ном}$ – математические ожидания оптических сигналов 1 и 0, порога чувствительности приемника, помех;

$\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_0, \mathcal{G}_{пор}, \mathcal{G}_{ном}$ – средние квадратические отклонения сигналов 1 и 0, порога чувствительности приемника, помех;

Связь между надежностью и скоростью передачи носит противоречивый характер т.е. повышение скорости приводит к уменьшению надежности, наоборот. Увеличение скорости передачи информации сопровождается с возникновением различных помех. Данный подход позволяет исследовать надежности передачи цифровой информации по ВОЛС и установит связь между надежностью передачи информации и параметрами ВОЛС.

Литература

1. А.А. Макаров, Л.А. Чиченков. Основы теории помехоустойчивости

- дискретных сигналов: учебное пособие. – Новосибирск, СибГАТИ, 1997.
2. Четкин С.В. Межсимвольная помеха в оптических системах передачи. МТУСИ - М., 2004.
 3. Прокис Дж. Цифровая связь. - М.: Радио и связь, 2000.
 4. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В. Теория электрической связи. - М.: Радио и связь, 1998
 5. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. - М.: Радио и связь, 1986
 6. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. Случайные процессы. Помехоустойчивая передача дискретной информации. Санкт-Петербург, 2001

УДК 681.396.74

МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Жумалиев К.М. академик НАН КР, **Бекболотов Т.Б.** д.т.н.,
Алымкулов С.А. д.т.н., **Шубович А.Г.** к.т.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской
Республики, г. Бишкек, Кыргызстан

В данной статье рассматриваются модели расчета потерь мощности сигнала с учетом различных условий распространения радиоволн. Для компьютерного моделирования была использована среда графического программирования LABVIEW.

MODELS OF SIGNAL POWER LOSSES CALCULATION IN CELLULAR COMMUNICATION SYSTEMS

Jumaliev K.M., Bekbolotov T.B., Alymkulov S.A., Schubovich A.G.

The models of calculation of signal power losses are considered in the article taking into account different conditions of radio waves propagation. For computer simulation the graphic programming environment LABVIEW was used.

Одной из наиболее сложных проблем при построении сотовых систем связи (ССС) является расчет напряженности поля, или потерь мощности сигнала. Сложность проблемы заключается в том, что ССС эксплуатируются в основном в городах, которые для радиоволн представляют протяженную, неоднородную структуру. Теоретические расчеты поля дециметровых волн, в диапазоне которых работают ССС, весьма затруднены, поскольку приходится одновременно учитывать механизмы отражения, рассеяния и дифракции волн.

Впервые соотношение для расчета напряженности поля УКВ в городе было предложено Джонсом, основой которого являлась формула расчета поля в свободном пространстве, дополненная множителем, учитывающим поглощение в зданиях, представлявшихся в виде эквивалентного поглощающего слоя. Однако наличие в расчетных соотношениях трех до некоторой степени произвольных постоянных существенно затрудняло их применение.

В дальнейшем Б.А. Введенский предложил использовать для расчета поля в городе так называемую квадратичную формулу, добавив к ней множитель ослабления, который определялся из экспериментальных данных и варьировался в диапазоне значений 0,25-1,5. Последующие исследования показали, что реальная зависимость напряженности поля от расстояния в городе не совпадает с той, которую дает квадратичная формула. Кроме того, эта формула не учитывает тип городской застройки и условия размещения антенн.

Интенсивное развитие ССС за последние десятилетия стимулировало интерес к расчетам потерь мощности и привело к появлению нескольких моделей расчета, которые можно разделить на две большие группы: статистические и детерминистские.

Статистические модели базируются на результатах экспериментальных исследований напряженности поля, почему они часто называются экспериментальными моделями.

Модели потерь при распространении радиоволн играют важную роль в разработке сотовых систем для определения ключевых параметров системы, таких как мощность передачи, частота, высота антенны, и так далее. Некоторые модели были предложены для сотовых систем, работающих в различной окружающей среде (внутренней, наружной, городской, пригородной, сельской). Некоторые из этих моделей были получены статистическим методом на основе опытных испытаний, а другие были разработаны аналитическим путём на основе эффектов преломления. В каждой модели используются свои специфические параметры для получения точности предсказаний. В моделях предсказания на больших расстояниях, предназначенных для макросотовых систем, используется высота антенны базовой станции, мобильной станции и частота. С другой стороны, в моделях предсказания на коротких расстояниях для оценки потерь при распространении используется высота зданий, ширина улиц, направление улиц и так далее. Эти модели используются в микросотовых системах. Когда размер соты достаточно маленький (в диапазоне от 10 до 100 м), используются детерминистические модели, основанные на методах трассировки лучей. Таким образом, важно выбрать правильную модель потерь для разработки мобильной системы в заданной окружающей среде.

Требования к зоне покрытия наряду с требованиями к трафику полагаются на модели распространения для определения распределения трафика, часть нагрузки с них снимается со старых сот и переносится на новые соты в ходе программы распределения пропускной способности. Модель распространения помогает определить, где следует разместить соты для оптимальной работы сети. Если модель распространения не помогает эффективному расположению сот в сети, высока вероятность неправильного размещения сот.

На эффективность работы сети влияет выбранная модель распространения, так как она используется для предсказания помех. В таких случаях часто используется модель Окумура-Хата.

В 1968 г. Y.Okumura была предложена эмпирическая модель распространения радиоволн, основанная на результатах измерений, проведенных в нескольких районах г.Токио (Япония). Первоначально модель представляла собой набор кривых распространения для различных частот излучения и типов местности. В 1980 г. M.Hata, исследуя модель Окумуры, аппроксимировал кривые распространения математическим выражением. Это выражение теперь известно

как модель Окумура-Хата. Он отбирал условия распространения данных, получив кривые средних потерь при передаче в плоской городской окружающей среде. Затем он применил некоторые коррекционные факторы для других условий распространения, таких, как:

- Высота антенны и несущая частота
- Пригородное, открытое пространство, или горные районы
- Потери из-за преломления в горах
- Морские или озерные районы
- Уклон дороги

Модель Окумура-Хата широко использовалась в сотовых системах и в Европе, и в Северной Америке. Модель COST 231 рекомендована Европейским институтом стандартов связи (ETSI) для использования персональных системах связи/комплектов персональной связи (PCN/PCS).

В настоящей статье приводится пример использования модели Окумура-Хата расчета потерь радиоволн при различных условиях: городская застройка, сельская и пригородная местность, и открытая местность.

$$L = \begin{cases} A + B \lg R & \text{для городской застройки;} \\ A + B \lg R - C & \text{для сельской и пригородной застройки;} \\ A + B \lg R - D & \text{для открытой местности,} \end{cases} \quad (1)$$

где R – расстояние между антенной базовой станцией и антенной абонентской станции, (км).

$$\begin{aligned} A &= 69,55 + 26,16 \lg f_0 - 13,82 \lg h_{BC} - a(h_{BC}); \\ B &= 44,9 - 6,55 \lg h_{BC} \\ C &= 2 \left[\lg \frac{f_0}{28} \right]^2 + 5,4 \\ D &= 4,78(\lg f_0)^2 - 19,33 \lg f_0 + 40,94 \end{aligned} \quad (2)$$

$$a = \begin{cases} ((1,11 \lg f_0 - 0,7)h_{AC} - (1,56 \lg f_0 - 0,8)) & \text{для малых и средних городов;} \\ 8,28(\lg(1,54h_{AC}))^2 - 1,1 & \text{для крупных городов } (f_0 < 0,44 \text{ ГГц}); \\ 3,2(\lg(11,75h_{AC}))^2 - 4,97 & \text{для крупных городов } (f_0 < 0,4 \text{ ГГц}); \end{cases} \quad (3)$$

где h_{BC} и h_{AC} – высоты установки антенн базовой и абонентской станций; f_0 – значение приемо-передающей частоты. Коэффициенты a , A , B , C , D взяты из выражений (2, 3).

Выражения (1) могут применяться при выполнении условий:

$$\begin{aligned} 150 \text{ МГц} &< f_0 \leq 3 \text{ ГГц}, \\ h_{AC} &\leq 25 \text{ м}, \\ R &< 20 \text{ км}, \\ 30 &\leq h_{BC} \leq 200 \text{ м} \end{aligned}$$

Часто для расчета могут применяться и другие методики. Суть этой модели заключается в аппроксимации графиков Окумура специально подобранными формулами для различных территориальных зон, которые условно классифицируются на большой город, средний и малый города, пригород, сельскую местность, открытую местность. Очевидно, что недостатки этой модели

такие же, как и у исходной модели Окамура, и так же приводят к недооценке потерь для частот свыше 1,5 ГГц. Эта модель позволяет сделать расчет потерь не только для крупных городов, но и для горной или открытой местности. Для компьютерного моделирования была использована среда графического программирования LABVIEW, потому, что по своим характеристикам эта программа наиболее подходит, к созданию математической модели, используя мощный графический интерфейс и проводить анализ технических характеристик.

Пакет LABVIEW это мощный пакет, предназначенный для построения графического интерфейса вычислений, и в настоящее время является одним из самых мощных универсальных вычислительных пакетов, применяемых для решения задач, возникающих в различных прикладных областях. В пакете реализованы классические численные алгоритмы решения задач линейной алгебры, нахождения значений определенных интегралов, аппроксимации, решения систем или отдельных дифференциальных уравнений. Визуальная среда включает графические объекты высокого уровня для визуализации данных, а также интерактивную среду, с помощью которой возможно воссоздание измерительных приборов, используемых в научной деятельности.

Преимущество среды графического программирования LABVIEW перед другими языками программирования состоит в том, что в LABVIEW можно программировать весь изучаемый комплекс, а не отдельно взятый блок или устройство как это делается в программировании. Встроенный программный пакет позволяет с помощью графических объектов создавать сложные объекты исследований. Средствами LABVIEW могут быть успешно решены и довольно сложные инженерные задачи, такие, как моделирование и анализ потерь радиоволн на трассе с прямой видимостью для систем радиодоступа.

Важной составной частью исследовательского процесса является выбор среды программирования. Современное развитие информационных и вычислительных технологий привело к возможности использования для научных исследований таких программных продуктов как системы компьютерной математики инженерной графики LABVIEW, Maple, MATLAB. Располагая мощными библиотеками функций и прекрасными графическими возможностями, они освобождают разработчика от большого объема рутинной работы, ускоряют процесс подготовки программного кода и позволяют сделать упор на содержательной стороне исследования моделей.

В данной статье предпочтение отдано системе LABVIEW, прежде всего потому, что в ней возможно создание развитых интерфейсных приложений, имеются удобные средства разработки анимации для визуализации динамических процессов, а графический вывод носит объектный характер и с ним можно взаимодействовать как на программном, так и на интерфейсном уровне, на любом этапе работы с программой. Исследуемые модели имеют удобный графический интерфейс с различными элементами управления, с помощью которых пользователь имеет возможность изменять параметры моделей, что позволяет анализировать ее поведение при динамическом изменении различных параметров, например частоты или расстояния между базовой и абонентской антеннами.

Такие программы удобно использовать при выдаче рекомендаций, консультаций и анализе процесса проектирования радиостанций в полосе частот $30 \div 250$ МГц (диапазон ОВЧ), или $450 \div 3000$ МГц (диапазон УВЧ) и расстояния от 10 до 50000 м. Рекомендации учитывают три типа путей распространения

радиоволн: городская застройка, сельская и пригородная местность, и горная местность.

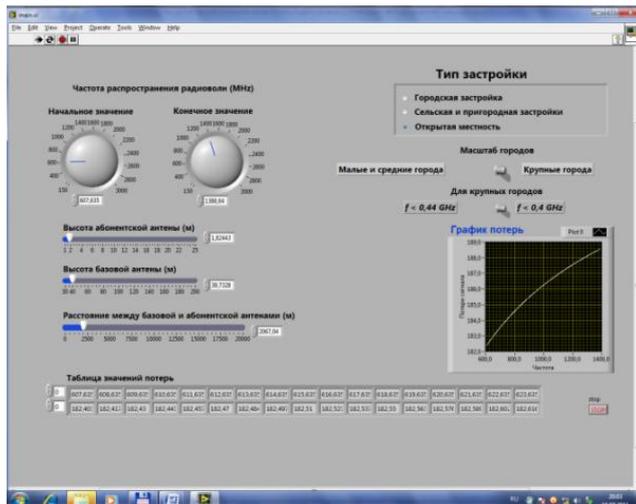


Рис. 1. Внешний вид программы, выполненной на LABVIEW.

На рисунке 1 представлена страница программы, на которой с помощью движковых элементов и переключателей устанавливаются необходимые параметры моделирования потерь для разработки мобильной системы в заданной окружающей среде. С помощью этой программы возможно на графике динамически проследить за изменением потерь радиосигнала меняя параметры, используемых при расчете модели. Например, для моделирования потерь в сельской и пригородной местности, при изменении частоты приема-передачи в диапазоне частот 400 МГц – 3 ГГц, а также высоте абонентской антенны $h_{AC} = 1,73$ м, высоте базовой антенны $h_{BC} \leq 55,7$ м и расстояния между антеннами $R=3$ км график потерь составляет, как показано на рисунке 2.



Рис. 2. График потерь в сельской местности

При выборе типа застройки «городская застройка», изменении полосы пропускания от 533 МГц до 2,6 ГГц, а также высоте абонентской антенны $h_{AC} = 1,73$ м, высоте базовой антенны $h_{BC} \leq 46,7$ м и расстояния между антеннами $R=1,6$ км график потерь будет выглядеть как на рисунке 3.



Рис. 3. График потерь при городской застройке

Таким образом, меняя условия передачи радиосигнала, частоту, высоту абонентской и базовой антенн и расстояние между ними появляется возможность проследить зависимость величины потерь радиосигнала при различных параметрах и условиях застройки. Другими словами можно визуальнo, с помощью компьютера представить «идеальные» данные, использования модели Окумура-Хата, расчета потерь радиоволн при различных условиях при которых не учитываются тонкие особенности местности, например форма, материал и количество балконов на здании.

Другой вариант работы программы, при котором возможно визуальнo проанализировать изменение потерь радиосигнала в зависимости от удаления абонентской и базовой антенн друг от друга. С помощью дисковых указателей выбирается частота работы приемника и передатчика, а так же расстояние между ними.

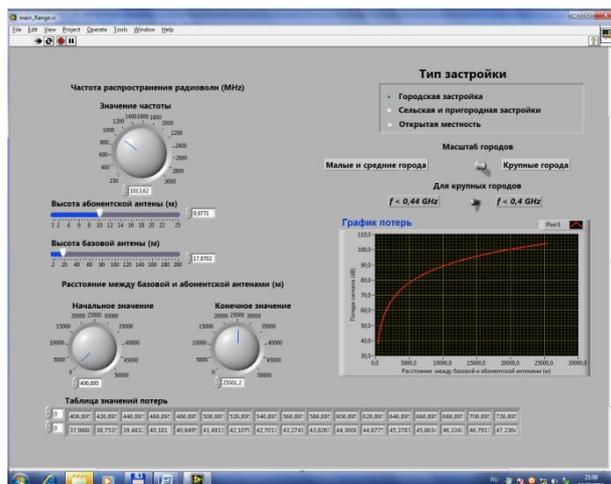


Рис. 4. Внешний вид расчетов при различном удалении антенн между собой

На рисунке 4. Показана страница программы при помощи, которой возможно проводить анализ потерь радиосигнала при удалении базовой и абонентской антенн

друг от друга на различные расстояния. Максимальное значение, которое учитывает модель Окумура-Хата – не более 30 километров.

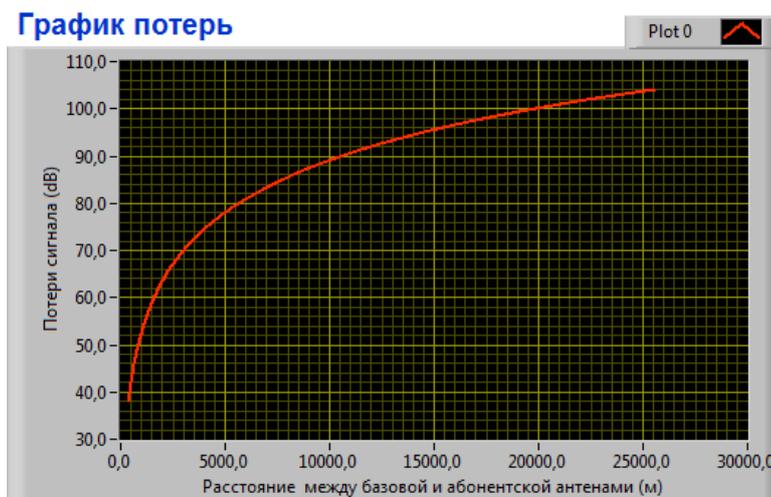


Рис. 5. График потерь радиосигнала при удалении антенн друг от друга

Кроме мощного графического интерфейса LABVIEW позволяет использовать и другие языки программирования, связывая свой интерфейс с другими мощными программными пакетами. Таким образом, анализ потерь с использованием различных математических моделей, дифракции, построение пути прохождения радиосигнала и других параметров, используемые при проектировании сотовых систем связи, возможно, объединить в одно интерактивную компьютерную систему, позволяющую не только просчитывать и выдавать анализ характеристик приема-передачи, но выдавать некоторые решения для улучшения способов проектирования систем мобильной радиосвязи. Другими словами возможны способы построения экспертных систем, базирующихся не только на расчетных и экспериментальных данных, но и на знаниях, полученных в процессе обучения таких систем.

Литература

1. Y.Okumura et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service// Review of the Electr. Commun. Lab. 1968. v.16. №9-10. p. 825-873.
2. Милютин Е.Р., Василенко Г.О. Повышение точности расчета ослабления поля с помощью калибровки и цифровых карт местности// Электросвязь. 2004, №2. с.38-40.
3. Логинов Н.А. Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации.-М.: Радио и связь, 2000.-240 с.: ил.
4. Милютин Е.Р., Модели расчета потерь мощности сигнала в сотовых системах связи. //Вестник СПбГУТ, 2008г., №4 с.160-170.
5. Давлатмамадов Г.А., Шубович А.Г. Построение радиорелейных линий связи в горной местности. //Международный исследовательский центр ИС РАН 2011, №2, с.150-157.

**^{226}Ra В ПОЧВАХ ПРОМОБЪЕКТОВ И СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ
КАРА-БАЛТИНСКОЙ ПЛОЩАДИ**

Васильев И.А. к.ф.-м.н., Алехина В.М. к.г.-м.н., Маматибраимов С.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской
Республики, г. Бишкек, Кыргызстан

На территориях промплощадки и санитарно-защитной зоны отмечены большие пределы изменений содержания ^{226}Ra – от фоновых (0,005 нСи/г), характерных для селитебной зоны, до 0,52 нСи/г. Основными причинами загрязнения почв ^{226}Ra в указанных зонах являются потери отходов Гидрометаллургического завода при гидротранспортировке в периоды аварий в трубопроводе и руды при ее перегрузке или при маневрировании железнодорожных составов.

**OF ^{226}Ra IN SOILS OF INDUSTRIAL WORKS OF KARA-BALTY
MINING COMBINE AND ON CONTIGUOUS TERRITORIES,
INCLUDING INHABITED ARRAYS**

I.A. Vasiliev, V.M. Alekhina, S. Mamatibraimov

In territories of industrial work and sanitary-protective zone large variations of content of ^{226}Ra – from the background (0,005нСи/г), characteristic for inhabited zone, up to 0,52 нСи/г, are indicated. Main reasons of pollution of soils by ^{226}Ra in these zones are losses: of waste of a Hydrometallurgical plant at hydrotransporting during emergencies in the pipe line; of ore at its loading and at car spotting of trains.

В работе [1] представлены результаты γ -съемки на территории промплощадки и санитарно-защитной зоны КГРК, которые дают представление о пространственном распределении мощности дозы γ -излучения на исследованной площади и позволяют сделать оценку радиационной опасности от внешнего γ -излучения любого элемента этой площади. Однако принятие дальнейших решений о радиоэкологической опасности изученных территорий будет более обоснованным и квалифицированным, если установлена природа γ -радиоактивности, т.е. выявлены радионуклиды и их вклад в обнаруженное при съемке γ -поле. Решение этой задачи возможно путем γ -спектрометрической съемки в натуральных условиях или отбора проб почв по заданной системе с последующим их анализом в лабораторных условиях. Хотя первый способ предпочтителен, он связан с применением специальных передвижных γ -спектрометров и организацией соответствующих полевых работ, которые по понятным причинам являются весьма дорогостоящими. Мы имели возможность провести указанную работу вторым способом, результаты которой описываются ниже.

В настоящей работе представлены результаты лабораторных исследований почв Кара-Балтинской площади методом γ -спектрометрии, с помощью которой было количественно определено содержание γ -излучающих изотопов – ^{226}Ra и продуктов его распада, а также др. изотопов, например, ториевого ряда. Распад

этих радионуклидов сопровождается широким спектром γ -квантов различной энергии [2]. По этим γ -линиям изотопы уранового и ториевого рядов достаточно легко идентифицируются и могут быть определены количественно. Кроме того, при наличии радиоактивного равновесия между ^{238}U и ^{226}Ra , они позволяют определить и содержание ^{238}U .

Радиоактивность актино-уранового ряда составляет примерно 4,6% от активности ряда ^{238}U , поэтому ее всегда можно учесть или, в зависимости от точности анализа, пренебречь.

Проведенные ранее исследования [3] показали, что эпизодическим поступлением осколков деления от китайских ядерных испытаний также можно пренебречь, так как даже в наиболее благоприятных для них широтах не наблюдалось заметное повышение естественного радиоактивного фона.

Для эталонирования и определения линейности спектрометра в качестве источников γ -квантов использовались продукты распада тория – ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl , а также ^{40}K .

Эталонирование γ -спектрометра для определения содержания ^{226}Ra в почвах осуществлялось с помощью урановых эталонов с известными коэффициентами радиоактивного равновесия.

Наиболее целесообразно определять содержание ^{226}Ra по γ -линии 0,607 МэВ, где нет мешающего излучения от изотопов ториевого ряда и ^{40}K .

Пробы почв для определения содержания ^{226}Ra , урана и тяжелых металлов отбирались по принятой методике (ОСТ 95-10160-85 Охрана природы. Методы отбора проб почвы, 1987г.).

Места отбора проб выбирались с учетом результатов, полученных при площадной γ -съемке, на открытой местности, в стороне от дорог, деревьев и земляных работ. Выбирали участки, не подвергавшиеся затоплению и эрозии, и там, где почва не была культивирована.

В лаборатории пробы почв высушивались до воздушно-сухого состояния. Из почвы удалялись посторонние включения (камни, корни растений и т.п.), затем проба растиралась до 100-200меш и поступала на измерения.

Для определения содержания γ -излучающих изотопов на исследованной Кара-Балтинской площади отобрано 96 проб почв с поверхности хвостохранилища, промплощадки, санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны наблюдения (селитебной зоны).

Результаты определения содержания ^{226}Ra в указанных пробах представлены в таблице 1.

В колонке 3 таблицы 1 приведено измеренное методом γ -спектрометрии содержание ^{226}Ra ; в колонке 4 – рассчитанное по γ -измерениям содержание ^{238}U , при наличии радиоактивного равновесия между ^{238}U и ^{226}Ra ; в колонке 5 – фактическое содержание ^{238}U , определенное радиохимическим методом с α -спектрометрическим окончанием и использованием трассера ^{232}U ; в колонке 6 – фактический коэффициент радиоактивного равновесия между ^{238}U и ^{226}Ra по данным γ -спектрометрии (колонка 3) и радиохимии (колонка 5).

Таблица 1 Результаты γ -спектрометрического и радиохимического анализа проб почв

Шифр пробы	Места отбора проб	Содержание ^{226}Ra	Факт тип равн	Отнош ение
------------	-------------------	------------------------------	---------------------	---------------

		nKu/Г	Равновесное содержание П мГ/гГ		$^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ в равновесных единицах
1	2	3	4	5	6
Хвостохранилище					
ПП-1	Новое золоохранилище на юге	$\leq 0,005$	≤ 15	1,2	$\leq 12,5$
ПП-2	Новое золоохранилище на юге	$\leq 0,005$	≤ 15	1,1	$\leq 13,6$
ПП-3	Карта 9, Ю В угол	0,21	615	43,8	14,0
ПП-4	Карта 9, С В угол	0,15	451	29,3	15,4
ПП-5	Карта 9, С З угол	0,076	228	30,0	7,6
ПП-6	Карта 9, центр	0,13	390	66,0	5,9
ПП-7	Карта 8, Ю В угол	0,034	102	137,0	0,74
ПП-8	Карта 8, Ю З угол	0,16	464	19,0	24,4
ПП-9	Карта 8, С В угол	0,14	426	50,0	8,5
ПП-10	Карта 7, юг	0,115	342	28,0	1,2
ПП-11	Карта 7, С З угол	0,235	701	43,0	16,3
ПП-12	Северная иловая карта, центр	0,76	2 270	96,0	23,6
Промплощадка					
ДПП-32	Северная сторона отделения 4, (тополевая роща)			418,0	
ДПП-33	30м на север от дробильного цеха	0,020	59	93,0	0,6
ДПП-34	Клумба с юга здания «Чэл»		≤ 15	11,0	$\leq 1,4$
ДПП-35	Севернее цеха 4 (под соснами)	$\leq 0,005$	≤ 15	29,3	$\leq 0,5$
ДПП-36	Северо-восточная сторона компрессорной, 20 м от здания на север		≤ 15	23,8	$\leq 0,6$
ДПП-37	Северо-западная сторона отд. 4 (клумба, узел приготовления NaCN)			11,0	
ДПП-38	30м на север от перегрузочного узла	$\leq 0,005$	≤ 15	11,8	$\leq 1,3$
ДПП-39	Восточнее сторона отд. 4 и 5 (со стороны опытного цеха ЦНИИЛ-ОПТУ)		≤ 15	237,0	$\leq 0,06$
ДПП-40	Юго-западный угол мех.мастерской на запад (10 м от здания на север)		≤ 15	1,7	$\leq 8,8$
ДПП-	Южнее цеха 6 (на бугре)	$\leq 0,00$	≤ 15	136,0	$\leq 0,1$

41		5			
ДПП-42	Западнее склада спецодежды (старая мойка машин)	0,096	287	284	1,0
ДПП-43	Северо-западный угол склада готовой продукции отд.6 (5м от забора, фруктовый сад)		18	19	0,95
ДПП-44	25м на юг от ЦЛКИП	$\leq 0,005$	≤ 15	21,0	$\leq 0,7$
ПП-45	50м на север от дробильного цеха	0,009	27	2,6	10,4
ДПП-46	Восточнее дробильного корпуса	0,007	21	12,4	1,7
ПП-47	Восточнее грейферного склада	0,10	30	122,0	0,2
ПП-48	Южнее полубункерного склада	$\leq 0,005$	≤ 15	32,2	$\leq 0,5$
ДПП-49	10м на север от цеха 4	0,007	22	63,0	0,3
ДПП-50	25м севернее компрессорной	$\leq 0,005$	≤ 15	27,0	$\leq 0,6$
ПП-51	30м севернее середины цеха 6	0,12	358	55,6	6,4
ПП-52	5м на север от середины мех.мастерской	0,016	48	182,0	0,3
ПП-53	Около транспортных ворот от РМЗ, западнее вагоноопрокидывателя	0,14	418	353,0	1,2
ПП-54	20м западнее от склада спецодежды	0,043	128	161,0	0,8
ПП-55	20м западнее здания цеха 6	$\leq 0,005$	≤ 15	55,0	$\leq 0,3$
ДПП-56	30м южнее ЦЛКИП	0,006	18	12	1,50
ПП-57	60м южнее аффинажного цеха	$\leq 0,005$	≤ 15	6,0	$\leq 2,5$
ПП-58	Старая свалка металлолома на западе территории ГМЗ	0,29	866	313,0	2,8
ПП-59	Северо-западный угол территории ГМЗ	0,016	48	8,0	6,0
ПП-60	20м западнее здания здравпункта	0,008	24	8,8	2,7
ПП-61	10м восточнее здания ВОХР (газон)	$\leq 0,005$	≤ 15	25,3	$\leq 0,6$
ДПП-62	100м западнее транспортных ворот (угол)	$\leq 0,005$	≤ 15	9,8	$\leq 1,5$
ДПП-63	20м южнее здания «ЧЕЛ»	$\leq 0,005$	≤ 15	4,5	
Санитарно-защитная зона (СЗЗ)					

ДПП-143	Западнее бытовки хвостохранилища	0,007	21	8,0	2,6
ПП-143а		0,011	33	9,8	3,4
ДПП-144	50м западнее СЗ угла забора ГМЗ	0,014	42	67,0	0,6
ПП-145	100м от проходной ГМЗ вдоль забора на запад	0,28	836		
ДПП-146	150м западнее заводоуправления ГМЗ	0,018	53	21,0	2,5
ПП-147	50м западнее заводоуправления ГМЗ	0,081	242	609,0	0,4
ПП-148	200м западнее от СЗ угла заводоуправления	0,073	218	12,3	17,7
ДПП-149	250м западнее от СЗ угла заводоуправления	0,016	46	3,1	14,8
ДПП-150	350м западнее от СЗ угла заводоуправления	0,010	30	10,4	2,9
ДПП-151	350м западнее навеса (у заводоуправления)	0,24	714	18,0	39,7
ДПП-152	300м западнее навеса к хвостохранилищу	0,41	1228	42,0	29,2
ДПП-153	250м западнее навеса	0,32	967	68,6	14,1
ПП-154	150м западнее навеса	0,084	250	12,8	19,5
ДПП-155	250м севернее СЗ части забора ГМЗ	0,029	86	44,3	1,9
ДПП-156	250м западнее СЗ части забора ГМЗ	0,137	409		
ДПП-157	50м восточнее от СВ стороны карты 8	≤0,005	≤15	1,0	≤15
ДПП-158	30м западнее середины аллеи (от навеса к бытовке)	≤0,005	≤15	2,3	≤6,5
ПП-159	70-80м от СВ стороны дамбы карты 8	0,085	254	20,0	12,7
ДПП-160	75-80м восточнее СВ стороны карты 7	0,022	66	16,0	4,1
ДПП-161	25-50м от СВ стороны дамбы карты 7	0,524	1565	132,4	11,8
ДПП-162	Автобаза, запад (садик на территории)	≤0,005	≤15	2,8	≤5,4
ПП-163	Кислородный цех, с южной стороны, у забора	≤0,005	≤15	3,0	≤5
Селитебная зона					
ДПП-179	Район ДК (с восточной стороны здания)	≤0,005	≤15	2,8	≤5,4
ДПП-	Восточнее минирынка на 40л	≤0,005	≤15	2,0	≤7,5

180	Киргизии				
ПП-181	«Воинская», севернее П219-17	$\leq 0,005$	≤ 15	2,2	$\leq 6,8$
ПП-182	Юго-восточнее школы № 8	$\leq 0,005$	≤ 15	13,3	$\leq 1,1$
ПП-183	Район Горисполкома	$\leq 0,005$	≤ 15	2,2	$\leq 6,8$
ПП-184	Район центральной аптеки	$\leq 0,005$	≤ 15	0,8	$\leq 18,8$
ПП-185	Пересечение улиц Центральная-Пограничная	$\leq 0,005$	≤ 15	0,5	≤ 30
ПП-186	Пересечение улиц Молодежная-Пограничная	$\leq 0,005$	≤ 15	0,8	$\leq 18,8$
ДПП-187	Район церкви г.Кара-Балта	$\leq 0,005$	≤ 15	0,4	$\leq 3,8$
ПП-188	Восточнее железнодорожного вокзала	$\leq 0,005$	≤ 15	0,7	$\leq 21,4$
ДПП-189	З-д «Бакыт» (игрушек)	$\leq 0,005$	≤ 15	0,7	$\leq 21,4$
ДПП-190	АО «Бакай» (сахкомбинат)	$\leq 0,005$	≤ 15	1,7	$\leq 8,8$
ПП-191	200м севернее комитета ООС	$\leq 0,005$	≤ 15	3,6	$\leq 4,2$
ПП-192	Южнее профилактория ГМЗ	$\leq 0,005$	≤ 15	1,9	$\leq 7,9$
ПП-193	20м от насосной на СВ (пешеходная дорожка)	$\leq 0,005$	≤ 15	1,6	$\leq 9,4$
ДПП-195	У железнодорожного переезда на ОРС	$\leq 0,005$	≤ 15	4,8	$\leq 3,1$
ПП-196	ЮВ угол «Электротерма» (фруктовый сад)	$\leq 0,005$	≤ 15		
ДПП-197	СЗ сторона дач, у желдорцефа	$\leq 0,005$	≤ 15	11,0	$\leq 1,4$
ПП-198	СВ сторона дач (ЖДУ)	$\leq 0,005$	≤ 15	2,1	$\leq 7,1$
ПП-199	ЮВ сторона автобазы 4 (лесопосадки)	$\leq 0,005$	≤ 15	5,4	$\leq 2,8$
ДПП-200	Железнодорожный вокзал г.Кара-Балта	$\leq 0,005$	≤ 15	0,5	≤ 30
ПП-201	Пересечение ул.Ильича и Садовой	$\leq 0,005$	≤ 15	1,3	$\leq 11,5$
ПП-202	Пересечение ул.Гоголя и Свердлова	$\leq 0,005$	≤ 15	1,7	$\leq 8,8$
ПП-203	Ул. «Бородачева», новое строительство	$\leq 0,005$	≤ 15	0,4	$\leq 37,5$
ПП-204	Железнодорожный переезд у Пивного завода	$\leq 0,005$	≤ 15	3,7	$\leq 4,1$
ПП-205	Севернее Коврового комбината (газон)	$\leq 0,005$	≤ 15	11,0	$\leq 1,4$
ПП-206	Ул.Целинная, севернее пекарни	$\leq 0,005$	≤ 15	3,4	$\leq 4,4$
ПП-207	ЗСИ, клумба около управления	$\leq 0,005$	≤ 15	1,1	$\leq 13,6$
ПП-208	Южнее сада № 2	$\leq 0,005$	≤ 15	3,3	$\leq 4,5$
ПП-209	Железнодорожный путь к востоку от СЗИ	$\leq 0,005$	≤ 15	2,2	$\leq 6,8$

Анализ результатов, приведенных в таблице 1 приводит к следующему. На поверхности хвостохранилища в пробах золы не содержится ^{226}Ra больше предела чувствительности метода ($\leq 0,005$ нКи/Г). Твердые отходы (хвосты) гидрометаллургического завода, как и следовало ожидать, содержат ^{226}Ra в значительных концентрациях (от 0,13 до 0,76 нКи/Г). Наибольшая концентрация ^{226}Ra отмечена для иловой карты (проба ПП-12), что соответствует и максимальной мощности дозы γ -излучения (Д) для поверхности иловой карты – около 1,5 мР/час [1].

Заметим однако, что корреляции между содержанием ^{226}Ra в почвах и мощностью дозы γ -излучения в местах отбора проб может и не быть, возможны лишь единичные совпадения между увеличением обоих параметров. Это связано с тем, что отобранная проба почвы по объему ничтожно мала по сравнению с объемом породы, который обеспечивает поток γ -излучения в месте отбора пробы. Подтверждением этого является рис.1., где показаны значения мощности дозы γ -излучения (в мкР/час) в местах отбора проб с различным содержанием ^{226}Ra – C_{Ra} .

Концентрация ^{226}Ra в почвах промплощадки меняется в довольно широких пределах. Около 50% проб имеют «фоновые» концентрации ^{226}Ra , которые характерны для всей селитебной зоны и не превышающее 0,009 нКи/Г. Для 16% проб наблюдается небольшое превышение концентрации ^{226}Ra над «фоновым» (0,016 – 0,043 нКи/Г). Остальные пробы существенно обогащены ^{226}Ra (0,1÷0,29 нКи/Г).

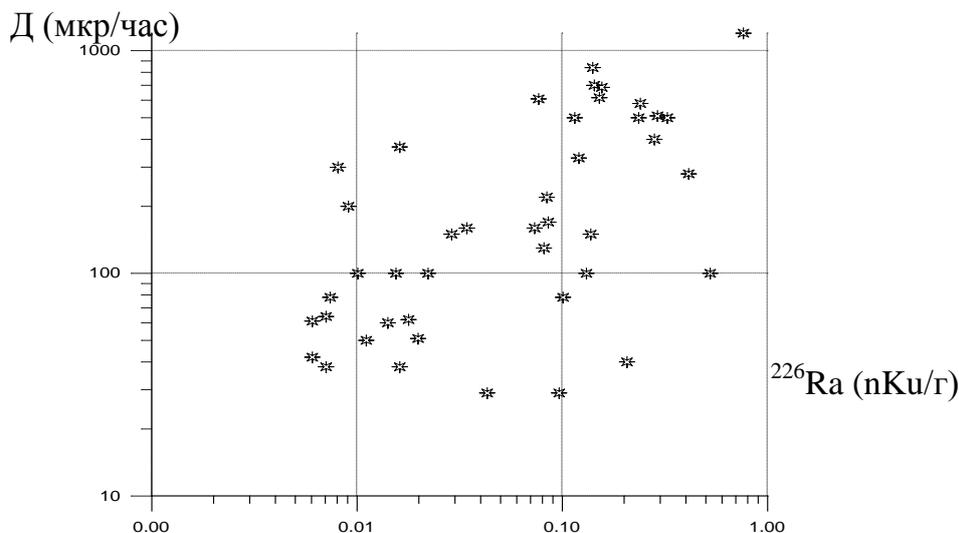


Рис.1. Результаты определения концентрации ^{226}Ra и мощности дозы γ -излучения в местах отбора проб.

Для санитарно-защитной зоны наблюдается та же картина. Более половины проб имеет фоновые концентрации ^{226}Ra . Остальные достаточно обогащены ^{226}Ra . Концентрация ^{226}Ra для них меняется в пределах 218-1565 нКи/Г. Это несколько неожиданно, так как в санитарно-защитной зоне обогащение почв ^{226}Ra , как и другими нуклидами по сравнению с промплощадкой должны уменьшаться.

Для всех проб селитебной зоны (зоны наблюдения) концентрация ^{226}Ra находится на пределе чувствительности γ -спектрометра ($\leq 0,005$ нКи/г).

Безусловно, при анализе полученных данных представляют интерес причины загрязнения почв ^{226}Ra и источники загрязнения. Проведенная нами в этом плане работа привела к результатам, изложенным в таблице 2.

Таблица 2 Причины и источники загрязнения почв ^{226}Ra на промплощадке и в санитарно-защитной зоне

Шифр проб почвы	Концентрация ^{226}Ra (нКу/Г)	Причины и источники загрязнения почв
Промплощадка		
ДПП-42	0,096	Очистка машин при мойке от руды и продуктов ее переработки
ПП-51	0,12	Потери радионуклидов с пульпой при гидротранспортировке
ПП-53	0,14	Потери руды при ее перегрузке и при маневрировании железнодорожных составов
ПП-58	0,29	Радионуклиды из технологических конструкций
Санитарно-защитная зона		
ПП-145	0,28	Потери отходов ГМЗ при гидротранспортировке в периоды аварий в трубопроводе
ПП-147	0,081	-“-
ПП-148	0,073	-“-
ДПП-151	0,24	-“-
ДПП-152	0,41	-“-
ДПП-153	0,32	-“-
ДПП-154	0,084	-“-
ДПП-155	0,029	-“-
ДПП-156	0,14	-“-
ПП-159	0,085	-“-
ДПП-161	0,524	-“-

Из таблицы 2 видно, что основной причиной возникновения аномальных концентраций ^{226}Ra в почвах промплощадки и санитарно-защитной зоны являются потери отходов гидрометаллургического завода при гидротранспортировке в периоды аварий в трубопроводе. Этому способствуют также потери руды при ее перегрузке и маневрировании железнодорожных составов, очистка машин при мойке от радиоактивных руд и продуктов их переработки, вымывание радионуклидов из отработавших технологических конструкций при хранении вне помещений. Устранение этих негативных явлений может привести к снижению загрязнений почв промплощадки и санитарно-защитной зоны.

Литература

1. Васильев И.А., Денисов А.И., Макаренко А.В. и др. Современная радиоэкологическая обстановка на промобъектах Кара-Балтинского горнорудного комбината и прилегающих территориях // Радиоэкологические и смежные

проблемы уранового производства /Сборник научных работ. Ч.I / Под ред. П.И.Чалова. – Бишкек: Илим, 2000., С.48-58.

2. Назаренко В. Library v2.02. Библиотекарь нуклидов, 1991.

3. Васильев И.А., Маматибраимов С. Применение методов α - и γ -спектрометрии для изучения процессов переноса радиоактивных веществ // Радиационная физика. – Бишкек: Илим, 1998. - С.21-27.

УДК 681.327.68:778.38

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТООПТИЧЕСКОГО ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ФИЛЬТРА

Жумалиев К.М.¹ академик НАН КР, **Буланчиев Ж.М.¹,**
Сагымбаев А.А.¹ д.т.н., **Сагымбаева К.А.²**

¹Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

²Ошский Государственный Университет, г. Ош, Кыргызстан

В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ). Показано, что использование АОПФ позволяет обеспечить эффективное мультиплексирование регистрируемых голограмм по заданной длине волны.

FEATURES OF OPTICAL CHARACTERISTICS THE ACOUSTOOPTICAL RECONSTRUCTED FILTER

К.М.Jumaliev, J.M.Bulanchiev, A.A.Sagymbaev, K.A.Sagymbaeva

In article results of experimental researches the acousticoptical reconstructed filter (AORF) are considered. It is shown, that use AORF allows to provide effective multiplexing of registered hologram's on the set length of a wave.

Введение. Исследовались образцы АОПФ на основе монокристалла диоксида теллура, в котором распространялась медленная поперечная акустическая волна. Для этого направление ее распространения выбиралось близким к оси [1]. С целью повышения селективности АОПФ угол отклонения направления распространения звука от оси [2] выбирался таким, чтобы обеспечить максимальный снос пучка в сторону от нормали в акустическому волновому фронту.

С целью рассмотрения возможности применения АОПФ в системах голографической памяти было принято решение исследовать его работу в широком диапазоне углов падения света. При этом необходимо измерить угловую функцию распределения, представляющую собой зависимость интенсивности минус первого порядка дифракции Брэгга от угла падения света на ячейку.

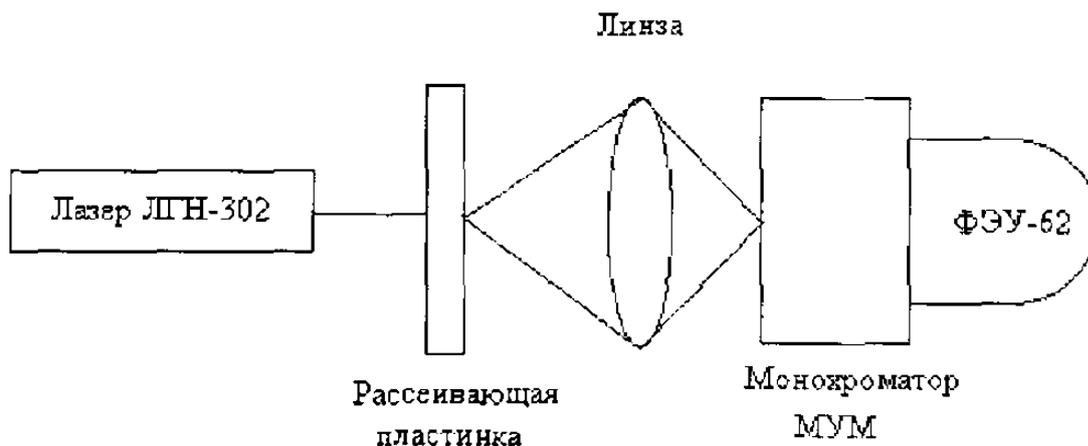


Рис.

1. Схема измерения аппаратной функции измерительного стенда.

В соответствии с рис. 1, свет от лазера проходил через матовую рассеивающую пластинку. Затем свет попадал на линзу с фокусным расстоянием 120 мм, которая фокусировала его в область щели монохроматора. При этом взаимное расположение линзы и монохроматора выбиралось таким образом, чтобы свет полностью заполнял щель. Кроме того, в схеме был также предусмотрен нейтральный светофильтр (на рис. 1 не показан), с помощью которого свет ослаблялся до величины, достаточной, чтобы избежать насыщения фотоприемника. Сигнал с выхода ФЭУ подавался через усилитель на цифровой вольтметр.

Результаты измерения аппаратной функции показаны на рис.2.

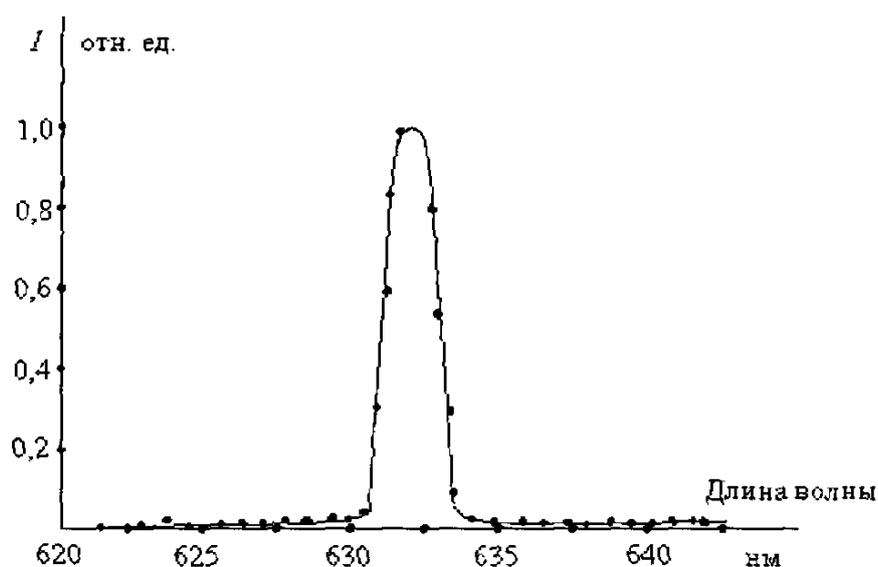


Рис.2. Результаты измерения аппаратной функции монохроматора.

Из данных, приведенных на рис.2, следует, что ширина аппаратной функции монохроматора составляет величину порядка 1 нм. Исходя из того, что аппаратная функция монохроматора имеет существенно более узкий пик, чем измеренная

соответствующая характеристика АОПФ, имеется достаточно оснований утверждать, что измеренная функция пропускания АОПФ близка к реальной функции пропускания АОПФ. Тем не менее, для того, чтобы убедиться в достоверности результатов, необходимо снять также угловую характеристику измерительной установки.

Измерения интенсивности света в коническом пучке, падающем на ячейку Брэгга в зависимости от угла проводились в соответствии со схемой, приведенной на рис.3.

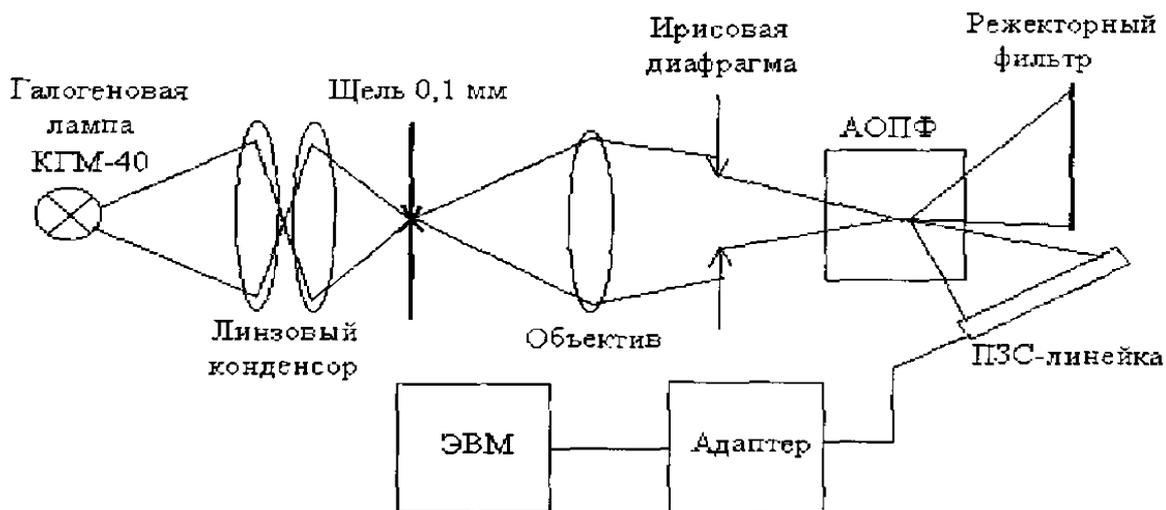


Рис.3. Схема установки измерения распределения интенсивности света по углу в коническом пучке.

В качестве источника света с широким спектром использовалась галогеновая лампа КГМ-40. Свет от лампы с помощью линзового конденсора фокусировался на щель, ширина которой в среднем составляла 0,1 мм и изменялась в достаточно широком интервале. Конденсор формировал в плоскости щели равномерное по интенсивности и спектральному составу пятно света. Объектив с фокусным расстоянием 100 мм фокусировал изображение щели в районе центра акустического пучка ячейки Брэгга АОПФ. Настройка правильности фокусировки осуществлялась по максимуму интенсивности дифракции минус первого порядка.

Перед ячейкой Брэгга устанавливалась ирисовая диафрагма, которая обеспечивала ограничение по расходимости пучка света величиной 3° , которая достаточна, чтобы избежать перекрытия порядков на выходе ячейки.

Свет, направленный в результате дифракции на акустической волне в минус первый порядок, при помощи линзы с фокусным расстоянием 120 мм попадает на щель монохроматора МУМ. Регистрация интенсивности сигнала осуществляется с помощью ФЭУ-62. Измерение сигнала происходит с помощью цифрового вольтметра.

В исследуемом образце АОПФ медленная сдвиговая волна возбуждалась путем подачи радиосигнала частотой 60...120 МГц на пьезопреобразователь из ниобата лития, присоединенный к монокристаллу диоксида теллура через ряд промежуточных слоев, что обеспечивает высокий коэффициент преобразования электрической энергии в акустическую. Мощность радиосигнала на входе не превышала единиц Вт.[3]

Измерения проводились с помощью ПЗС-линейки Toshiba, содержащей 2048 элементов. Фокусное расстояние объектива из схемы на рис.3 составляло 100 мм.

Вышедший из ячейки сходящийся пучок света из минус первого порядка дифракции направлялся на ПЗС-линейку. Сигнал, снятый с ПЗС-линейки, через адаптер подавался на ЭВМ.

В процессе измерений АОПФ был настроен на максимум пропускания по длине волны 633 нм. Измеренная функция распределения интенсивности по углу представлена на рис.4.

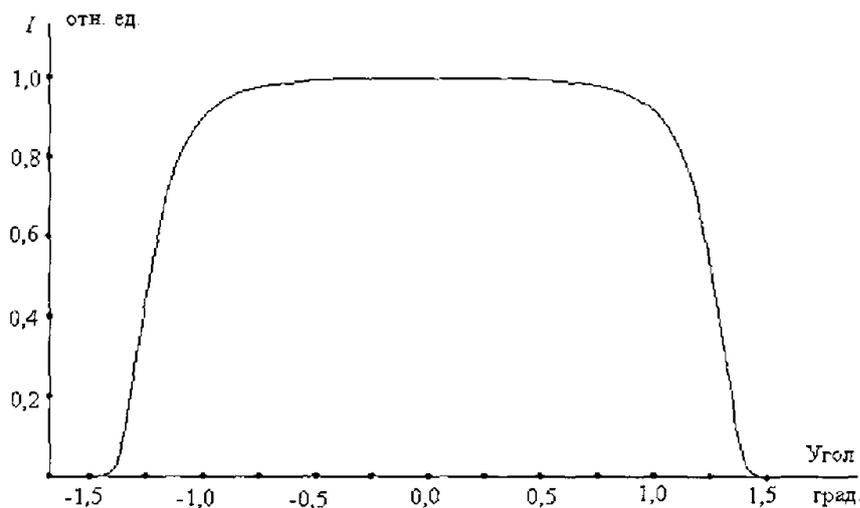


Рис.4. Функция распределения интенсивности по углу, измеренная в соответствии со схемой рис.3.

Таким образом, результаты исследований экспериментального образца АОПФ показали, что:

1. Область спектральной перестройки АОПФ - 425...600 нм.
2. Спектральная полоса пропускания в диапазоне, указанном в п. 1 - 4,5...9,5 нм. Первое значение относится к коротковолновому краю спектра, а второе - к длинноволновому.
3. Для обеспечения спектральной перестройки в диапазоне, указанном в п. 1, необходимо изменение частоты управляющего радиочастотного сигнала в пределах 12...126 МГц.
4. Апертурный угол, в пределах которого реализуются указанные выше параметры - $\pm 1,5^\circ$.

Таким образом, результаты измерений показывают, что исследованный АОПФ может быть использован в устройствах объемной голографической памяти для выделения мод многомодового лазера, что позволило бы обеспечивать эффективное мультиплексирование регистрируемых голограмм по длине волны.

Литература

1. B.S.Gurevich, S.B.Gurevich, K.M.Zhumaliev, I.A.Akkoziev, and S.A.Alymkulov, «Application of acousto-optics in holographic memories», Proceedings of the SPIE, 1999, vol. 3801, pp. 75-82.

2. B.S.Gurevich, S.V.Andreyev, P.A.Burov, V.A.Markov, and V.N.Sokolov, "Gray scale levels transmission by acousto-optical devices", Proceedings of the SPIE, 1997, vol. 3160, pp. 178-186.
3. К.М.Жумалиев, С.Б.Гуревич, Б.С.Гуревич, С.А.Алымкулов, З.Бекбоев. Взаимосвязь акустооптики и голографической памяти. – Наука и новые технологии, 2000, № 2, с. 10-14.

УДК 550.385.26

О ВЫСОТНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЦИРКУМПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТОКОВОЙ СИСТЕМЫ

Погребной В.Н. – к. ф.-м. н.

Институт сейсмологии, Национальная Академия Наук КР, Бишкек,
Кыргызстан

В статье обсуждается вопрос о высотном расположении циркумполярной ионосферной токовой системы. Показано, на основе анализа данных спутника CHAMP и теоретических расчетов ожидаемого магнитного поля от выбранной модели, что она располагается на высоте 150 км от поверхности Земли.

ALTITUDE'S POSITION OF THE CIRCUMPOLAR IONOSPHERE CURRENT SYSTEM

V.N. Pogrebnoi

The problem of altitude's position localization of the circumpolar ionosphere current system is discussed in this paper. On the basis of the analysis of the data from CHAMP sputnik and on the theoretical calculations of an expected magnetic field from the chosen model that is shown it is located at the height of ~ 150 km from the Earth surface.

В работе [1] была приведена не имеющая аналогов эквивалентная ионосферная токовая система, построенная по результатам сферического гармонического анализа данных о годовой вариации за 1964 г. Она носит глобальный характер, занимая все летнее полушарие в периоды летних солнцестояний и оба полушария одновременно в периоды равноденствий. Токовые линии этой системы направлены вдоль широт с запада на восток, охватывая полюс. Поэтому она получила название циркумполярной. Максимальная плотность тока имеет место в полярных областях и постепенно уменьшается до нуля на экваторе.

Известно, что для построения эквивалентных токовых систем необходимо задать высоту, на которой протекают токи. В работе [1] была принята высота, равная 150 км от поверхности Земли. Необходимо было обосновать этот выбор, тем более что механизм генерации циркумполярной токовой системы неясен до сих пор.

Так, Hibberd F.H. [2] утверждал, что циркумполярная токовая система, располагается на высоте 4-6 земных радиусов. Геофизики Malin S.R.C., Winch D.E. [3] предполагали, что циркумполярная токовая система, наиболее вероятно, располагается на уровне магнитосферы (высота ~ 10-14 земных радиусов). Автором в работе [4] было высказано мнение, что токи циркумполярной токовой

системы протекают на ионосферном уровне (высота 100-200 км от поверхности Земли).

Значительно сократить круг предположений удалось после запуска спутника CHAMP. Германский спутник CHAMP был запущен с космодрома Плесецк 15 июля 2000 г. на круговую, практически полярную, низковысотную орбиту (450 км) и предназначался для измерения параметров геофизических полей, в том числе и магнитного. Научной группой из ИЗМИРАНа был проведен сравнительный анализ годовой вариации, выделенной по данным наземных обсерваторий мировой сети и годовой вариации, выделенной по данным спутника CHAMP [5]. Для анализа были отобраны данные за годичный период с августа 2001 года по июль 2002 года. Материал был обработан с помощью метода естественных ортогональных составляющих. Результаты расчетов представлены на рис.1 в виде карт изолиний для X и Z – компонент.

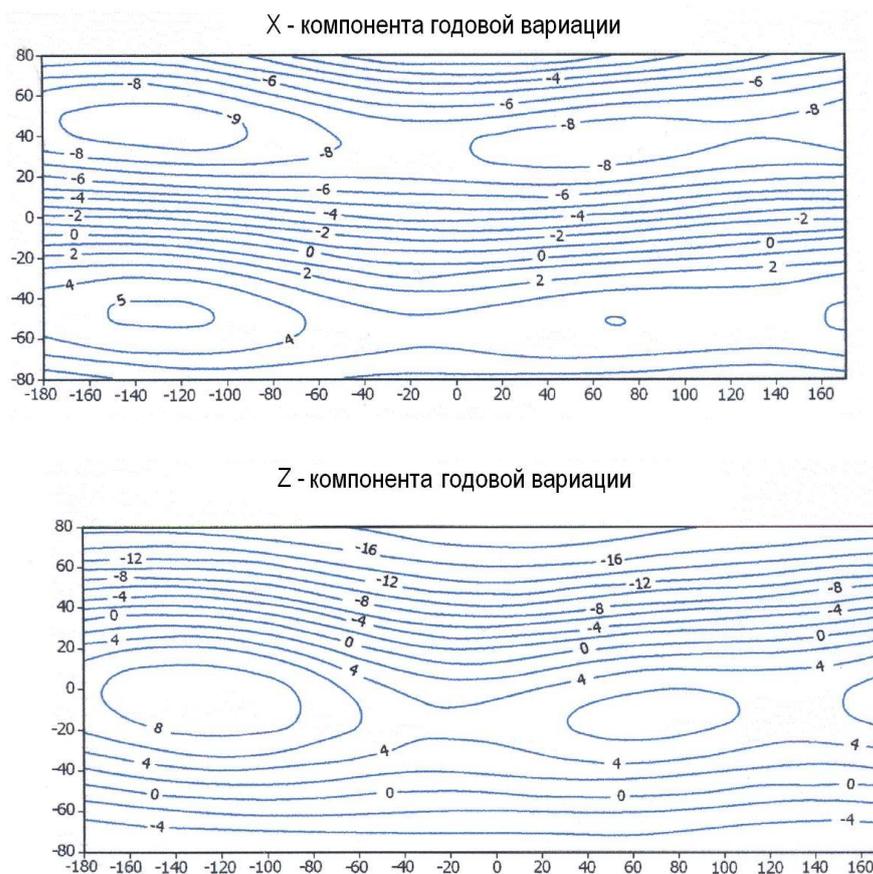


Рис. 1. Карты X и Z – компонент годовой вариации, построенные по сферическим коэффициентам, полученным способом МЕОС по спутниковым данным. Головки В.П., Зверева Т.И. и др. [5].

Из рис. 1 видно, что по спутниковым данным величины X– компоненты являются отрицательными, в то время как по наземным данным X – компонента положительна. Величина Z – компоненты отрицательна как по наземным, так и по спутниковым данным. Эти факты свидетельствуют о том, что источник, обуславливающий годовую вариацию, располагается ниже орбиты спутника. Таким образом, источником годовой вариации не может служить кольцевой ток или токи в магнитосфере, как это полагалось в работах [2] и [6] соответственно.

В этом случае предпочтение следует отдать мнению, что источник годовой вариации уровня поля располагается в ионосфере в пределах высот 130 - 170 км (среднее - 150 км). Именно на этих высотах по теоретическим расчетам создаются самые благоприятные условия для дрейфовых движений электронов в западном направлении (восточный ток). Кроме того, на этих высотах ракетными экспериментами обнаружен второй токовый слой, направление токов в котором именно восточное [7].

На основании выше приведенного фактического материала автором предложена модель циркумполярной ионосферной токовой системы [8]. Она представляется в виде сферической токовой оболочки, расположенной на высоте 150 км от поверхности Земли. Токи текут по сфере толщиной ~ 10 км с запада на восток, охватывая полюс. Распределение плотности тока зависит от широты: максимальная плотность имеет место в полярной области с постепенным уменьшением ее значений до нуля на экваторе. Для наглядности на рис. 2 показан один из вариантов модели. На данном рисунке приведено широтное распределение зональной плотности тока циркумполярной токовой системы для летнего солнцестояния Северного полушария за 1964 г.

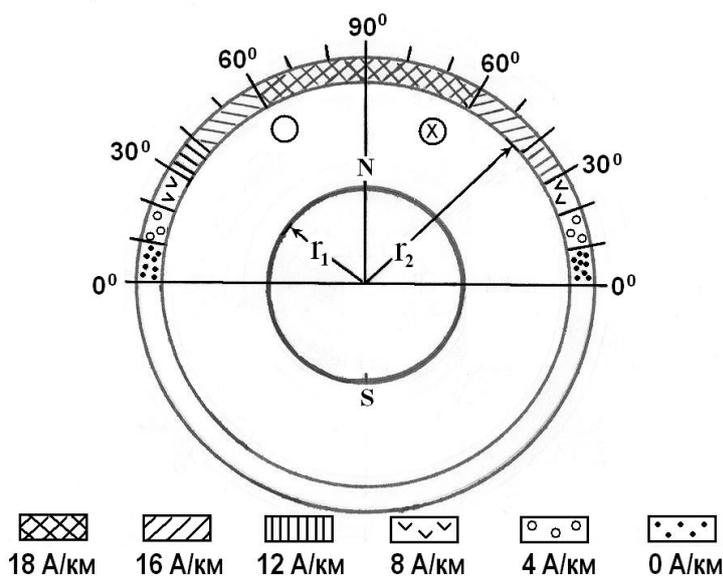


Рис. 2. Схема модели циркумполярной токовой системы с распределением зональной плотности тока для летнего солнцестояния Северного полушария за 1964 г. по Погребному В.Н. [8]: r_1 и r_2 – радиус Земли и радиус токовой оболочки циркумполярной токовой системы соответственно (размеры не соблюдены), O и X – направление тока к читателю и от читателя соответственно.

Из рис. 2 видно, что если плотность тока циркумполярной токовой системы в полярных областях составляет $18 \text{ A}\cdot\text{км}^{-1}$, то на средних широтах плотность тока уменьшается до $\sim 8 \text{ A}\cdot\text{км}^{-1}$ и стремится к нулевым значениям на экваторе. По этим исходным данным проведено вычисление ожидаемых на поверхности Земли компонент магнитного поля, генерируемого циркумполярной сферической токовой оболочкой, расположенной на высоте 150 км, по формулам приведенным в работе [9].

Сравнение рассчитанных значений магнитного поля от заданной модели на поверхности Земли с величиной магнитного поля, полученного по данным

наземных магнитных обсерваторий, показало хорошую сходимость. Это ещё один довод в пользу вывода, что циркумполярная ионосферная токовая система расположена на высоте ~150 км от поверхности Земли.

Литература

1. Погребной В.Н., Головков В.П., Зверева Т.И. и др. Особенности широтной зависимости годовой вариации уровня геомагнитного поля и циркумполярной токовой системы в сезонах 1964 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2010. Т. 50, № 4. – С. 561-566.
2. Hibberd F.H. The geomagnetic Sq-variation-annual, semi-annual and solar cycle variations and rings current effects // J. Atmos. Terr. Phys. 1985. Vol. 47. – P. 341-352.
3. Malin S.R.C., Winch D.E. Annual variation of the geomagnetic field // Geophys. J. Int. 1996. Vol. 123. – P. 170-174.
4. Погребной В.Н. Тонкая структура регулярных геомагнитных вариаций на средних и низких широтах. – Фрунзе: Илим, 1988.– 150 с.
5. Головков В.П. Зверева Т.И., Чернова Т.А. Сезонные колебания магнитного поля Земли // 4–TH OERSTED INTERNATIONAL SCIENCE TEAM (OIST–4) CONFERENCE: тез. докл. – Copenhagen, Denmark, 23-27 September 2002. – P.138-142.
6. Parkinson W.D. An analysis of the geomagnetic diurnal variation duringe the International Geophysical Year // Aust. Bur. min. Res. Bull. – 1977. – 173 p.
7. Burrows K., Stolaric J.D., Hepper J.C. Rocket measurements of the magnetic field associated with visual aurora // Planet Space Sci. – 1971. – Vol. 19. – P. 877-890.
8. Погребной В.Н. Модель циркумполярной токовой системы и возможный механизм её образования // Интернет-журнал НАК КР, 2011. - № 2.
9. Good R.H. Elliptic integrals, the forgotten functions // Eur. J. Phys. – 2001. – Vol. 222. – P. 119-126.

УДК: 537.1; 537.8

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛЫ И ИХ СВЯЗЬ СО СТРУКТУРОЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

М.Н.Раимкулов, к.т.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

В настоящей статье рассмотрено взаимодействие трех видов первичных вихрей элементарных частиц между собой и проанализирована связь этих взаимодействий с электрической силой. Показано, что такое взаимодействие может создавать силу, аналогичную силе электрического взаимодействия.

ELECTRIC FORCES AND THEIR COMMUNICATION WITH STRUCTURE OF ELEMENTARY ELEMENTS

M.N.Raimkulov

In present article interaction of three kinds of primary whirlwinds of elementary elements among themselves is considered and communication of these interactions with electric force is

analysed. It is shown, that such interaction can create the force similar to force of electric interaction.

Многие ученые-физики уже давно пытаются решить задачу объединения известных фундаментальных сил и создать единую теорию всех взаимодействий или единую теорию поля. Анализ структуры элементарных частиц, предложенной автором ранее [1,2,3,4], ее первичных и вторичных вихрей позволяет предположить, что в определенных случаях эти структуры могут притягивать и отталкивать от себя аналогичные микросистемы или практически не взаимодействовать с ними, т.е. быть нейтральными по отношению к ним. Рассмотрим эти взаимодействия и постараемся оценить сможем ли мы, на основе анализа этих взаимодействий, понять природу электрических сил?

Для решения поставленного вопроса разберем взаимодействие первичных вихрей разных элементарных частиц. В данном случае под элементарными частицами будем понимать вторичные вихри со структурами, приведенными на рисунке 1.

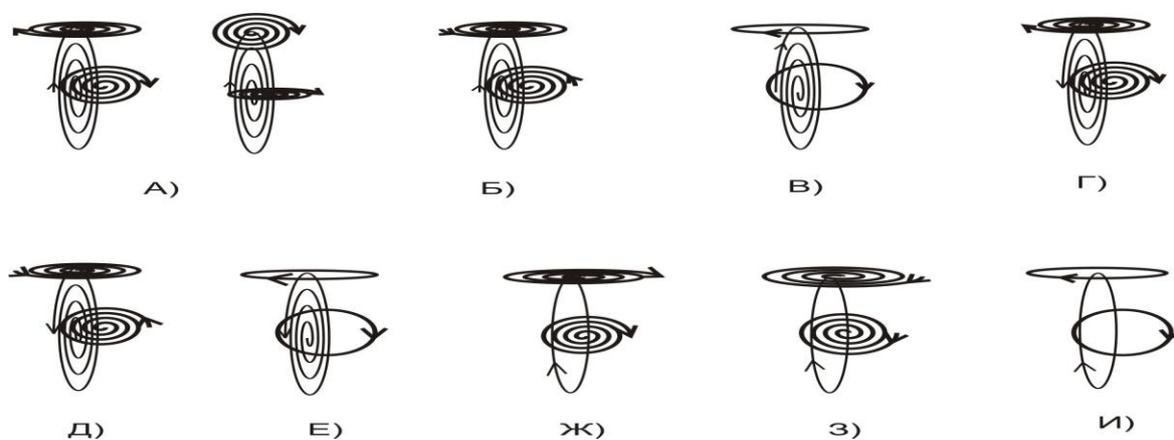


Рис. 1. Предполагаемые структуры элементарных частиц.

В данном случае следует вспомнить вывод о том, что после окончания формирования первичных вихрей они приобретают структуру в виде кругов (Рис.2.в) или спиралей двух типов вращения (Рис. 2.а и 2.б). Один тип – это тип аналогичный вихрю 1 (Рис. 2.а), а второй тип – это тип аналогичный вихрю 2 (Рис. 2.б). Разница между этими вихрями заключается в том, что вихрь первого типа, при своем вращении как бы захватывает окружающие объекты и тем самым притягивает их к себе. Наоборот, вихрь второго типа вращается таким образом, что отталкивает объекты, попавшие в зону его воздействия.

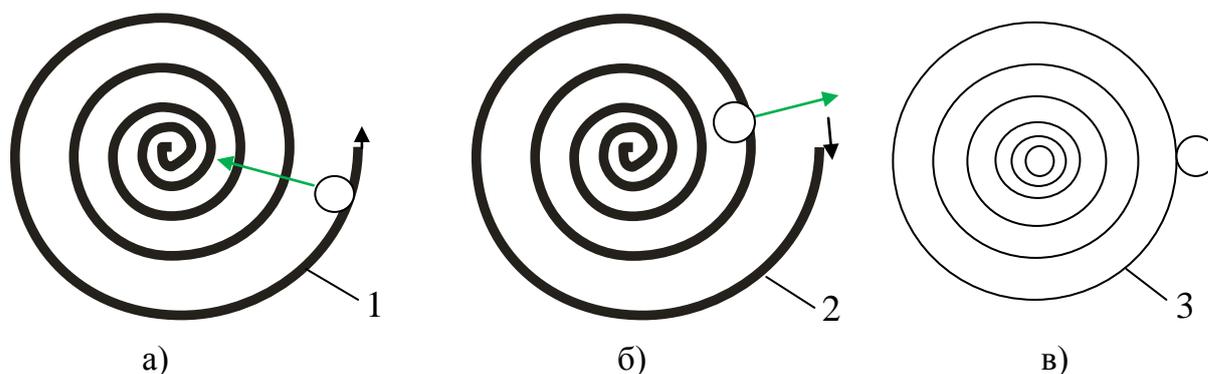


Рис. 2. Взаимодействие первичных вихрей с объектом

Для того чтобы понять в деталях весь процесс взаимодействия этих вихрей нам необходимо вспомнить, что любой объект, с которым вихри вступают во взаимодействие, исходя из предложенной структуры элементарных частиц, из которых в свою очередь состоят все объекты, представляет собой микросистему, состоящую из физических точек. Из тех же физических точек состоят первичные вихри. Это означает, что когда любой первичный вихрь вступает во взаимодействие с любым объектом, во взаимодействие вступают физические точки этих объектов. Одноименные физические точки, как ранее было показано [5,6], отталкиваются и на близком расстоянии сила гравитационного отталкивания становится более значимой, чем сила гравитационного притяжения. Что это нам дает? Когда какой-либо объект оказывается в зоне первичного вихря первого типа (Рис. 2.а), спираль этого вихря как бы захватывает данный объект и благодаря силе гравитационного отталкивания между одноименными физическими точками объекта и первичного вихря подталкивает объект к центру первичного вихря. Это происходит потому, что по мере вращения спирали первичного вихря, каждая следующая физическая точка спирали, имея меньший радиус вращения, все ближе и ближе подталкивает этот объект к центру этой спирали. Благодаря этому происходит притяжение объекта.

При попадании объекта в зону действия первичного вихря второго типа мы будем наблюдать обратную картину (Рис. 2.б). В данном случае вращение и структура вихря таковы, что каждая последующая физическая точка имеет больший радиус вращения, чем предыдущая, то есть она отстоит дальше от центра этого вихря. Благодаря этому физические точки такого вихря все дальше и дальше отталкивают объект от центра этого вихря.

В случае с первичным вихрем, имеющим кольцевые витки, в силу того, что в любом витке каждая следующая физическая точка вращается на одном и том же расстоянии от центра витка, они не отталкивают и не притягивают объекты.

Таким образом, мы разобрали принцип, благодаря которому первичные вихри могут притягивать, отталкивать или практически не взаимодействовать с другими микросистемами, состоящими из физических точек. Однако в реальных системах взаимодействуют между собой именно вихри (первичные или вторичные). Исходя из анализа структур вихрей, появилось предположение, что электрическое поле могут создавать первичные вихри. Поэтому далее рассмотрим взаимодействие первичных вихрей между собой (Рис.3).

Начнем с рассмотрения взаимодействия первичного вихря второго вида, в котором, при вращении вихря, каждая следующая физическая точка вращается вокруг центра с большим радиусом. Взаимодействие таких структур между собой показано на рисунке 3.в. При вращении этих вихрей вдоль направлений, показанных стрелками, они будут отталкиваться друг от друга, поскольку физические точки этих первичных вихрей, в тех местах, где они соприкасаются, отталкиваются. А каждая следующая точка и в том и в другом вихре все дальше отстоит от центра соответствующего вихря, что как раз и приводит их к отталкиванию друг от друга.

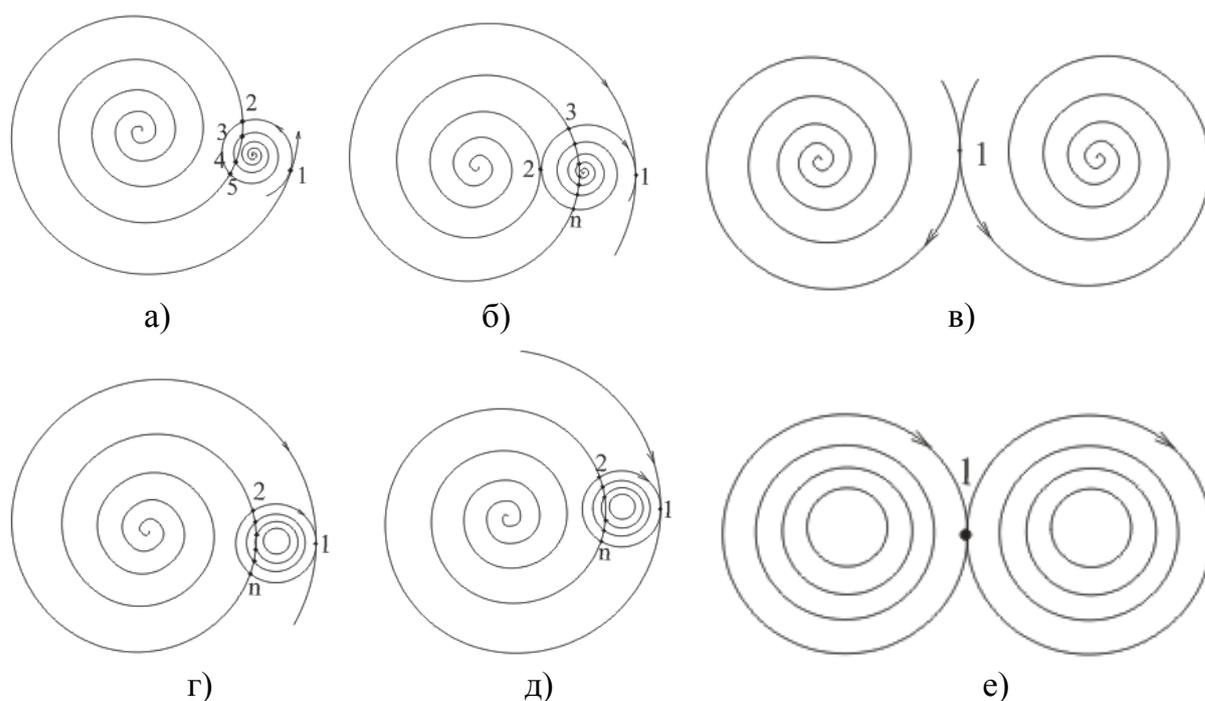


Рис. 3. Взаимодействие первичных вихрей между собой

Теперь рассмотрим взаимодействие первичного вихря первого вида, в котором, при вращении вихря, каждая следующая физическая точка вращается вокруг центра с меньшим радиусом. Взаимодействие первичных вихрей первого и второго вида показано на рисунке 3.а. В данном случае взаимодействие физических точек двух вихрей в точке 1 таково, что вихрь первого вида, в силу своей структуры, как бы захватывает вихрь второго вида. Далее процесс происходит таким образом, что точки вихря первого вида подталкивают точки вихря второго вида ближе к своему центру. Это происходит потому, что каждая следующая взаимодействующая физическая точка вихря первого вида все ближе и ближе расположена к центру. В дополнение к этому, каждая взаимодействующая физическая точка вихря второго вида в точке 1 наоборот располагается все дальше и дальше от центра. Это приводит к тому, что эти точки вихря второго вида, отталкиваясь от точек вихря первого вида, подталкивают свой вихрь к центру вихря первого вида. Результат такого взаимодействия физических точек – притяжение вихрей друг к другу. Исходя из описанного действия этих вихрей, мы можем предположить, что один из вихрей может быть положительной элементарной частицей, такой как протон, позитрон и т.д., второй – отрицательной, типа электрона. Из рис. 3.а также видно, что чем ближе притягиваются друг к другу эти вихри, тем больше будет точек столкновения (2,3,4,5) которые уже действуют не на притяжение, а хаотичным образом, в том числе на отталкивание. Поэтому данные вихри притянутся друг к другу до определенного расстояния, но не сольются. Возможно, именно поэтому электроны притянутые протонами атома не сливаются с ними, а начинают вращаться на некотором расстоянии, создавая электронные орбиты вокруг ядер.

При рассмотрении взаимодействия вихрей первого вида между собой (Рис. 3.б) мы можем увидеть некоторую аналогию с взаимодействием, рассмотренным на рисунке 3.а и одно принципиальное отличие. Аналогия заключается в том, что вихрь первого вида также захватывает, но уже не вихрь второго вида, а другой

вихрь первого вида. Здесь также каждая физическая точка первого вихря, во взаимодействующей зоне 1, стремится все ближе и ближе к центру подтолкнуть второй вихрь. Но разница заключается в том, что каждая следующая взаимодействующая физическая точка второго вихря в зоне 1 отстоит не дальше от центра своего вихря, а ближе. В результате этого дополнительного отталкивания не происходит так, как это происходит в случае с вихрем второго вида. А вот взаимодействие в точках 2, 3, ..., n наоборот отталкивает эти вихри. Суммарное взаимодействие приводит к тому, что чем ближе друг к другу расположены такие вихри, тем сильнее они будут отталкиваться друг от друга. Именно это происходит с одноименными элементарными частицами, такими например как протоны.

Теперь рассмотрим взаимодействие круговых вихрей. В данном случае, исходя их структуры вихря и предполагаемых свойств такой структуры, эти вихри назовем нейтральными. При взаимодействии нейтрального вихря с вихрем первого вида, последний, в силу своих свойств, также как в случаях а) и б) рисунка 3, обхватывает вихрь, которым в данном случае является нейтральный (Рис. 3.г). Дальнейшее взаимодействие имеет частичную аналогию и одно существенное отличие. Аналогия заключается в том, что каждая следующая физическая точка вихря первого вида старается подтолкнуть к себе, в зоне 1, нейтральный вихрь. Но в отличие от вихрей первого и второго вида, каждая следующая взаимодействующая физическая точка нейтрального вихря вращается на таком же расстоянии от центра, как и предыдущая. Это качество приводит к тому, что данное взаимодействие нейтрального вихря не способствует ни дополнительному отталкиванию, которое происходит при взаимодействии с вихрем второго вида, ни компенсации этого воздействия, которое происходит при взаимодействии с вихрем первого вида. А вот взаимодействие этих вихрей в зоне точек 2, ..., n наоборот будет стремиться отталкивать вихри друг от друга. Таким образом, получается, что нейтральный вихрь не имеет ни «активного» притяжения, ни «активного» отталкивания вихрем первого вида. Такую же логику взаимодействия нейтрального вихря, можно применить и к его взаимодействию с вихрем второго вида (Рис. 3.д). Результатом анализа этого взаимодействия будет вывод о том, что нейтральный вихрь не имеет ни «активного» притяжения, ни «активного» отталкивания вихрем второго вида. В отношении взаимодействия двух нейтральных вихрей между собой результат их взаимодействия очевиден. Он заключается в том, что эти вихри так же не имеют между собой ни «активного» отталкивания, ни «активного» притяжения.

Таким образом, анализ возможных взаимодействий различных первичных вихрей между собой, позволяет говорить о том, что такие взаимодействия способны проявить свойства, которые нам известны как свойства кулоновского взаимодействия. А это может означать, что электрическое поле – это поле взаимодействия первичных вихрей между собой, и оно является не фундаментальным, а лишь суммой взаимодействия трех сил: силы гравитационного притяжения, силы гравитационного отталкивания и силы инерции, действующих на уровне физических точек.

Выводы

1. Проведенный анализ взаимодействий показал, что электрическое взаимодействие, может быть взаимодействием первичных вихрей элементарных частиц между собой.

2. Исходя из анализа аналогий, можно предположить, что скручивающиеся первичные вихри, вихри 1-го типа, могут придавать, в предложенной структуре элементарных частиц, вид взаимодействия схожий с взаимодействием положительных элементарных частиц, типа протона.
3. Исходя из анализа аналогий, можно предположить, что раскручивающиеся первичные вихри, вихри 2-го типа, могут придавать, в предложенной структуре элементарных частиц, вид взаимодействия схожий с взаимодействием отрицательных элементарных частиц, типа электрона.
4. Исходя из анализа аналогий, можно предположить, что круговые первичные вихри, вихри 3-го типа, могут придавать, в предложенной структуре элементарных частиц, вид взаимодействия схожий с взаимодействием нейтральных элементарных частиц, типа нейтрона.
5. Исходя из изложенного, в случае подтверждения предложенной логики, можно сделать вывод о том, что сила электрического взаимодействия является не фундаментальной силой, а лишь следствием взаимодействия трех других сил: силы гравитационного притяжения, силы гравитационного отталкивания и силы инерции, которые осуществляют свое взаимодействие на уровне физических точек.

Литература

1. М.Н.Раимкулов Новый взгляд на элементарные частицы. // Известия НАН КР, 2010, №3, с.106-111.
2. М.Н.Раимкулов Взаимодействие физических точек в первичных вихрях. // Физика, 2010, №1, с.173-177.
3. М.Н.Раимкулов Поведение физической точки в первичном вихре. // Физика, 2010, №1, с.177-180.
4. М.Н.Раимкулов. Влияние гравитационного отталкивания на взаимодействие физических точек в первичных вихрях. // Физика, 2010, №1, с.180-184.
5. М.Н.Раимкулов Физические процессы на уровне элементарных частиц. // Известия НАН КР, 2010, №3, с.102-106.
6. М.Н.Раимкулов Коэффициент силы антигравитации. // Физика, 2011, №3, с.118-121

УДК: 539.1

СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ С ЯДЕРНЫМИ СИЛАМИ

М.Н.Раимкулов, к.т.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

В настоящей статье рассмотрены некоторые виды взаимодействия первичных вихрей элементарных частиц между собой и проанализирована связь этих взаимодействий с ядерными силами. Показана вероятность того, что предложенные варианты взаимодействий способны воспроизвести указанную силу.

COMMUNICATION OF STRUCTURE OF ELEMENTARY ELEMENTS WITH NUCLEAR FORCES

M.N.Raimkulov

In present article some kinds of interaction of primary whirlwinds of elementary particles among themselves are considered and communication of these interactions with nuclear force is analyzed. The probability of that the offered variants of interactions are capable to reproduce the specified force is shown.

Одной из сил считающейся сегодня фундаментальной, т.е. исходной, является сила ядерного взаимодействия. Сильные ядерные взаимодействия - это, как известно, те взаимодействия, которыми нуклоны удерживаются вместе в составе атомных ядер. К настоящему времени имеется множество работ, в которых рассматривается данное взаимодействие. Общим недостатком этих работ является отсутствие представлений о природе ядерных сил [1]. Чтобы разобраться в природе ядерных сил попробуем понять, может ли взаимодействие ранее предложенных структур элементарных частиц [2] создать такую силу. Как нам известно, ядерные силы проявляются между протонами и нейтронами ядра, и несмотря на свойство зарядовой независимости именно нейтроны являются связующим «цементом» в ядерных взаимодействиях. В случае, когда два нуклона окажутся достаточно близко, они сначала должны развернуться антипараллельно под действием градиентных сил, и если два нуклона окажутся в таком положении, что их "стенки" будут в пределах пограничных слоёв друг друга, то они притянутся друг к другу и соединятся [1]. Также следует помнить, что создание новых ядер происходит при чрезвычайно высоких температурах, т.е. при больших скоростях движущихся навстречу друг другу элементарных частиц. Такое движение частиц навстречу друг другу позволяет им приблизиться на минимальные расстояния. Посмотрим, что произойдет с взаимодействием «скручивающегося» и «нейтрального» вихрей при условии, что они приблизились максимально близко друг к другу (Рис. 1).

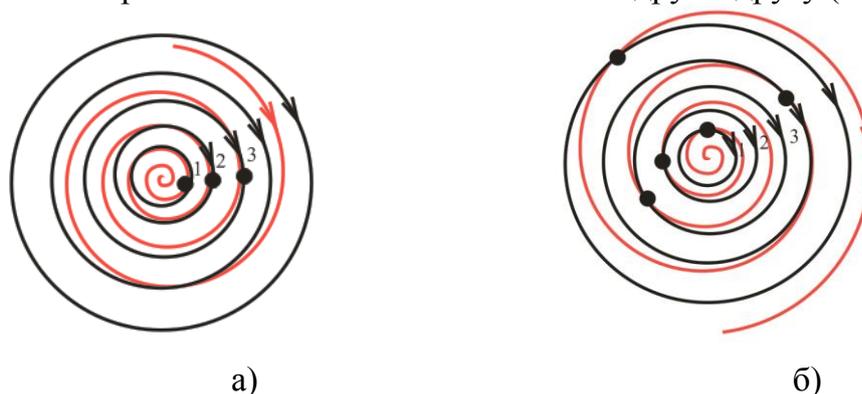


Рис. 1. Взаимодействие первичных вихрей на минимальном расстоянии.

Из предложенной схемы взаимодействия двух вихрей видно, что по мере вращения «скручивающегося» первичного вихря в «нейтральном» первичном вихре (Рис. 1.а) все столкновения будут такими, что физические точки «скручивающегося» вихря будут отталкиваться от физических точек «нейтрального» вихря к своему центру и, при этом нет ни одной точки, где столкновения, в отличие, например, от электрического взаимодействия, носили бы

противоположный вектор направленности. Для ясности следует пояснить, что понятия «скручивающийся» и «раскручивающийся» вихри условные, и названы так лишь для обозначения соответствующего вихря. Сами вихри имеют вид спирали, но все физические точки, создающие подобную структуру, в виде спирали, вращаются вокруг асимптотического центра с неизменным радиусом вращения. Т.е. на практике эти вихри напоминают жесткие спирали, состоящие из физических точек, вращающихся в ту или иную сторону.

Теперь посмотрим, что произойдет с взаимодействием «раскручивающегося» и «нейтрального» вихрей при условии, что они приблизились максимально близко друг к другу (Рис. 1.б). Из предложенной схемы взаимодействия двух вихрей видно, что по мере вращения «раскручивающегося» первичного вихря вокруг «нейтрального» первичного вихря все столкновения будут такими, что нейтральный вихрь за счет его подталкивания к центру «раскручивающегося» вихря будет как бы постоянно вкручиваться в положительный вихрь. В данном случае так же нет ни одной точки, где столкновения, в отличие, например, от электрического взаимодействия, носили бы противоположный вектор направленности.

На данном этапе сложно до конца определить, какой из вихрей («скручивающийся» или «раскручивающийся») представляет собой протон, но одно мы можем констатировать, что для обоих видов описанных взаимодействий проявляется сильный процесс притяжения частиц с указанными структурами. В данном случае мы рассматривали только взаимодействие первичных вихрей и не учитывали взаимодействие между собой вторичных вихрей, которое также имеет место. Изучение этого взаимодействия внесет дополнительные детали в изучаемый процесс. Дальнейшие исследования позволят определить какой из двух вихрей («скручивающийся» или «раскручивающийся») взаимодействует с нейтральным вихрем, создавая ядерное взаимодействие. Необходимо отметить, что в данном случае важны направления вращений вихрей, так как только при совпадении этих вращений они взаимодействуют описанным выше образом. Этот факт является одной из особенностей взаимодействия ядерных сил, поскольку ядерные силы зависят от ориентации спинов нуклонов. Так, например как мы помним, нейтрон и протон удерживаются вместе, образуя ядро тяжелого водорода дейтрон только в том случае, если их спины параллельны друг другу [3].

Вероятно, именно такое однонаправленное воздействие одного вихря на другой создает сильное притяжение, несравнимое ни с одним другим взаимодействием по силе. Также данная схема показывает, что такое взаимодействие может проявляться только на таких минимальных расстояниях. А это как раз свойство ядерной силы, которая является одной из самых короткодействующих в классической физике сил. Радиус действия этих сил имеет порядок 10^{-15} м.

Ядерные силы описывают при помощи потенциала, который является функцией расстояния r между нуклонами. В отличие от кулоновского и гравитационного потенциалов, обратно пропорциональных квадрату расстояния, ядерный потенциал зависит от r гораздо сложнее. Например, на расстоянии 1 ферми (1 ферми = 10^{-13} см) ядерное притяжение максимально и превышает кулоновское взаимодействие (потенциал) в несколько десятков раз, а гравитационное – в 10^{38} раз, однако с увеличением расстояния до $r = 6$ ферми

ядерное притяжение убывает в 200 раз, тогда как кулоновское и гравитационное только в 6 раз [4].

На рисунке 2 показано взаимодействие первичных вихрей между собой при их удалении друг от друга на расстоянии примерно равном радиусу минимального из круговых вихрей. Уже в этом случае, в отличие от взаимодействия, показанного на рисунке 1, кроме притяжения в точках, аналогичных притяжению на минимальном расстоянии (черные точки) появляется взаимодействие, где притяжение не несет такой однозначный характер (белые точки). Вследствие взаимодействия вихрей в точках обозначенных белым цветом притяжение вихрей уменьшается. И эта зависимость от расстояния между вихрями имеет более сложный характер, чем зависимость гравитационных и кулоновских сил.

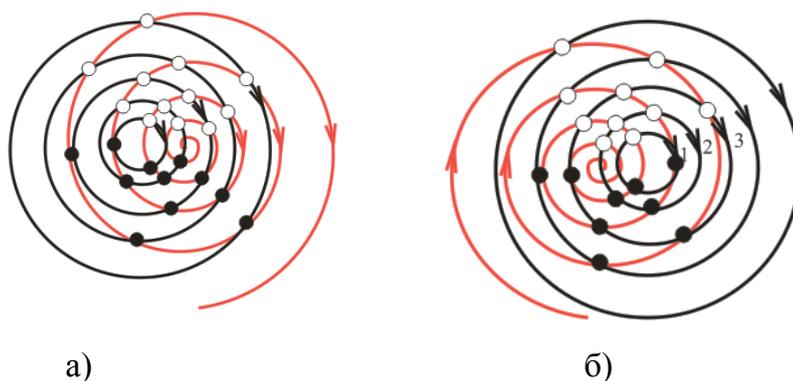


Рис. 2. Взаимодействие положительного и нейтрального первичных вихрей при некотором удалении от минимального расстояния.

Таким образом, можно отметить, что взаимодействие вихрей предложенной структуры позволяет создать, при необходимых условиях, максимально сильное (из всех нам известных) взаимодействие, а зависимость от расстояния между вихрями (при первом рассмотрении) проявляет себя аналогично зависимости ядерных сил, возникающих при взаимодействии нуклонов между собой.

Вывод

Исследования структур элементарных частиц и их взаимодействия между собой показали вероятность того, что эти взаимодействия создают влияние, очень сильно напоминающее, влияние ядерной силы. То есть это говорит о том, что, вероятно, указанная сила не являются фундаментальной силой, а является лишь следствием определенного взаимодействия различных структур элементарных частиц.

Литература

1. Сильные и слабые ядерные взаимодействия. <http://hokma.chat.ru/fundamental.html>
2. М.Н.Раимкулов. Новый взгляд на элементарные частицы или принцип создания материи. Известия НАН КР, №3, 2010, с.106-111.
3. И.В.Савельев. Общий курс физики. Т. 3. – М.: Наука, 1988, стр. 239.
4. Ядерные силы. <http://atombit.org/yadernye-sily/>

УДЕЛЬНАЯ ИЗОБАРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ СПЛАВА ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Костромин П.К., Содиков Х.С. ст.преп., **Джаманкызов Н.К.**, к.ф.-м.н.,
Шайкенов Б.А., Сафаров М.М. д.т.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Таджикистан
Душанбинский Национальный исследовательский университет (МЭИ),
Таджикистан

В работе приводятся результаты экспериментального исследования теплоемкости сплавов системы ферросиликоалюминия (15Al+30Si+55Fe) при различных температурах (100-2000 К). Для измерения теплоемкости сплавов использован метод монотонного разогрева.

SPECIFIC HEAT CAPACITY OF ALLOYS AT THE FERROSILICOALUMINIUM ALLOYS IN THE TEMPERATURE

**Kostromin P. K., Sodikov H.S., Djamankyzov N.K.,
Shaikenov B. A., Safarov M. M.**

In the paper are results of experimental data specific heat capacity of alloys systems (15Al+30Si+55Fe) in the interval temperature 100-2000 K.

Key words: specific heat capacity, monoton regime, alloys, titanium, nickel, ferrosilicoaluminum alloys

Технология получения сплавов системы ферросиликоалюминия (технология получения сплавов метод В.Д. Сарнацкий) принципиально отличается от технологии производства ферросиликоалюминия традиционным способом из Экибастузских отвалов углей Казахстана. Эта технология является составной частью безотходной программы производства электрокорунда нормального.

1. Требования безопасности изложены
2. Краткое описание процесса производства.

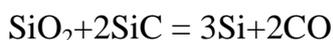
Исследуется технология выплавки ферросиликоалюминия состава: Al – 15-20 %, Si – 30 – 40 %. В качестве исходных шихтовых материалов использовали старую шихту карбида кремния с промплощадки «Растущая», магнитную фракцию производства нормального электрокорунда, антрацит. Как шлакообразующие составляющие, необходимые для работы на печах ЭШП применяют кварцевый песок и негашеную известь. При плавке в рудотермической печи добавка кварцевого песка и негашеной извести исключается.

Плавка ферросиликоалюминия углетермическим способом предлагается по следующей схеме: восстановление оксидов алюминия, кремния, титана, железа, содержащихся в старой шихте карбида кремния и электрокорунда карбидом кремния и углеродом:



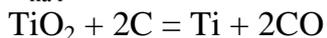
$$\Delta G^\circ T = 1344110 - 581,204 T$$

$$T_{\text{нач}} = 2312\text{K} = 2040^\circ\text{C}$$



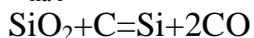
$$\Delta G^\circ T = 833440 - 377,096 T$$

$$T_{\text{нач}} = 2210 \text{ K} = 1937^\circ \text{C}$$



$$\Delta G^\circ T = 722940 - 363,716 T$$

$$T_{\text{нач}} = 1988 \text{ K} = 1715^\circ \text{C}$$



$$\Delta G^\circ T = 689640 - 360,966 T$$

$$T_{\text{нач}} = 1910 \text{ K} = 1637^\circ \text{C}$$

Исходным сырьём для производства ферросиликоалюминия являются:

- старая шихта карбида кремния
- магнитная фракция нормального электрокорунда
- антрацит

Контролю качества подвергаются следующие материалы: старая шихта карбида кремния, магнитная фракция, антрацит.

В старой шихте карбида кремния определяют массовую долю SiC, SiO₂, C_{своб}, Fe₂O₃, летучих.

В магнитной фракции определяют массовую долю металла и корунда.

В антраците определяют количество влаги, золы, летучих, серы.

Агрегатом для выплавки ферросиликоалюминия является печь электрошлакового переплава (ЭПШ) 750 кВ*А с двумя графитированными электродами диаметром 300 мм, оборудованной наклоняющейся ванной с графитовым тиглем. Плавка ведётся способом «на слив». Выпуск расплава производится в металлическую изложницу, футерованную шамотным кирпичом. В изложнице происходит разделение расплава на шлаковую и металлическую фазы.

Плавка ведётся до полного проплавления колошника.

3. Приготовление и загрузка шихты в печь.

Старая шихта карбида кремния должна иметь крупность не более 20 мм.

Магнитная фракция нормального электрокорунда должна быть сыпучей, наличие кусков более 10 мм не допускается.

Антрацит измельчается до крупности 6 – 8 мм.

Расчёт шихты производится по данным химического анализа исходных компонентов на получение заданной марки ферросиликоалюминия.

Шихта тщательно перемешивается лопатами и подаётся на плавильную площадку, откуда при помощи лопат подаётся в печь. Загрузка происходит порционно по мере осаждения шихты.

Состав шихты на выплавку:

Старая шихта КК - 52 %

Магнитная фракция ЭН – 30%

Антрацит – 4,5 %

Кварцевый песок – 7 %

Негашеная известь – 6,5%

4. Плавка, слив, охлаждение, сортировка.

Окончание плавки определяется полным расплавлением шихты и достижением хорошей жидкотекучести шлака. По готовности расплава происходит его слив в приёмные изложницы. После затвердения расплава в изложнице (4-5 часов) извлечь слиток посредством опрокидывания изложницы. Дальнейшее

охлаждение слитка происходит на воздухе без применения воды до температуры 30-40°C, после чего произвести рассортировку шлака и металлического сплава.

На 100 кг загруженной шихты (без кв. песка и извести) должно получиться 45 кг ФСА.

Ориентировочный удельный расход электроэнергии – 7 – 7,5 тыс. кВтч/т.

Авторами работ [1] методами химическим и спектральным анализом получен сплав следующего химического состава (таблица 1).

Таблица 1 Химический состав и элементы сплава ферросиликоалюминия [1]

№	Элементы	Спектр. анализ		Хим. анализ, %
		Дл.волн.А°	С%	
1.	Si	2568	48	45-63
2.	Al	3051	20	10-25
3.	Fe	2599	16	-
4.	Ti	2841	5	1-10
5.	Ca	2564	4,8	1-10
6.	Mn	2933	2,5	-
7.	Cr	2843	1.65	-
8.	Ba	3071	1,05	1-10
9.	Cu	2824	0,7	-
10.	Ni	3050	0,7	-
11.	V	2924	0,65	0,3-5
12.	Mo	3170	0,4	-
13.	Co	3044	0,2	-
14.	Pb	2833	0,2	-
15.	Be	3131	0,065	-
16.	Sn	2840	0,006	-
17.	Sc	3353	0,004	-

Для измерения теплоемкости сплавов ферросиликоалюминия нами использован метод монотонного разогрева ИТС-400 и на основе экспериментальных данных по теплоемкости основных компонентов исследуемых сплавов в интервале температур (673-2000 К), рассчитаны C_p (таблица 2).

Надо отметить, что аппаратура для измерения теплоемкости позволяет измерять удельную изобарную теплоемкость твердых тел в интервале температур (от температуры жидкого азота до 673 К).

Таблица 2. Экспериментально - расчетное значение теплоемкости сплава ферросиликоалюминия системы (15Al+30Si+55Fe) в зависимости от температуры.

Т,К	C_p , Дж/ (кг К)	Т,К	C_p , Дж/ (кг К)	Т,К	C_p , Дж/ (кг К)
100	250,2	500	540,2	900*	710,2
125	290,4	525	544,6	925*	730,8
150	320,7	550	550,4	950*	770,4
175	340,8	575	560,3	975*	820,3
200	380,4	600	570,0	1000*	854,1
225	400,3	625	578,3	1025*	950,3
250	420,6	650	580,4	1042*	1076,7

275	438,7	675	590,7	1100*	836,6
300	450,0	700*	595,4	1183*	770,6
325	460,2	725*	600,2	1200*	740,9
350	477,3	750*	610,3	1400*	761,0
375	490,6	775*	625,4	1600*	787,5
400	500,3	800*	640,7	1667*	860,6
425	510,9	825*	655,8	1800*	844,4
450	520,6	850*	670,1	2000*	880,7
475	530,3	875	680,0	-	-

*- расчетные данные по принципу аддитивности.

Образец имел цилиндрическую форму диаметром 15 мм и высотой 10 мм. Общая относительная погрешность измерения теплоемкости этим методом составляет 4,5%.

Как видно из таблицы 2 с ростом температуры увеличивается теплоемкость сплавов с эффектом памяти системы (15Al+30Si+55Fe). Самое высокое значение теплоемкости исследуемых систем получено при температуре 1042 К. Для расчета теплоемкости системы, т.е. теплоемкость алюминия и железа заимствована из работы [3], а теплоемкость кремния впервые получены нами. Согласно определению состава сплава ферросиликоалюминия (таблица 1) методом спектрального анализа общее количество элементов в данном сплаве составляет 17 элементов, а химическим анализе всего 6 элементов [1].

Предполагается, что основной вклад в изменении теплоемкости сплава системы (15Al+30Si+55Fe) играет роль алюминия, кремния и железа. Частично, также и влияет Ti и Ca. Остальные элементы не влияют на изменения теплоемкости сплава системы (15Al+30Si+55Fe). Используя закон соответствующих состояний и экспериментальные данные для сплава ферросиликоалюминия системы (15Al+30Si+55Fe) получено эмпирическое уравнение.

Литература

1. Костромин П.К., Шайкенов Б.А., Сабаев К.У., Джаманкызов Н.К. Определение химического состава нового сплава ферросиликоалюминий методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. Наука и новые технологии, №2, 2011.С.33-35.
2. Платунов Е.С. Теплофизические измерения методом монотонного разогрева. Л.1974. 156с.
3. Зиновьев В.Е.Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. М. Металлургия,1990, 403с.

УДК 622.23.05

ФУНКЦИЯ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ПРОДОЛЬНЫХ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ ТИПА СТЕРЖНЕЙ

Мясников А. А., к.т.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

Обосновывается рациональное представление информации об импульсах упругих продольных колебаний в твердых телах типа стержней.

FUNCTION OF THE FORM OF THE LONGITUDINAL ELASTIC VIBRATIONS PULSE IN SOLIDS TYPE OF BARS

Myasnikov A. A.

Rational representation of the information on impulses of elastic longitudinal vibrations in solids of bar type is proved.

Технологические ударные системы являются базой значительного класса машин предназначенных для разрушения или формоизменения обрабатываемых объектов. Схематически ударная система показана на рис. 1.

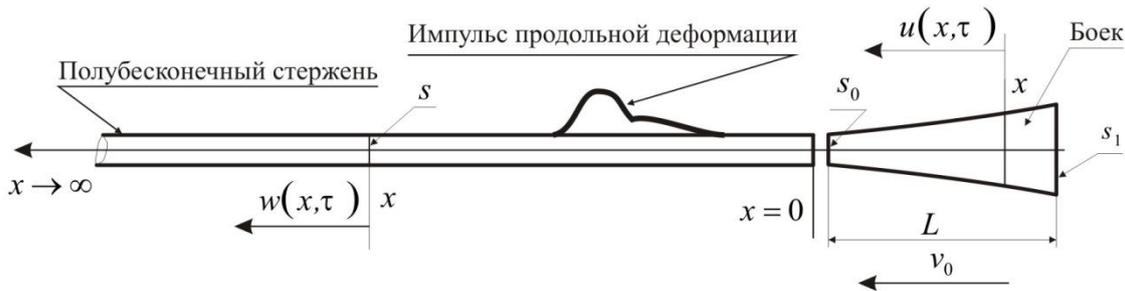


Рис. 1. Схема технологических ударных систем.

В таких машинах за счет внешнего источника энергии боек совершает возвратно поступательные движения. В конце прямого хода он наносит удар по ударному торцу тела типа стержня. В результате удара в обоих телах формируются импульсы продольной деформации. Импульс формируемый в стержне технологически необходим для привода инструмента на другом конце стержня с целью выполнения полезной работы.

Для аналитического описания динамики процесса наиболее подходят два уравнения математической физики в частных производных гиперболического типа с переменными коэффициентами:

- общепринятое уравнение, построенное на базе гипотезы плоских сечений (ГПС уравнение) [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E s(x) \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} \right) - \rho s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2} = 0 ; \quad (1)$$

- уравнение построенное на гипотезе отсутствия радиальных напряжений, в нулевом приближении, при динамическом сжатии (ОРН уравнение) [2, 3]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E s(x) \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu^2 J_\rho(x) \left(G \frac{\partial^3 u(x, \tau)}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u(x, \tau)}{\partial x \partial \tau^2} \right) \right] - 2 G \mu s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2} = 0 ; \quad (2)$$

где: $u(x, \tau)$ - смещение центра сечения вдоль оси прямого симметричного стержня переменного поперечного сечения с координатой x в момент времени τ ,

E - модуль упругости на сжатие, G - модуль сдвига, ρ - плотность,

μ - коэффициент Пуассона материала стержня;

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} ; \quad (3)$$

$s(x)$ - площадь поперечного сечения стержня с координатой x ,

$J_{\rho}(x) = \int_{r_*^2}^{r^2} ds_x$ - момент инерции.

Если пренебречь производными выше второго порядка, то уравнение (2) принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E s(x) \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} \right) - \frac{E \mu}{1 + \mu} s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2} = 0. \quad (4)$$

При выводе уравнений принималось, что относительные деформации не превышают пределов упругости, т.е. выполняется закон Гука.

В результате элементарных преобразований уравнения (1) и (4) преобразуются к стандартному виду:

- ГПС уравнение:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{1}{s(x)} \frac{ds(x)}{dx} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{c^2 \partial \tau^2} = 0, \quad (5)$$

где: $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, (6)

- ОРН уравнение:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} + (\mu + 1) \frac{1}{s(x)} \frac{ds(x)}{dx} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{c_1^2 \partial \tau^2} = 0, \quad (7)$$

где: $c_1 = \sqrt{\frac{E}{(\mu + 1)\rho}}$. (8)

Если стержень постоянного поперечного сечения, то уравнения (5) и (7) принимают вид:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{c_*^2 \partial \tau^2} = 0, \quad (9)$$

где: $c_* = c$ - для ГПС уравнения, $c_* = c_1$ - для ОРН уравнения продольных колебаний.

Анализ Эйлера показал [1]:

- решение уравнения может быть представлено в виде:

$$u(x, \tau) = f_+(x - c_* \tau) + f_-(x + c_* \tau), \quad (10)$$

где: $f_+(x - c_* \tau)$ - функция определяющая импульс продольных колебаний

перемещающийся в положительном направлении оси x ,

$f_-(x + c_* \tau)$ - функция определяющая импульс перемещающийся в

отрицательном направлении оси координат поперечных

сечений;

- вид функций определяется начальными условиями,

- импульс распространяется в однородном стержне постоянного поперечного сечения без искажения со скоростью распространения звука c_* .

В современной литературе (10) называется решением уравнения в форме Даламбера.

Эффективность работы технологической ударной системы определяется параметрами импульса генерируемого в стержне. Чтобы исключить в модели влияние отраженных импульсов, первый из которых будет отраженным от неударного торца, стержень принимается полубесконечным.

Рассмотрим задачу по определению импульса генерируемого в полубесконечном однородном цилиндрическом стержне площадью поперечного сечения s ударом цилиндрического однородного стержня конечной длины L с площадью поперечного сечения $s_0 = s$, равной площади поперечного сечения полубесконечного стержня, со скоростью v_0 . Принимается, что оба стержня имеют плоские торцы и выполнены из одинакового материала. Ось координат поперечных сечений совпадает с осью стержней, положительное направление координат от ударного торца полубесконечного стержня к неударному, начало координат совпадает с координатами ударных торцов, рис. 1. Время τ - отсчитывается с момента взаимодействия.

Пусть смещение произвольного поперечного сечения полубесконечного стержня определяется функцией $u(x, \tau)$, конечного стержня функцией $w(x, \tau)$, тогда процесс будет определяться системой уравнений:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{c_*^2 \partial \tau^2} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 w(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 w(x, \tau)}{c_*^2 \partial \tau^2} = 0. \quad (12)$$

Смещения сечений отсчитываются от положения занимаемого в момент начала взаимодействия, следовательно смещения в этот момент времени равны нулю:

$$u(x, 0) = 0, \quad w(x, 0) = 0. \quad (13)$$

Сечения полубесконечного стержня перед началом взаимодействия неподвижны:

$$\frac{\partial u(x, 0)}{\partial \tau} = 0, \quad (14)$$

сечения ударяющего стержня имеют скорость v_0 :

$$\frac{\partial w(x, 0)}{\partial \tau} = v_0, \quad (15)$$

В процессе взаимодействия равны смещения ударных торцов стержней:

$$u(0, \tau) = w(0, \tau), \quad (16)$$

и силы взаимодействия, определяемые законом Гука:

$$E s \frac{\partial u(0, \tau)}{\partial x} = E s_0 \frac{\partial w(0, \tau)}{\partial x}. \quad (17)$$

На неударный торец стержня конечной длины не действуют внешние силы, следовательно, отсутствуют относительные деформации:

$$\frac{\partial w(-L, \tau)}{\partial x} = 0. \quad (18)$$

В достаточно удаленных от ударного торца сечениях полубесконечного стержня отсутствуют относительные деформации:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} = 0. \quad (19)$$

Для понимания физики взаимодействия рационально использовать операционное исчисление на базе интегрального преобразования Лапласа с параметром p по переменной:

$$t = c_* \tau. \quad (20)$$

Физически переменная t соответствует расстоянию на которое перемещается возмущение за период времени τ .

В области изображений уравнения примут вид [1]:

$$\frac{d^2 w(x, p)}{dx^2} - p^2 w(x, p) + p w(x, 0) + \frac{\partial w(x, 0)}{\partial t} = 0, \quad (21)$$

$$\frac{d^2 u(x, p)}{dx^2} - p^2 u(x, p) + p u(x, 0) + \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0. \quad (22)$$

С учетом начальных условий (13-15) система переписывается в виде:

$$\frac{d^2 w(x, p)}{dx^2} - p^2 w(x, p) = -\frac{v_0}{c_*}, \quad (23)$$

$$\frac{d^2 u(x, p)}{dx^2} - p^2 u(x, p) = 0, \quad (24)$$

Изображения функции смещений сечений стержней определяются формулами:

$$u(x, p) = C_1 \exp(x p) + C_2 \exp(-x p), \quad (25)$$

$$w(x, p) = C_3 \exp(x p) + C_4 \exp(-x p) + \frac{v_0}{c_* p^2}, \quad (26)$$

где: C_1, C_2, C_3, C_4 - константы интегрирования.

Граничные условия в области изображений принимают вид:

- отсутствие относительной деформации на неударном торце стержня конечной длины:

$$\frac{dw(-L, p)}{dx} = 0, \quad (27)$$

- отсутствие относительных деформаций в достаточно удаленных сечениях полубесконечного стержня:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{du(x, p)}{dx} = 0; \quad (28)$$

в процессе ударного взаимодействия стержней:

- равны смещения ударных торцов:

$$u(0, p) = w(0, p), \quad (29)$$

- равны относительные деформации на ударных торцах:

$$\frac{du(0, p)}{dx} = \frac{dw(0, p)}{dx}. \quad (30)$$

Из условия (27) следует:

$$C_3 p \exp(-L p) - C_4 p \exp(L p) = 0,$$

отсюда:

$$C_4 = C_3 \exp(-2L p), \quad (31)$$

$$w(x, p) = C_3 \left[\exp(x p) + \exp(-x p + 2L p) \right] + \frac{v_0}{c_* p^2}, \quad (32)$$

$$\varepsilon_w(x, p) = \frac{dw(x, p)}{dx} = C_3 p \left[\exp(x p) - \exp(-x p + 2L p) \right]. \quad (33)$$

Изображения смещения и относительной деформации ударного торца конечного стержня определяются формулами:

$$w(0, p) = C_3 \left[1 + \exp(-2Lp) \right] + \frac{v_0}{c_* p^2}, \quad (34)$$

$$\varepsilon_w(0, p) = C_3 p \left[-\exp(-2Lp) \right]. \quad (35)$$

Из условия (28) следует:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left[C_1 p \exp(-xp) - C_2 p \exp(-xp) \right] = 0, \quad (36)$$

что равносильно условию:

$$C_1 = 0. \quad (37)$$

Функции смещения и относительной деформации в полубесконечном стержне определяются формулами:

$$u(x, p) = C_2 \exp(-xp), \quad (38)$$

$$\varepsilon_u(x, p) = \frac{du(x, p)}{dx} = -p C_2 \exp(-xp). \quad (39)$$

Изображения смещения и относительной деформации ударного торца определяются формулами:

$$\varepsilon_0(\varphi) = \varepsilon_u(0, p) = -p C_2, \quad (40)$$

$$u(0, p) = C_2 = -\frac{\varepsilon_0(\varphi)}{p}. \quad (41)$$

Условия (29) и (30) определяют систему:

$$-\frac{\varepsilon_0(\varphi)}{p} = C_3 \left[1 + \exp(-2Lp) \right] + \frac{v_0}{c_* p^2}, \quad (42)$$

$$\varepsilon_0(\varphi) = C_3 p \left[-\exp(-2Lp) \right]. \quad (43)$$

Изображение функции относительной деформации на ударном торце полубесконечного стержня определится формулой:

$$\frac{-\varepsilon_0(\varphi)}{\varepsilon_0(\varphi)} = \frac{\frac{v_0}{c_* p}}{1 - \exp(-2Lp)} = \frac{1 + \exp(-2Lp)}{1 - \exp(-2Lp)}, \quad (44)$$

$$\varepsilon_0(\varphi) = -\frac{v_0}{2c_0} \left[\frac{1}{p} - \frac{1}{p} \exp(-2Lp) \right]. \quad (45)$$

По теории операционного исчисления оригинал данного изображения может быть представлен [1] в виде:

$$\varepsilon_0(t) = -\frac{v_0}{2c_0} \left[\bar{\eta}(t) - \bar{\eta}(t - 2L) \right], \quad (46)$$

где: $\bar{\eta}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t > 0, \\ 0, & \text{если } t < 0. \end{cases}$ - единичная функция Хевисайда. (47)

Физически решение (46) можно интерпретировать следующим образом: При ударе стержнем конечной длины L по полубесконечному однородному цилиндрическому стержню на ударном торце последнего генерируется относительная деформация сжатия постоянной величины, определяемая функцией первой волны:

$$f_1(t) = -\frac{v_0}{2c_0}, \quad (48)$$

через промежуток времени $T = \frac{2L}{c_*}$ на первую волну накладывается вторая волна, отраженная от неударного торца волна сгенерированная в стержне конечной длины. Значение относительной деформации развиваемой второй волной определяется функцией второй волны:

$$f_2 = \frac{v_0}{2c_*}, \quad (49)$$

Поскольку значение функции второй волны равно и противоположно по знаку значению функции первой волны, то вторая волна гасит с запаздыванием T первую волну. Таким образом в полубесконечном цилиндрическом стержне при ударе по нему цилиндрическим стержнем конечной длины, сделанных из одинакового материала, формируется прямоугольный импульс прямоугольной формы равный двойной длине ударяющего цилиндра.

Приведенное неполное решение занимает сравнительно большой объем. Кроме того оно связано с большим числом параметров определяющих решение. Решение значительно усложняется, если площади ударных торцов разные, и стержень конечной длины не является прямым цилиндром.

Актуальной становится задача представления решения в наиболее общей и компактной форме. Этим условиям удовлетворяет функция формы импульса e_0 получаемая делением функции относительной развиваемой импульсом в полубесконечном стержне на значение относительной деформации развиваемой при ударе цилиндрическим бойком равного сечения:

$$e_0 = -\frac{2c_*}{v_0} \varepsilon, \quad (50)$$

время τ заменяется безразмерным аналогом:

$$\bar{\tau} = \frac{c_* \tau}{L}. \quad (51)$$

Для ударяющих стержней переменного поперечного сечения с непрерывной и гладкой образующей боковой поверхности функция формы импульса также будет зависеть от отношения диаметров неударного торца D_1 к ударному D_0 :

$$\kappa = \frac{D_1}{D_0}. \quad (52)$$

В частности, функция формы импульса генерируемого в полубесконечном однородном цилиндрическом стержне ударом конечным цилиндрическим стержнем такой же площади поперечного сечения будет иметь вид:

$$e_0 = 1 - \kappa - 2\bar{\tau}. \quad (53)$$

Данная функция не зависит от:

- механических характеристик материала стержней ударной системы: E , ρ , μ ;
- кинематики соударения: v_0 ;
- параметров геометрии стержней: s , L , D_0 , D_1 .

В то же время, фактические значения всех функций: усилие, напряжение, относительная деформация развиваемые импульсом, смещения, скорости смещения сечений, и т.д. могут быть легко определены по функции формы импульса.

Обоснование возможности существования *функции формы импульса*, построенной по изложенным критериям, является новым результатом в теории проектирования и исследования ударных систем технологического назначения. Появляется возможность объективно сопоставлять, обобщать известные решения других авторов на более широкий круг задач. Вероятно получение новых знаний из уже известных решений. Создаются предпосылки объективной ревизии некоторых положений и высказываний, ранее считающимися вполне корректными.

Литература

1. Мясников А.А., Обоснование рациональной конструкции механического генератора волн продольных колебаний машин ударного действия для разрушения горных пород, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – теория механизмов, машин и автоматических линий, Алма-Ата, 1983.
2. Мясников А.А., Модифицированное уравнение продольных колебаний стержней переменного поперечного сечения в цилиндрической системе координат, Материалы седьмой научно-практической конференции по проблемам машиностроения, металлургических и горных машин, Сибирская государственная горно-металлургическая академия, Новокузнецк, 1998, стр. 70-79.
3. Мясников А.А., Модифицированное уравнение продольных колебаний стержней переменного поперечного сечения в цилиндрической системе координат, Часть II. Второе приближение, Материалы восьмой научно-практической конференции по проблемам машиностроения, металлургических и горных машин, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, 1998, стр. 78-84.

УДК 537.527

ВЕРИФИКАЦИЯ ДВУХМЕРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Ф.Р. Султанова

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
Бишкек, Кыргызстан, aziza_74@mail.ru

С целью тестирования математической модели и методики численного решения нестационарных уравнений проведено сравнение расчетных характеристик электрической дуги после выхода на стационарный режим горения с результатами других авторов в рамках стационарной модели. Показано удовлетворительное согласие расчетных данных.

VERIFICATION TWO-DIMENSIONAL NONSTATIONARY MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICAL ARC

F.R. Sultanova

In order to test the mathematical models and numerical methods of solving equations of unsteady compares the design characteristics of the arc after the stationary combustion mode with the results of other authors in the stationary model. Satisfactory agreement between the calculated data.

Введение. Теплофизические процессы в электродуговых устройствах во многих практически важных случаях имеют нестационарный характер [1–3]. В этой связи разработка соответствующего математического аппарата и методики численного расчета характеристик нестационарной электрической дуги является актуальной задачей.

В работах [4, 5] представлены нестационарная математическая модель электрической дуги в рамках модели частичного локального термодинамического равновесия (ЧЛТР), приведены результаты тестирования математической модели, а именно, рассмотрено влияние на расчетные характеристики дуги величины итерационной погрешности внутреннего цикла, а также величины временного и сеточного шагов. Анализ полученных результатов позволил определить оптимальные значения указанных параметров. Выполнено сравнение расчетных характеристик электрической дуги после выхода на стационарный режим горения с результатами экспериментальных измерений [6, 7]. Сравнение результатов показывает их удовлетворительное согласие, что свидетельствует о надежности используемой математической модели и методики решения.

В настоящей работе с целью дальнейшего тестирования математической модели проведено сравнение расчетных характеристик электрической дуги после выхода на стационарный режим горения с результатами численных расчетов в рамках стационарной модели [8]. Это дополнительно позволит оценить достоверность результатов численного расчета.

Математическая модель. Математическая модель электрической дуги, физические аспекты постановки граничных и начальных условий детально обсуждаются в работе [5]. Отметим лишь, что дискретизация исходной системы дифференциальных уравнений осуществляется методом контрольного объема [9], итерационное решение разностного аналога проводится по неявной схеме методом Зейделя-Гаусса с применением, в ряде случаев, нижней релаксации; динамические переменные «скорость – давление» рассчитываются в рамках алгоритма SIMPLE'R [9].

Расчет характеристик дуги в нерегулярной области, включающей в себя дуговую плазму и катод с криволинейной границей, проводится на основе метода фиктивных областей [10, 11], который адаптирован для расчета электрической дуги [12]. Вычисления проводятся на прямоугольной сетке с постоянным и одинаковым шагом (0,1 мм) в аксиальном и радиальном направлении. Временной шаг равен $\tau = 10^{-5}$ с.

Обсуждение результатов. Тестирование модели и методики расчета характеристик нестационарной электрической дуги проведено для открытой электрической дуги в аргоне атмосферного давления, горящей между конусным вольфрамовым катодом (W + 2%Th) с углом заточки $\alpha = 60^\circ$ и плоским водоохлаждаемым медным анодом. Сила тока дуги $I = 200$ А, межэлектродное расстояние $L = 10$ мм (рис. 1). Для указанных значений внешних параметров дугового разряда в работе [8] представлены результаты расчета характеристик дуги в рамках стационарной модели ЧЛТР.

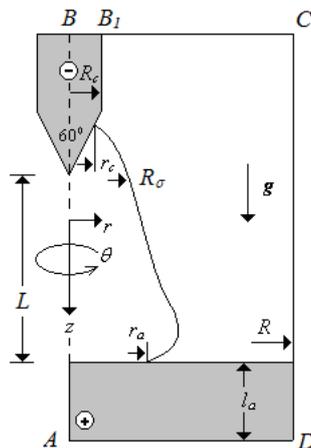


Рис. 1. Схема открытой электрической дуги с конусным катодом «-» и плоским анодом «+».

В качестве входных параметров для постановки граничных условий в расчетах [8] привлекались радиальные распределения температуры электронов $T_e(r)$ вблизи анода, радиус r_c токопроводящей зоны конусного катода и радиус проводимости R_c дуги у вершины конусного катода (рис. 1), которые определялись по результатам эксперимента [7]. Кроме этого, для постановки граничных условий привлекалась максимальная плотность электрического тока j_c^{\max} на вершине конусного катода.

Величина j_c^{\max} вычислялась следующим образом. В процессе горения дуги, как отмечают в работе [7], происходит оплавление конусного катода, и он принимает форму полусферы радиусом $r_c \approx 0,51$ мм, на поверхности которой осуществляется привязка дуги. Затем по формуле $j_c^{\max} = I/S$, где $S = 2\pi r_c^2$ – площадь оплавленной поверхности, вычисляется среднее значение j_c^{\max} . Далее j_c^{\max} используется для постановки граничного условия в сечении у вершины конусного катода для потенциала электрического поля ϕ , с помощью которого решается электромагнитная часть задачи. В расчетах настоящей работы значение радиуса катодной привязки $r_c = 0,5$ мм также задается по результатам эксперимента [7]. На аноде радиус привязки r_a дуги определяется непосредственно в процессе численного расчета.

На рисунке 2 приведены расчетные поля изолиний температуры электронов T_e и дуговой плазмы T , скорости $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ и векторное поле скорости \mathbf{V} к моменту времени $t = 15$ мс, когда все характеристики дуги уже вышли на стационарный режим. Расчетное поле изолиний электрического тока I , аксиальные распределения скорости U_0 и давления P_0 на оси дуги показаны на рис. 3; на этом же рисунке приведены результатов расчетов [8].

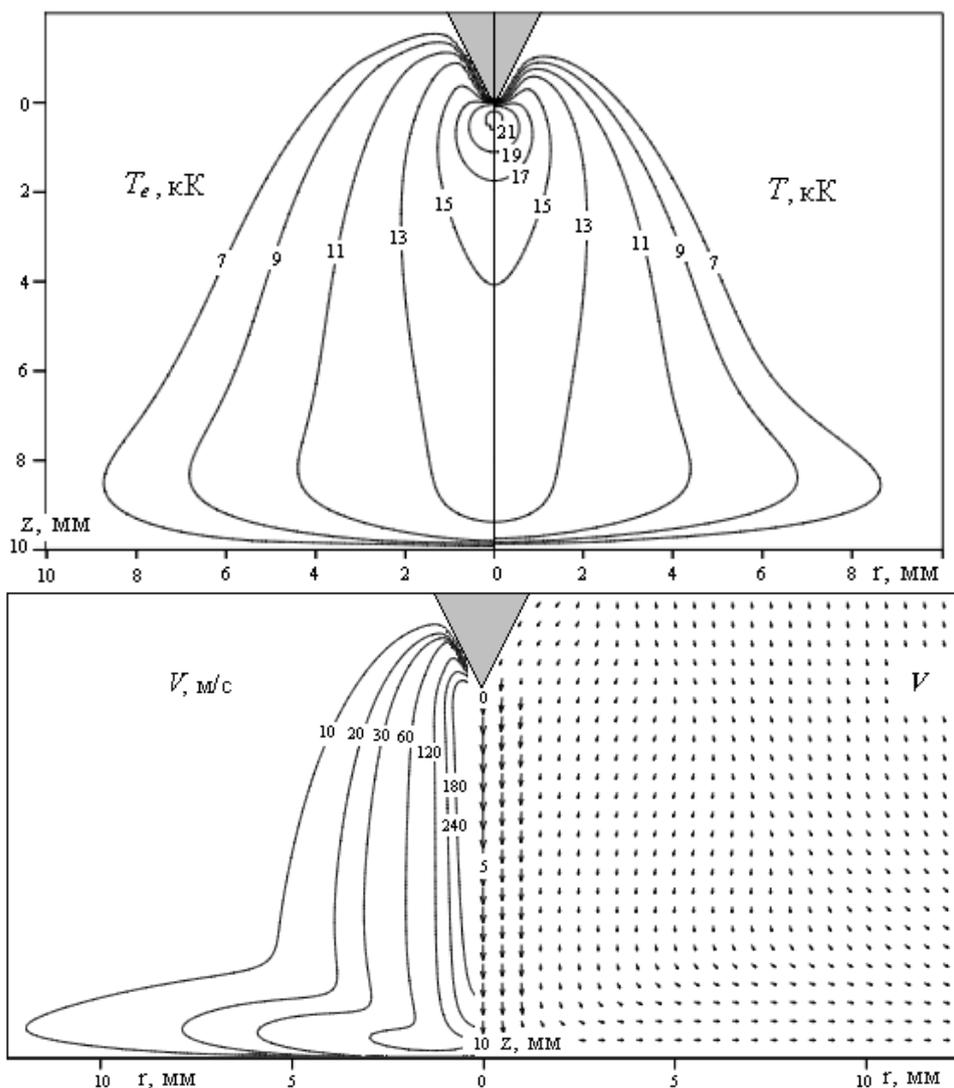


Рис. 2. Расчетные поля изолиний температуры электронов T_e и плазмы T , скорости V и векторное поле скорости V после выхода на стационарный режим к моменту $t = 15$ мс.
 $I = 200$ А, $L = 10$ мм.

Анализ показывает, что рассчитанные распределения характеристик электрической дуги имеют традиционный вид. Вследствие конвективного переноса тепла в радиальном направлении, вблизи поверхности анода столб дуги имеет характерную колоколообразную форму. Отклонение дуговой плазмы от термического равновесия $T_e > T$ наиболее заметно у поверхностей электродов и периферии дуги. В приосевой области дуги плазма практически равновесная $T_e \approx T$.

В таблице 2 и на рис. 3б приведено сопоставление результатов расчетов [8] и данной работы.

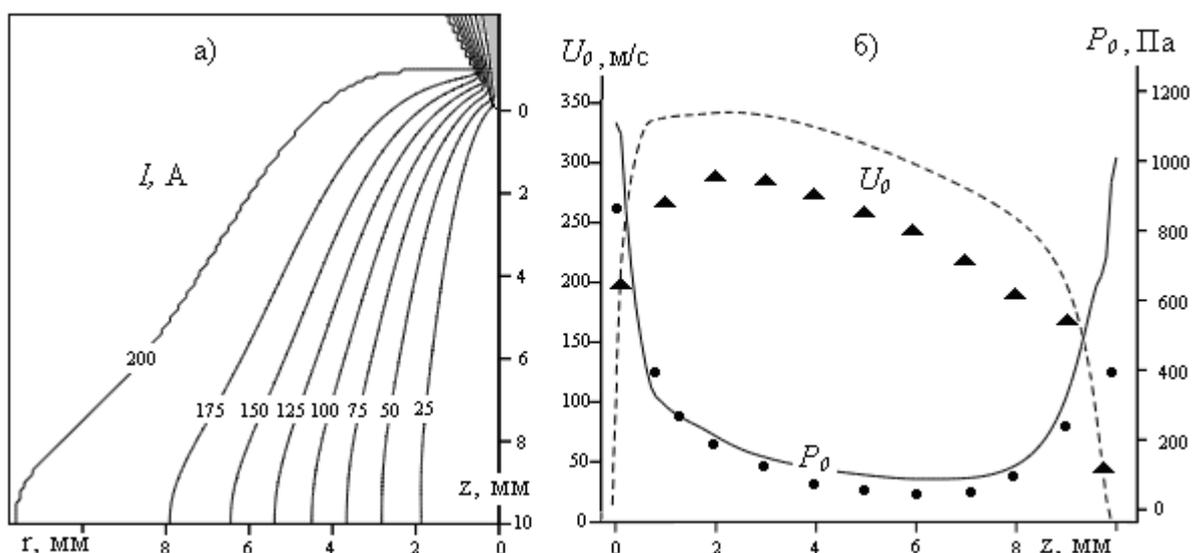


Рис. 3. а) – расчетное поле изолиний электрического тока I ,
 б) – аксиальные распределения скорости U_0 и давления P_0 на оси дуги
 после выхода на стационарный режим к моменту $t = 15$ мс;
 • ▲ – результатов расчетов [8]. $I = 200$ А, $L = 10$ мм.

Таблица 2. Сравнение результатов расчетов [8] и данной работы.

	T_e^{max}	E^{max}	U	j_c^{max}	j_a	P_c	P_a	u^{max}
	кК	кВ/м		10^6 А/м^2				
расчет [8]	21.5	12.0	12.5	120	3,0	840	400	290
данная работа	21.8	10.9	10.0	233	2,7	1110	1000	340

Сравнение свидетельствует о заметном различии расчетных значений максимальной плотности электрического тока j_c^{max} на острие конусного катода, максимальной скорости u^{max} плазмы, давлению на катоде P_c и аноде P_a . По-видимому, подобное различие результатов обусловлено заниженной величиной j_c^{max} , принятой в расчетах [8] в качестве граничного условия.

В самом деле, на рис. 4 приведены распределения плотности тока j непосредственно на конусной поверхности катода в узловых точках расчетной сетки, а также в радиальном сечении у вершины конусного катода. Видно, что распределение j в обоих случаях весьма неравномерное. Принимая во внимание, что площадь привязки дуги, как правило, меньше площади оплавленной поверхности S , вычисление j в работе [8] по усредненной формуле $j_c^{max} = I/S$ приводит к занижению величины j .

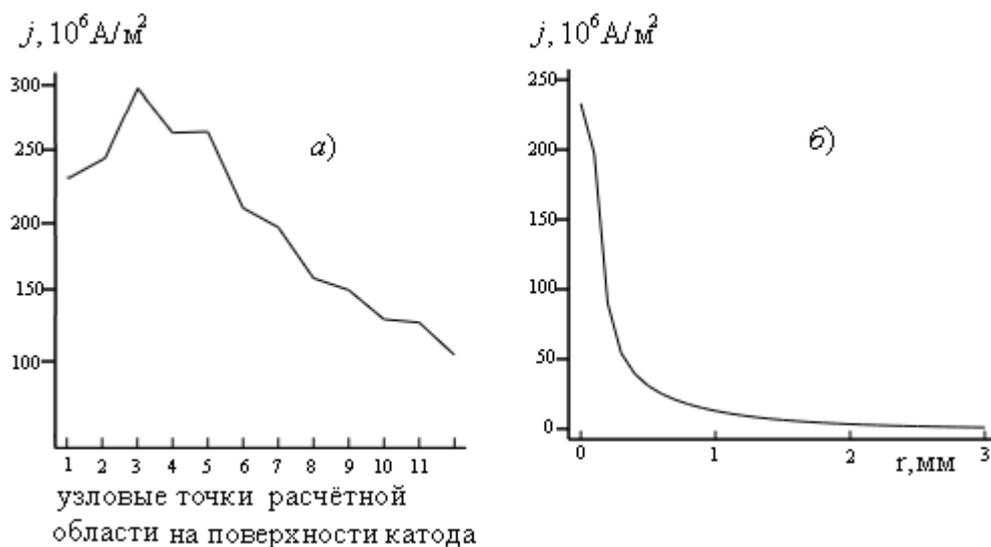


Рис. 4. Расчетные распределения плотности электрического тока j :
 а) – на конусной поверхности катода; б) – в сечении у вершины катода.

Заключение. Результаты численных расчетов в рамках предложенной нестационарной модели после выхода характеристик дуги на стационарный режим удовлетворительно согласуются с расчетными данными других авторов в рамках стационарной модели. Наблюдаемое различие расчетных значений отдельных параметров дуги обусловлено различием входных данных, привлекаемых для решения задачи.

Литература

1. Финкельнбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М.: ИЛ, 1961. – 370 с.
2. Энгельшт В.С., Гурович В.Ц., Десятков Г.А. и др. Низкотемпературная плазма. Т.1. – Новосибирск: Наука, 1990. – 374 с.
3. Чередниченко В.С., Аньшаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнологические установки. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – 508 с.
4. Урусов Р.М., Султанова Ф.Р. К тестированию нестационарной математической модели электрической дуги. // Труды международной конференции «Рахматулинские чтения», Бишкек, 2011. С. 116 – 120.
5. Урусов Р.М., Султанова Ф.Р., Урусова Т.Э. Численное моделирование нестационарного нагрева и плавления анода электрической дугой. Часть 1. Математическая модель и расчетные характеристики столба дуги // Теплофизика и аэромеханика. – Новосибирск: 2011. Т. 18, № 4. С. 671–688.
6. Шоек П. Исследование баланса энергии на аноде сильноточных дуг // В кн.: Современные проблемы теплообмена. – М.: Энергия, 1966. – С.110 – 139.
7. Hsu K.S., Etemadi K., Pfender E. Study of the Free-Burning High-Intensity Argon Arc // J. Appl. Phys. – 1983. – Vol. 54. – No 3. – pp. 1293 – 1304.
8. Hsu K.C., Pfender E. Two-Temperature Modeling of the Free-Burning, High-Intensity Arcs // J. Appl. Phys. – 1983. – Vol.54. – No 8. – pp. 4359.
9. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 146 с.

10. Данаев Н.Т. Эффективные методы численного решения уравнений гидродинамики в сложных областях // Дисс. на соиск. уч. степени док.физ.-мат.наук. КазГУ им. Аль-Фараби. – Алматы, 1994.
11. Смагулов Ш., Сироченко В.П., Орунханов М.К. Численное исследование течений жидкости в нерегулярных областях. – Алматы, 2001. – 276 с.
12. Урусов Р.М., Урусова Т.Э. Применение метода фиктивных областей для расчета характеристик электрической дуги // Теплофизика высоких температур. – Москва: 2004. – Т.42. – № 3. – С. 374 – 382.

УДК 537.527

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ТОКА И МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО РАССТОЯНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ТОРА ПРИ ЗАЖИГАНИИ ДУГИ

Ф.Р. Султанова

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
Бишкек, Кыргызстан, aziza_74@mail.ru

Приведены результаты численного исследования влияния силы тока и межэлектродного расстояния на формирование теплового тора при зажигании дуги. Установлено, что увеличение силы тока и межэлектродного расстояния обуславливают увеличение температуры и интенсивности газа в тепловом торе.

NUMERICAL INVESTIGATION OF CURRENT AND INTERELECTRODE DISTANCE ON THE FORMATION OF HEAT TOR IGNITION

F.R. Sultanova

The results of numerical investigation of the influence of current strength and interelectrode distance on the formation of a torus with thermal ignition of the arc. An increase in current strength and interelectrode distance are responsible for an increase in temperature and intensity of the thermal gas torus.

Введение. Теплофизические процессы в электрической дуге во многих случаях являются нестационарными [1–3], и в этой связи исследование нестационарных режимов горения дуги имеет большое прикладное значение. Экспериментальные исследования сопряжены, как правило, с немалыми трудностями, по этой причине большое значение приобретают теоретические методы исследования. В этой связи разработка соответствующего математического аппарата и методики численного расчета характеристик нестационарной электрической дуги является актуальной задачей.

В работе [4] представлены нестационарная математическая модель электрической дуги, приведены результаты тестирования математической модели. В частности, было рассмотрено влияние на расчетные характеристики дуги величины итерационной погрешности внутреннего цикла, а также величины временного и сеточного шагов.

В ходе тестирования было обнаружено, что в начальные моменты времени ($t \approx 4-8$ мс) вокруг дуги формируется тороидальный газовый вихрь. Подобная картина течения приводит, в свою очередь, к образованию теплового тора, который затем рассеивается в окружающем пространстве.

В этой связи представляет интерес более детально исследовать условия формирования теплового тора. В настоящей работе приведены результаты численного исследования влияния силы тока и межэлектродного расстояния на формирование теплового тора при зажигании дуги.

Математическая модель. Математическая модель электрической дуги, физические аспекты постановки граничных и начальных условий детально обсуждаются в работе [4]. Отметим лишь, что дискретизация исходной системы дифференциальных уравнений осуществляется методом контрольного объема [5], итерационное решение разностного аналога проводится по неявной схеме методом Зейделя-Гаусса с применением, в ряде случаев, нижней релаксации; динамические переменные «скорость – давление» рассчитываются в рамках алгоритма SIMPLE'R [5].

Полагалось, что течение ламинарное, излучение объемное, приэлектродные процессы не рассматриваются и при определении параметров дуги вблизи электродов привлекаются опытные данные. Коэффициенты переноса и теплофизические свойства неравновесной аргоновой плазмы атмосферного давления рассчитываются по известным формулам и уравнениям [2].

Расчет характеристик дуги в нерегулярной области, включающей в себя дуговую плазму и катод с криволинейной границей, проводится на основе метода фиктивных областей [6, 7], который адаптирован для расчета электрической дуги [8].

Вычисления проводятся на прямоугольной сетке с постоянным и одинаковым шагом (0,1 мм) в аксиальном и радиальном направлении. Временной шаг принят равным $\tau = 10^{-5}$ с.

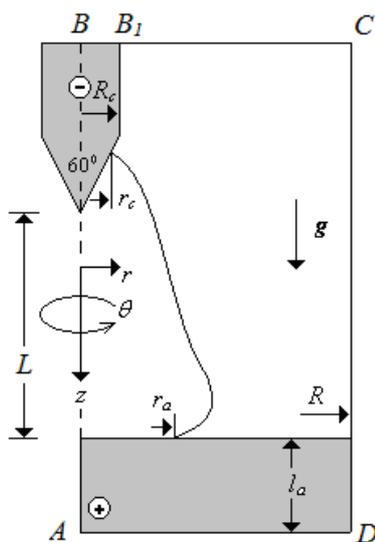


Рис. 1. Схема открытой электрической дуги с конусным катодом « \leftarrow » и плоским анодом « \rightarrow ».

Обсуждение результатов. Расчеты выполнены для открытой электрической дуги в аргоне атмосферного давления, горящей между конусным вольфрамовым катодом ($W + 2\%Th$) с углом заточки $\alpha = 60^\circ$ и плоским водоохлаждаемым медным анодом. Сила тока I дуги полагалась равной 200 и 300 А, межэлектродное расстояние $L = 5$ и 10 мм.

На рис. 2. для величины силы тока $I = 200A$ приведены расчетные поля температуры T и линии равного расхода G газа для значений межэлектродного расстояния $L = 5$ и 10 мм в момент времени $t = 5$ мс.

Отметим, что распределения расчетных характеристик дуги в интервале времени $t \approx 4-8$ мс качественно идентичны, а момент времени $t = 5$ мс выбран как наиболее характерный для оценки температуры и газодинамической интенсивности теплового тора.

Анализ результатов показывает, что при величине межэлектродного расстояния $L = 5$ мм тепловой тор практически отсутствует. С увеличением межэлектродного расстояния от $L = 5$ до 10 мм на периферии дуги ($r \approx 15$ мм) наблюдается четко выраженный тепловой тор с температурой $T \approx 2,2$ кК и газодинамической интенсивностью $G_{max} \approx 470$ мг/с.

Особенности гидродинамики течения плазмы таковы, что тороидальный газовый вихрь способствует выносу тепла в радиальном направлении. К моменту времени $t \approx 4$ мс вокруг столба дуги формируется одиночный тепловой тор, который сравнительно быстро охлаждается и рассеивается в окружающей среде. По-видимому, данное образование представляет собой некий гидродинамический аналог тепловой волны [9] сильнооточного импульсного разряда.

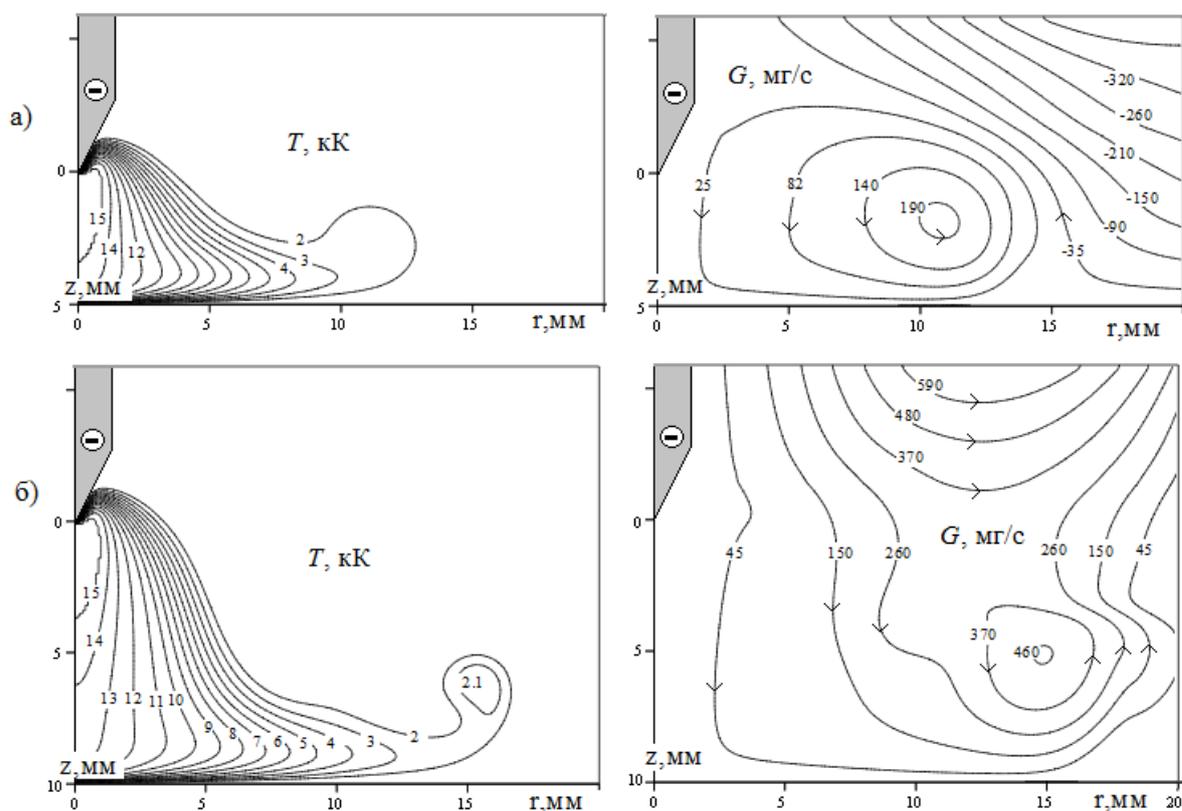


Рис. 2. Поля температуры T и линии равного расхода G газа для значений $L = 5$ мм (а) и $L = 10$ мм (б). $I = 200A$, $t = 5$ мс.

Качественно аналогичная картина наблюдается при силе тока $I = 300\text{А}$ (рис. 3). Сравнение показывает, что при значении межэлектродного расстояния $L = 5\text{ мм}$ тепловой тор уже сформирован, температура составляет $T \approx 2,2\text{ кК}$, газодинамическая интенсивность $G_{max} \approx 700\text{ мг/с}$. С увеличением межэлектродного расстояния до 10 мм на периферии дуги ($r \approx 18\text{ мм}$) также наблюдается четко выраженный тепловой тор с температурой $T \approx 2,5\text{ кК}$ и газодинамической интенсивностью $G_{max} \approx 1100\text{ мг/с}$.

Сравнение результатов показывает, что с увеличением силы тока и межэлектродного расстояния происходит увеличение температуры и интенсивности газа в тепловом торе. Это обусловлено тем, что с ростом силы тока возрастают электромагнитные силы (пинч-эффект), и, как следствие, скорость потока плазмы. В свою очередь, образование интенсивного газового вихря способствует увеличению конвективного теплопереноса из приосевой области дуги на периферию и росту температуры.

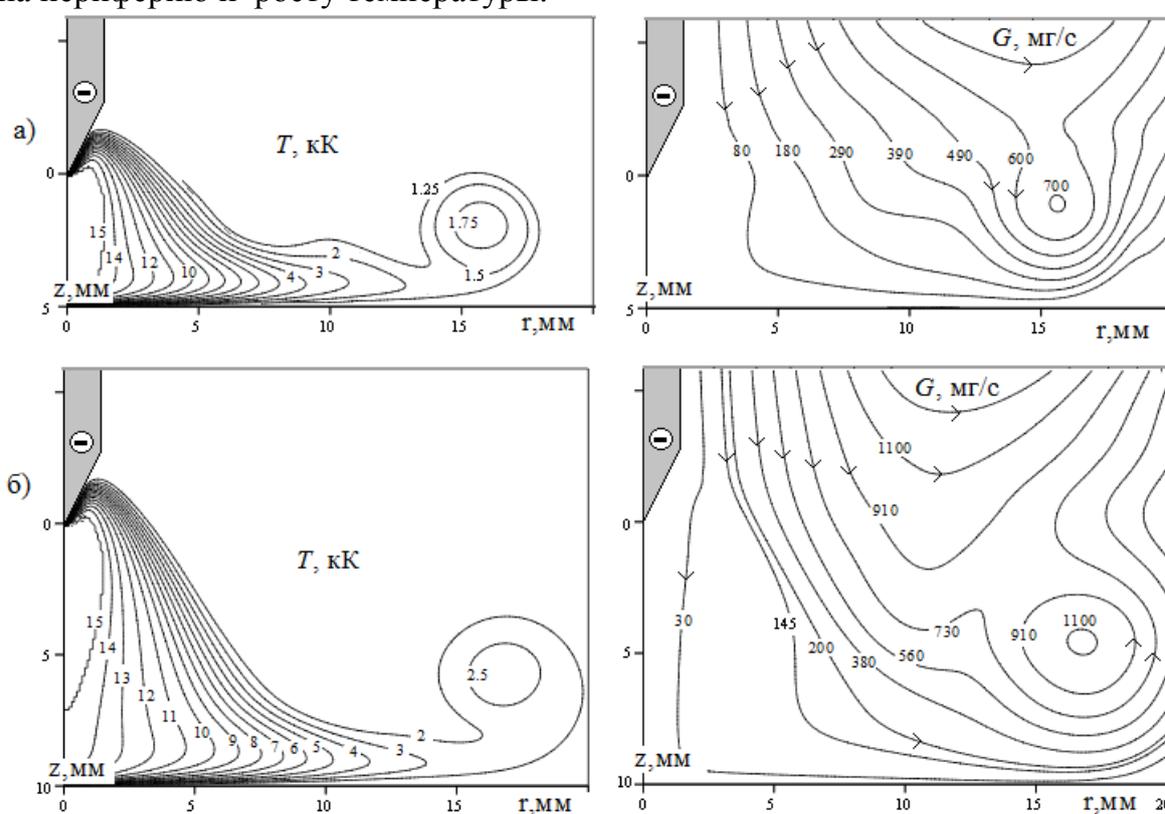


Рис. 3. Поля температуры T и линии равного расхода G газа для значений $L = 5\text{ мм}$ (а) и $L = 10\text{ мм}$ (б). $I = 300\text{А}$, $t = 5\text{ мс}$.

Следует сказать, что к моменту времени $t \approx 10\text{ мс}$ происходит рассеяние теплового тора в окружающем пространстве. Любопытно, что по результатам тестовых расчетов, проведенных в рамках стационарной математической модели, формирования теплового тора и газодинамического вихря в ходе итерационного процесса не наблюдается.

Заключение. Приведены результаты численного исследования влияния силы тока и межэлектродного расстояния на формирование теплового тора при зажигании дуги. Установлено, что увеличение силы тока и межэлектродного расстояния обуславливают увеличение температуры и интенсивности газа в тепловом торе.

Литература

1. Финкельнбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М.: ИЛ, 1961. – 370 с.
2. Энгельшт В.С., Гурович В.Ц., Десятков Г.А. и др. Низкотемпературная плазма. Т.1. – Новосибирск: Наука, 1990. – 374 с.
3. Чередниченко В.С., Аньшаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнологические установки. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – 508 с.
4. Урусов Р.М., Султанова Ф.Р., Урусова Т.Э. Численное моделирование нестационарного нагрева и плавления анода электрической дугой. Часть 1. Математическая модель и расчетные характеристики столба дуги // Теплофизика и аэромеханика. – Новосибирск: 2011. Т. 18, № 4. С. 671–688.
5. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 146 с.
6. Данаев Н.Т. Эффективные методы численного решения уравнений гидродинамики в сложных областях // Дисс. на соиск. уч. степени док.физ.-мат.наук. КазГУ им. Аль-Фараби. – Алматы, 1994.
7. Смагулов Ш., Сироченко В.П., Орунханов М.К. Численное исследование течений жидкости в нерегулярных областях. – Алматы, 2001. – 276 с.
8. Урусов Р.М., Урусова Т.Э. Применение метода фиктивных областей для расчета характеристик электрической дуги // Теплофизика высоких температур. – Москва: 2004. – т.42. – № 3. – С. 374 – 382.
9. Гурович В.Ц., Десятков Г.А., Спекторов В.Л., Энгельшт В.С. Нелинейные модели нестационарной дуги. // В кн.: VIII Всесоюзная конференция по ГНТП. – Новосибирск, 1980. – С. 16 – 23.

УДК 537.527

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНТОВОЙ ФОРМЫ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Урусова И.Р., Урусова Т.Э. д.ф.-м.н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
Бишкек, Кыргызстан, moon4ik_29@mail.ru

В рамках трехмерной нестационарной математической модели в приближении частичного локального термодинамического равновесия плазмы выполнен расчет протяженной электрической дуги во внешнем продольном магнитном поле. На основе численного моделирования реализована винтовая форма электрической дуги.

NUMERICAL STUDY OF THE HELICAL FORM OF NONSTATIONARY ELECTRIC ARC IN A LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD

I.R. Urusova, T.E. Urusova

As part of a three-dimensional unsteady mathematical model in the approximation of the partial local thermodynamic equilibrium plasma calculated the longest arc in an external longitudinal magnetic field. On the basis of numerical simulation is implemented helical shape of the electric arc.

Введение. Возрастающие масштабы применения электродуговых плазменных устройств и аппаратов в промышленных технологиях требуют дальнейшего исследования теплофизических процессов в плазме дуги. Так, например, широкое применение находит электрическая дуга, горящая во внешних магнитных полях [1 – 4]. В этой связи исследование электрической дуги во внешних магнитных полях является актуальной задачей. Наряду с экспериментальными методами исследования, большое значение имеют теоретические методы, в частности, вычислительный эксперимент.

В настоящей работе на основе трехмерной нестационарной математической модели электродуговой плазмы [5] выполнен расчет протяженной электрической дуги во внешнем продольном магнитном поле.

Постановка задачи и математическая модель. Рассчитывается открытая протяженная электрическая дуга силой тока I и межэлектродным расстоянием L (рис.1), горящая во внешнем продольном магнитном поле H_x^{Ext} в направлении оси x . Радиусы графитовых катода «-» и анода «+» приняты одинаковыми $r_c = r_a$.

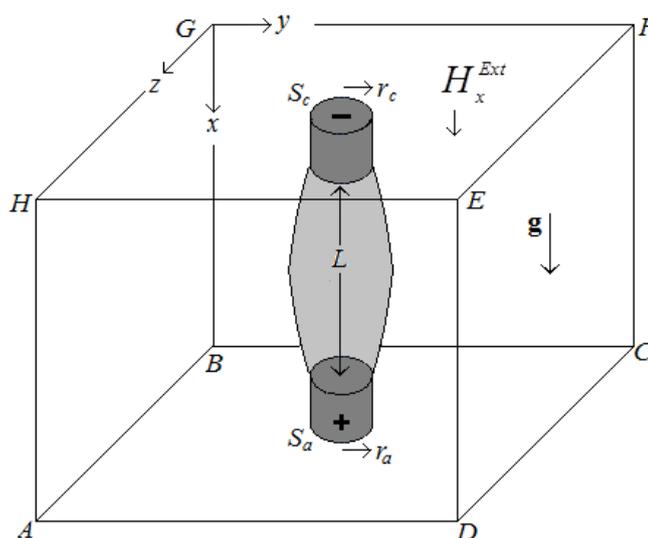


Рис. 1. Схема расчетной области дуги.

В декартовых координатах x, y, z система уравнений в приближении частичного локального термодинамического равновесия плазмы имеет следующий вид:

уравнение неразрывности газа

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (1)$$

уравнение неразрывности электронного газа

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} + \text{div}[N_e(\mathbf{U} + \mathbf{U}_d + \mathbf{U}_t + \mathbf{U}_a)] = R_e \quad (2)$$

уравнение баланса энергии электронного газа

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{5}{2} k T_e + U_i \right) N_e + \text{div} \left[N_e (\mathbf{U} + \mathbf{U}_d + \mathbf{U}_t + \mathbf{U}_a) \left(\frac{5}{2} k T_e + U_i \right) \right] = \text{div}(\lambda_e \text{grad} T_e) + \mathbf{j}^2 / \sigma - \psi - B(T_e - T) \quad (3)$$

уравнение баланса энергии тяжелых частиц:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{5k}{2m} \rho T \right) + \text{div} \left(\frac{5k}{2m} \rho \mathbf{U} T \right) = \text{div}(\lambda \text{grad} T) + B(T_e - T) \quad (4)$$

уравнения движения газа в направлениях осей x , y , z соответственно:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}u) = \text{div}(\mu \text{grad}u) - \partial P / \partial x + \mu_0(\mathbf{j} \times \mathbf{H})_x + s_x + (\rho - \rho_\infty)\mathbf{g} \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}v) = \text{div}(\mu \text{grad}v) - \partial P / \partial y + \mu_0(\mathbf{j} \times \mathbf{H})_y + s_y \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}w) = \text{div}(\mu \text{grad}w) - \partial P / \partial z + \mu_0(\mathbf{j} \times \mathbf{H})_z + s_z \quad (7)$$

уравнения Максвелла:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}, \quad \text{rot } \mathbf{E} = 0, \quad \text{div } \mathbf{H} = 0, \quad (8)$$

обобщенный закон Ома

$$\mathbf{E} + \mu_0(\mathbf{U} \times \mathbf{H}) = \mathbf{j} / \sigma + (\mu_0 \mathbf{j} \times \mathbf{H} - \text{grad } P_e) / q_e N_e \quad (9)$$

закон Дальтона

$$P/kT = N_i + N_a + N_e T_e / T. \quad (10)$$

Согласно приведенным в [1 – 3] оценкам принято, что дуговая плазма аргона атмосферного давления является однократно ионизованной, квазинейтральной, течение ламинарное, дозвуковое, излучение объемное; вязкой диссипацией энергии, индукционными токами и эффектом Холла пренебрегается ввиду их малости. Приэлектродные процессы не рассматриваются, внешнее магнитное поле является однородным.

При записи уравнений использованы следующие обозначения: t – время, ρ , λ_e , λ , μ , σ , ψ – соответственно плотность газа, теплопроводность электронного газа и газа тяжелых частиц, вязкость, электропроводность, излучение; m – масса атома; N_i , N_a , N_e – концентрации ионов, атомов и электронов соответственно; $R_e = N_e K_i (N_a K_i - N_e N_i)$ – скорость генерации электронов, где K_i , K_r – константы ударной ионизации и трехчастичной рекомбинации соответственно; U_i – потенциал ионизации газа; $P_e = N_e k T_e$ – парциальное давление электронов; k – постоянная Больцмана; B – коэффициент энергообмена между электронами и тяжелыми частицами; \mathbf{g} – вектор ускорения свободного падения; $q_e = 1.6 \times 10^{-19}$ Кл – заряд электрона; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; \mathbf{U} , \mathbf{E} , \mathbf{j} , \mathbf{H} , – соответственно векторы скорости, напряженности электрического поля, плотности электрического тока, напряженности магнитного поля; T , T_e – температура тяжелых частиц и электронов, P – давление; u , v , w – соответственно компоненты вектора скорости \mathbf{U} в направлении осей x , y , z ; \mathbf{U}_d , \mathbf{U}_t , \mathbf{U}_a – векторы скоростей дрейфа электронов, термо- и амбиполярной диффузии, s_x , s_y , s_z – дополнительные вязкие слагаемые.

Электромагнитная часть задачи решается в переменных $(\varphi - \mathbf{A})$ [6], где φ является скалярным потенциалом электрического поля, связанным с вектором $\mathbf{E}(E_x, E_y, E_z)$ соотношением $\mathbf{E} = -\text{grad } \varphi$, $\mathbf{A}(A_x, A_y, A_z)$ – векторный потенциал магнитного поля, связанный с \mathbf{H} соотношением $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{H}$.

Физические аспекты постановки граничных и начальных условий изложены в [5]. Граничные условия в прямоугольной расчетной области $ABCDHGFE$ (см. рис.1) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Граничные условия

Граница	Переменная
<i>AHED, DEFC, BGFC, AHGB</i>	$N_e = N_e^{min}; T_e = T_e^{min}; \partial T / \partial \mathbf{n} = 0;$ $\partial \mathbf{U} / \partial \mathbf{n} = 0; \partial P / \partial \mathbf{n} = 0; \partial \varphi / \partial \mathbf{n} = 0; \partial \mathbf{A} / \partial \mathbf{n} = 0;$
<i>ABCD, HGFE</i>	$N_e = N_e^{min}; T_e = T_e^{min}; \partial T / \partial x = 0;$ $\partial \mathbf{U} / \partial x = 0; P = P_0; \partial \varphi / \partial x = 0; \partial \mathbf{A} / \partial x = 0;$
S_c, S_a	$\varphi_c = \frac{I \cdot \Delta x + \int_0^Y \int_0^Z \sigma \varphi dy dz}{\int_0^Y \int_0^Z \sigma dy dz}; \varphi_a = \frac{I \cdot \Delta x - \int_0^Y \int_0^Z \sigma \varphi dy dz}{\int_0^Y \int_0^Z \sigma dy dz}$

Численное решение дифференциальных уравнений (1 – 10) проводится конечно-разностным методом [7]. Используется метод фиктивных областей, разработанный в [8, 9] для задач гидродинамики, и который адаптирован в работах [10, 11] для расчета электрической дуги в нерегулярных областях.

Обсуждение результатов расчета. Расчет характеристик дуги выполнен при следующих значениях внешних параметров: $I = 40$ А, $L = 40$ мм, $H_x^{Ext} = 3$ кА/м, $r_c = r_a = 0,5$ мм. Сеточный шаг одинаковый в направлениях осей x, y, z и равен $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0,5$ мм, временной шаг равен $\tau = 10^{-4}$ с.

На рис. 2 приведены расчетные поля эволюции температуры T плазмы в интервале времени от $t = 1$ до $t = 40$ мс. Распределения температуры T указаны в срединном вертикальном сечении $X-Y$, проходящим через центральную ось (далее в тексте вертикальную ось симметрии электродов будем называть центральной осью). Анализ показывает, что во внешнем продольном магнитном поле пространственная форма столба дуги изменяется с течением времени от цилиндрической формы ($t = 1$) к винтовой форме ($t > 10$ мс). К моменту времени $t \approx 35$ мс деформация дуги возрастает и при $t > 40$ мс наблюдается заметное отклонение столба дуги от центральной оси и нарушается регулярная пространственная структура столба дуги.

По-видимому, при данных внешних параметрах разряда (I, L, H_x^{Ext}) стабильная винтовая форма дугового столба не может быть реализована; во всяком случае, необходимы дальнейшие численные исследования при других значениях параметров разряда.

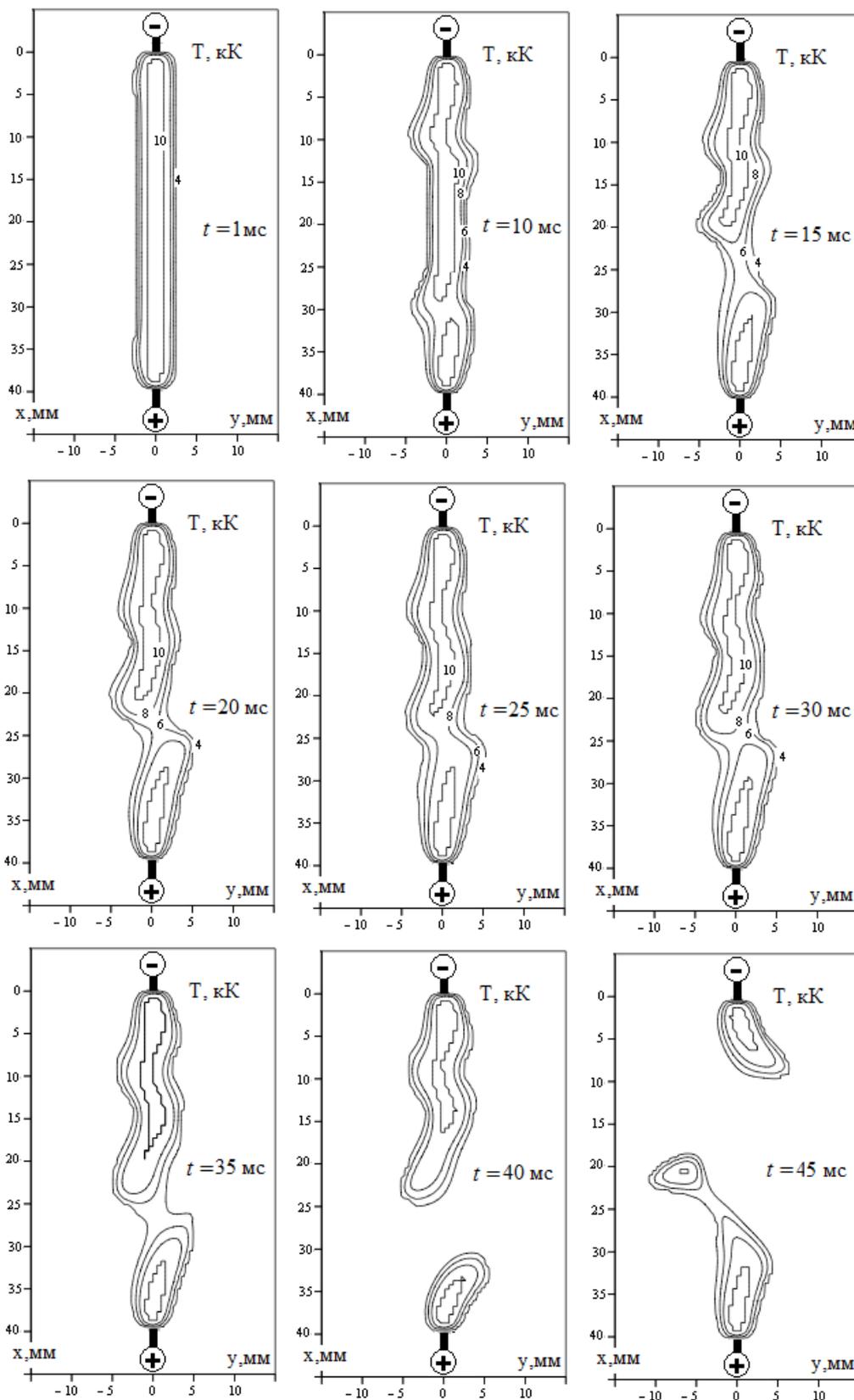


Рис. 2. Расчетные поля температуры T плазмы в вертикальном сечении X - Y в различные моменты времени t . $I = 40$ А, $L = 40$ мм, $H_x^{Ext} = 3$ кА/м.

Характер течения плазмы достаточно сложный (рис. 3) и в отсутствие трехмерной графики трудно представить общую картину течения.

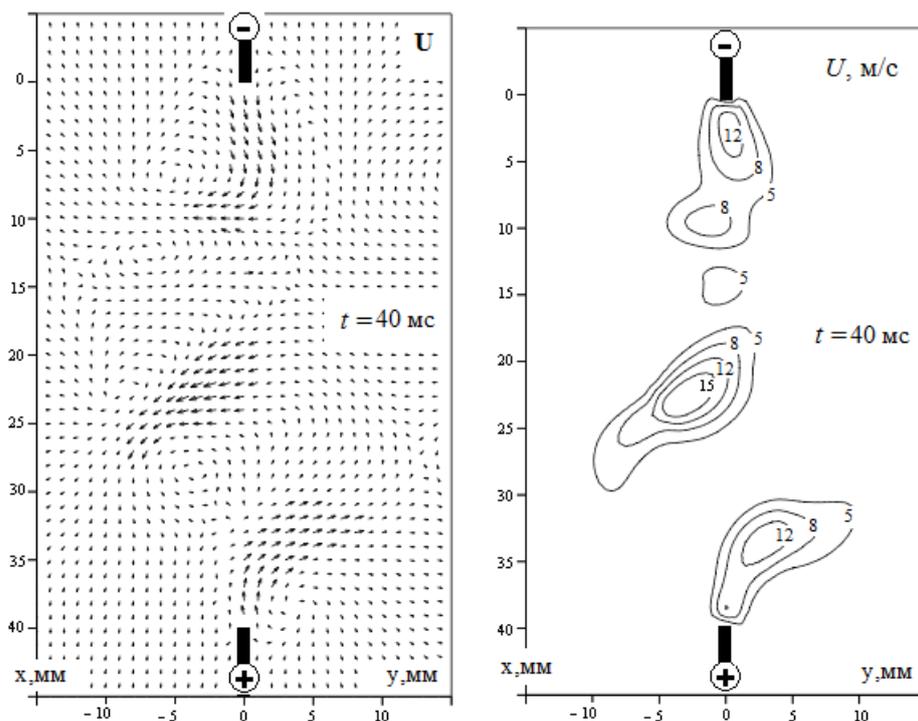


Рис. 3. Векторные \mathbf{U} и скалярные U поля скорости в момент времени $t = 40$ мс в вертикальном сечении X - Y . $I = 40$ А, $L = 40$ мм, $H_x^{Ext} = 3$ кА/м.

Можно лишь отметить наличие приэлектродных потоков плазмы. Эти потоки стабилизируют столб дуги вблизи электродов и являются наиболее устойчивыми к отклоняющему воздействию внешнего магнитного поля. Средняя часть столба дуги является менее устойчивой к отклоняющему воздействию внешнего магнитного поля.

Заключение. В рамках трехмерной нестационарной математической модели в приближении частичного локального термодинамического равновесия плазмы выполнен расчет протяженной электрической дуги во внешнем продольном магнитном поле. На основе численного моделирования рассмотрена временная эволюция пространственной формы столба дуги – от цилиндрической формы до винтовой формы. По-видимому, стабильная винтовая форма дуги может быть реализована лишь при определенном соотношении значений внешних параметрах разряда I, L, H_x^{Ext} .

Литература

1. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М.: ИЛ, 1961. – 370 с.
2. Чередниченко В.С., Аньшаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнологические установки. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – 508 с.
3. Энгельшт В.С., Гурович В.Ц., Десятков Г.А. и др. Низкотемпературная плазма. т.1. Теория столба электрической дуги. – Новосибирск: Наука, 1990. – 374 с.
4. Лебедев А.Д., Урюков Б.А., Энгельшт В.С., и др. Низкотемпературная плазма. т.7. Сильноточный дуговой разряд в магнитном поле. – Новосибирск: Наука, 1992. – 267 с.

5. Урусова И.Р. Трехмерная нестационарная модель электродуговых потоков плазмы // Современные проблемы механики сплошных сред. - Бишкек, 2010, вып. 12, С. 207 – 217.
6. Урусова Т.Э. Численное моделирование трехмерных электродуговых потоков плазмы // Дисс. на соиск. уч. степени канд. физ.-мат. наук. Ин-т физики НАН КР. – Бишкек, 2000.
7. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. –М.: Энергоатомиздат, 1984. –146 с.
8. Данаев Н.Т. Эффективные методы численного решения уравнений гидродинамики в сложных областях // Дисс. на соиск. уч. степени док. физ.-мат. наук. КазГУ им. Аль-Фараби. – Алматы, 1994.
9. Смагулов Ш., Сироченко В.П., Орунханов М.К. Численное исследование течений жидкости в нерегулярных областях. – Алматы, 2001. – 276 с.
10. Урусов Р.М., Урусова Т.Э. Применение метода фиктивных областей для расчета характеристик электрической дуги // М.: Теплофизика высоких температур, 2004. – т.42. – № 3. – С. 374 – 382.
11. Урусова Т.Э. Численное моделирование характеристик электрической дуги сложной геометрии // Дисс. на соиск. уч. степени док. физ.-мат. наук. Ин-т физики НАН КР. – Бишкек, 2008.

УДК 537.527

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛО-МАССООБМЕНА В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ АНОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Урусова Т.Э. д.ф.-м.н., Урусов Р.М. д.ф.-м.н., Сапаралиева А.Н.
Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
Бишкек, Кыргызстан, urusova_tolkun@mail.ru

В рамках двумерной нестационарной математической модели рассмотрено влияние электромагнитных сил и гравитационной конвекции на формирование гидродинамики расплава анода.

NUMERICAL STUDY OF NONSTATIONARY HEAT AND MASS TRANSFER IN THE WELD POOL ANODE OF ELECTRIC ARC

T.E. Urusova, R.M. Urusov, A.N. Saparaliev

In the framework of two-dimensional unsteady mathematical model of the influence of electromagnetic forces and gravitational convection on the formation of hydrodynamic melt the anode.

Введение. Электрическая дуга находит широкое применение в процессах сварки, резки и плавления металлов [1–3]. Данные процессы сопровождаются формированием зоны расплавленного металла, гидродинамика которого оказывает заметное влияние как на физико-химические процессы, протекающие в расплаве обрабатываемого изделия и на его тепловое состояние. В работе [4] рассмотрена нестационарная двумерная математическая модель и методика численного расчета

сопряженного теплообмена потока электродуговой плазмы с анодом. В [5] представлены результаты численного расчета нестационарного процесса нагрева и плавления анода в результате вязкого взаимодействия «плазма – расплав» и воздействия электромагнитных сил.

Представляет интерес рассмотреть влияние электромагнитных сил и гравитационной конвекции на формирование гидродинамики расплава анода.

Постановка задачи и математическая модель. В цилиндрической системе координат r, z, θ рассчитывается открытая электрическая дуга силой тока $I = 150$ А, межэлектродным расстоянием $L = 5$ мм (рис. 1).

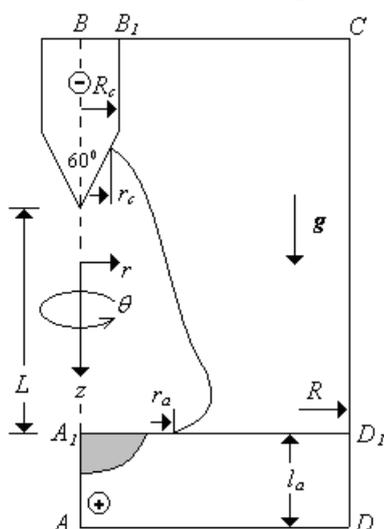


Рис.1. Схема расчетной области ABCD, содержащая столб дуги, катод «-» и анод «+», включая расплав анода (затемненная область).

Дуга горит в аргоне атмосферного давления, катодом является неплавящийся вольфрамовый стержень радиусом $R_c = 1,6$ мм, с углом заточки под конус 60° ; анодом является диск толщиной $l_a = 10$ мм и радиусом $R = 25$ мм, изготовленный из нержавеющей стали марки SUS 304. В расчетах полагается, что поверхность расплава не деформируется в результате динамического воздействия потока дуговой плазмы.

Система нестационарных уравнений в приближении частичного локального термодинамического равновесия плазмы может быть записана в виде: уравнение неразрывности газа:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0, \quad (1)$$

уравнение неразрывности электронного газа:

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} + \text{div}[N_e(\mathbf{U} + \mathbf{U}_d + \mathbf{U}_t + \mathbf{U}_a)] = R_e, \quad (2)$$

уравнения движения по координатам z, r для компонент вектора скорости $\mathbf{U}(u, v)$ соответственно:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}[m(N_i + N_a)\mathbf{U}u] = \text{div}(\mu \text{grad } u) - \partial P / \partial z + \mu_0 j_r H_\theta + s_z + (\rho - \rho_\infty) \mathbf{g}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \text{div}[m(N_i + N_a)\mathbf{U}v] = \text{div}(\mu \text{grad } v) - \partial P / \partial r + \mu_0 j_z H_\theta + s_r, \quad (4)$$

уравнение баланса энергии электронного газа:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{5}{2} kT_e + U_i \right) N_e + \text{div}[N_e(\mathbf{U} + \mathbf{U}_d + \mathbf{U}_t + \mathbf{U}_a) \left(\frac{5}{2} kT_e + U_i \right)] = \text{div}(\lambda_e \text{grad } T_e) + \mathbf{j}^2 / \sigma - \psi - B(T_e - T), \quad (5)$$

уравнение баланса энергии тяжелых частиц:

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{5}{2} kT(N_i + N_a) + \text{div} \left[\frac{5}{2} kT(N_i + N_a)\mathbf{U} \right] = \text{div}(\lambda \text{grad } T) + B(T_e - T), \quad (6)$$

$$\text{уравнения Максвелла: } \text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}, \quad \text{rot } \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad \text{div } \mathbf{H} = 0, \quad (7)$$

$$\text{закон Ома: } \mathbf{E} = \mathbf{j} / \sigma, \quad (8)$$

$$\text{закон Дальтона: } P/kT = N_i + N_a + N_e T_e / T. \quad (9)$$

Электромагнитная часть задачи решается с использованием скалярной функции электрического тока $\chi(r, z)$, определяемой соотношениями

$$\partial \chi / \partial z = -j_r r, \quad \partial \chi / \partial r = j_z r \quad (10)$$

В уравнениях (1–9) использованы следующие обозначения: t – время, ρ , μ , σ – плотность, вязкость и электропроводность плазмы соответственно, ρ_∞ – плотность окружающего холодного газа, λ_e – теплопроводность электронного газа, λ – теплопроводность газа тяжелых частиц, ψ – интенсивность излучения, m – масса атома, N_e , N_i , N_a – концентрации электронов, ионов и атомов соответственно; U_i – энергия ионизации плазмообразующего газа, k – постоянная Больцмана, $R_e = (K_i N_e N_a - K_r N_e^2 N_i)$ – скорость генерации электронов, где K_i , K_r – константы ударной ионизации и трехчастичной рекомбинации соответственно, B – коэффициент энергообмена между электронами и тяжелыми частицами, \mathbf{g} – вектор ускорения свободного падения, q_e – заряд электрона, μ_0 – магнитная постоянная, T – температура тяжелых частиц, T_e – температура электронного газа, P – давление, s_z , s_r – дополнительные к $\text{div}(\mu \text{grad } u)$, $\text{div}(\mu \text{grad } v)$ вязкие слагаемые, векторы \mathbf{E} , \mathbf{j} , \mathbf{H} обозначают соответственно напряженность электрического поля, плотность электрического тока и напряженность магнитного поля, H_θ – азимутальная компонента вектора \mathbf{H} ; \mathbf{U}_d , \mathbf{U}_t , \mathbf{U}_a – векторы скоростей дрейфа, термо- и амбиполярной диффузии электронов соответственно.

При записи уравнений полагалось, что течение ламинарное, излучение объемное, приэлектродные процессы не рассматриваются и при определении параметров дуги вблизи электродов привлекаются опытные данные.

В аноде процесс теплообмена рассчитывается из нестационарного уравнения теплопроводности, записанного относительно энтальпии h :

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U} h) = \text{div} \left(\frac{\lambda}{c} \text{grad } h \right) + \mathbf{j}^2 / \sigma \quad (11)$$

Полагая значения теплоемкостей каждой из фаз анода постоянными, функциональная зависимость энтальпии от температуры определяется известными соотношениями:

$$h_{sol} = c_{sol} T, \quad h_{liq} = c_{liq}(T - T_{melt}) + c_{sol} T_{melt} + L_m$$

где индексы «*sol*» и «*liq*» относятся к твердой и жидкой фазам соответственно, T_{melt} – температура плавления материала анода, L_m – скрытая теплота плавления.

Физические аспекты постановки граничных и начальных условий для рассчитываемой задачи детально изложены в работах [4 – 5]. Отметим только, что численное решение дифференциальных уравнений (1 – 11) проводится в соответствие с методикой [6]. Используется метод фиктивных областей, разработанный в [7, 8] для задач гидродинамики; данный метод адаптирован в работах [9, 10] для расчета электрической дуги в нерегулярных областях, включающих в себя дуговую плазму, твердую и жидкую фазу электродов.

Обсуждение результатов. Для оценки вклада какого-либо фактора выполнены расчеты при «выключенных» в компьютерной программе других факторов, которые оказывают влияние на гидродинамику расплава.

Анализ результатов расчетов показывает, что в результате воздействия электромагнитных сил почти во всем объеме сварочной ванны анода формируется торoidalный вихрь с левовинтовым направлением вращения (рис. 2). Характер течения способствует теплопереносу тепла в аксиальном направлении от верхних наиболее горячих слоев ванны вглубь ванны. Скорость течения расплава сравнительно невысокая и достигает $\approx 4,5$ см/с.

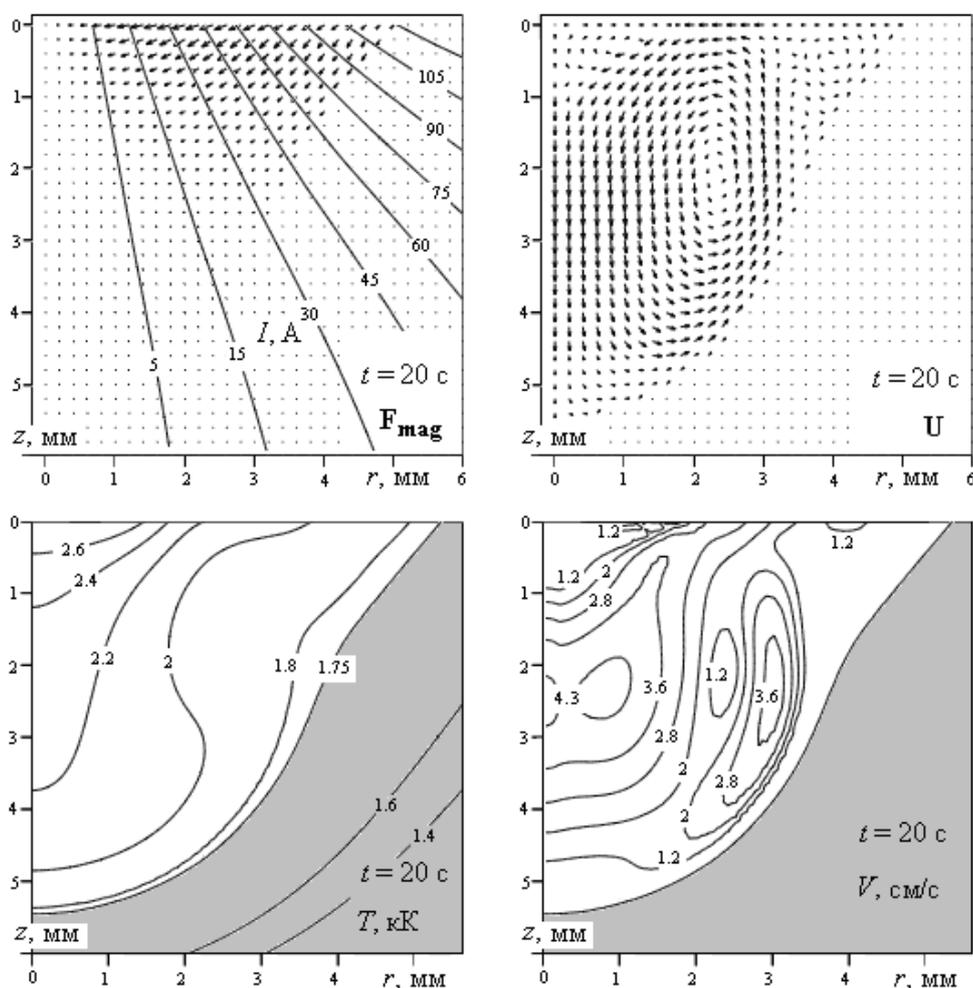


Рис. 2. Векторные поля электромагнитных сил F_{mag} и скорости U в расплаве; изолинии электрического тока I , температуры T и скорости V ; воздействие только электромагнитных сил.

Вследствие слабой конвективной теплоотдачи температура расплава на поверхности ванны не опускается ниже $\approx 2,9$ кК.

Влияние гравитационной конвекции на гидродинамику расплава весьма незначительно. Это объясняется слабой зависимостью плотности расплава от его температуры. Из рис. 3 видно, что математическая модель качественно правильно отражает роль гравитационной конвекции – более горячий расплав в верхней приосевой области ванны вытесняется более холодным расплавом из нижней области сварочной ванны анода.

Вследствие низкой скорости течения расплава $\approx 0,3$ см/с, конвективный теплоотвод от горячей поверхности внутрь расплава практически отсутствует. Сравнение рис. 2 и рис.3 показывает, что оба фактора противодействуют друг другу и обуславливают качественно различный характер течения расплава анода и размеры сварочной ванны. Кроме этого, сравнение с расчетными характеристиками расплава в результате вязкого взаимодействия «плазма – расплав» [5] позволяет заключить, что влияние электромагнитных сил и гравитационной конвекции весьма незначительно.

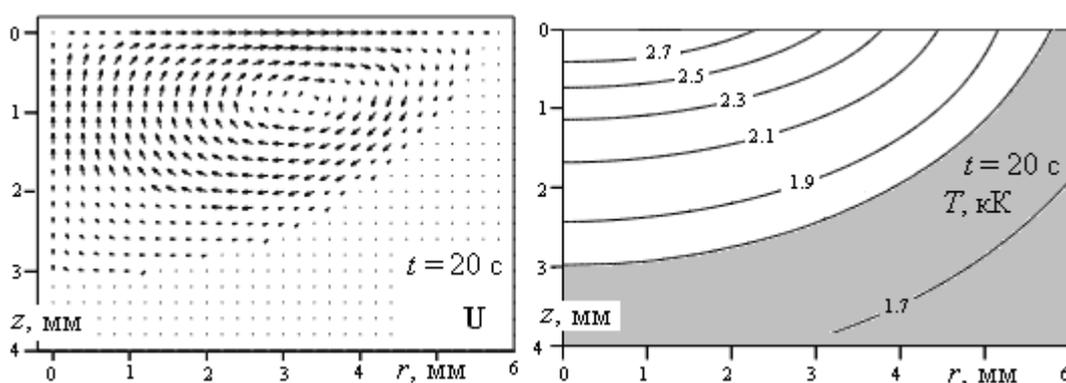


Рис. 3. Векторное поле скорости U и температуры T в расплаве; воздействие гравитационных сил.

Заключение. В рамках двухмерной нестационарной математической модели рассмотрено влияние электромагнитных сил и гравитационной конвекции на формирование гидродинамики расплава анода. Выявлено, что оба фактора противодействуют друг другу и обуславливают качественно различный характер течения расплава анода и размеры сварочной ванны.

Литература

1. Быховский Д.Г. Плазменная резка. – Л: Машиностроение, 1972. – 168 с.
2. Фарнасов Г.А., Фридман А.Г., Каринский В.Н. Плазменная плавка. – М: Metallurgy, 1968.
3. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. – М: Машиностроение, 1973.
4. Урсова Т.Э., Сапаралиева А.Н. Нестационарная двухмерная математическая модель сопряженного теплообмена дуговой плазмы и обрабатываемого изделия // Труды международной конференции «Рахматулинские чтения», Бишкек, 2011. С. 116 – 120.
5. Урсова Т.Э., Сапаралиева А.Н. Численный расчет нестационарного нагрева и плавления анода электрической дугой // Труды международной конференции

«Информационные технологии и математическое моделирование», Бишкек, 2011, с. 112-117.

6. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. –146 с.

7. Данаев Н.Т. Эффективные методы численного решения уравнений гидродинамики в сложных областях // Дисс. на соиск. уч. степени док. физ.-мат. наук. КазГУ им. Аль-Фараби. – Алматы, 1994.

8. Смагулов Ш., Сироченко В.П., Орунханов М.К. Численное исследование течений жидкости в нерегулярных областях. – Алматы, 2001. – 276 с.

9. Урусов Р.М., Урусова Т.Э. Применение метода фиктивных областей для расчета характеристик электрической дуги // М.: Теплофизика высоких температур, 2004. – т.42. – № 3. – С. 374 – 382.

10. Урусова Т.Э. Численное моделирование характеристик электрической дуги сложной геометрии // Дисс. на соиск. уч. степени док. физ.-мат. наук. Ин-т физики НАН КР. – Бишкек, 2008.

УДК: 681.513

ПОСТРОЕНИЯ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ДЕТЕРМИНИСТСКИМИ МЕТОДАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ

Арыкбаев И.М.

Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, idris2004@mail.ru

В данной статье рассмотрены детерминистские методы распознавания: метод построения эталонов, метод дробящихся эталонов, линейные решающие правила, метод ближайших соседей, метод потенциальных функций, структурные (лингвистические) методы, критерии информативности признаков, приведена отбор информативных признаков

CONSTRUCTION DECISION RULES DETERMINISTIC METHODS RECOGNITION

I.M. Arykbaev

This article describes the deterministic methods of detection: the method of construction standards, the method of dividing the standards that are linear decision rules, the method of nearest neighbors, the method of potential functions, structural (linguistic) methods and criteria of informative, given the selection of informative features

Отнесение конкретного объекта (реализации), представленного значениями его свойств и признаков, к одному из фиксированного перечня образов (классов) по определённому решающему правилу в соответствии с поставленной целью называется распознаванием [1]. Отсюда следует, что распознавание может осуществляться любой системой (живой или неживой), выполняющей следующие функции: измерение значений признаков, производство вычислений, реализующих решающее правило. При этом перечень образов, информативных признаков и решающие правила либо задаются распознающей системе извне, либо формируются самой системой. Вспомогательная, но важная функция распознающих систем – оценка риска потерь. Без этой функции невозможно, например, построить оптимальные решающие правила, выбрать наиболее

информативную систему признаков, которые используются при распознавании, и др.

Для построения решающих правил нужна обучающая выборка. Обучающая выборка – это множество объектов, заданных значениями признаков и принадлежность которых к тому или иному классу достоверно известна "учителю" и сообщается учителем "обучаемой" системе. По обучающей выборке система строит решающие правила. Качество решающих правил оценивается по контрольной (экзаменационной) выборке, в которую входят объекты, заданные значениями признаков, и принадлежность которых тому или иному образу известна только учителю. При построении решающих правил используются следующие детерминистические методы решения задач распознавания: Метод построения эталонов [2]: Распознавание осуществляется следующим образом. На вход системы поступает объект \bar{x}^* , принадлежность которого к тому или иному образу системе неизвестна. От этого объекта измеряются расстояния до эталонов всех образов, и \bar{x}^* система относит к тому образу, расстояние до эталона которого минимально (рис. 1.). Расстояние измеряется в той метрике, которая введена для решения определённой задачи распознавания.

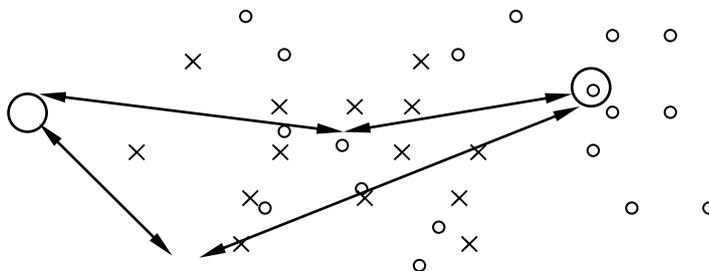


Рис. 1. Решающее правило "Минимум расстояния до эталона класса":
 \otimes – эталон первого класса, \circ – эталон второго класса

Метод дробящихся эталонов [3]. Распознавание осуществляется следующим образом. Строится эталон каждого класса. Вычисляется расстояние от эталона до всех объектов данного класса, входящих в обучающую выборку. Выбирается максимальное из этих расстояний r_{\max} . Строится гиперсфера с центром в эталоне и радиусом $R = r_{\max} + \varepsilon$. Она охватывает все объекты данного класса. Такая процедура проводится для всех классов (образов). На рис. 2 приведён пример двух образов в двумерном признаковом пространстве.

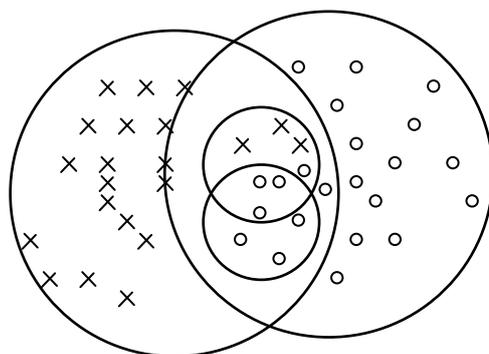


Рис. 2. Решающее правило типа "Метод дробящихся эталонов".

Если гиперсферы различных образов пересекаются и в области перекрытия оказываются объекты более чем одного образа, то для них строятся гиперсферы второго уровня, затем третьего и т.д. до тех пор, пока области не окажутся непересекающимися, либо в области пересечения будут присутствовать объекты только одного образа.

Определяется местонахождение объекта относительно гиперсфер первого уровня. При попадании объекта в гиперсферу, соответствующую одному и только одному образу, процедура распознавания прекращается. Если же объект оказался в области перекрытия гиперсфер, которая при обучении содержала объекты более чем одного образа, то переходим к гиперсферам второго уровня и проводим действия такие же, как для гиперсфер первого уровня. Этот процесс продолжается до тех пор, пока принадлежность неизвестного объекта тому или иному образу не определится однозначно. Линейные решающие правила [4]. Само название говорит о том, что граница, разделяющая в признаковом пространстве области различных образов, описывается линейной функцией (рис. 3)

$$D(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N a_i x_i + a_0.$$

Одна граница при этом разделяет области двух образов. Если $M > 2$, то требуется несколько линейных функций и граница является, вообще говоря, кусочно линейной. Для наглядности будем считать $M = 2$. Если на множестве объектов выполняется условие $D(\bar{x}) > 0$,

если \bar{x} – реализация первого образа s_1 ,

$D(\bar{x}) < 0$,

если \bar{x} – реализация второго образа s_2 ,

то образы s_1 и s_2 называют линейно разделимыми.

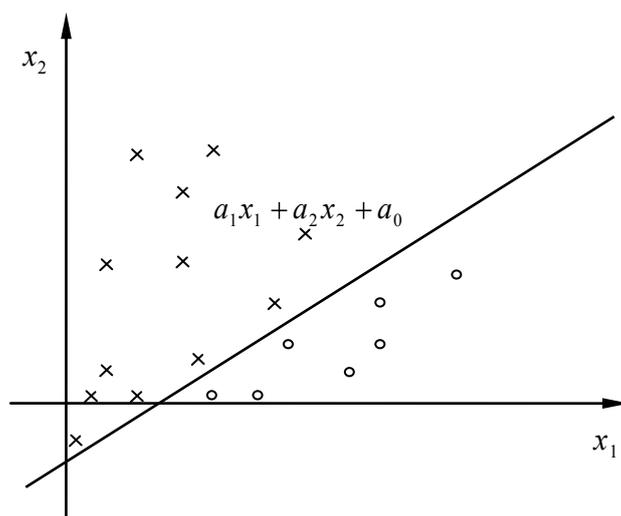


Рис. 3. Линейное решающее правило для распознавания двух образов

Метод ближайших соседей [5]. Правило k ближайших соседей состоит в том, что строится гиперсфера объёма V с центром в \bar{x}^* . Распознавание осуществляется по большинству "представителей" какого-либо образа, оказавшихся внутри гиперсферы (рис 4.). Здесь тонкость состоит в том, чтобы правильно (разумно) выбрать объём гиперсферы. V должен быть достаточно

большим, чтобы в гиперсферу попало относительно большое число "представителей" разных образов, и достаточно маленьким, чтобы не сгладить нюансы разделяющей образы границы.

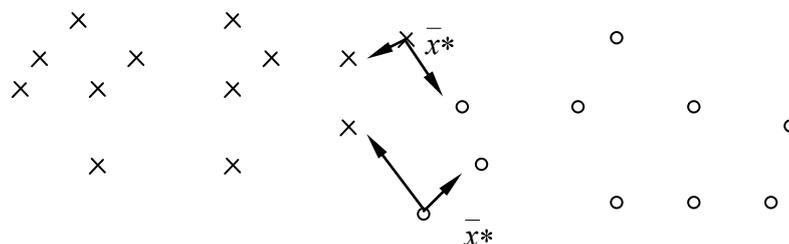


Рис. 4. Решающее правило "Минимум расстояния до ближайшего соседа"

Метод ближайших соседей имеет тот недостаток, что требует хранения всей обучающей выборки, а не её обобщённого описания. Зато он даёт хорошие результаты на контрольных испытаниях, особенно при больших количествах объектов, предъявленных для обучения. Для сокращения числа запоминаемых объектов можно применять комбинированные решающие правила, например сочетание метода дробящихся эталонов и ближайших соседей.

Метод потенциальных функций [4]. Распознавание может осуществляться следующим способом (рис 5.) В точке \bar{x} , где находится неопознанный объект, вычисляется потенциал $g(\bar{x})$. Если он оказывается положительным, то объект относят к образу s_1 . Если отрицательным – к образу s_2 . При большом объёме обучающей выборки эти вычисления достаточно громоздки, и зачастую выгоднее вычислять не $g(x)$, а оценивать разделяющую классы (образы) границу либо аппроксимировать потенциальное поле.

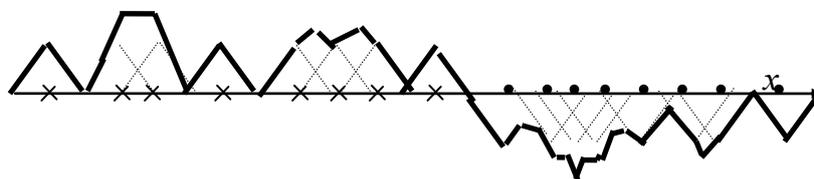


Рис. 5. Иллюстрация синтеза потенциальной функции в процессе обучения:
 – потенциальная функция, порождаемая одиночным объектом;
 – суммарная потенциальная функция, порождённая обучающей последовательностью

Выбор вида потенциальных функций – дело непростое. Например, если они очень быстро убывают с ростом расстояния, то можно добиться безошибочного разделения обучающих выборок. Однако при этом возникают определённые неприятности при распознавании неопознанных объектов (снижается достоверность принимаемого решения, возрастает зона неопределённости). При слишком "пологих" потенциальных функциях может необоснованно увеличиться количество ошибок распознавания, в том числе и на обучающих объектах. Определённые рекомендации в этом отношении можно получить, рассматривая метод потенциальных функций со статистических позиций (восстановление плотности распределения вероятностей $p(\bar{x})$ или разделяющей границы по выборке с использованием процедуры типа стохастической аппроксимации). Структурные (лингвистические) методы [1,4]. При структурном подходе объекты описываются не множеством числовых значений признаков \bar{x} , а структурой

объекта. На рис. 6 представлено изображение и описание его иерархической структуры.

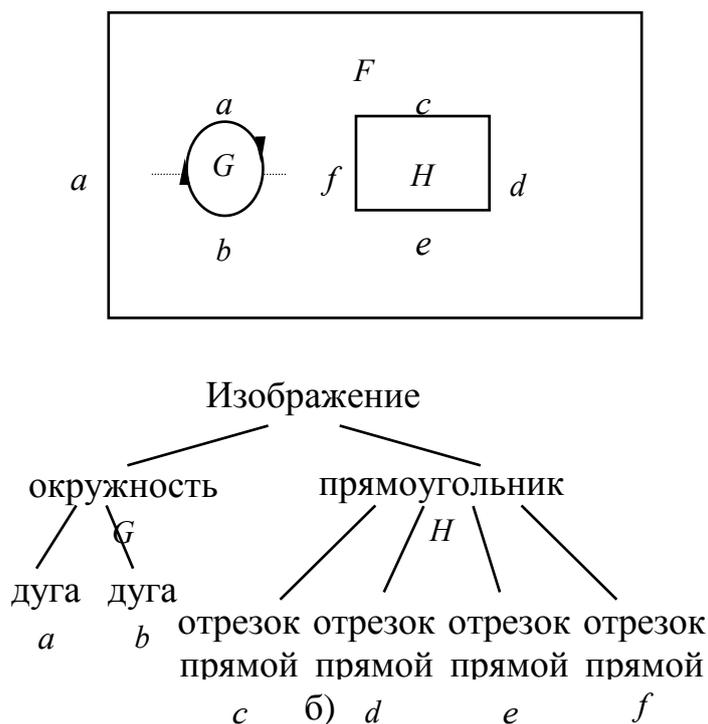


Рис. 6. Изображение (а) и его иерархическое структурное описание (б)

Иерархия предполагает описание сложных объектов с помощью более простых подобъектов. Те, в свою очередь, могут быть описаны с помощью подобъектов следующего уровня и т.д. Этот подход основан на аналогии между структурой объектов и синтаксисом языков. Он приемлем тогда, когда простейшие подобъекты вычленять и распознавать легче, чем изображение (объект) в целом. Правила композиции простейших (непроизводных) элементов при описании объекта в целом называют грамматикой языка описания объектов. Распознавание объекта состоит в распознавании непроизводных его элементов и синтаксическом анализе (грамматическом разборе) "предложения", описывающего данный объект. Преимущество лингвистического подхода проявляется в том случае, если удаётся большое количество сложных объектов представлять с помощью небольшого множества непроизводных элементов и грамматических правил (например, распознавание устных слов по последовательности фонем).

Критерии информативности признаков [5]. При решении задач распознавания основным критерием (в том числе и для оценки информативности признаков) является риск потерь. В тех случаях, когда общая выборка невелика по объёму, деление её на две части весьма нежелательный шаг (ухудшится и качество обучения, и доверие к результатам контроля). Некоторые исследователи для компенсации этого недостатка применяют метод так называемого скользящего контроля. Он состоит в следующем. Все объекты, кроме одного, предъявляются в качестве обучающей выборки. Один объект, не участвовавший в обучении, предъявляется на контроль. Затем из общей выборки отбирается другой объект для контроля, по оставшейся части выборки осуществляется обучение. Такая процедура повторяется столько раз, сколько объектов в общей выборке. В таком случае вся выборка участвует и в обучении, и в контроле, но контрольные объекты

не участвуют в обучении. Этот положительный эффект достигается ценой того, что обучение производится не один раз, как это было бы при наличии двух разных выборок (обучающей и контрольной) достаточно большого объёма, а столько раз, сколько объектов в общей выборке. Такой недостаток существенен, поскольку процедура обучения обычно достаточно сложна и её многократное повторение нежелательно. Если же данная процедура используется для отбора информативных признаков, то количество "обучений" нужно ещё умножить на количество сравниваемых между собой наборов признаков. Поэтому для оценки информативности признаков и решения иных задач часто используется не относительное число ошибок распознавания, а другие критерии, с ним связанные. Отбор информативных признаков [5]. Если исходное признаковое пространство задано, то отбор меньшего числа наиболее информативных признаков (формирование признакового пространства меньшей размерности) поддаётся формализации. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – исходное признаковое пространство, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$ – преобразованное признаковое пространство, $Y = F\{X\}, l \leq k, F$ – некоторая функция.

На рис. 7 представлено линейное преобразование координат

$$y_j = \sum_{k=0}^K x_k a_{jk}.$$

После преобразования признак y_2 не несёт различительной информации и его использование для распознавания не имеет смысла.

Такого рода преобразования приводят к упрощению решающих правил, т.к. их приходится строить в пространстве меньшей размерности. Однако при этом возникает необходимость в реализации преобразования $F(\cdot)$. Поэтому суммарного упрощения может и не получиться, особенно при цифровой реализации преобразования признакового пространства. Хорошо, если датчики, измеряющие значения исходных признаков, по своей физической природе таковы, что попутно осуществляют требуемое преобразование.

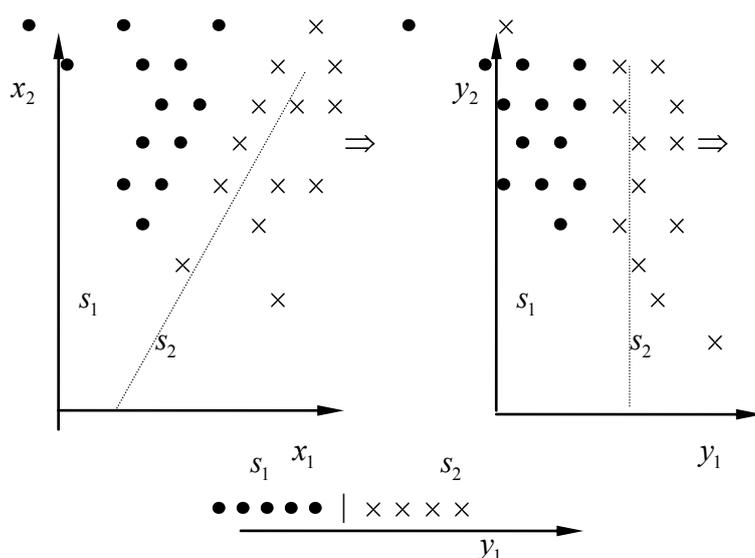


Рис. 7. Линейное преобразование координат с последующим отбрасыванием одного из признаков

Особо выделим следующий тип линейного преобразования:

$$y_j = \sum_{k=1}^K x_k a_{jk},$$

где $\|a_{jk}\|$ – диагональная матрица, причём её элементы равны либо 0, либо 1.

Это означает, что из исходной системы признаков часть отбрасывается. Разумеется, остающиеся признаки должны образовывать наиболее информативную подсистему. Таким образом, нужно разумно организовать процедуру отбора по одному из ранее рассмотренных критериев информативности.

Литература

1. Волошин Г.Я., Бурлаков И.А., Косенкова С.Т. Статистические методы решения задач распознавания, основанные на аппроксимационном подходе. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1992.
2. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. – М.: Высш. шк., 1977.
3. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976.
4. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. – М.: Сов. радио, 1972.
5. Патрик Э. Основы теории распознавания образов. – М.: Сов. радио, 1980.

УДК: 681.513

РЕАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОЦЕНКА НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ

Жумалиев К.М.¹ академик НАН КР, Арыкбаев И.М.²

¹ Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

² Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан idrisc2004@mail.ru

В данной статье рассмотрены статические методы распознавания, описана байесовская решающая правила, приведена формула Байеса и способы реализации решающих правил, приведена описание метода k_n ближайших соседей для оценки нормального распределения признаков распознавания

IMPLEMENTATION OF STATISTICAL METHODS FOR RECOGNITION AND ESTIMATION OF THE NORMAL DISTRIBUTION OF PATTERN RECOGNITION

K.M. Jumaliev, I.M. Arykbaev

This article describes the static methods of pattern recognition is described Bayesian decision rule is a formula and how to implement Bayesian decision rules, given a description of the method k_n nearest neighbors to estimate the distribution of the normal signs of recognition

Актуальность. Реализация методов распознавания необходима в автоматизированных системах, предназначенных для использования в

криминалистике, медицине, военном деле. Большую роль методы распознавания играют в активно развивающихся геоинформационных системах.

Обзор. В математической постановке задача распознавания образов относится к классу статистических задач классификации совокупностей по их измерениям (наблюдениям). Говоря о статистических методах распознавания, предполагается установление связи между отнесением объекта к тому или иному классу (образу) и вероятностью ошибки при решении этой задачи. В ряде случаев это сводится к определению апостериорной вероятности принадлежности объекта образу s_i при условии, что признаки этого объекта приняли значения x_1, x_2, \dots, x_N . Начнём с байесовского решающего правила[1]. По формуле Байеса

$$p(s_i / x_1, \dots, x_N) = \frac{P_0(s_i) p(x_1, \dots, x_N / s_i)}{\sum_{j=1}^M P_0(s_j) p(x_1, \dots, x_N / s_j)}.$$

Здесь $P_0(s_i)$ – априорная вероятность предъявления к распознаванию объекта i -го образа:

$$P_0(s_i) > 0, \quad \sum_{i=1}^M P_0(s_i) = 1.$$

Для каждого s_i

$$\int_{x_1} \dots \int_{x_N} p(x_1, \dots, x_N / s_i) dx_1 \dots dx_N = 1,$$

при признаках с непрерывной шкалой измерений

$$\sum_{j_1=1}^{x_1} \dots \sum_{j_N=1}^{x_N} p(x_1^{j_1}, x_2^{j_2}, \dots, x_N^{j_N} / s_i) = 1,$$

при признаках с дискретной шкалой измерений

$$p(x_1, \dots, x_N / s_i) \geq 0.$$

При непрерывных значениях признаков $p(x_1, \dots, x_N / s_i)$ представляет из себя функцию плотности вероятностей, при дискретных – распределение вероятностей.

Проблемы. Распределения, описывающие разные классы, как правило, "пересекаются", то есть имеются такие значения признаков x_1, \dots, x_N , при которых

$$p(x_1, \dots, x_N / s_i) \cdot p(x_1, \dots, x_N / s_j) > 0.$$

В таких случаях ошибки распознавания неизбежны. Естественно, неинтересны случаи, когда эти классы (образы) в выбранной системе признаков $(\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_N)$ неразличимы (при равных априорных вероятностях решения можно выбирать случайным отнесением объекта к одному из классов равновероятным образом).

В общем случае нужно стремиться выбрать решающие правила так, чтобы минимизировать риск потерь при распознавании[2].

Риск потерь определяется двумя компонентами: вероятностью ошибок распознавания и величиной "штрафа" за эти ошибки (потери). Матрица ошибок распознавания:

	s_1	s_2	s_3	...	s_M
s_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}		P_{1M}
s_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}		P_{2M}
s_M	P_{M1}	P_{M2}	P_{M3}		P_{MM}

где p_{ii} – вероятность правильного распознавания;

p_{ij} – вероятность ошибочного отнесения объекта i -го образа к j -му ($i \neq j$).

Матрица потерь

$$\begin{array}{cccccc} & s_1 & s_2 & s_3 & \dots & s_M \\ s_1 & u_{11} & u_{12} & u_{13} & & u_{1M} \\ s_2 & u_{21} & u_{22} & u_{23} & & u_{2M} \end{array}$$

$$s_M \quad u_{M1} \quad u_{M2} \quad u_{M3} \quad \dots \quad u_{MM},$$

где u_{ii} – "премия" за правильное распознавание;

u_{ij} – "штраф" за ошибочное отнесение объекта i -го образа к j -му ($i \neq j$).

Необходимо построить решающее правило так, чтобы обеспечить минимум математического ожидания потерь (минимум среднего риска) [1].

Разобьём признаковое пространство X на M непересекающихся областей v_j ($j = 1, 2, \dots, M$), каждая из которых соответствует определённому образу.

Средний риск при попадании реализаций q -го образа в области других образов равен

$$r_q = \sum_{j=1}^M u_{qj} \int_{v_j} p(x_1, x_2, \dots, x_N / s_q) dx_1 \dots dx_N, \quad q \neq j.$$

Здесь предполагается, что все компоненты X имеют непрерывную шкалу измерений (в данном случае это непринципиально).

Величину r_q можно назвать условным средним риском (при условии, что совершена ошибка при распознавании объекта q -го образа). Общий (безусловный) средний риск определяется величиной $R = \sum_{q=1}^M P_0(s_q) r_q$.

Пути решение. Байесовское решающее правило реализуется в компьютерах в основном двумя способами [1].

1. Прямое вычисление апостериорных вероятностей [3]

$$p(s_i / \bar{x}^*) = \frac{P_0(s_i) p(\bar{x}^* / s_i)}{\sum_{j=1}^M P_0(s_j) p(\bar{x}^* / s_j)},$$

где $\bar{x}^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*]$ – вектор значений параметров распознаваемого объекта и выбор максимума. Решение принимается в пользу того образа, для которого $p(s_i / \bar{x}^*)$ максимально. Иными словами, байесовское решающее правило реализуется решением задачи $\arg \max_i p(s_i / \bar{x}^*)$.

Если пойти на дальнейшее обобщение и допустить наличие матрицы потерь общего вида, то условный риск можно определить по формуле

$$p(s_i / \bar{x}^*) u_{ii} - \sum_{j=1}^M p(s_j / \bar{x}^*) u_{ij}, \quad i \neq j.$$

Здесь первый член определяет "поощрение" за правильное распознавание, а второй – "наказание" за ошибку. Байесовское решающее правило в данном случае состоит в решении задачи

$$\arg \left\{ \max_i \left[p(s_i / \bar{x}^*) u_{ii} - \sum_{j=1}^M p(s_j / \bar{x}^*) u_{ij} \right] \right\}, i \neq j.$$

2. "Топографическое" определение области v_i , в которую попал вектор \bar{x}^* значений признаков, описывающих распознаваемый объект [4].

Такой подход используют в тех случаях, когда описание областей v_i достаточно компактно, а процедура определения области, в которую попал \bar{x}^* , проста. Иными словами, данный подход естественно использовать, когда в вычислительном отношении он эффективнее (проще), чем прямое вычисление апостериорных вероятностей

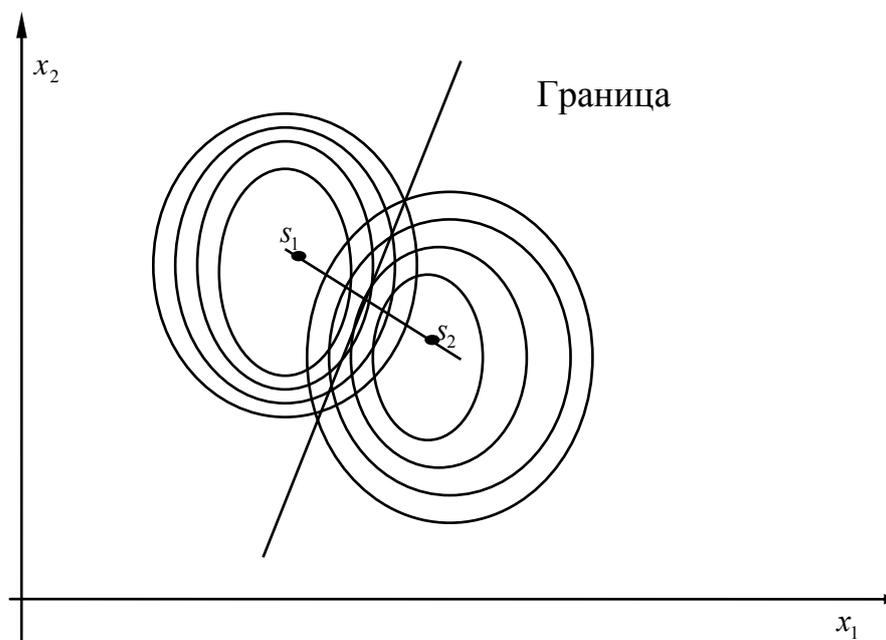


Рис. 1. Байесовское решающее правило для нормально распределённых признаков с равными ковариационными матрицами

Так, если классов два, их априорные вероятности одинаковы, $p(\bar{x} / s_1)$ и $p(\bar{x} / s_2)$ – нормальные распределения с одинаковыми ковариационными матрицами (отличаются только векторами средних), то байесовская разделяющая граница – гиперплоскость. Запоминается она значениями коэффициентов линейного уравнения. При распознавании какого-либо объекта в уравнение подставляют значения признаков \bar{x}^* этого объекта и по знаку (плюс или минус) получаемого решения относят объект к s_1 или s_2 (рис. 1).

Если у классов s_1 и s_2 ковариационные матрицы $p(\bar{x} / s_1)$ и $p(\bar{x} / s_2)$ не только одинаковы, но и диагональны, то байесовским решением является отнесение объекта к тому классу, евклидово расстояние до эталона которого минимально (рис. 2).

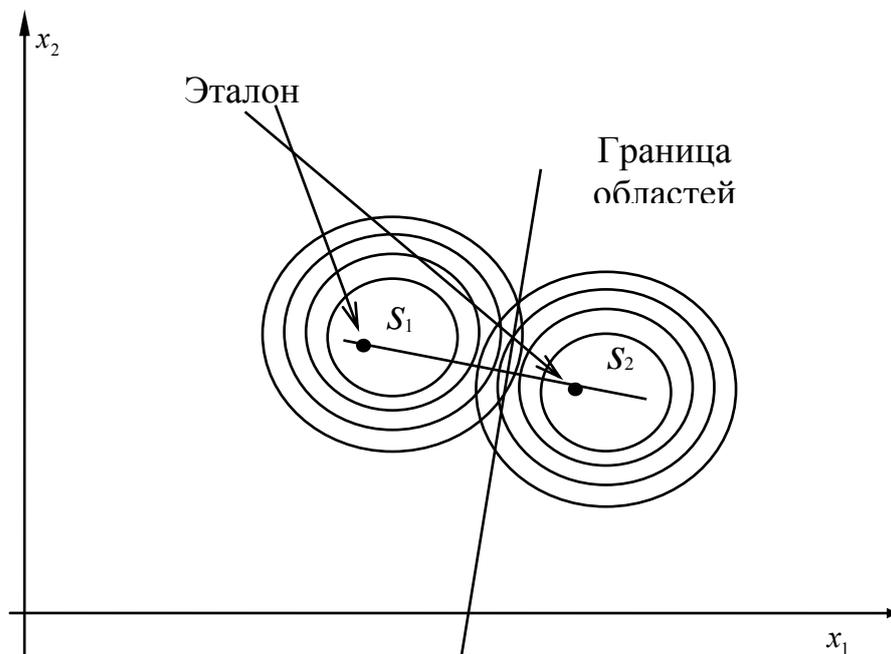


Рис.2. Байесовское решающее правило для нормально распределённых признаков с равными диагональными ковариационными матрицами (элементы диагоналей одинаковы)

Теперь перейдём к методам оценки распределений значений признаков классов. Знание $p(\bar{x}/s_i)$ является наиболее универсальной информацией для решения задач распознавания статистическими методами. Эту информацию можно получить двояким образом:

- заранее определить (оценить) $p(\bar{x}/s_i)$ для всех $\bar{x} \in X$ и $i = 1, 2, \dots, M$;
- определять $p(\bar{x}^*/s_i)$ при каждом акте распознавания конкретного объекта, признаки которого имеют значения \bar{x}^* .

Начнём с метода k_n ближайших соседей для определения $p(\bar{x}^/s_i)$ в окрестности распознаваемого объекта [5].*

Здесь идея состоит в том, что вокруг распознаваемого объекта \bar{x} строится ячейка объёма V . При этом неизвестный объект относится к тому образу, число обучающих представителей которого в построенной ячейке оказалось большинство. Если использовать статистическую терминологию, то число объектов образа s_i , попавших в данную ячейку, характеризует оценку усреднённой по объёму V плотности вероятности $p(\bar{x}/s_i)$.

Для оценки усреднённых $p(\bar{x}/s_i)$ нужно решить вопрос о соотношении между объёмом V ячейки и количеством попавших в эту ячейку объектов того или иного класса (образа). Вполне разумно считать, что чем меньше V , тем более тонко будет охарактеризована $p(\bar{x}/s_i)$. Но при этом тем меньше объектов попадёт в интересующую нас ячейку, а следовательно, тем меньше достоверность оценки $p(\bar{x}/s_i)$. При чрезмерном увеличении V возрастает достоверность оценки $p(\bar{x}/s_i)$, но теряются тонкости её описания из-за усреднения по слишком большому объёму, что может привести к негативным последствиям (увеличению вероятности ошибок распознавания). При небольшом объёме обучающей выборки V целесообразно брать предельно большим, но обеспечить при этом, чтобы внутри ячейки плотности $p(\bar{x}/s_i)$ мало изменялись. Тогда их усреднение по большому

объёму не очень опасно. Таким образом, вполне может случиться, что объём ячейки, уместный для одного значения \bar{x} , может совершенно не годиться для других случаев.

Предлагается следующий порядок действий (пока что принадлежность объекта тому или иному образу учитывать не будем) [5].

Для того чтобы оценить $p(\bar{x})$ на основании обучающей выборки, содержащей n объектов, центрируем ячейку вокруг \bar{x} и увеличиваем её объём до тех пор, пока она не вместит k_n объектов, где k_n есть некоторая функция от n . Эти k_n объектов будут ближайшими соседями \bar{x} . Вероятность P попадания вектора \bar{x} в область R определяется выражением $P = \int_R p(\bar{x}') d\bar{x}'$.

Это сглаженный (усреднённый) вариант плотности распределения $p(\bar{x})$. Если взять выборку из n объектов (простым случайным выбором из генеральной совокупности), то k из них окажется внутри области R . Вероятность попадания k из n объектов в R описывается биномиальным законом, имеющим резко выраженный максимум около среднего значения nP . При этом k/n является неплохой оценкой для P .

Если теперь допустить, что R настолько мала, что $p(\bar{x})$ внутри неё меняется незначительно, то

$$\int_R p(\bar{x}') d\bar{x}' \approx p(\bar{x})V,$$

где V – объём области R , \bar{x} – точка внутри R .

Тогда $P \approx p(\bar{x})V$. Но $P \approx \frac{k}{n}$, следовательно, $p(\bar{x}) \approx \frac{k/n}{V}$.

Итак, оценкой $p_n(\bar{x})$ плотности $p(\bar{x})$ является величина

$$p_n(\bar{x}) = \frac{k_n/n}{V_n}. \quad (*)$$

Без доказательства приведём утверждение, что условия

$$\lim_{n \rightarrow \infty} k_n = \infty \text{ и } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{k_n}{n} = 0 \quad (**)$$

являются необходимыми и достаточными для сходимости $p_n(\bar{x})$ к $p(\bar{x})$ по вероятности во всех точках, где плотность $p(\bar{x})$ непрерывна.

Этому условию удовлетворяет, например, $k_n = \sqrt{n}$.

Теперь будем учитывать принадлежность объектов к тому или иному образу и попытаемся оценить апостериорные вероятности образов $p(s_i / \bar{x})$.

Предположим, что мы размещаем ячейку объёма V вокруг \bar{x} и захватываем выборку с количеством объектов k_n , k_{ni} из которых принадлежат образу s_i . Тогда в соответствии с формулой (*) оценкой совместной вероятности $p(\bar{x}, s_i)$ будет величина

$$p_n(\bar{x}, s_i) = \frac{k_{ni}/n}{V_n},$$

а величина $P_n(s_i / \bar{x})$ определяется

$$P_n(s_i / \bar{x}) = \frac{p_n(\bar{x}, s_i)}{\sum_{j=1}^M p_n(\bar{x}, s_j)} = \frac{k_{ni}}{k_n}.$$

Выводы. Таким образом, апостериорная вероятность $P_n(s_i/\bar{x})$ оценивается как доля выборки в ячейке, относящаяся к s_i . Чтобы свести уровень ошибки к минимуму, нужно объект с координатами \bar{x} отнести к классу (образу), количество объектов обучающей выборки которого в ячейке максимально. При $n \rightarrow \infty$ такое правило является байесовским, то есть обеспечивает теоретический минимум вероятности ошибок распознав

Таким образом, мы убеждаемся в том, что некоторые решающие правила, ранее рассмотренные нами как эмпирические (детерминированные, эвристические), имеют вполне чёткую статистическую трактовку. Более того, в ряде конкретных случаев они являются статистически оптимальными.

Литература

1. Волошин Г.Я., Бурлаков И.А., Косенкова С.Т. Статистические методы решения задач распознавания, основанные на аппроксимационном подходе. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1992.
2. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. – М.: Высш. шк., 1977.
3. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976.
4. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. – М.: Сов. радио, 1972.
5. Фу К.С. Структурные методы в распознавании образов. – М.: Мир, 1977.

УДК: 681.327:535.8

ИНФРАКРАСНЫЕ МОДУЛЯТОРЫ СВЕТА ДЛЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ НА ФТПН

Акимжанова Ч.С.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

Рассматривается принцип работы ИК модуляторов света, использованных в экспериментальных исследованиях по записи информации на фототермопластических носителях (ФТПН) при нагреве излучением CO₂ – лазеров.

INFRA-RED MODULATORS OF LIGHT FOR THE INFORMATION HOLOGRAPHIC RECORDING ON PHOTOTHERMOPLASTIC CARRIERS

Akimjanova Ch. S.

In this article is considered the principle of operation of infra-red modulators of light used in experimental researches of data recording on at heating by radiation of CO₂ - lasers.

Одним из основных элементов голографических запоминающих устройств (ГЗУ) являются дефлекторы света, которые могут быть акустооптическими, электрооптическими и электромеханическими. Последние из них отличаются малыми потерями световой мощности, высоким отношением сигнал/ фон и низкой

стоимостью. Однако основным недостатком подобных устройств – их небольшое быстродействие ($\sim 1\text{мс}$) [1].

В данной работе рассмотрим принцип работы ИК модуляторов света, использованных нами в экспериментах по записи информации на ФТПН при нагреве излучением CO_2 – лазеров. Для управления частотой лазерных излучений используются следующие физические явления: модуляция с помощью вращающихся дифракционных решеток, электрооптическое взаимодействие в кристаллах (эффект Поккельса) и дифракция света на акустических волнах в твердом теле.

Электрооптические модуляторы (ЭОМ) для управления ИК излучением

Широкое применение в устройствах сдвига частоты света нашел электрооптический эффект Поккельса, который заключается в изменении параметров оптической индикатрисы кристалла под воздействием внешнего электрического поля. Эффект наблюдается как в двулучепреломляющих, так и в исходно изотропных кристаллах. Приложение к кристаллу внешнего электрического поля вызывает изменение показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей, что приводит к изменению разности фаз между ними. При этом меняется характер поляризации выходящего из кристалла света. Электрооптический эффект может быть использован для модуляции практически любого параметра оптического излучения: амплитуды, частоты, поляризации, а также для сканирования – отклонения светового пучка. Описание электрооптического эффекта достаточно полно дано в работах [2,3], а методика использования эффекта в системах модуляции и сканирования световых пучков подробно описана в монографии [4].

Акустооптические модуляторы для управления ИК излучения

Развитие акустооптических устройств (АОУ) к настоящему времени привело к тому, что почти в каждой модели ГЗУ содержится одно или несколько АОУ. Чаще всего они применяются для управления направлением распространения пучка света, посредством чего достигается возможность доступа к необходимой голограмме.

Распространение акустической волны в среде вызывает модуляцию ее плотности и показателя преломления света, что приводит к образованию движущейся фазовой решетки. Период Λ этой решетки определяется упругими параметрами среды и частотой ν_u ультразвука. При достаточно малой длине l взаимодействия световой и акустической волны такую решетку можно считать плоской.

Большинство приборов, основанных на явлении акустооптического взаимодействия, работает в режиме дифракции Брэгга. Условия возникновения подобного режима акустооптического взаимодействия определяется соотношением [5]

$$2\pi l / \Lambda^2 \gg 1$$

Дифракция света на ультразвуке в режиме Брэгга аналогична явлению дифракций рентгеновского излучения в кристаллах и происходит только при определенном угле θ_B падения света на акустическую волну. Этот угол определяется условием Вульфа- Брэгга:

$$\sin \theta_B = \lambda / 2\Lambda$$

Пространственный дифракционный спектр при этом состоит из двух максимумов: нулевого (несмещенное направление) и первого порядков. Частота света в максимуме первого порядка равна либо $\nu + \nu_{\text{ц}}$, либо $\nu - \nu_{\text{ц}}$ в зависимости от направления волновых векторов световой и акустической волны.

Физические основы акустооптического взаимодействия изложены в работах [5,6,7]. Кроме того, в работе [7] описаны устройства и технические характеристики промышленно выпускаемых акустооптических модуляторов, а также рассмотрены вопросы, связанные с выбором материалов и технологии изготовления акустооптических модуляторов.

Основным элементом акустооптического модулятора является звукопровод из прозрачного материала, имеющего хорошие акустооптические характеристики. Для света видимого и ближнего ИК диапазонов это может быть стекло (тяжелый флинт), парателлуриит (TeO_2), молибдат свинца (PbMoO_4), для видимого и ближнего УФ диапазонов – плавленый кварц, для ИК диапазона – германий.

Для управления интенсивностью ИК лазерного излучения для нагрева ФТПН при записи голограмм, наиболее эффективно удовлетворяет наши требования серийно выпускаемый акустооптический модулятор типа МЛ-206.

Модулятор акустооптический типа МЛ-206 предназначен для внешней амплитудной модуляции инфракрасного излучения – $10,6 \pm 0,04$ мкм.

Конструктивно модулятор представляет собой металлический корпус, в котором размещен модуляционный элемент в виде призмы из германия с присоединенным к одной из его граней призмы пьезопреобразователем, состоящим из двух пластин из ниобата лития.

Грань призмы, противоположная грани, на которой расположен пьезопреобразователь, наклонена по отношению к грани с пьезопреобразователем и имеет звукопоглотитель, что обеспечивает режим бегущей акустической волны в модуляционном элементе. На боковых гранях призмы нанесены просветляющие покрытия на длину волны в модуляционном элементе. На боковых гранях призмы нанесены просветляющие покрытия на длину волны 10,6 мкм. Управляющий электрический сигнал подводится к пьезопреобразователю через согласующую систему, подсоединенную к приборной вилке СР -30-276Ф. При эксплуатации модулятор должен быть установлен на радиаторе, обеспечивающем работу модулятора с температурой корпуса не выше 30°C .

Работа модулятора основана на акустооптическом эффекте. Электрическое поле, приложенное к пьезопреобразователю, возбуждает продольную бегущую акустическую волну, которая распространяется в германиевой призме модуляционного элемента. Вследствие упругого эффекта акустические колебания вызывают локальные изменения показателя преломления в германии. При прохождении лазерного излучения через среду с периодически возмущенным показателем преломления, возникает дифракция Брэгга. Интенсивность отклонения модулятором излучения максимальна, если угол падения лазерного излучения к фронту акустической волны удовлетворяет условию Брэгга:

$$\sin \theta_{\text{Б}} = \lambda / 2\Lambda,$$

где $\theta_{\text{Б}}$ – угол падения лазерного излучения к фронту акустической волны (угол Брэгга); λ – длина волны падающего лазерного излучения; $\Lambda = \nu / f$ – длина акустической волны; $f = 40 \text{ МГц}$ – частота управляющего сигнала; ν – фазовая скорость акустической волны, распространяющийся в германии для модулятора типа МЛ-206 равна $\nu = 5,5 \cdot 10^5 \text{ см/с}$.

Акустооптические модуляторы от приборов аналогичного назначения, основанных на других принципах работы, отличается высокая надежность; малые габаритные размеры и масса; простота в эксплуатации, в том числе возможность использования для управления типовыми высокочастотными генераторами. Кроме того, в АОП существуют подвижные части и высоковольтные узлы.

Электронно-оптическая схема нагрева ИК лазерным лучом для дисковых ФТП носителей

Электронно-оптическая система нагрева лазерным лучом является составной частью устройства записи и стирания данных в дисковых голографических запоминающих устройствах (ДГЗУ) большой емкости. Предлагается электронно-оптическая схема (рис.1) нагрева дисковых ФТПН инфракрасным лазерным излучением.

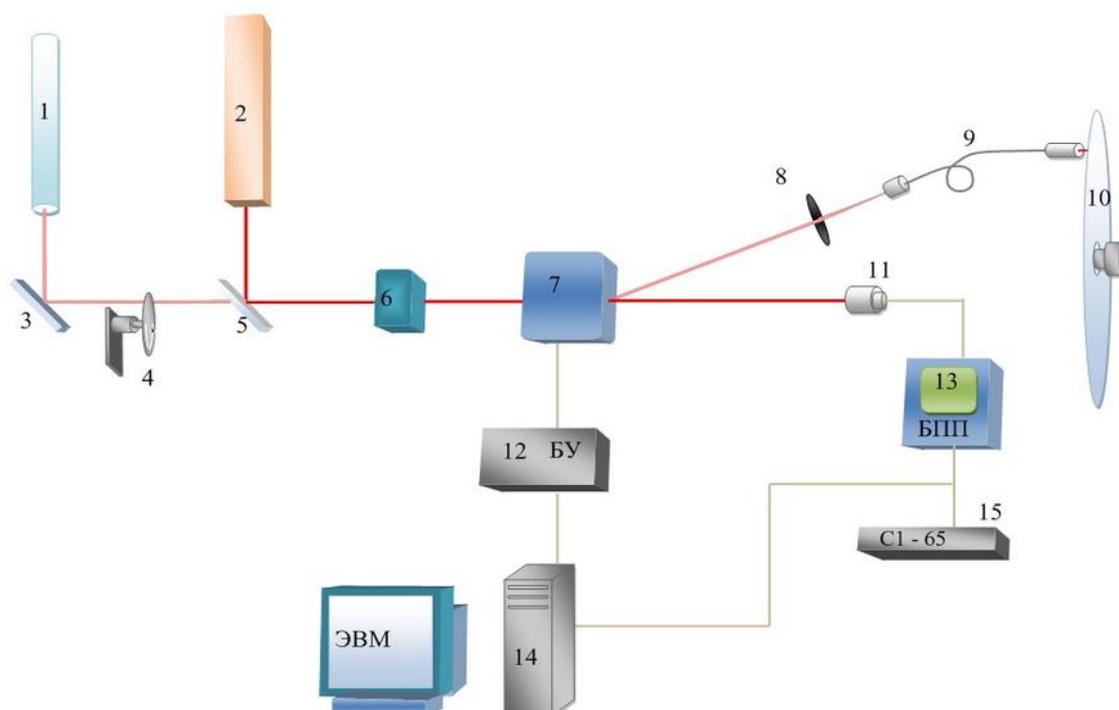


Рис. 1. Электронно-оптическая схема нагрева дисковых ФТПН инфракрасным лазерным излучением.

На рис.1 видно, что ИК лазер 1 типа ЛГН – 901 с вертикальной поляризацией с помощью ИК – линзы 14 проходит через поглотитель мощности 3. He-Ne лазер 2, ИК – делитель 4 и поглотитель мощности ИК – лазера 3 используется в этой схеме только в целях наладки и юстировки электрооптической схемы. ИК лазерный луч проходит через делитель 4 и с помощью германиевой ИК-линзы 5 сфокусируется на акустооптический модулятор 6. В АОМ поступает управляющий сигнал от блока управления 7 в зависимости от сформированного сигнала от режима записи и считывания голограмм на ФТП-носители. АОМ может пропустить ИК излучения с высокой точностью. Промоделированное ИК излучение, проходя через ИК – линзы 8, попадает в поликристаллический световод 9 из КРС-5, который легко подводится к порядку, использован для измерения мощностью ИК излучения с помощью пироэлектрического приемника оптического излучения МГ-30 11, с помощью электронного блока пироэлектрического приемника 12, сигнал поступает

на измерительный осциллограф 13 и на микропроцессорный контроллер 15, который с помощью этой обратной связи может вырабатывать сигнал для управления АОМ. Благодаря быстродействующему АОМ можно точно с высокой эффективностью прерывать ИК излучение для нагрева ФТП носителей.

Выводы:

Регулируя мощностью излучения CO₂- лазера электронно-оптическими ИК модуляторами света, получим следующие преимущества:

1. Во время записи голограммы на ФТП диск при переходе с одной дорожки на другую регулировать интенсивность ИК излучения, таким образом, диск вращается с постоянной частотой, а это существенно упрощает сложный механизм вращения;
2. Регулированное ИК излучение вводим в ИК волокно и легко подводим в нужную часть ФТП диска и таким образом упрощается механизм;
3. С помощью приемника оптического излучения организована быстродействующая обратная связь для регулировки нагрева ФТП носителей.

Литература

1. С.В. Богданов, В.Н. Вьюхин, И.С. Гибин, В.М. Мастихин, П.Е. Твердохлеб, Ю.Н. Тищенко. Двухкоординатный акустооптический дефлектор. – «Автометрия», 1975, №3.
2. Най Дж. Физические основы кристаллов. М.: Мир, 1967.
3. Мустель Е. Р., Парыгин В.Н. Методы модуляции и сканирования света. М.: Наука, 1970.
4. Желудев И.С. Основы сегнетоэлектричества. М.: Атомиздат, 1973.
5. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
6. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973.
7. Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. Акустооптические устройства и их применение. – М.: Сов. Радио, 1978.

УДК: 621.551.508.8

ОДНОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В РОССИИ И НАД СРЕДНЕАЗИАТСКИМ РЕГИОНОМ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

Орозобаков А.Т. к.ф.-м. н.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

В статье приводятся результаты одновременных измерений содержания озона над Россией и Кыргызстаном на миллиметровых волнах аналогичными методами и их сравнения со спутниковыми данными. Анализ наблюдений показал заметное влияние полярного вихря на озоновый слой, так в слоях, находящихся под влиянием вихря, содержание озона оказалось вдвое меньше, что согласуется с ранее полученными фактами.

SIMULTANEOUS MEASUREMENTS OF THE OZONE CONTENT ABOVE RUSSIA AND MIDDLE ASIA REGION IN MILLIMETER WAVEBAND

Orozobakov A.T.

The results of simultaneous measurements of the ozone content above Russia and Kyrgyzstan in millimeter waveband made by the same methods are presented in the article. The obtained results were matched with satellite data. The analysis of observations showed a significant influence of polar vortex on the ozone layer. Thus, the ozone content in layers being under the influence of the vortex was twice as less, that agrees with obtained data

Измерения содержания озона в России были начаты ещё в начале прошлого века, радиофизические на миллиметровых волнах в середине /1/. В Среднеазиатском регионе (Кыргызской Республике) подобные измерения поведятся в с.Караой Иссыкульского района с 2007 года /2/-/4/. Благодаря проектам МНТЦ нам впервые удалось провести одновременные наземные измерения содержания озона в Нижнем Новгороде и станции Караой. Спектральные измерения, в которых был использован один и тот же вращательный переход озона на частоте 110836 МГц, были выполнены с помощью аналогичной аппаратуры, используемой в пассивном микроволновом зондировании атмосферы с поверхности Земли. Анализ данных совместных наблюдений даст возможность определения влияния распространения воздушных масс, вихрей на озоновый слой. Для уточнения, наблюдения над обоими пунктами были сопоставлены со спутниковыми данными /5/ Рис.1. Так, для Нижнего Новгорода была выбрана область, ограниченная координатами ($56^{\circ}\pm 2^{\circ}$ с.ш., $44^{\circ}\pm 5^{\circ}$ в.д.), для станции Караой – ($43^{\circ}\pm 3^{\circ}$ с.ш., $77^{\circ}\pm 5^{\circ}$ в.д.). Результаты одновременных наблюдений показали, что в области нижней стратосферы – уровни высот 25 - 30 км. в течение 10 дней количество озона в двух пунктах менялось слабо. Это связано с тем, что в это время оба пункта находились в одной и той же воздушной массе вне начинающего формироваться полярного стратосферного вихря. Благодаря особенности строения вертикальной структуры этого вихря верхняя часть его в период с 9 по 15 ноября была смещена в юго-западном направлении, в результате верхняя часть стратосферы над Нижним Новгородом оказалась частично внутри этого циклона. В то же время в течение всего периода наблюдений стратосфера среднеазиатского региона оставалась за его пределами. Следствием этого явилось различие в поведении озона в географически разнесенных пунктах на высотах 40 и 50 км. В этой части атмосферы наземные и спутниковые приборы зарегистрировали, что над Нижним Новгородом в это время количество озона было примерно вдвое меньше, чем над станцией Кара-Ой.

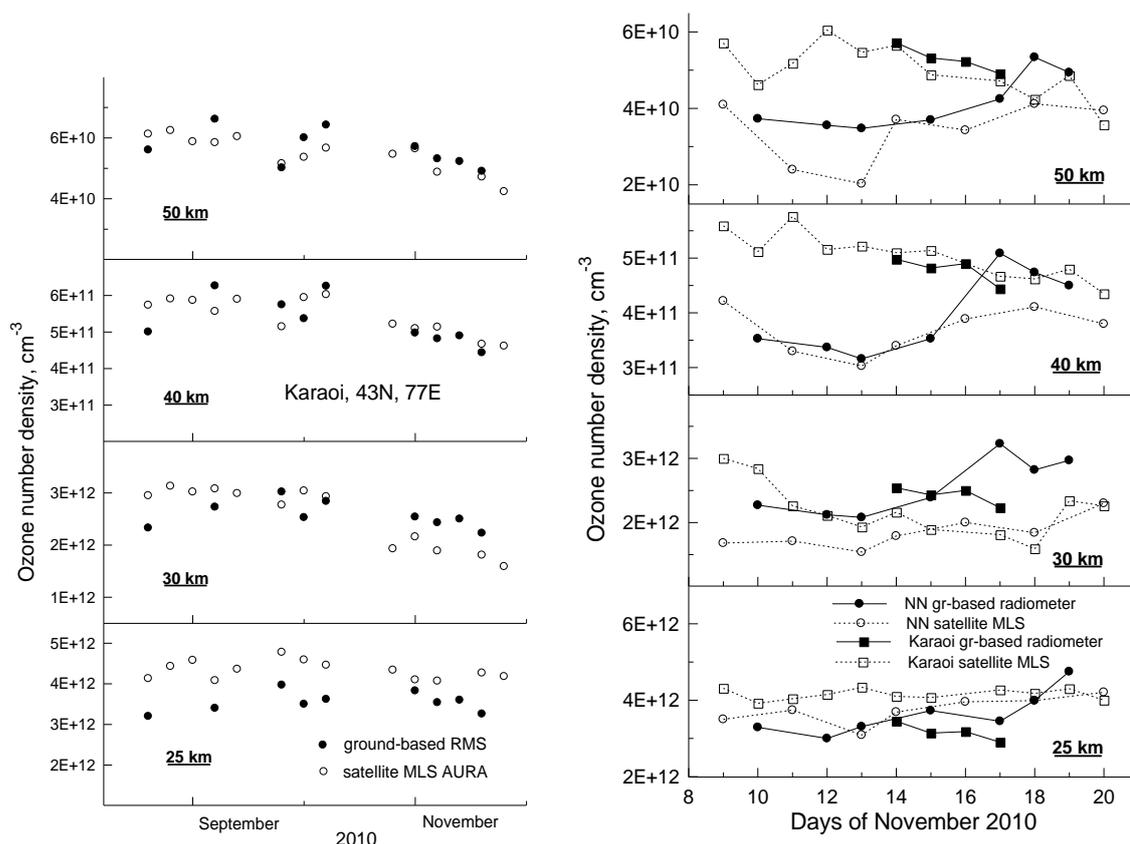


Рис.1. Одновременные измерения содержания озона в России и КР

Отмеченный факт согласуется с ранее полученными данными, согласно которым воздушные массы, сосредоточенные во внутренней холодной части полярного стратосферного циклона, характеризуются низким содержанием озона по сравнению с внешними областями. Эта разница может достигать двух-трех раз. С 16 ноября из-за смещения вихря верхняя часть стратосферы над Нижним Новгородом оказалась за его пределами, содержание озона здесь увеличилось и практически сравнялось с его значением в среднеазиатском регионе. По-видимому, это объясняется тем, что в это время оба пункта находились в одной и той же воздушной массе вне вихря, которая характеризуется повышенным количеством озона. Данные траекторного анализа показали, в эти дни состояние стратосферы в области широт от 40° до 60° с.ш. определялось процессами зональной циркуляции, которые обеспечили западный перенос воздушных масс из Атлантики. В результате в стратосфере этого региона, который был вне зоны влияния полярного циклона, наблюдалось однородное пространственное распределение озона.

Результаты мартовских одновременных измерений показаны на рисунке два, где сплошные линии соответствуют данным наземных измерений, штриховые – данным MLS AURA, кружками обозначены величины концентрации озона в стратосфере над Нижним Новгородом, квадратами – в стратосфере над с. Кара-Ой.

Данные рисунка свидетельствуют об однородном пространственном распределении озона в стратосфере двух регионов в рассматриваемый период наблюдений. Действительно, как наземные приборы, так и орбитальный MLS показывают довольно близкие величины количества озона в стратосфере Кыргызстана и Нижнего Новгорода. Кроме того, содержание озона в этих регионах на всех высотных уровнях менялось слабо. Данные о положении и состоянии полярного вихря свидетельствуют, что оба пункта наблюдений в это время

оказались в одной воздушной массе и располагались далеко за пределами этого циклона, центр которого находился в районе Северного полюса.

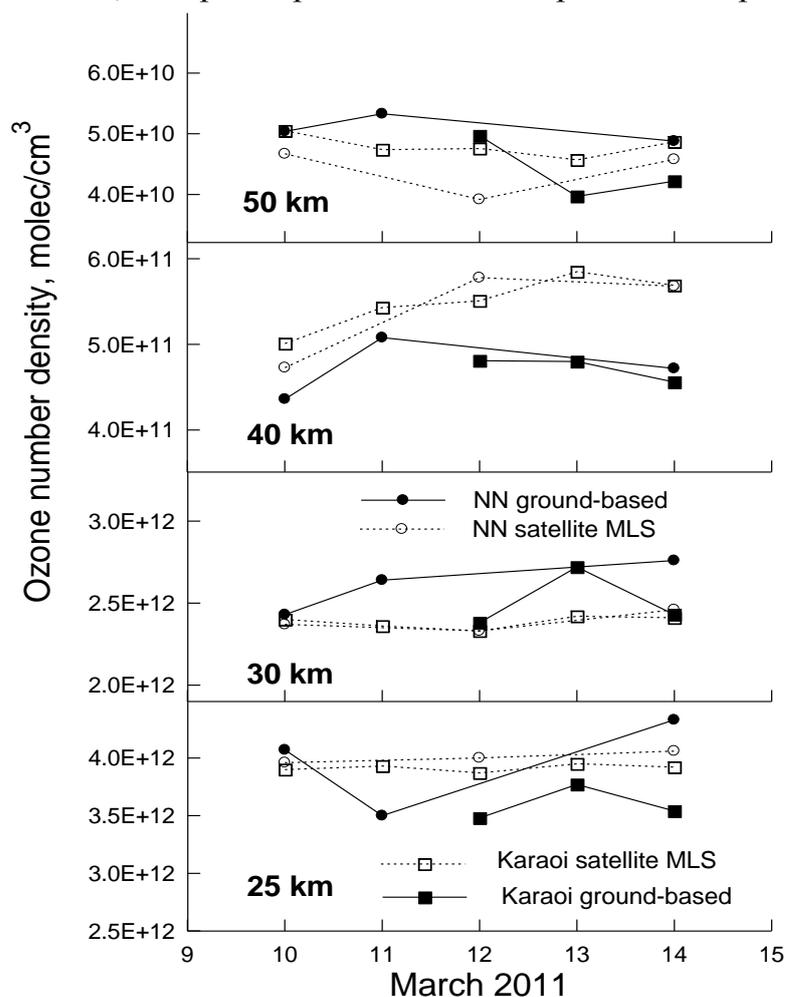


Рис.2. Высотно-временной разрез количества озона в стратосфере Средне-Азиатского региона и Нижнего Новгорода

В результате атмосфера в области широт южнее 60° находилась под влиянием процессов зональной циркуляции, которые обеспечили обнаруженную однородность пространственного распределения поля озона.

Литература

1. Кисляков А.Г., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г. Поглощение микрорадиоволн примесными газами атмосферы. В сб. «Спектральные исследования космического и атмосферного излучения». Под. ред. А.Г Кислякова ИПФ РАН, Горький, 1979. 171с.
2. Орозобаков Т.О., Кисляков А.Г., Орозобаков А.Т. и др. «Мониторинг озонового слоя Земли в миллиметровом диапазоне длин волн в Центральноазиатском регионе» // Известия НАН КР, 2008/1, С. 44-53, Бишкек.
3. Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Т.О. «Измерения высотного распределения стратосферного озона на миллиметровых радиоволнах» // Труды Международной конференции по распространению упругих и упругопластических волн, С. 68-70, Бишкек, 2009.

4. Орозобаков А.Т., Саякбаева Б.Б., Орозобаков Т.О. «Модернизация радиоспектрометра РМС-001 и результаты сезонных наблюдений озонового слоя 2009 года» //Известия ВУЗов, №3, 2010 С.10-12.

5. Livesey N.J., Van Snyder W. EOS MLS Retrieval Processes Algorithm Theoretical Basis. Version 2.0, July 19, 2004. JPL D-16159/CL #04-2043. EOS MLS DRL 601 (part 3). ATBD-MLS-03.

УДК 553.495(235.216)

ПЕРЕНОС АЭРОЗОЛЕЙ С ПОВЕРХНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Алехина В.М. к.г.-м.н., Попов А.Н. д.т.н., Маматибраимов С.

Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

Изучено распределение концентраций тяжелых металлов в аэрозолях для г. Кара-Балта (в непосредственной близости от хвостохранилищ уранового производства) и г.Бишкек с целью установления переноса загрязняющих веществ с атмосферными выпадениями. Учитывая сравнительно длительный срок функционирования комбината и сложный механизм переноса участие шламонакопителя комбината в загрязнении почвенного слоя на окружающей территории исключить нельзя. Остается открытым только вопрос о доле его участия в данном процессе.

AEROSOLS TRANSFERENCE FROM THE TAIL DEPOSIT SURFACE

V.M. Alekhina, A.N. Popov, S. Mamatibraimov

To establish the pollutants transference with atmospheric fallouts the distribution of heavy metals concentrations was studied in aerosols of Kara-Balta town (near the tail deposit of uranium production) and in Bishkek city. Taking into account a long period of the enterprise operation and a complex mechanism of the transference, the participation of the tail deposit in pollution of the soil layer on surrounding territory can not be excluded. The question is open concerning its contribution in this process.

Для понимания и решения вопросов защиты окружающей среды от воздействия токсичных веществ необходимы, во-первых, данные о токсичности аэрозолей хвостохранилища, во-вторых, систематические данные о переносе тяжелых металлов.

Кроме этого необходимо знание основных тенденций дальнейшего развития физико-химических процессов в системе «производство – окружающая среда», а также влияние на экологическую ситуацию ранее не исследованных факторов и процессов.

Ранее [1] было установлено, что зола ТЭЦ имеет более низкие концентрации радиоактивных элементов и тяжелых металлов, чем исходное топливо. В связи с этим напрашивался вывод о том, что радиоактивные элементы и тяжелые металлы выносятся с дымом ТЭЦ и разносятся на большие расстояния. В 1992 году при проведении Китаем ядерных испытаний также было установлено [2], что продукты

ядерных испытаний долгое время находятся в стратосфере, с периодом обращения вокруг Земли, равным примерно 12 суток, и постепенно выпадают на всю планету.

Агентствами гидрометеорологии государств СНГ, как правило, определяется лишь β -активность атмосферных выпадений, мониторинг других токсичных составляющих не проводится по ряду причин, одна из которых – отсутствие относительно дешевых и доступных методов анализа.

При выполнении данной работы отобранные пробы атмосферных выпадений были подготовлены по стандартной методике, утвержденной в БСС для агентств гидрометеорологии. Для определения содержания тяжелых металлов (Mo, Pb, Co, Cd, Sb, V, Mn, Cu, Ni, Sr и Zn) использовался высокочувствительный эмиссионный спектральный анализ [3].

Для двух мест отбора проб – г. Кара-Балта (в непосредственной близости от хвостохранилищ уранового производства) и г. Бишкек было установлено [4], что средние значения концентраций тяжелых металлов отличаются незначительно.

При выполнении описываемых исследований планировался мониторинг атмосферных выпадений на выше указанных точках и возможности переноса токсичных металлов с территории хвостохранилища КГРК. Однако в силу сложившейся политической ситуации в Кыргызстане мониторинг удалось провести не в полной мере. Результаты исследований проанализированы для периода 2006-2007 годов.

Изучение переноса техногенных аэрозолей с поверхности хвостохранилища на примыкающие к нему территории осуществлялся путем сравнительного анализа проб аэрозолей на метеостанциях городов Бишкек и Кара-Балта. Отбор проб проводился на стандартные пробоотборники.

Экспозиция составляла 1 сутки. На рис. 1-9 приведены усредненные за месяц содержания металлов в аэрозолях, выпавших на планшет за сутки за время отбора в 2006-2007 гг.

В табл. 1 приведены усредненные содержания марганца, хрома, меди, свинца, ванадия, цинка, никеля, железа и олова и для Бишкека и Кара-Балты, выпадающие с аэрозолями в граммах в сутки, за период наблюдений в 2006 г. и в 2007 г.

Таблица 1 Средние содержания металлов в аэрозолях для Бишкека и Кара-Балты (в граммах на планшет в сутки)

<i>апрель-сентябрь 2006</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>V</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Sb</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}
Бишкек	2,4	2,5	3,3	34,2	1,7	4,8	1,5	27,3	
Кара-Балта	4,1	2,5	1,0	38,3	1,6	4,1	2,8	2,3	13,5
Бишкек/Кара-Балта	0,58	1,0	3,3	0,89	1,06	1,17	0,54	11,9	

<i>июль-декабрь 2007</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>V</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Sb</i>
	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}
Бишкек	2,4	7,8	10,4	16	1,8	8,0	1,7	6,5	1
Кара-Балта	5,2	2,7	7,3	11,3	1,2	5	1,4	5	1,1
Бишкек/Кара-Балта	0,46	2,9	1,4	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	0,99

Анализ приведенных результатов показал, что для периода наблюдений в 2006 г. отмечается повышение количества меди в 3,3 раза и железа почти в 12 раз в аэрозолях, выпавших в г. Бишкек по сравнению с аэрозолями, осевшими в г. Кара-Балта. Период наблюдений 2007 г. выявил увеличение содержания хрома в аэрозолях почти в 3 раза в г. Бишкек по сравнению с г. Кара-Балта.

Присутствие олова в пробах аэрозолей отмечено лишь для г.Кара-Балты в 2006 г. Содержание остальных металлов в пробах аэрозолей г.Кара-Балта и г.Бишкек отличаются незначительно.

Для построения полной картины загрязнений необходим длительный мониторинг и анализ проб аэрозолей на изучаемой территории. Подробная информация даст представление о временном и территориальном распределении содержащихся в воздушной среде химических элементов, позволит локализовать временные и пространственные интервалы, на которых концентрация элементов превышает естественные (фоновые) значения. На основании этого может быть сделан вывод о характере и степени загрязнений (локальный или глобальный, слабое или сильное), а также о динамике этих загрязнений.

Математическое моделирование эрозионных процессов и уноса загрязнений позволили сделать заключение, что КГРК является одним из основных источников загрязнения окружающей территории соединениями металлов [5]

Представленные экспериментальные данные, на первый взгляд совершенно противоположны. Полученные данные показывают, что концентрации некоторых металлов в аэрозолях в г. Бишкеке выше, чем в г. Кара-Балте, других – одинаково, т.е. деятельность комбината не влияет на загрязнение окружающей территории соединениями металлов.

Однако, учитывая сравнительно длительный срок функционирования комбината и сложный механизм переноса, оседания и вторичного переноса осевших аэрозолей при достаточно сложном рельефе, участие шламонакопителя комбината в загрязнении почвенного слоя на окружающей территории исключать нельзя. Остается открытым только вопрос о доле его участия в данном процессе.

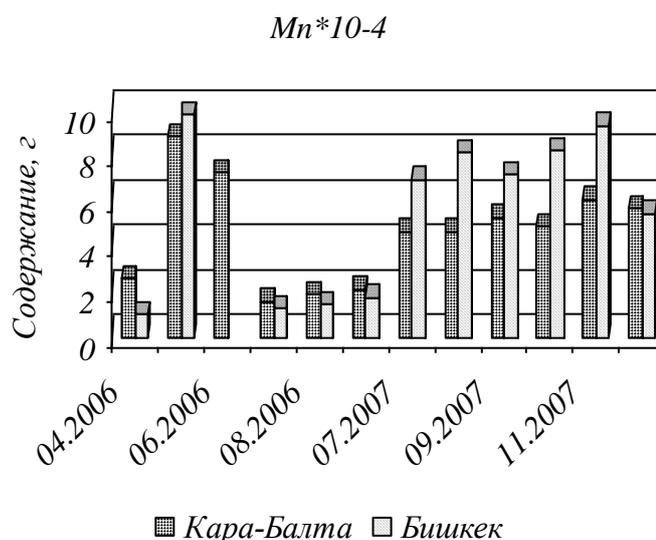


Рисунок 1. Содержание марганца в аэрозолях

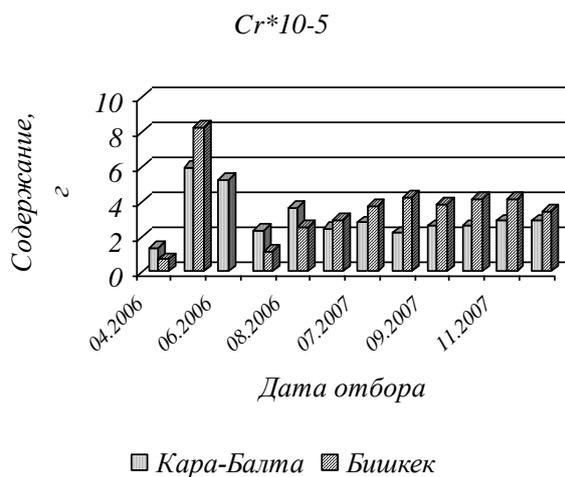


Рисунок 2. Содержание хрома в аэрозолях

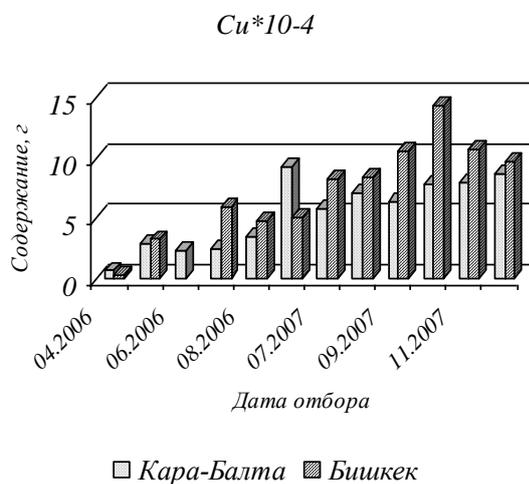


Рисунок 3. Содержание меди в аэрозолях

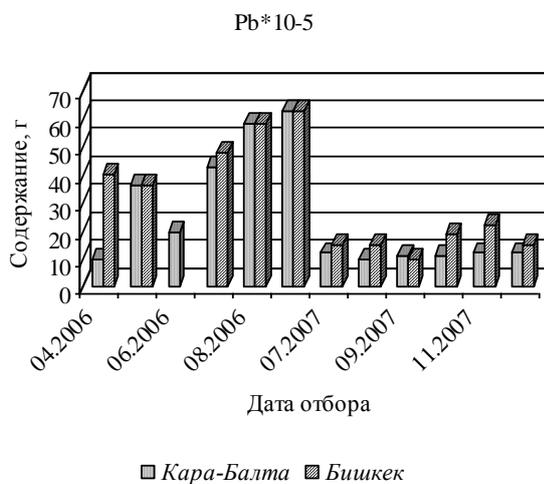


Рисунок 4. Содержание свинца в аэрозолях

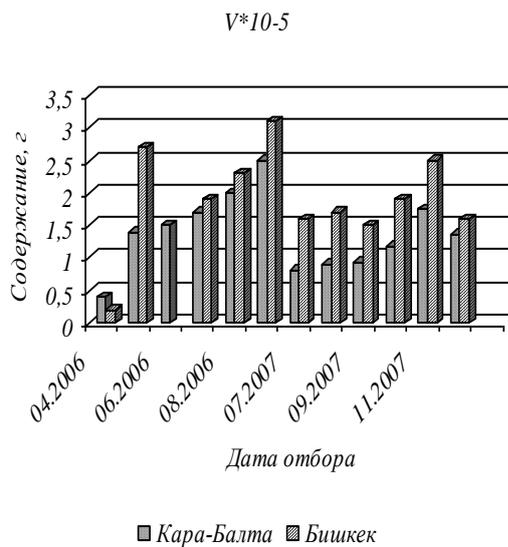


Рисунок 5. Содержание ванадия в аэрозолях

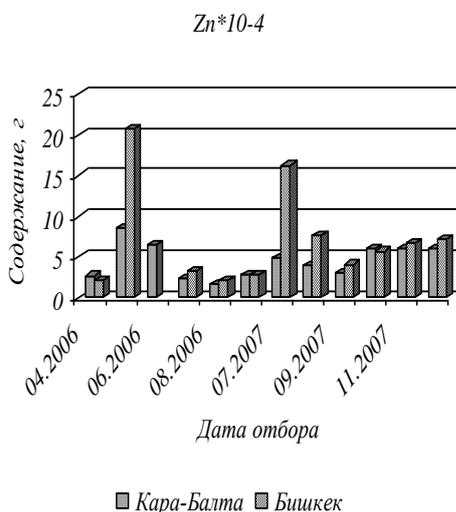


Рисунок 6. Содержание цинка в аэрозолях

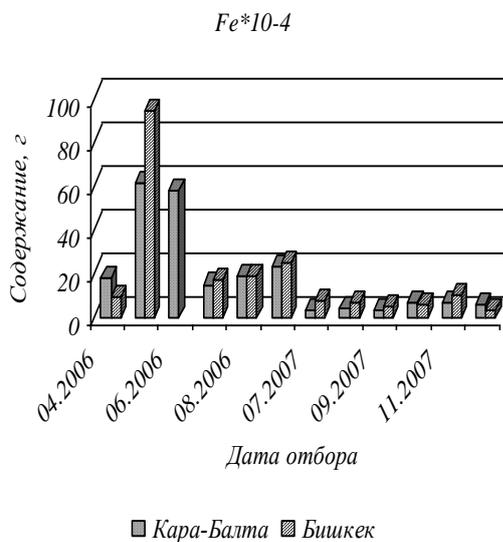


Рисунок 7. Содержание железа в аэрозолях

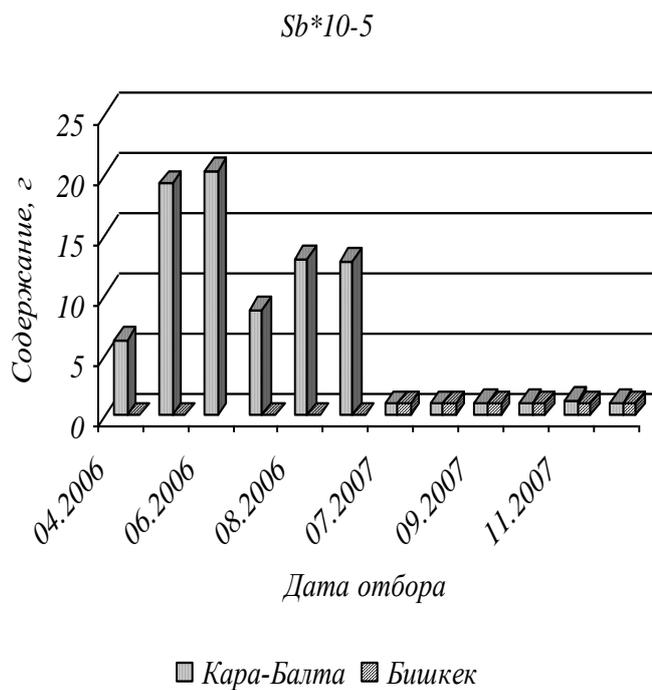


Рисунок 8. Содержание сурьмы в аэрозолях

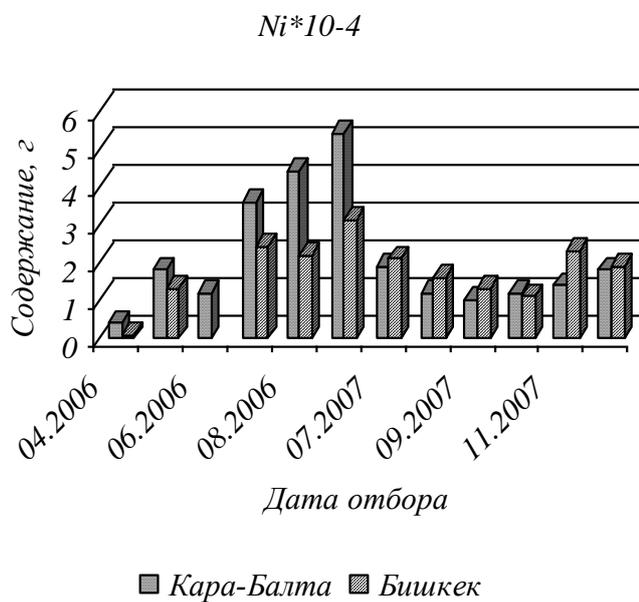


Рисунок 9. Содержание никеля в аэрозолях

Литература

1. Труды 2-го Семинара НКК МНТЦ «Реабилитация больших территорий». ВНИИТФ, Снежинск, 1999.
2. И.А. Васильев, С. Маматибраимов Применение методов α - и γ -спектрометрии для изучения процессов переноса радиоактивных веществ. Радиационная физика. Сборник научных работ. /Под ред. П.И. Чалова. – Бишкек: Илим, 1998. – С. 21-27.
3. Ж.Ж. Жеенбаев, К. Урманбетов, Г.Ж. Доржуева, Р.А. Таштанов. Эмиссионный спектральный анализ на базе двухструйного плазматрона. //Радиоэкологические и смежные проблемы уранового производства. Сборник научных работ. Ч.I / Под ред. П.И.Чалова. – Бишкек: Илим, 2000. С. 97-101.
4. И.А.Васильев. К вопросу о переносе радионуклидов и др. токсинов воздушным путем. Технический подход и методология. // Радиоэкологические и смежные проблемы уранового производства. Сборник научных работ . ч.V/ Под ред. И.А.Васильева. – Бишкек: Илим, 2008.- С.37-43.
5. А.Н. Попов Проект МНТЦ # 3654 «Мониторинг, математическое моделирование миграции, разработка методологий изоляции источников загрязнения гидrolитосферы тяжелыми металлами и реабилитации гидrolитосферы вокруг Кара-Балтинского горнорудного комбината» www.vniitf.ru/Karabalta/.

СОДЕРЖАНИЕ

Жумалиев К.М., Бекболотов Т.Б., Алымкулов С.А. Вероятность ошибки в цифровых оптических каналах связи.....	3
Жумалиев К.М., Бекболотов Т.Б., Алымкулов С.А., Шубович А.Г. Модели расчета потерь мощности сигнала в сотовых системах связи.....	8
И.А.Васильев, В.М.Алехина, С.Маматибраимов ²²⁶ Ra в почвах промобъектов и селитебной зоны кара-балтинской площади.....	15
Жумалиев К.М., Буланчиев Ж.М., Сагымбаев А.А., Сагымбаева К.А. Особенности оптических характеристик акустооптического перестраиваемого фильтра.....	23
Погребной В.Н. О высотном расположении циркумполярной ионосферной токовой системы.....	27
М.Н.Раимкулов Электрические силы и их связь со структурой элементарных частиц.....	30
М.Н.Раимкулов Связь структуры элементарных частиц с ядерными силами.....	35
Костромин П.К., Содиков Х.С., Джаманкызов Н.К., Шайкенов Б.А., Сафаров М.М. Удельная изобарная теплоемкость сплава ферросиликоалюминия в зависимости от температуры.....	38
Мясников А. А. Функция формы импульса продольных упругих колебаний в твердых телах типа стержней.....	42
Ф.Р. Султанова Верификация двухмерной нестационарной математической модели электрической дуги.....	49
Ф.Р. Султанова Численное исследование влияния силы тока и межэлектродного расстояния на формирование теплового тора при зажигании дуги.....	54
И.Р. Урусова, Т.Э. Урусова Численное исследование винтовой формы нестационарной электрической дуги в продольном магнитном поле.....	59
Т.Э. Урусова, Р.М. Урусов, А.Н. Сапаралиева Численное исследование нестационарного тепло-массообмена в сварочной ванне анода электрической дуги.....	65
Арыкбаев И.М Построения решающих правил детерминистскими методами распознавания.....	70
Жумалиев К.М.¹, Арыкбаев И.М.² Реализация статистических методов распознавания и оценка нормального распределения признаков распознавания.....	76
Акимжанова Ч.С. Инфракрасные модуляторы света для голографической записи информации на ФТПН.....	82
Орозобаков А.Т. Одновременные измерения содержания озона в России и над среднеазиатским регионом на миллиметровых волнах.....	86
В.М. Алехина, А.Н.Попов, С. Маматибраимов Перенос аэрозолей с поверхности хвостохранилища.....	90

CONTENTS

Jumaliev K.M., Bekbolotov T.B., Alymkulov C.A. Probability of errors in digital optical channels	3
Jumaliev K.M., Bekbolotov T.B., Alymkulov C.A., Schubovich A.G. Models of signal power losses calculation in cellular communication systems	8
I.A. Vasiliev, V.M. Alekhina, S. Mamatibraimov. Of ^{226}Ra in soils of industrial works of Kara-Balty mining combine and on contiguous territories, including inhabited	15
K.M.Jumaliev, J.M.Bulanchiev, A.A.Cagynbaev, K.A.Cagynbaeva. Features of optical characteristics the acoustooptical reconstructed filter	23
V.N. Pogrebnoi. Altitude's position of the circumpolar ionosphere current system	27
M.N.Raimkulov. Electric forces and their communication with structure of elementary elements	30
M.N.Raimkulov. Communication of structure of elementary elements with nuclear forces	35
Kostromin P. K, Sodikov H.S., Djamankyzov N.K., Shaikenov B. A, Safarov M. M. Specific heat capacity of alloys at the ferrosilicoaluminium alloys in the temperature	38
Myasnikov A. A. Function of the form of the longitudinal elastic vibrations pulse in solids type of bars	42
F.R. Sultanova. Verification two-dimensional nonstationary mathematical model of electrical arc	49
F.R. Sultanova. Numerical investigation of current and interelectrode distance on the formation of heat tor ignition	54
I.R. Urusova, T.E. Urusova. Numerical study of the helical form of nonstationary electric arc in a longitudinal magnetic field	59
T.E. Urusova, R.M. Urusov, A.N. Saparaliev. Numerical study of nonstationary heat and mass transfer in the weld pool anode of electric arc	65
I. Arykbaev. Construction decision rules deterministic methods recognition	70
K.M. Jumaliev, I.M. Arykbaev. Implementation of statistical methods for recognition and estimation of the normal distribution of pattern recognition	76
Ch. S. Akimjanova. Infra-red modulators of light for the information holographic recording on photothermoplastic carriers	82
A.T. Orozobakov. Simultaneous measurements of the ozone content above Russia and middle Asia region in millimeter waveband	86
V.M. Alekhina, A.N. Popov, S. Mamatibraimov. Aerosols transference from the tail deposit surface	90

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Документы

- Сопроводительное письмо на имя главного редактора журнала печатается на бланке учреждения, представляющего статью.
- Рецензия.

Правила оформления материалов для публикации

- Объем статьи не должен превышать 7 с. компьютерного набора (шрифт Times New Roman, кегль 13, через 1 интервал).
- Материал представляется на электронном носителе (Word for Windows) с распечаткой на бумаге формата А4 (210x297мм); поля: верхнее, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм.
- Графический материал должен быть четким.
- Обязательно должны быть указаны УДК, имя, отчество, фамилия автора, ученая степень, название организации.
- Название статьи печатается заглавными буквами на русском языке (междустрочный интервал 1). Через двойной интервал после названия печатаются инициалы и фамилии авторов и наименование организаций (включая страны), которые они представляют. Далее через двойной интервал аннотация на русском. Ниже аналогично печатается название статьи, данные авторов и аннотация на английском языке. После этого через двойной интервал печатается текст статьи (междустрочный интервал 1). Иллюстрации и таблицы (междустрочный интервал 1) следует включить в текст статьи.
- Текст, табличный материал и список литературы оформляются в соответствии с требованиями ГОСТа.
- Авторы и рецензенты несут полную ответственность за содержание, стиль и качество оформления статьи.

Научный журнал
Ф И З И К А
2012 № 2.

Технический редактор М.Н.Раимкулов
Корректор Ч.С.Акимжанова
Компьютерная верстка Н.Т.Аманова

Подписано в печать

Формат 60x84 ¹/₈. Печать офсетная.
Объем
Тираж 500 экз

Отпечатано в ОсОО Ала-Тоо «Полиграф Сервис»