

Посвящается восьмидесятилетию
кафедры физики и методико-
информационных технологий

**ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ
И МЕТОДИКИ ЕЁ ПРЕПОДАВАНИЯ**

Издательский центр «Наука»

2012

УДК 501
ББК 2
И64

Редакционная коллегия: доктор физико-математических наук, профессор Железовский Б.Е., доктор физико-математических наук, профессор Клинаев Ю.В., ассистент кафедры ФиМИТ Нурлыгаянова М.Н.

И64 Исследования в области физики и методики её преподавания.

Сб. научных ст. – Саратов: ООО Издательский Центр «Наука», 2012 –68с.

ISBN 978-5-9999-1198-8

Сборник включает в себя исследования по физике, по методике её преподавания, а также ряд вопросов по анализу физических процессов и явлений в области других естественных наук.

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Рецензенты: профессор Шаповалов А.С.

УДК 501
ББК 2

ISBN 978-5-9999-1198-8

© Авторы статей, 2012

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННО-КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛЕКУЛЫ ЦИТОЗИНА

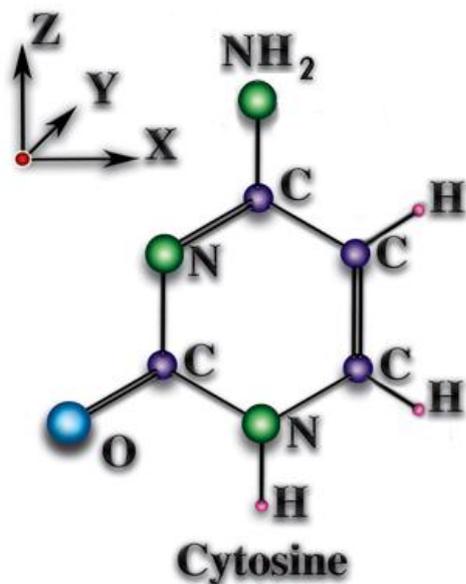
Бурова Т.Г., Нурлыгаянова М.Н.

Молекулярная спектроскопия является одним из основных инструментов изучения структуры и физико-химических свойств многоатомных молекул. Индивидуальный характер спектра позволяет делать выводы как о наличии того или иного вещества, так и об изменении его структуры. Теоретические исследования представляются особенно актуальными и эффективными, т.к. позволяют почти без затрат на основе только проведенных расчетов получать выводы о структуре молекулы, ее свойствах, наличии таутомеров.

Одним из основных принципов в теории электронно-колебательных спектров является принцип Франка – Кондона. Он играет особенно важную роль при изучении спектров сложных молекул. Интенсивность переходов определяется их вероятностью, которая в свою очередь зависит от числа молекул, находящихся в исходном состоянии, и квадрата матричного элемента дипольного момента. В кондоновском приближении интенсивность перехода будет определяться произведением двух членов, один из которых зависит только от электронных, а другой – только от ядерных координат. Ядерная составляющая называется интегралом наложения или интегралом Франка – Кондона. Таким образом, расчет интегралов Франка – Кондона является неотъемлемой частью расчета любого молекулярного спектра, в том числе спектров комбинационного рассеяния, резонансного комбинационного рассеяния, электронно-колебательных спектров поглощения. Целью данной работы является определение значений интегралов Франка-Кондона для молекулы цитозина как основных параметров расчета распределения интенсивностей в электронно-колебательных спектрах поглощения.

Выбор молекулы цитозина определяется интересом к биологически значимым молекулам. Анализ спектров сложных биологических молекул позволяет получать точную информацию об их пространственной структуре, что в свою очередь помогает определить наличие мутаций на том или ином участке ДНК. Цитозин – азотистое основание, которое имеет сложную циклическую пространственную структуру и входит в состав ДНК, является одним из двух типов нуклеиновых кислот, обеспечивающих хранение, передачу из поколения в поколение и реализацию генетической программы развития и функционирования живых организмов.

Молекула цитозина имеет 13 атомов, 3 пары из которых соединены двойной связью. Число колебательных степеней свободы $\mu=3*13-6=33$, из них $2*13-3=23$ плоских колебаний, остальные десять – неплоские.



Исходными данными для расчета интегралов Франка – Кондона являлись матрицы поворота и сдвига, а также частоты колебаний в основном и возбужденном состояниях изолированного цитозина [1]. Были рассмотрены 23 плоских колебания.

На основе составленной автором программы проведены расчеты интегралов Франка-Кондона для молекулы цитозина. В таблице 1 представлены относительные значения интегралов Франка-Кондона для молекулы цитозина в случае перехода с нулевого на первый колебательный уровень, в таблице 2 – с нулевого на второй колебательный уровень.

Таблица 1.

$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_1} = -2.155$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_7} = 0.504$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{13}} = 1.446$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{19}} = 0.262$
$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_2} = 0.423$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_8} = 0.197$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{14}} = -0.227$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{20}} = 0.020$
$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_3} = 0.060$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_9} = 0.236$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{15}} = -0.187$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{21}} = -0.088$
$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_4} = -2.373$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{10}} = -0.712$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{16}} = -1.778$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{22}} = 0.000$
$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_5} = 1.808$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{11}} = -1.123$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{17}} = 0.332$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{23}} = -0.068$
$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_6} = -0.804$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{12}} = -0.163$	$\frac{\langle 1 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{18}} = -0.111$	

Проведенное в работе исследование создает основу для последующего изучения спектров поглощения и резонансного комбинационного рассеяния молекулы цитозина, а также молекулярных пар, в состав которых входит цито-

зин. Представленные результаты могут быть полезны также при решении био-физических задач.

Таблица 2.

$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_1} = 6,575$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_7} = 0,385$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{13}} = 2,959$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{19}} = 0,109$
$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_2} = 0,259$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_8} = 0,07$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{14}} = 0,076$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{20}} = 0,012$
$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_3} = 0,024$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_9} = 0,125$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{15}} = 0,096$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{21}} = 0,011$
$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_4} = 7,974$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{10}} = 4,149$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{16}} = 4,553$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{22}} = 0,000$
$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_5} = 4,653$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{11}} = 1,782$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{17}} = 0,170$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{23}} = 0,006$
$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_6} = 0,932$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{12}} = 0,039$	$\frac{\langle 2 0\rangle}{\langle 0 0\rangle_{18}} = 0,025$	

1. Тен Г.Н., Баранов В.И. (2004) Исследование таутомерии нуклеиновых оснований методами электронно-колебательной спектроскопии. Журнал прикладной спектроскопии, 71, 703-711.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТВЁРДЫХ СФЕР У СТЕНКИ

Вешнев В.П., Нурлыгаянов Т.А.

PACS 05.30

С момента обнаружения явления кристаллизации твёрдых сфер в начале второй половины XX столетия [1] по настоящее время [2] не ослабевает внимание к исследованию этого весьма интересного явления. Вот и настоящую работу мы посвящаем численному эксперименту по исследованию кристаллизации твёрдых сфер около идеальной стенки методом молекулярной динамики (МД).

Впервые возникновение кристалла около стенки было обнаружено методом МД при исследовании NPT ансамбля в [3,4]. Однако на основе результатов

[5] явление увеличения локальной плотности вблизи стенки получило объяснение как явление смачиваемости твёрдыми сферами стенки. Возникновение у стенки кристалла получило название полной смачиваемости.

Настоящая работа является исследованием описанного выше явления методом МД. Основные результаты опыта были опубликованы в [6]. Здесь проанализируем явление, получившее название “смачиваемости стенки твёрдыми сферами”.

На рисунке 1 представлен результат расчётов методом МД локальной плотности частиц системы, состоящей из 6978 твёрдых сфер, как функции расстояния между стенками. Иные стенки системы заменены периодическими граничными условиями, что позволяет имитировать в настоящем случае систему как бесконечную полосу между двумя стенками. Представленное состояние системы является равновесным состоянием. Подтверждением этого является тот факт, что данное состояние системы не изменяется в течение почти $1.4 \cdot 10^9$ парных соударений между частицами системы, то есть более 200 тысяч соударений в среднем каждой частицы системы. При этом распределение частиц системы по скоростям остаётся максвелловским. Добавим, что начальное состояние системы было получено квазистатическим путём как состояние NVT - ансамбля. При этом обе стенки системы передвигались без изменения внутренней энергии на одинаковые расстояния не более 10^{-4} радиуса сферы с интервалом между передвижениями не менее 100 соударений на каждую частицу. Если повышение локальной плотности около стенки является следствием смачиваемости, то вследствие равноправия стенок равновесной системы структуры локальных плотностей около них должны быть тождественны. Этот факт следует из теории смачиваемости стенки жидкостью [5].

Средняя плотность 0.51162. а – профиль плотности системы. У правой стенки двенадцать слоёв кристалла: b – разрез пика у левой стенки.; c, d – разрезы соответственно первого и двенадцатого от стенки плоскостей кристалла.

Представленные на рисунке расчёты свидетельствуют об обратном. Если у одной стенки пики по структуре относятся к изотропному состоянию, то есть к жидкости, то у другой стенки они имеют структуру кристалла. Согласно представленным под профилем плотности разрезам системы параллельными стенкам плоскостями, двенадцать пиков около стенки являются кристаллами с гексагональной упаковкой в плоскости. Такой факт противоречит представлениям работы [5]. Другими словами: повышение локальной плотности у стенки есть коллективная реакция частиц системы на жёсткое отталкивание стенки. Естественно, что полное объяснение явления возможно лишь на основе статистического анализа. Однако состояние статистической теории в настоящий момент не позволяет этого сделать.

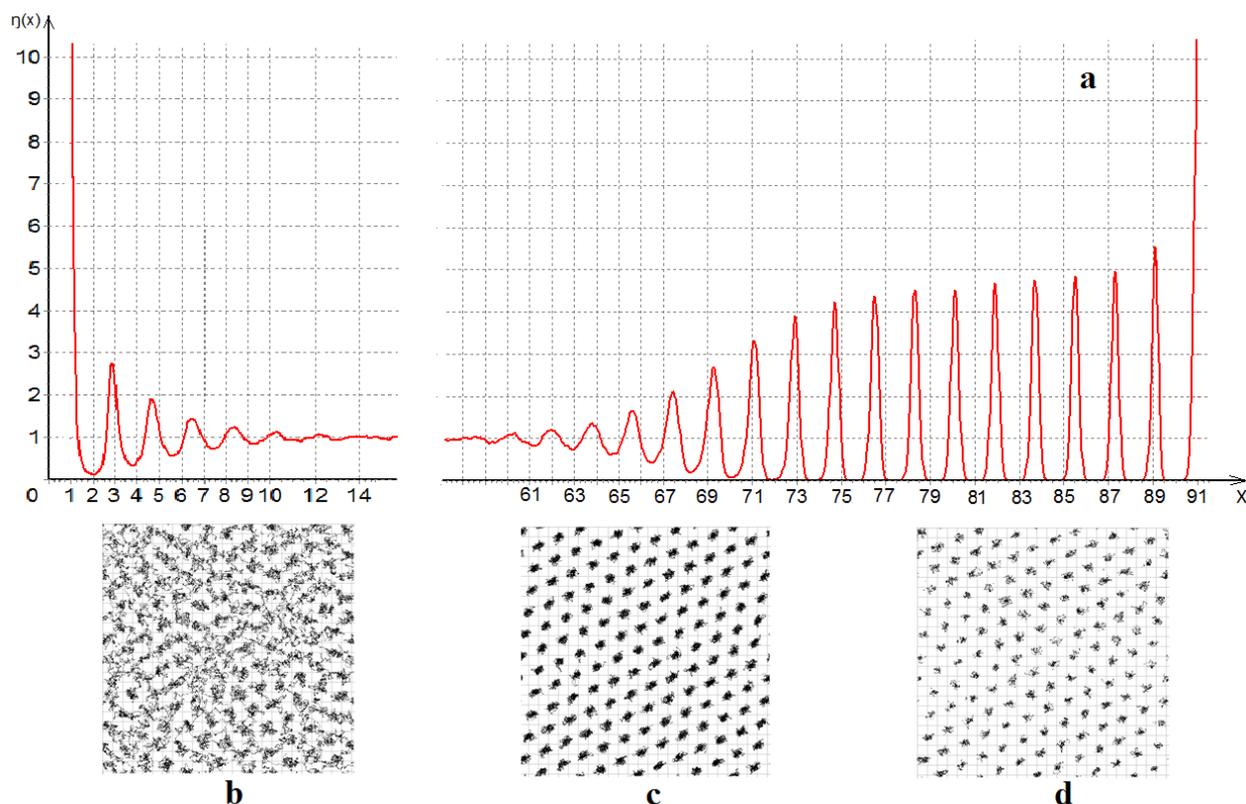


Рис 1

Асимметрия состояний системы у двух стенок является результатом равновесного роста кристалла твёрдых сфер у одной из них. Рост кристалла есть следствие того, что его зародыш случайно появился у этой стенки. Дальнейший эффект есть следствие равновесности процесса сжатия системы, точнее – его квазистатичности. При МД-методе в NVT-ансамбле возможно задать столь малое изменение плотности системы, что не создаются условия для появления зародыша кристалла у другой стенки, но для равновесного роста кристалла избыток плотности ощутим. Мы изменяли плотность на величину не более $5 \cdot 10^{-5}$. Именно это свойство эксперимента позволило выделить процесс роста кристалла и идентифицировать его в [6] как процесс кристаллизации, а состояние системы определить как двухфазное или равновесное сосуществование жидкости и кристалла твёрдых сфер.

Не менее важным вопросом данного численного эксперимента является вопрос идентификации структуры возникающего кристалла. С этой целью была рассчитана средняя плотность, при которой возникает слой кристалла около стенки. Она оказалась равной 0.5018. (Под средней плотностью понимается среднее число частиц в объёме одной частицы.) Оказалось, что в равновесии возле стенки возникает сразу три плоскости кристалла. В каждой плоскости сферы имеют гексагональную упаковку. Напомним, что в свободном пространстве сферы имеют две возможные плотные упаковки: fcc и плотную гексагональную. В плотной гексагональной решётке в каждом третьем слое частицы

расположены так же, как в первом. Сечение решётки fcc плоскостью (111) даёт также гексагональную плоскую упаковку. Однако в этом случае во всех трёх соседних плоскостях кристалла молекулы будут упакованы по-разному, то есть координаты их узлов будут различны.

На рисунке 2 представлены разрезы возникшего кристалла. Для идентификации плоскостей узлы на каждой из них выделены различными знаками. Ясно видно, что координаты узлов во всех трёх плоскостях различны. Однако этот кристалл не имеет характерной для fcc оси симметрии четвёртого порядка. Следовательно, этот кристалл может быть определён лишь как кристалл тригональной сингонии с примитивной правильной пирамидой. Примечательно, что равновесные плотности жидкой и кристаллической фаз различны и равны 0.490 и 0.555 соответственно[6].

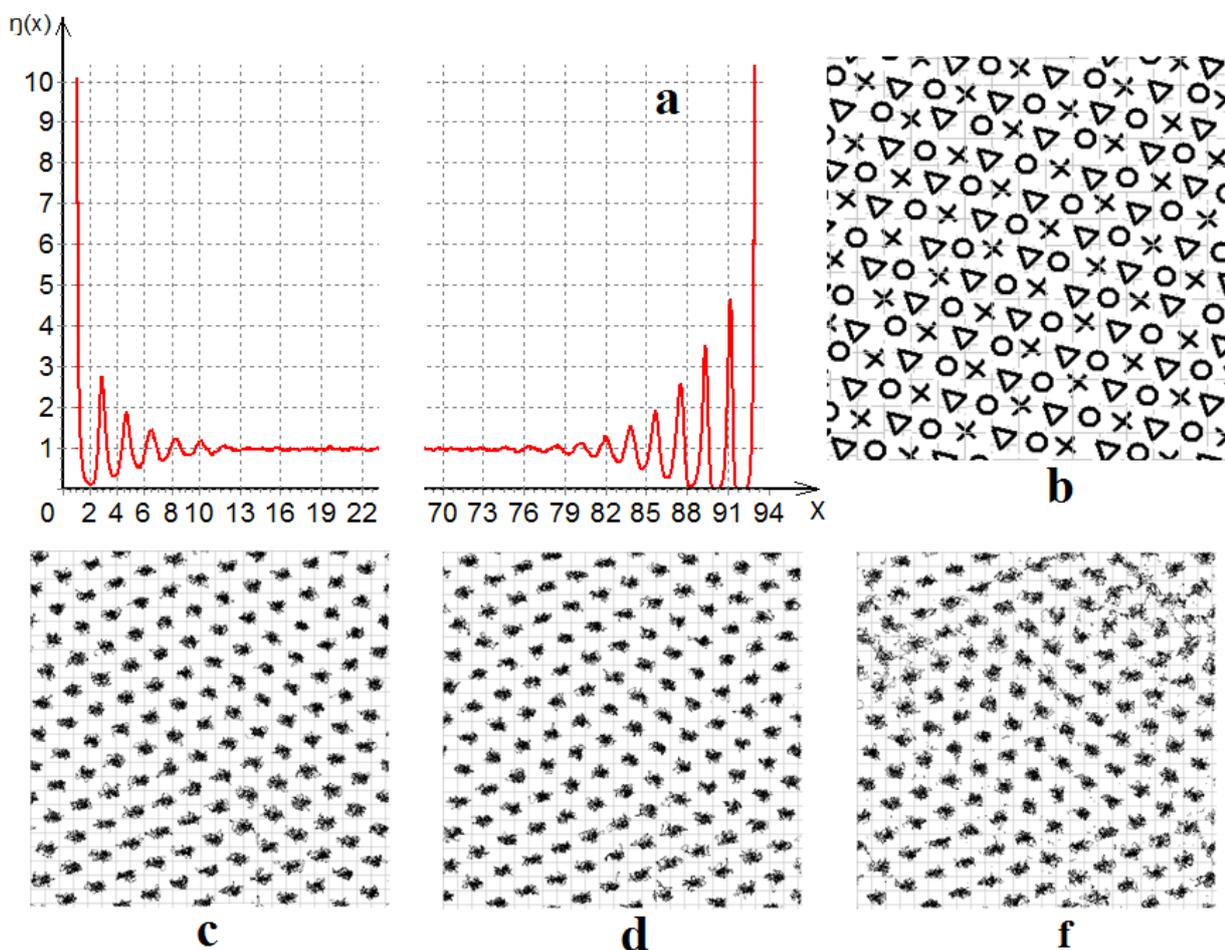


Рис 2

Средняя плотность 0.50110. а – профиль плотности системы. У правой стенки три слоя кристалла; b – взаимное расположение узлов трёх плоскостей кристалла; c, d, f – структуры соответственно первой, второй и третьей от стенки плоскостей кристалла.

При уменьшении средней плотности до 0.5006 представленные на рисунке 2 три слоя разрушаются одновременно. Разность плотностей, равная 0.0012, является шириной метастабильной области сосуществования кристалла и жид-

кости твёрдых сфер. В этой области жидкость сфер была пережата, но не могла кристаллизоваться из-за недостаточного избытка частиц для образования трёх слоёв кристалла. В свою очередь существующий кристалл не мог раствориться из-за чрезмерно высокой плотности в объёме.

На рисунке 1 существуют 12 слоёв кристалла. При обозначении положения узлов в первом слое буквой А, во втором – В мы имеем здесь следующий порядок чередования: АВАСАСАВАВАВ. Такая упорядоченность не может быть отнесена ни к одной сингонии.

Возможно, она является также метастабильной структурой, соответствующей области сосуществования двух фаз твёрдых сфер. Невольно вспоминается вывод экспериментальной работы [2]: вид упаковки твёрдых сфер зависит от динамики упаковки.

1. B.J.Alder, T.E.Wainwright// Molecular dynamics by electronics computers, Transport processes in statistical mechanics/ Ed. I. Prigogine. N.Y.1958.

2. S. Heitkam, W. Drenckhan, and J. Fröhlich, Phys. Rev. Lett. 108, 148302 (2012)

3. D.J. Courtemanche, F. van Swol, Phys Rev Lett, vol 69, №14, 2078-2081 (1992)

4. D.J. Courtemanche, T.A. Pasmore, F. van Swol, Molecular Phys, vol 80, №4, 861-875 (1993).

5. J. R. Henderson, F. van Swol, Molecular Phys, vol 51, №4, 991-1010 (1984).

6. В.П. Вешнев, Т.А. Нурлыгаянов, Письма в ЖТФ, том 37, №18, 44-49 (2011), ISSN 1063_7850, Technical Physics Letters, 2011, Vol. 37, No.9, pp. 863–865. DOI: 10.1134/S106378501109029X. © Pleiades Publishing, Ltd., 2011.

УДК 621.372

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ТОРЦЕВЫХ ЭКРАНОВ И
КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ХАРАКТЕР
ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В
МАГНЕТРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ**

Ершов А.С., Терентьев А.А.

Одним из важных вопросов теории приборов М-типа является вопрос влияния неоднородных магнитных полей, а также размеров и формы торцевых экранов на характеристики электронно-волнового взаимодействия в приборах магнетронного типа.

В работе [1] предложена модель, позволяющая провести такие исследования, так как в ней используется методика решения уравнений модели с учетом реальных конструктивных параметров прибора, неоднородности магнитных полей и вылета электронов из пространства взаимодействия. Ниже представле-

ны результаты анализа влияния степени неоднородности магнитного поля и радиуса торцевых экранов на характеристики магнетронных генераторов с помощью трехмерной численной модели.

На рис. 1-3 приведены результаты расчетов процессов в магнетронном генераторе при вариации размеров торцевых экранов и степени неоднородности магнитных полей.

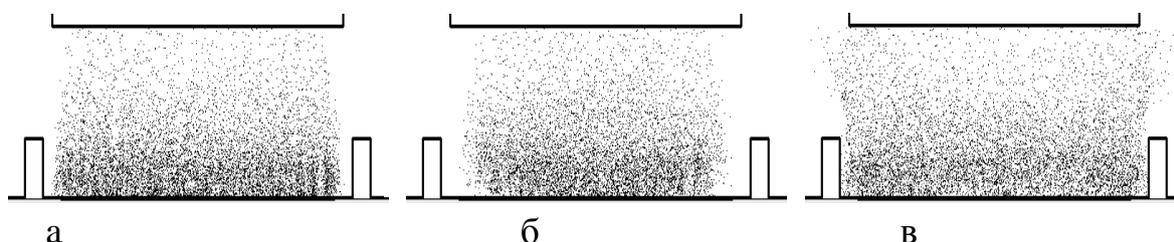


Рис 1. Проекция конфигурации электронного облака на аксиально-радиальную плоскость: а) однородное поле, б) фокусирующее поле, в) расфокусирующее поле

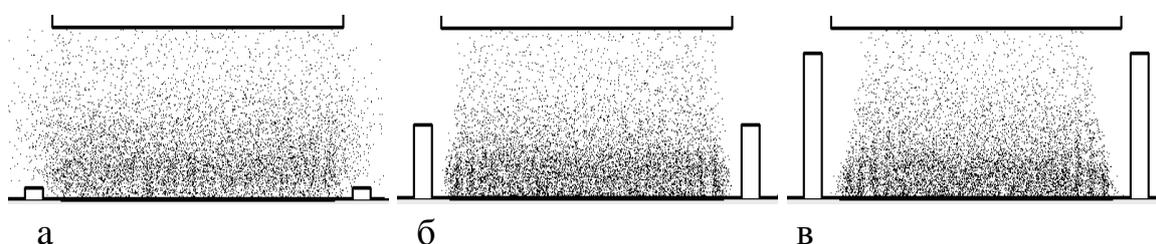


Рис 2. Проекция конфигурации электронного облака на аксиально-радиальную плоскость при однородном магнитном поле: а) $Rt=0.05(Ra-Rk)$, б) $Rt=0.4(Ra-Rk)$, в) $Rt=0.8(Ra-Rk)$

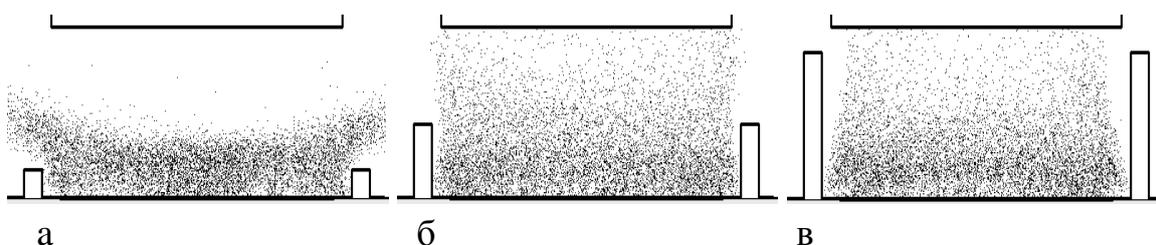


Рис 3. Проекция конфигурации электронного облака на аксиально-радиальную плоскость при расфокусирующем магнитном поле: а) $Rt=0.05(Ra-Rk)$, б) $Rt=0.4(Ra-Rk)$, в) $Rt=0.8(Ra-Rk)$

Расчеты показали, что для обеспечения фокусировки электронного облака достаточно выбирать радиуса торцевых экранов порядка $1/5$ от расстояния между катодом и анодом.

Ситуация меняется, если мы будем учитывать реально существующую неоднородность магнитных полей в приборах. Проанализированы процессы при типичных неоднородностях магнитного поля. Степени неоднородности варьировались от $\frac{Br}{Bz} = -0.15$ до $\frac{Br}{Bz} = +0.15$ в области торцевых экранов. В частно-

сти, при $\frac{Br}{Bz} = -0.15$ магнитное поле фокусирующее (типа выгнутая бочка), а при $\frac{Br}{Bz} = +0.15$ расфокусирующее (вогнутая бочка).

При расфокусирующем магнитном поле для предотвращения утечки электронов из пространства взаимодействия требуется выбирать радиусы торцевых экранов порядка $1/3$, $1/2$ от расстояния между анодом и катодом. При этом если эмиссионный слой занимает весь катод, наблюдается еще интенсивная бомбардировка торцевых экранов, которую можно уменьшить при незначительном уменьшении аксиальной высоты эмиттера.

Иная ситуация наблюдается, если неоднородность магнитного поля носит фокусирующий характер. При этом, в случае торцевых экранов занимающих половину расстояния анод-катод, суммарный эффект фокусирующих электростатических и магнитных полей приводит к чрезмерной фокусировке электронного облака. В результате "работает" только центральная часть анода, а эффективность взаимодействия электромагнитной волны с электронным потоком падает. При этом происходит увеличение мощности бомбардировки анода.

Таким образом, проведенные расчеты показали следующее. Радиус торцевых экранов следует выбирать в зависимости от характера неоднородности магнитных полей. Так для прибора с идеальной магнитной системой, обеспечивающей равномерное магнитное поле во всем пространстве взаимодействия электронного облака с электромагнитной волной, радиусы торцевых экранов должны занимать порядка одной третьей расстояния между анодом и катодом. Таких торцевых экранов создающих фокусирующий эффект электростатического поля достаточно для предотвращения вылета электронов из пространства взаимодействия, вследствие их взаимного «кулоновского» расталкивания. Чрезмерное увеличение торцевых экранов может создать сильную фокусировку электронного облака по высоте и негативно влиять на эффективность электронно-волнового взаимодействия.

В случае расфокусирующих магнитных полей размеры торцевых экранов должны быть больше – порядка половины расстояния между анодом и катодом и более, если степень неоднородности магнитных полей превышает 10% в области торцевых экранов. Только в этом случае удастся избежать тока утечки электронов из пространства взаимодействия.

И, наконец, для случая фокусирующих магнитных полей торцевые экраны в принципе вообще не нужны, или их размеры не должны превышать $1/5$ - $1/4$ расстояния между анодом и катодом. Фокусирующий эффект магнитного поля оказывается достаточным для предотвращения вылета электронов из рабочего пространства. Чрезмерные же торцевые экраны создают большой фокусирую-

щий эффект электрического поля, который совместно с фокусирующими магнитными полями может «сжимать» электронную спицу по высоте. В результате увеличиваются энергетические нагрузки на центральную часть анода, а эффективность взаимодействия падает.

Следует отметить, что качественная сторона этих явлений понята была и на интуитивном уровне, однако только строгий компьютерный расчет позволил получить конкретные цифры для конкретной конфигурации пространства взаимодействия и характера магнитной системы.

Как известно, изменить магнитную систему и добиться заданного распределения магнитных полей в рабочем пространстве прибора значительно сложнее, чем изменить конструкцию катодной ножки. Поэтому на стадии разработки и оптимизации магнетронных приборов желательно производить компьютерные эксперименты и по результатам расчетов выбирать конфигурацию и размеры торцевых экранов, ограничивающих рабочую область прибора.

1. Ершов А.С. Трехмерная численная модель приборов М-типа и комплекс программ на ее основе.// «Гетеромагнитная микроэлектроника». – 2011. - Вып.11. - С. 32-41

2. Ершов А.С., Терентьев А.А. Программа численного решения уравнения Пуассона. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011611371, 2011.

3. Поваров А.Б. Исследование "трехмерных" явлений в магнетронных генераторах //Прикладные исследования в радиофизике и электронике: Межвуз. сб. науч. статей. – Саратов: "Исток-С", 2001. - С. 21-23.

4. Байбурин В.Б., Терентьев А.А., Поваров А.Б., Моделирование трехмерных процессов электронно-волнового взаимодействия в скрещенных полях //Материалы второй междунар. конф. "Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства".- Минск, 1998.- С. 162-163.

5. Терентьев А.А. Гаврилов М.В. Неоднородные магнитные поля в приборах М-типа (трехмерное моделирование) //Физические основы радиоэлектроники и полупроводников.: Межвуз. науч.сб.-Вып.3.-Саратов, 1998.- С.30-31

6. Терентьев А.А. Исследование структуры электронного облака в магнетроне с помощью численного моделирования //Физические основы радиоэлектроники и полупроводников: Межвуз. сб. науч. статей. - Вып. 4. - Саратов, 1999. - С. 8-9.

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИДАКТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Железовский Б. Е., Белов Ф. А.

Одним из основных практических приложений количественного информационного анализа учебного материала в области практической педагогики и частных методик является нормирование дидактического процесса, связанное с

упорядочением процесса изложения материала и приведением его временных параметров в соответствие тем определённым объёмам информации, которые учащиеся должны усвоить, возможностям, которые предоставлены используемым учебником, и академическим часам, заложенным в календарно-тематическом плане. Аналогичные цели, как вполне очевидно, имеет государственный образовательный стандарт, однако до сих пор он, как правило, формировался на основе качественных оценок. Перевод этих вопросов в плоскость количественного математического описания – безусловное достижение современной педагогики.

Изучение существующих работ в области количественных методов педагогики [1-7] позволило выделить несколько возможных значений скорости протекания психических процессов восприятия. Следует заметить, что исследования в этом направлении педагогической психологии весьма немногочисленны и по-прежнему актуальны, поэтому говорить о точных и неопровержимых численных данных пока не приходится – слишком большим оказывается разброс значений, предлагаемых различными авторами. Наиболее вероятной представляется величина, приводимая Х. Франком (0,06 – 0,08 бит/с). Ссылаясь на него, классик современной педагогики В. П. Беспалько отмечает, что *скорость усвоения* учебной информации в традиционном и аудиовизуальном процессах обучения пока неизвестна, но, видимо, близка к данным Х. Франка [3]. Интересно, что в отличие от скорости усвоения информации *скорость восприятия* сегодня определена гораздо точнее. Для её выявления проведены десятки исследований, а значение находится около 20 бит/с, что признано большинством ученых [4-6, 13-14]. Тем не менее, для анализа течения и результатов процесса обучения в большей степени значима именно скорость усвоения учебной информации, которая показывает, какой объём материала может усвоить учащийся за единицу времени.

В условиях ограниченного количества экспериментальных данных для скорости усвоения информации разумно принять значение Х. Франка. Оно использовано при расчетах в таблице 1, где вычислено время, необходимое учащимся для усвоения содержания параграфов учебника А. В. Перышкина «Физика. 7 кл.: учебник для общеобразовательных учреждений». Расчет производился по формуле:

$$t = \frac{I}{C},$$

где I – количество информации в параграфе, C – скорость усвоения.

Количество информации было определено с помощью оригинальной методики оценки информационной емкости учебного материала. В отличие от некоторых попыток современных исследователей, которые основывались исклю-

чительно на посимвольном рассмотрении учебного материала (что едва ли соответствует поставленным целям, так как не дает возможности изучить собственно содержание учебного материала, а связано только с физическим объемом информации), – настоящая методика формулируется в рамках семантико-прагматической теории информации, и потому находится в некотором смысле на стыке количественного и качественного анализа [8-12]. Основная идея, положенная в её основу, заключается в том, что каждый фрагмент учебного материала предполагается устраняющим некоторую неопределенность знаний учащегося. Эксперты, которые занимаются исследованием учебной информации, в состоянии оценить, насколько важным является данный фрагмент материала, какие связи между понятиями и объектами науки он в себе содержит, и соответственно этому, насколько больше становится известно учащимся после его усвоения. Например, формулировка *«Если скорость тела и действующая на него сила направлены вдоль одной прямой, то тело движется прямолинейно»* устанавливает причинно-следственную связь между направлением векторов скорости и действующей силы и типом движения тела. Неопределенность причинно-следственной связи до получения данного сообщения (усвоения учащимся фрагмента материала) соответствовала отсутствию знания о том, что является причиной, а что следствием. Поэтому использование данной конструкции уменьшает неопределенность знания в два раза (по формуле семантико-прагматической теории информации $I = \log_2 N = \log_2 2 = 1$ бит). При этом следует иметь в виду, что фрагмент материала устанавливает неизвестное до того соотношение между уже знакомыми учащимся понятиями, поэтому использование терминов скорости и силы несет в себе то количество информации, которое было заложено в их определениях. Указание направлений силы и скорости соответствует уменьшению неопределенности в три раза, так как учащимся известны три характеристики векторных величин – точка приложения, модуль и направление. Значит количество информации $I = \log_2 3 = 1,585$ бит. Понятие прямолинейного движения уменьшает неопределенность знания учащегося в два раза (им известно два типа движения, отличающиеся по форме траектории, – прямолинейное и криволинейное). Следовательно, $I = \log_2 2 = 1$ бит. Полный информационный объём фрагмента материала складывается из информативностей отдельных его элементов (лексических групп).

Семантико-прагматический подход ставит во главу угла смысловое наполнение учебного материала и то, насколько ценной информация является для учащихся, насколько она уменьшает неопределённость их знания. Поэтому величина информативности здесь зависит в первую очередь от тех понятий и связей между ними, которые раскрываются во фрагменте материала, а не от формы изложения или используемого алфавита (языка) [10].

Анализ результатов исследования временных характеристик процесса обучения (таблица 1) позволяет сделать следующие выводы. Полученные значения адекватны количеству академических часов, предусмотренных календарно-тематическим планом. При двух часах в неделю на изучение курса физики в 7 классе отводится 68 часов. Вычитая из этой величины уроки, в течение которых предполагается выполнение лабораторных и контрольных работ, получим 52 академических часа. Сравнение именно этого значения с полученными 22,82 академическими часами (см. табл. 1) обусловлено тем, что при расчетах оценивался только субъективно новый для учащихся материал, а в процессе выполнения контрольных и лабораторных работ, а также повторительно-обобщающих уроков новый материал не изучается.

Таблица 1. Распределение времени на изучение программного материала в учебнике А. В. Перышкина «Физика. 7 кл.: учебник для общеобразовательных учреждений» – М.: Дрофа, 2002.

	№ пара- графа	Количество информации I (бит)	Время t (ака- демических ча- сов)
введение	1	62,01	0,38
	2	28,97	0,18
	3	19,32	0,12
	4	54,49	0,34
	5	53,65	0,33
	6	4,00	0,02
1 глава	7	20,75	0,13
	8	44,17	0,27
	9	39,58	0,24
	10	59,17	0,37
	11	28,68	0,18
	12	55,02	0,34
2 глава	13	45,87	0,28
	14	43,29	0,27
	15	137,65	0,85
	16	34,49	0,21
	17	8,58	0,05
	18	5,58	0,03
	19	49,24	0,30
	20	16,01	0,10
	21	78,11	0,48
	22	0,00	0,00
	23	85,58	0,53
	24	159,67	0,99

	25	151,09	0,93
	26	108,77	0,67
	27	45,23	0,28
	28	44,04	0,27
	29	89,97	0,56
	30	155,99	0,96
	31	17,81	0,11
	32	11,58	0,07
3 глава	33	71,68	0,44
	34	25,71	0,16
	35	103,86	0,64
	36	25,08	0,15
	37	77,11	0,48
	38	41,49	0,26
	39	36,88	0,23
	40	50,05	0,31
	41	68,49	0,42
	42	94,29	0,58
	43	53,23	0,33
	44	46,08	0,28
	45	68,55	0,42
	46	30,08	0,19
	47	82,13	0,51
	48	61,55	0,38
	49	48,15	0,30
50	38,35	0,24	
51	92,52	0,57	
52	42,98	0,27	
4 глава	53	169,69	1,05
	54	48,78	0,30
	55	54,98	0,34
	56	18,56	0,11
	57	139,66	0,86
	58	0,00	0,00
	59	90,18	0,56
	60	24,20	0,15
	61	44,59	0,28
	62	87,28	0,54
	63	77,18	0,48
	64	24,56	0,15
			сумма

Никакого противоречия в разнице двух этих величин нет: 22,82 академических часа – это распределенное время, необходимое учащимся для усвоения учебной информации. Оно составляет 44% от полного времени, заложенного в календарно-тематическом плане. В течение оставшихся 56% учащиеся занимаются закреплением изученного материала, рассмотрением частных случаев общих закономерностей, применением полученных знаний на практике. Однако легко заметить несколько несоответствий между таблицей 1 и планом учебного процесса. Параграфы 15, 24, 25, 30, 53 и 57 оказываются более насыщенными, чем другие, поэтому время необходимое для усвоения содержащейся в них информации достаточно велико, что в календарно-тематическом плане не учитывается. И даже наоборот, изучение §24 предполагается осуществить совместно с §23 в течение одного урока, хотя суммарное необходимое время – 1,52 академических часа. Не стоит, вероятно, пока рассматривать эти рассчитанные значения с точностью до сотых, так как принятая скорость усвоения информации в настоящее время не является бесспорной. Однако даже более грубая оценка даёт понять, что для изучения §23 и 24 необходимо более 1 урока. Причём это, как отмечено выше, – распределенное время, так что плановое время должно быть ещё больше. То же самое можно сказать о §30, изучение которого предполагается вместе с §31, притом, что в сумме для их усвоения необходимо 1,07 академических часа. Таким образом, можно сделать несколько разумных выводов: формируя план курса физики в 7 классе, следует учесть, что упомянутые фрагменты учебного материала лучше распределить на отдельные уроки; изучению других параграфов (15, 53, 57) следует уделить повышенное внимание – полученные для них значения распределенного времени усвоения не противоречат существенно календарно-тематическому плану, однако приближаются к 1, то есть занимают почти полный урок. На изучение информации §25 необходимо 0,9 академических часа (см. табл. 1), однако в плане в соответствующий урок включено также выполнение лабораторной работы, что конечно, тоже не может способствовать повышению эффективности обучения.

С другой стороны, как видно из таблицы 1, существуют блоки материала, которые несут мало новой информации для учащихся, и соответственно требуют немного времени для изучения. В некоторых таких случаях в уроках разумно совмещаются изучение нового материала и решение задач или лабораторная работа (как например §17 и §18, §19 и §20, §31 и §32). Однако здесь в значительной степени проявляется другой негативный фактор. Параграфы с 16 по 20 малоинформативные, учащимся достаточно легко даётся их усвоение, а учителю не составляет труда их изложение. После же них расположен блок материала, который в течение длительного времени требует повышенного внимания со стороны всех участников педагогического процесса. Такая неравномерность

вряд ли обеспечивает реализацию мотивационной составляющей обучения и высокую академическую успеваемость.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут являться свидетельством того, что принятые предположения о возможном подходе к расчету информационной емкости учебного материала и скорости восприятия учащимися информации, по крайней мере, не противоречат действительности, а подтверждают оценки и заключения, которые ранее производились исключительно на качественном уровне. В этом и состоит существенная роль количественных методов в педагогике – они уточняют и нормируют качественные исследования. Опирайтесь только на количественные методы сегодня не допустимо, они пока не достаточно развиты и не являются неопровержимыми. Отталкиваться следует по-прежнему от качественных оценок, которые часто более значимы.

Интересно рассмотреть проведенный В. П. Беспалько в монографии «Теория учебника» анализ временных характеристик дидактических процессов, реализуемых с помощью различных учебников. Им была исследована большая группа учебных изданий по математике, физике, химии, географии и другим предметам. Результаты представлены в таблице 2. Количество информации в учебнике автором рассчитывалось на основе *синтаксической* теории информации, то есть Q (двоичных единиц или бит; 8 столбец) – физический объём информации в учебнике. При этом для определения времени, необходимого учащимся для усвоения материала каждого учебника, скорость усвоения C (9 столбец) принимается равной в разных случаях от 2 до 6 бит/с.

Сравнивая полученные значения T_{VCB} – времени усвоения, с плановым временем, которое для всех без исключения исследованных учебников оказывается в разы меньше необходимого, автор делает заключение о коэффициенте сложности учебника (12 столбец):

$$\xi = \frac{T_{VCB}}{T_{ПЛАН}}.$$

В результате оказывается, что все, используемые в то время учебники (1979 год), имеют коэффициент сложности 1,5 – 20 единиц, то есть не просто трудны для восприятия учащимися, но и порой просто непосильны для них.

Тщательное рассмотрение проведенных расчетов позволяет обнаружить некоторое противоречие. Автор ставит целью выяснить время необходимое учащимся для усвоения учебного материала, однако использует посимвольный анализ текста. Едва ли следует говорить о том, что освоение школьником предмета равносильно усвоению им смысла каждого символа текста учебника

Таблица 2. Анализ объема школьных учебников из монографии
В. П. Беспалько «Теория учебника: Дидактический аспект» (с. 152–153).

Классы	Название учебника, пособия, (автор, год издания)	α	β	K	s	t	Q дв. ед.	C	$T_{усв}$ ак. ауд., ч	$T_{на}$	ξ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V—VI	Ботаника (Корчагина В. А., 1979)	II	I—II	1,5	265 (104 §§)	360	$136 \cdot 10^6$ (при $K=0,5$)	6	630	$T_y=118$ $T_n=195$	3
V	Математика (под ред. А. И. Маркушевича, 1979)	II—III	III	2,0	230 (60 §§ и 1200 задач)	320	$32 \cdot 10^6$ (при $K=0,5$)	2	1500	$T_y=175$ $T_n=290$	5
V	Физическая география (Максимов Н. А., 1979)	II	I—II	1,5	160 (55 §§)	350	$8,0 \cdot 10^6$	6	740	$T_y=70$ $T_n=115$	6
VI—VII	Физика (Перышкин А. В., Родина Н. А., 1979)	III	III	2,0	275 (164 §§)	360	$41,0 \cdot 10^6$	6	1900	$T_y=140$ $T_n=235$	8
VI—VIII	Геометрия (Колмогоров А. Н. и др., 1979)	II—III	III	2,0	350 (100 §§ и 1400 задач)	320	$48,0 \cdot 10^6$	2	7000	$T_y=228$ $T_n=380$	20
VI	География материков (Коринская В. А. и др., 1979)	II	II	1,5	221 (81 §§)	360	$11 \cdot 10^6$	6	509	$T_y=105$ $T_n=175$	3
VII	Физическая география СССР (Соловьев А. И. и др., 1979)	II	I	1,5	210 (58 §§)	350	$3,5 \cdot 10^6$	6	166,0	$T_y=70$ $T_n=115$	1,5
VII	Алгебра (под ред. А. И. Маркушевича, 1979)	II—III	III	2,0	200 (47 §§)	300	$26 \cdot 10^6$	2	3600	$T_y=122$ $T_n=200$	18
VII	Неорганическая химия (Ходаков Ю. В. и др., 1980)	II	II—III	2,0	235 задач (110 §§)	350	$23 \cdot 10^6$	6	1065	$T_y=140$ $T_n=235$	5
VIII	Физика (Киконин И. К., Киконин А. К., 1979)	II—III	III	2,0	220 (75 §§)	350	$33 \cdot 10^6$	4	1500—2000	$T_y=105$ $T_n=175$	10
VIII	Экономическая география СССР (Строев К. Ф. и др., 1979)	II	I—II	1,5	250 задач	360	$13 \cdot 10^6$	6	600	$T_y=70$ $T_n=115$	5
VIII	Геометрия (под ред. А. Н. Колмогорова, 1979)	II	III	2,0	100 (138 §§ и 200 задач)	320	$9,0 \cdot 10^6$	4—5	400—500	$T_y=70$ $T_n=115$	5
VIII	Алгебра (под ред. А. И. Маркушевича, 1979)	II	III	2,0	240 (51 §§ и 1100 задач)	320	$24 \cdot 10^6$	4	1000—1500	$T_y=140$ $T_n=235$	7
VIII	Человек (анатомия, физиология и гигиена, 1979)	II	I—II	1,5	240 (64 §§)	360	$12 \cdot 10^6$	6	555	$T_y=70$ $T_n=115$	5
IX—X	Общая биология (Полянский Ю. И. и др., 1979)	II	I—II	1,5	300 (83 §§)	360	$15 \cdot 10^6$	6	694	$T_y=105$ $T_n=175$	4
IX	Неорганическая химия (Ходаков Ю. В. и др., 1979)	II	II—III	2,0	190 (83 §§)	320	$10 \cdot 10^6$	3—4	900	$T_y=105$ $T_n=175$	5
IX—X	Геометрия (Клопский В. М. и др., 1979)	II	III	2,0	250 (70 §§ и 400 задач)	320	$23 \cdot 10^6$	4	1500	$T_y=140$ $T_n=230$	7
IX	Алгебра и начала анализа (под ред. А. Н. Колмогорова, 1979)	II	III	2,0	200 (74 §§ и 750 задач)	320	$18 \cdot 10^6$	4	1250	$T_y=105$ $T_n=175$	7
IX—X	Автомобиль (Плеханов И. П. и др., 1979)	II	I—II	1,5	300 (50 §§)	350	$15 \cdot 10^6$	6	700	$T_y=200$ $T_n=335$	2
IX—X	Алгебра и начала анализа (под ред. А. Н. Колмогорова, 1980)	II	III	2,0	280 (77 §§ и 1860 задач)	320	$25 \cdot 10^6$	2	3472	$T_y=210$ $T_n=350$	10
X	Физика (Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., 1979)	II	III	2,0	300 (152 §§ и 100 задач)	350	$20 \cdot 10^6$	2	2777	$T_y=158$ $T_n=255$	10
X	Органическая химия (Цветков Л. А., 1979)	II	II—III	2,0	200 (38 §§)	320	$18 \cdot 10^6$	6	833	$T_y=105$ $T_n=175$	5

С другой стороны, скорость C (бит/с), используемая для расчетов в таблице 2, оказывается между значениями скорости усвоения и скорости восприятия информации, и ближе к последней (сам автор экспериментальным путем получает, что значение скорости восприятия текста около 18 бит/с). Если использовать при расчете времени $T_{УСВ}$ значение $C = 0,06 - 0,08$ бит/с, окажется

что $T_{УСВ}$ ещё в десятки и сотни раз больше. В этом нет ничего удивительного, так как объёмы информации не соответствуют поставленной цели, определить научное содержание материала. Полученные результаты, свидетельствующие главным образом о том, что большинство учебников, используемых во время проводимых исследований, невероятно перегружены и в разы превосходят возможности школьников, по меньшей мере, вызывают некоторое удивление. Действительно ли так обстояла ситуация, и как в таком случае могли учиться школьники, не испытывая в своей массе психологического дискомфорта, который, несомненно, должен был бы серьезно отразиться не только на качестве образования, но и на физическом состоянии детей?

Подводя итог, следует отметить, что исследование возможных параметров дидактических процессов весьма актуально и находится в некотором смысле на переднем крае современной педагогики. Сегодня становится ясно, что средства математического аппарата, статистические и информационные методы возможно применять при рассмотрении процесса обучения, а признание его информационной основы открывает новые перспективы совершенствования и повышения эффективности образования.

1. Архангельский С.И. Кибернетические аналогии в обучении. М.: Знание, 1968.

2. Ительсон Л.Б. Математические и кибернетические методы в педагогике. М.: Просвещение, 1964.

3. Беспалько В.П. Теория учебника: Дидактический аспект. М.: Педагогика, 1988. 160 с.

4. Берднова Е.В. Экспериментальные исследования элементов и констант дидактики // Известия Саратовского университета 2011. Т. 11. Сер. Философия. Психология. Педагогика, вып. 1. Саратов, 2011

5. Берднова Е.В. Элементарная дидактика (дидактика в естественно-научном изложении). Саратов: Издательство Саратовского университета, 2006. 104 с.

6. Мааткеримов Н.О. Дидактические основы нормирования процесса обучения физике в средней и высшей школе. Дисс. на соискание ученой степени доктора пед. наук. Каракол, 2010.

7. Лебедева Т.Н., Миндоров Н.И. Информационные технологии в обучении: Учебное пособие и лабораторный практикум. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2004. 164 с.

8. Железовский Б.Е., Белов Ф.А. Краткий анализ существующих направлений изучения эффективности учебников // Наука в современном мире: Мате-

риалы VII Международной научно-практической конференции (31 августа 2011 г.). М.: Издательство «Спутник+», 2011. С. 73–80.

9. Белов Ф.А., Железовский Б.Е. Метод оценки информационной емкости учебников // В мире научных открытий. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011. №2(14). С. 189-193.

10. Железовский Б.Е., Белов Ф.А. Определение информативности учебного материала как метод семантико-прагматической теории информации // Научно-практический журнал «Приволжский научный вестник», 2011. № 1. С. 71–76.

11. Железовский Б.Е., Белов Ф.А. Сравнительный анализ информационной ёмкости различных учебников физики // ПСИХОЛОГИЯ. СОЦИОЛОГИЯ. ПЕДАГОГИКА. 2011. № 7. С. 13–16.

12. Железовский Б.Е., Белов Ф.А. Исследование информационной ёмкости учебника физики 9 класса // ПСИХОЛОГИЯ. СОЦИОЛОГИЯ. ПЕДАГОГИКА – 2011. – № 8. – С. 16-20.

13. Еляков А.Д. Информационная перегрузка людей // «Социс». – 2005. – №5. – С. 14.

14. Волченко И.О., Ежова Н.М. Исследование процессов усвоения знаний учащимися ВУЗа. Вестник МГТУ, том 2, №1. Мурманск, 1999. С. 151-156.

15. Железовский Б.Е., Белов Ф.А. О роли и месте принципа информативности учебного процесса в системе дидактических принципов // ПСИХОЛОГИЯ. СОЦИОЛОГИЯ. ПЕДАГОГИКА. 2011. № 12. С. 15-18.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГЕНЕРАЛЬНОГО ФАКТОРА «УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ»

Железовский Б. Е., Белов Ф. А.

В работе «Краткий анализ существующих направлений изучения эффективности учебников» [1] выделено два направления исследования учебных пособий – содержательное и конструкционное, и соответственно две составляющих эффективности учебника, включающие в себя системы параметров, которые позволяют оценить различные аспекты учебного материала. Сходную дифференциацию приводит И. П. Подласый: согласно предложенной им классификации факторов обучения генеральный фактор «учебный материал» включает в себя два фактора логически более низкого уровня: объективную («чистую») информацию и дидактическую обработку [2]. Под первым понимается содержание, количество учебного материала; второй включает способ, структуру, доступность изложения. Такое разделение представляется весьма обоснованным. Действительно эффективность учебника, выражаемая степенью достижения поставленных целей обучения, должна зависеть как от содержательной со-

ставляющей учебного материала, так и от его структуры, от того, насколько изложение соответствует потребностям дидактического процесса. В настоящей работе выдвинуто несколько предположений, закладывающих основу конструктивного подхода к исследованию учебных пособий, который позволит определить влияние структуры учебника на результаты усвоения учащимися знаний.

При рассмотрении логистического уравнения учебного процесса [3] предполагается, что в случае равномерного поступления информации скорость её усвоения равна скорости сообщения:

$$\frac{dZ_{\text{усв}}}{dt} = v,$$

где v – скорость сообщения информации, а $Z_{\text{усв}}$ – объем усвоенной информации. То есть вся сообщенная информация оказывается усвоенной $Z_{\text{усв}} = Z_{\text{сообщ}}$. Так было до последнего времени, и такое предположение было оправдано – оно является первым приближением математического описания процесса обучения. Однако для того чтобы в качестве $Z_{\text{сообщ}}$ использовать те значения, которые были получены при расчете информационной емкости учебника, необходимо внести некоторые уточнения. Информативность учебника рассчитывалась как сумма информативностей главных формулировок смысловых элементов без учета того, сколько раз каждый смысловой элемент вовлекался в содержание учебного материала. Это «чистая информация». Если при использовании в уравнении учебного процесса этих значений не учитывать число повторов смысловых элементов, это будет равносильно тому, чтобы рассматривать материал учебника как простой набор главных формулировок (но в таком случае это уже не учебник, а справочник).

Повторные вовлечения смысловых элементов в учебный материал обеспечивают их понимание учащимися. Естественно предположить, что при отсутствии повторов смыслового элемента информация, которую он несет, будет усваиваться не полностью (т.е. средний ученик не в состоянии понять и полностью усвоить научную информацию, если она не сопровождается примерами и подробными упрощенными описаниями). Наоборот, при достаточном числе вовлечений смыслового элемента в содержание учебного материала соответствующая научная идея будет полностью понята и усвоена учащимися. Тогда не следует считать, что $Z_{\text{усв}} = Z_{\text{сообщ}}$. Всегда $Z_{\text{усв}} \leq Z_{\text{сообщ}}$.

Предположим, что существует некоторая величина k , характеризующая число вовлечений смыслового элемента в содержание учебного материала. И пусть k пропорционально числу вовлечений. Тогда если $k = 0$ (смысловой элемент вообще не вовлекается в материал) $Z_{\text{усв}} = 0$; если $k = \infty$, то $Z_{\text{усв}} = Z_{\text{сообщ}}$.

Описанным свойствам отвечает экспоненциальная функция: $f(k)=(1-\exp(-k))$. Тогда

$$Z_{\text{усв}} = (1-\exp(-k)) Z_{\text{сообщ}}$$

В этом случае логистическое уравнение учебного процесса должно быть переписано в следующем виде:

$$\frac{dZ}{dt} = \alpha M (1-\exp(-k)) v - \gamma Z$$

Возникает естественный вопрос, как рассчитывать величину k ? Согласно классификации, предложенной И.И. Нурминским и Н.К. Гладышевой [4], существует три формы включения смыслового элемента в содержание учебного материала. Весь материал учебника делится на три категории по характеру отношения к выделенному смысловому элементу.

I. *Первая категория* – материал, в явном виде относящийся к данному смысловому элементу. То есть для человека, не знающего физики (или другой научной области, так как предлагаемый подход может применять к любой дисциплине естественно-научного цикла) и впервые знакомящегося с ней по анализируемому учебнику, это выражение элемента ясно видно, записано, названо.

Сюда могут относиться так же и описания частных примеров того физического явления или закона, которое заложено в смысловом элементе. Однако следует помнить, что такие описания должны содержать явную формулировку смыслового элемента, а не просто излагать особенности примера. Поэтому, например, в §13 «Механическое движение» учебника Перышкина А.В. «Физика. 7 кл.» к I категории 39-го смыслового элемента (см. ниже разбиение параграфа на фрагменты разных категорий) необходимо отнести текстовый фрагмент *«Для того чтобы узнать, движется автомобиль или нет, проследим, как меняется его положение относительно других тел. Например, полотна дороги, домов деревьев. Если положение автомобиля меняется относительно этих тел, то говорят, что он движется относительно этих тел»*, а вот фрагмент *«Движение относительно Земли человека, автомобиля, самолета (рис. 32), колебания маятника, течение воды, перемещение воздуха (ветер) – все это примеры механического движения. Перемещение отдельной молекулы, даже отдельного атома также является механическим движением»* не следует считать относящимся к I категории 39-го смыслового элемента, так как здесь нет его явных формулировок.

Обращаясь к формулировкам I категории, средний учащийся в состоянии понять суть явления, заключенного в смысловом элементе.

II. *Вторая категория* – материал, на первый взгляд в явном виде относящийся к другому смысловому элементу, по сути однако идентичному данному, но имеющим иную формулировку (этот материал называют вариативным). Та-

кие фрагменты также способствуют усвоению смыслового элемента, однако описывают процесс противоположный исходному, либо представленный в иной нетривиальной форме. В случае смыслового элемента, связанного с определением механического движения, фрагменты II категории описывают состояние относительного покоя. При наличии в формулировке смыслового элемента какой-либо формулы, фрагменты II категории определяют формулы, полученные из исходной и т.п.

Обращаясь только к формулировкам II категории средний учащийся будет испытывать трудности в понимании сути явления, заключенного в смыслового элемента.

III. *Третья категория* – материал, косвенно относящийся к данному смысловому элементу. Этот материал помогает (или должен помочь) усвоению смыслового элемента, но учащиеся не могут, исходя только из косвенного материала, сами прийти к формулировке смыслового элемента. К этой категории относятся операции с единицами измерения физических величин, способствующие пониманию их смысла и усвоению связывающих их формул, а также некоторые фрагменты упражнений и заданий после параграфа.

Работая только с формулировками III категории средний учащийся будет не в состоянии понять суть явления, заключенного в смыслового элемента.

Определение этой дифференциации по отношению к среднему учащемуся наиболее прозрачно и очевидно.

Итак, смысловой элемент может вовлекаться в содержание учебного материала в одной из трех форм. Ясно, что фрагменты разных категорий в разной степени способствуют усвоению учащимся информации. Пусть для некоторого смыслового элемента существует k_I формулировок I категории (в том числе главная формулировка), k_{II} формулировок II категории и k_{III} формулировок III категории. Будем рассчитывать величину k , характеризующую вовлеченность этого смыслового элемента в материал учебника по формуле:

$$k = A * k_I + B * k_{II} + C * k_{III},$$

где A , B и C – неизвестные коэффициенты, характеризующие значимость материала I, II и III категорий для процесса усвоения учебной информации. Расчеты, проведенные И.И. Нурминским и Н.К. Гладышевой [4], показывают, что относительная эффективность вариативного и косвенного материала составляют соответственно 0,15 и 0,03. Поэтому формула может быть представлена в виде:

$$k = A * (k_I + 0,15 * k_{II} + 0,03 * k_{III}).$$

Положив $A=0,5$, определим, какая доля информации будет усвоена из всего содержания параграфа §13 «Механическое движение» учебника Перышкина А. В. «Физика. 7 кл.». Для определения величины k каждого из трех смыс-

ловых элементов будем пользоваться записанной формулой, а для расчета среднего по параграфу K_{cp} воспользуемся средним арифметическим:

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^3 k_i}{3}$$

Приложение 1. Разбиение на фрагменты различных категорий §13 «Механическое движение». (Перышкин А.В. Физика. 7 кл.: учебник для общеобразовательных учреждений. – М.: Дрофа, 2002. – 192с.)

Если вдали на дороге виден автомобиль, то определить, движется он или нет, трудно.

Для того чтобы узнать, движется автомобиль или нет, проследим, как меняется его положение относительно других тел. Например, полотна дороги, домов деревьев. Если положение автомобиля меняется относительно этих тел, то говорят, что он движется относительно этих тел. (I категория 39 с.э.)

Подобным образом мы определяем, движется или нет поезд, самолет, человек и др.

Итак, чтобы судить о движении тела, надо узнать, меняется ли положение этого тела среди окружающих его тел. (I категория 39 с.э.)

Если положение автомобиля меняется относительно домов или деревьев, то говорят, что он движется относительно этих тел. (I категория 39 с.э.)

Если же положение движущегося автомобиля не меняется относительно, например движущегося поезда, то относительно друг друга они не движутся, а находятся в состоянии покоя. (II категория 39 с.э.)

Изменение с течением времени положения тела относительно других тел называется механическим движением. (39 с.э.)

Сидя в поезде, мы движемся относительно полотна железной дороги, но относительно вагона находимся в покое. (II категория 39 с.э.)

Поэтому, говоря о движении тела, обязательно указывают, относительно каких тел происходит это движение. (I категория 39 с.э.)

Наиболее часто мы будем рассматривать движение тел относительно Земли.

При этом надо помнить, что и сама Земля вращается как вокруг своей оси, так и вокруг Солнца.

Солнце в свою очередь, движется относительно многочисленных звезд.

Движение относительно Земли человека, автомобиля, самолета (рис. 32), колебания маятника, течение воды, перемещение воздуха (ветер) – все это примеры механического движения. Перемещение отдельной молекулы, даже отдельного атома также является механическим движением.

(III категория 39 с.э.)

Изменяя свое положение в пространстве, переходя из одного места в другое, тело движется по некоторой линии, которую называют траекторией движения тела. (40 с.э.)

Траектория может быть видимой, как, например, светящийся след метеора в ночном небе (рис.33). (I категория 40 с.э.)

Траектория движения молекулы газа – ломаная линия (рис.34).

(I категория 40 с.э.)

Длина этой траектории – сумма длин всех отрезков. (III категория 41 с.э.)

Траектория движения лыжника, прыгающего с трамплина, – кривая линия (рис.35). (I категория 40 с.э.)

Её длина измеряется от точки отрыва О до точки приземления А, но не по прямой, а следуя всем изгибам. (III категория 41 с.э.)

Длина траектории, по которой движется тело в течение некоторого промежутка времени, называется путем. (41 с.э.)

Так, длина траектории ОА – это путь, пройденный лыжником за время спуска с горы (см. рис.35).

Путь обозначают буквой *s*.

Путь – это физическая величина, которую можно измерить.

(I категория 41 с.э.)

Часто это сделать непросто, например, в случае движения молекулы.

Основной единицей пути в Международной системе (СИ) является метр (м). Используются и другие единицы длины: миллиметр (мм), сантиметр (см), дециметр (дм) и километр (км).

1 мм = 0,001 м; 1 дм = 0,1 м;

1 см = 0,01 м; 1 км = 1000 м.

(III категория 41 с.э.)

Вопросы.

1. Что называется механическим движением? (I категория 39 с.э.)

2. Почему указывают, относительно каких тел движется тело?

(III категория 39 с.э.)

3. Что называют путем, пройденным телом? (I категория 41 с.э.)

4. Какова единица пути в СИ? (III категория 41 с.э.)

Упражнение 3

1. Приведите примеры тел, движущихся относительно Земли; неподвижных относительно Земли. (III категория 39 с.э.)

2. Почему во время снежной метели трудно указать, движется поезд или нет?

3. Какую траекторию оставляет на ночном небе реактивный самолет?

(III категория 40 с.э.)

Задание 4

Измерьте среднюю длину своего шага. Пользуясь этой мерой, определите путь, который вы проходите от своего дома до ближайшей остановки автобуса.

(I категория 41 с.э.)

В результате оказывается, что $K_{cp} = 2,44$. Тогда можно считать, что учащимися усвоено следующее количество информации:

$$Z_{усв} = (1 - \exp(-K_{cp})) * Z_{сообщ} = (1 - \exp(-2,44)) * 29 \text{ бит} = 0,9124 * 29 \text{ бит} = 26,5 \text{ бит}$$

То есть, усваивается 91% информации. Аналогичные расчеты, проведенные для соответствующего параграфа учебника Громова С. В., Родиной Н. А. «Физика: Учебник для 7 кл. общеобразовательных учреждений» показали, что при таком же $A = 0,5$ доля усвоенной информации составляет всего 79%. Так как точное значение коэффициента A в настоящее время неизвестно (по-видимому, оно может быть определено экспериментально), то полученные результаты интересны главным образом для сравнительного анализа двух учебных пособий. С одной стороны информативность рассматриваемого блока материала в учебнике С. В. Громова и Н. А. Родиной выше (53 бита против 29 бит в учебнике А. В. Перышкина), с другой стороны доля усвоенной информации оказывается существенно ниже только вследствие структуры изложения. Здесь имеет место очевидное противоречие. Ясно, что воспринять больший объем информации за тоже время учащимся будет сложнее, поэтому требуется более тщательная дидактическая обработка и обеспечение достаточного числа включений каждого предлагаемого для усвоения элемента знаний. В случае если это условие не соблюдается, доля усвоенной информации оказывается существенно ниже не только вследствие большего объема, но и в результате недостаточной дидактической обработки.

1. Железовский Б.Е., Белов Ф.А. Краткий анализ существующих направлений изучения эффективности учебников // Наука в современном мире: Материалы VII Международной научно-практической конференции (31 августа 2011 г.). – М.: Издательство «Спутник+», 2011. – с. 73–80.

2. Подласый И. П. Педагогика. Новый курс. Кн. 1: – М.: ВЛАДОС, 1999. – 576 с.

3. Епифанова М.А., Железовский Б.Е., Козырев А.П. Анализ логистического мотивационно-зависимого уравнения учебного процесса. Сб. научных ст.

«Исследования по физике и методике её преподавания».– Саратов: Издательство «ООО Издательский Центр «Наука», 2009. – с. 24-30.

4. Нурминский И.И., Гладышева Н.К. Статистические закономерности формирования знаний и умений учащихся. – М.: Педагогика, 1991. – 224 с.

ПОСТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ МОДЕЛЕЙ ЛБВО

Железовский Б.Е.

В последнее время в практике разработке СВЧ-приборов всё чаще встречаются задачи, для решения которых существующие методы представляются недостаточно эффективными. Такие задачи характеризуются большим количеством степеней свободы, многокритериальностью, наличием многих ограничений как на область изменения переменных, так и выходных характеристик, причём характер этих ограничений может зависеть от значений самих переменных и т.п. Как правило, эти задачи имеют множество допустимых решений, и выбор одного из них представляет самостоятельную проблему, которая решается как с использованием формализованных методов, так и с применением экспертных оценок.

Методы, применяемые при решении пробных задач, можно условно разделить на две группы: методы строгих численных решений систем уравнений, описывающих процессы в приборах СВЧ, и аналитические приближённые методы.

Основные преимущества строгих численных решений – точность получаемых результатов и возможность одновременного рассмотрения влияния многих переменных.

Преимущества приближённых аналитических методов – относительная простота получаемых зависимостей, недостатки – учёт влияния многих переменных, т.к. иначе трудно получить аналитические выражения, и большая погрешность по сравнению со строгим счётом. С другой стороны, недостаток строгих расчётов, с точки зрения разработчика, – отсутствие функциональных связей между входными и выходными переменными в случае многих переменных.

Практика показывает, что для инженерных расчётов желательно иметь решения, ограниченно сочетающие точность и возможность полного учёта всех переменных с простотой приближённых выражений, при этом существенно, чтобы искомые зависимости были явными, т.е. непосредственно связывали изменения выходных характеристик с изменениями входных переменных и внутренних параметров.

Цель данных исследований – показать, – что эти, до некоторой степени противоречивые требования, можно удовлетворить, если применить подход, основанный на использовании методов теории планирования эксперимента (ТПЭ).

Основные концепции методов ТПЭ, которые развивались, в основном, для исследования реально существующих объектов, заключаются в следую-

щем: каждый исследуемый физический объект рассматривается на первом этапе как система, имеющая « n » входов и « k » выходов. Входные воздействия, образующие n -мерный вектор X , посредством оператора $A(\bar{x})$, преобразуется в выходной k -мерный вектор $Y: Y = A(\bar{x})$.

В реальном приборе это преобразование осуществляется на основе закономерностей физических процессов, протекающих в данном приборе, и вид его для сложных систем, как правило, неизвестен. Методы ТПЭ определяют стратегию, позволяющую путём оптимального (по некоторому критерию) выбора конечного множества точек в факторном пространстве (пространство входных переменных) и, исходя из значений вектора откликов (вектор входных переменных) в этих точках, построить простую аппроксимирующую функцию Y для оператора $A(\bar{x})$ [1,2,3].

Предположим, что физического устройства, как такового, нет, а есть описание его функционирования в виде математической модели, то при условии, что эта модель адекватно описывает процессы, происходящие в моделируемом физическом устройстве, иными словами, хорошо имитирует его, не будет, очевидно, существенных различий, если реакция системы на входные воздействия будут определяться из её математической модели, при этом понятие эксперимента (опыта), широко применяемого в ТПЭ, в этом случае имеет смысл нахождения значения оператора $A(\bar{x})$.

Разумеется, если оператор $A(\bar{x})$ сам по себе является достаточно простым, не имеет смысла осуществлять подробное преобразование моделей, однако это не относится к задачам разработки электронных приборов СВЧ, где уравнения состояния представляются, как правило, в виде системы интегродифференциальных уравнений, так что преобразование может оказаться весьма эффективным [3].

Конкретный вид конечной математической модели определяется уровнем априорной информации, касающейся свойств решений исходного оператора $A(\bar{x})$. В большинстве задач СВЧ–электроники эти свойства неизвестны, поэтому искомая модель строится в классе наиболее простых моделей – алгебраических полиномов, причём, степень полиномов повышается последовательно, начиная с единицы, только в случае неадекватности предыдущих построений (композиционное планирование).

Таким образом, требования к математическим моделям, используемых на этапе разработки СВЧ приборов, действительно удовлетворяется, поскольку, с одной стороны, получают простые алгебраические модели, устанавливающие явную связь между входными и выходными переменными, и другой стороны, точность этих моделей сравнима с результатами расчёта по гораздо более сложной модели, представляемой исходным оператором $A(\bar{x})$.

Ранее была показана возможность успешного применения ТПЭ при решении задач, возникающих в электронике СВЧ, для широко класса приборов и режимов [4]. В этих работах размерность факторного пространства была отно-

нительно небольшой. Однако на практике встречаются системы, имеющие большое число степеней свободы, что вызывает определённые трудности, как при решении данных задач, так и при интерпретации получаемых результатов. Вместе с тем очень часто нет никакой необходимости действительно включать все факторы в конечную модель, поскольку в области факторного пространства, рассматриваемой при разработке, влияние некоторых факторов на функции отклика может оказаться незначимым.

С учётом этого обстоятельства, в многомерных задачах целесообразно провести предварительное выделение методами ТПЭ существенных факторов с тем, чтобы на последующих этапах учитывать влияние только этих факторов.

Другой существенный аспект подобного рода задач – их многооткликость, т.е. наличие более одной функции отклика. Как правило, перед разработчиком стоит задача найти точку \bar{x}_0 в факторном пространстве, в котором удовлетворялись бы все ограничения, наложенные на функции отклика. Эти ограничения могут быть техническими, конструктивными, экономическими и т.п., в зависимости от смысла конкретной функции отклика.

Существующие методы оптимизации позволяют, в принципе, найти такую точку, однако они не устанавливают функциональную связь между значениями вектора \bar{x} в окрестности \bar{x}_0 и соответствующим значением вектора Y , поэтому если значение найденной точки не устраивает разработчика, все расчёты приходится проводить заново, что приводит к большим затратам машинного времени. В связи с этим в процессе расчёта прибора необходимо иметь приближённое описание всех функций отклика в области, в которой выполняются заданные ограничения. Поскольку функции отклика в общем случае не коррелируют, модели приходится строить для каждой функции отдельно, а т.к. искомые области могут и не пересекаться, возникает задача поиска других областей и т.д. Процесс нахождения решения в таком случае приобретает интерактивный характер и полностью формализован быть не может, поэтому на данном этапе большое значение приобретает опыт и интуиция разработчика. Впрочем, это относится ко всем сложным системам.

Итак, объективная сложность определённого класса задач расчёта СВЧ-приборов приводит к необходимости применения методов ТПЭ также и в случае многофакторных и многооткликowych систем.

Поскольку целью данной работы является нахождение простых аналитических зависимостей между выходными характеристиками ЛБВ, её входными параметрами и режимом работы по возможности в наиболее простом виде, удобно воспользоваться полиномиальным представлением искомых величин.

Предположим, что некоторая интересующая нас функция отклика (выходная амплитуда поля, мощность, коэффициент шума и т.п.) зависит от K независимых параметров (факторов)

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

Как правило, исследователя интересует поведение выходных характеристик прибора в некоторых заданных ограниченных интервалах изменения па-

раметров. Границы изменения какого-либо параметра x_i обозначим через x_i^{max} и x_i^{min} , которые и должны быть выбраны для каждой конкретной задачи $x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max}$

В k -мерном пространстве анализируемая область будет представляться k -мерным гиперпараллелепипедом, центр которого определяется точкой

$$(X_1^0, X_2^0, \dots, X_k^0)$$

Очевидно:

$$X_i^0 = \frac{1}{2}(X_i^{max} + X_i^{min})$$

Путём замены переменных вида:

$$\tilde{x}_i = \frac{(x_i - X_i^0)}{\lambda_i},$$

где λ_i – полуинтервал изменения x_i ($\lambda_i = \frac{(X_i^{max} - X_i^{min})}{2}$), возможно преобразовать область изменения параметров в область изменения

$$-1 \leq \tilde{x}_i \leq 1$$

Функцию (1) в новых переменных \tilde{x}_i можно представить в некоторой окрестности точки $(0,0,\dots,0)$ рядом Тейлора:

$$f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \tilde{x}_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} \tilde{x}_i \tilde{x}_j + \sum_{i=1}^k b_{ij} \tilde{x}_i^2 + \dots,$$

где $b_0 = f(0,0,\dots,0)$; $b_i = \left[\frac{\partial f}{\partial \tilde{x}_i} \right]_{\tilde{x} \rightarrow 0}$; $b_{ij} = \left[\frac{\partial^2 f}{\partial \tilde{x}_i \partial \tilde{x}_j} \right]_{\tilde{x} \rightarrow 0}$; $b_{ii} = \left[\frac{\partial^2 f}{\partial \tilde{x}_i^2} \right]_{\tilde{x} \rightarrow 0}$.

Обрывая ряд Тейлора на каком-либо члене, можно считать его полиномиальной моделью, описывающей поведение функции в заранее выбранной области.

В частности, оставляя линейные члены:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \tilde{x}_i$$

Получаем линейную модель или модель первого порядка. Квадратные модели реализуются в виде:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \tilde{x}_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k b_{ij} \tilde{x}_i \tilde{x}_j;$$

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \tilde{x}_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} \tilde{x}_i^2;$$

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \tilde{x}_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} \tilde{x}_i^2 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} \tilde{x}_i \tilde{x}_j;$$

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \tilde{x}_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} \tilde{x}_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k b_{ij} \tilde{x}_i \tilde{x}_j$$

Как показывает опыт применения полиномиальных моделей, в практике анализа различных режимов работы электроннолучевых приборов СВЧ диапазона, вполне достаточно использовать модели не выше второго порядка. Сложность и громоздкость записи при выборе моделей более высоких порядков не даёт существенных преимуществ по отношению к различным имеющимся приближённым аналитическим зависимостям.

Линейные модели можно построить, используя методику полного факторного эксперимента (ПФЭ), идея которого состоит в варьировании переменных всего на двух уровнях (+1 и -1). Совокупность точек, получаемых при всевозможных варьированиях переменных, определит план эксперимента.

Линейная модель может быть достроена до квадратичной путём добавления к исходному двухуровневому плану (ядру), содержащему $N=2^k$ точек с координатами $(\pm 1, \pm 1, \dots, \pm 1)$. N_0 центральных точек $(0, 0, \dots, 0)$ и $N_\alpha = 2k$ аксиальных точек, так называемых – «звёздных точек», с координатами $(\pm \alpha_1, 0, 0, \dots, 0), (0, \pm \alpha_2, 0, \dots, 0), \dots, (0, \dots, 0, 0, \pm \alpha_k)$. Звёздные точки располагаются на координатных осях на расстояниях $\pm \alpha_i$ от центра.

Построенные таким образом планы называют центральными композиционными планами (ЦКП).

Чаще всего используются ортогональные ЦКП, рототабельные ЦКП и план Хартли. Они являются симметричными, т.е. $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k = \alpha$. Ортогональности плана соответствует выбор величины звёздного плеча

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{N} 2^{k-2} - 2^{k-1}}, N = 2^k + 2k + N_0.$$

Так как в ортогональных ЦКП не накладывается ограничений на число опытов в центральной точке, то $N_0 = 1$.

Для рототабельного плана $\alpha = 2^{k/4}$, а число опытов в нулевой точке можно определить из таблицы

K	2	3	4	5	6	7
N_0	5	6	7	10	15	21

Коэффициенты моделей могут быть определены по общему методу наименьших квадратов.

Если число точек в перечисленных выше планах оказывается большим, чем необходимо для определения коэффициентов, то можно воспользоваться

дробным факторным экспериментом с использованием полуреplik. В частности, на этом принципе строятся квадратичные планы Хартли.

Используя приведённые выше общие теоретические рассуждения, построим полиномиальные модели для выходных характеристик ЛБВ, работающей в нелинейном режиме.

В качестве реальных параметров–факторов выберем: параметр пространственного заряда $q(x_1)$, входную амплитуду в.ч. поля $F_0(x_2)$, параметр несинхронности $b(x_3)$ и параметр затухания волны $d(x_4)$.

Границы их изменения возьмём следующими:

$$0 \leq q \leq 1, 1 \leq F_0 \leq 0.5, 0.5 \leq b \leq 1.5, 0 \leq d \leq 0.05.$$

Необходимые для нахождения коэффициентов полиномиальной модели значения функций отклика в точках плана рассчитывались на компьютере по известной системе нелинейных интегро-дифференциальных уравнений ЛБВ 0–типа.

В качестве функций отклика выберем: максимальную величину амплитуды сигнала в точке насыщения; зависимость приведённой координаты максимума поля; значения нормированных амплитуд поля в некоторых точках области взаимодействия ЛБВ, а также величину КПД прибора в этих точках.

Очевидно, при расчётах предполагается, что система уравнений правильно описывает работу ЛБВ, т.е. постулируется адекватность исходной модели физическому устройству. Уточнение наших представлений о работе прибора, выражающееся в уточнении системы уравнений, описывающих работу ЛБВ, может привести лишь к некоторой коррекции в коэффициентах модели с сохранением идей анализа и методики расчёта целевых функций. В результате реализации выбранного для построения полиномиальных моделей центрального рототабельного композиционного плана (РКЦП) для значения нормированной амплитуды в точке насыщения получаем:

$$\begin{aligned} F_{max} = & 2.697 - 0.095\tilde{x}_1 + 0.055\tilde{x}_2 + 0.141\tilde{x}_3 - 0.039\tilde{x}_4 \\ & - 0.000\tilde{x}_1^2 + 0.017\tilde{x}_2^2 - 0.013\tilde{x}_3^2 + 0.001\tilde{x}_4^2 - 0.029\tilde{x}_1\tilde{x}_2 + 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_3 \\ & - 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 - 0.003\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.001\tilde{x}_2\tilde{x}_4 - 0.002\tilde{x}_3\tilde{x}_4 \end{aligned}$$

В реальных переменных формула (8) переписывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} F_{max} = & 1.950 - 0.035q + 0.240F_0 + 0.030b - 2.158d - 0.003q^2 \\ & + 1.713F_0^2 - 0.216b^2 + 3.293d^2 - 1.157qF_0 + 0.025qb \\ & - 0.744qd - 0.111F_0b - 0.930F_0d - 0.512bd \end{aligned}$$

Очевидно, коэффициент усиления ЛБВ может быть получен из (10) простым делением F_{max} на соответствующее значение F_0 , взятое из области определения входных амплитуд (от 0.1 до 0.5).

Для точки насыщения θ_{max} модель имеет вид:

$$\begin{aligned}\theta_{max} = & 4.400 + 0.192\tilde{x}_1 - 0.502\tilde{x}_2 + 0.022\tilde{x}_3 + 0.015\tilde{x}_4 + 0.022\tilde{x}_1^2 \\ & + 0.097\tilde{x}_2^2 + 0.032\tilde{x}_3^2 + 0.002\tilde{x}_4^2 - 0.028\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\ & - 0.028\tilde{x}_1\tilde{x}_3 + 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 - 0.013\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.003\tilde{x}_2\tilde{x}_4 \\ & - 0.003\tilde{x}_3\tilde{x}_4\end{aligned}$$

или в реальных переменных:

$$\begin{aligned}\theta_{max} = & 6.329 + 1.163q - 9.742F_0 - 0.550b + 1.533d + 0.353q^2 \\ & + 9.708F_0^2 + 0.513b^2 + 13.333d^2 - 1.100F_0q - 0.440qb \\ & + 0.800qd - 0.500F_0b - 2.000F_0d - 0.800bd\end{aligned}$$

в точке насыщения θ_{max} модель для КПД имеет вид:

$$\begin{aligned}\eta = & 2.968 - 0.212\tilde{x}_1 + 0.101\tilde{x}_2 + 0.180\tilde{x}_3 - 0.088\tilde{x}_4 + 0.003\tilde{x}_1^2 \\ & + 0.036\tilde{x}_2^2 - 0.031\tilde{x}_3^2 + 0.002\tilde{x}_4^2 - 0.069\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\ & + 0.001\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 - 0.003\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.004\tilde{x}_2\tilde{x}_4 \\ & - 0.004\tilde{x}_3\tilde{x}_4\end{aligned}$$

В реальных переменных

$$\begin{aligned}\eta = & 1.875 - 0.057q + 0.439F_0 + 1.780b - 4.847d + 0.048q^2 \\ & + 3.579F_0^2 - 0.500b^2 + 11.920d^2 - 2.774qF_0 + 0.010qb \\ & - 0.672qd - 0.100F_0b - 3.400F_0d - 1.424bd\end{aligned}$$

В соответствии со знаками коэффициентов перед нормированными переменными \tilde{x}_i можно заключить, что нарастание пространственного заряда и затухания уменьшают величину F_{max} , что согласуется с представлениями о физике работы ЛБВ. В тоже время рост параметров пространственного заряда, затухания и увеличения b приводят к затягиванию процесса группировки и соответствующее F_{max} значение нормированной длины θ_{max} увеличивается. Наиболее сильное влияние при этом оказывает изменение параметра пространственного заряда. Увеличение амплитуды входного сигнала, как это следует из (9) и (11), не только увеличивает максимальное значение амплитуды поля в точке насыщения, но и существенно влияет на уменьшение θ_{max} .

Для выяснения влияния какого-либо одного параметра на F_{max} и θ_{max} следует зафиксировать остальные в одной из точек диапазона (-2,2). В центре диапазона получаются наиболее простые зависимости, поскольку все параметры \tilde{x}_j , кроме рассматриваемого, равны нулю.

В качестве иллюстрации одного из получаемых таким образом «центральных сечений» рассмотрим зависимость от \tilde{x}_1 , т.е. от величины пространственного заряда, функций F_{max} и θ_{max} . Полагая $\tilde{x}_2 = \tilde{x}_3 = \tilde{x}_4 = 0$, из (5) и (6) находим:

$$F_{max} = 2.697 - 0.095\tilde{x}_1$$

$$\theta_{max} = 4.4 + 0.192\tilde{x}_1 + 0. + 0.22\tilde{x}_1^2$$

Аналогичным образом можно найти и остальные центральные сечения и тем самым получить простое наглядное представление о степени и характере влияния каждого из параметров на исследуемые функции. Центральные сечения представлены на рис.1-3.

Следует отметить высокую степень точности представления моделью с использованием РКЦП поверхностей отклика.

Так, для моделей F_{max} и θ_{max} наибольший квадрат разности между моделью и поверхностью отклика не превышает 0.01, что неразличимо на графиках.

Полученные с помощью РКЦП модели для вычисления сигнала $F(\theta)$ и КПД имеют вид:

$$F(\theta = 3) = 1.370 - 0.104\tilde{x}_1 + 0.437\tilde{x}_2 + 0.020\tilde{x}_3 - 0.031\tilde{x}_4$$

$$+ 0.005\tilde{x}_1^2 - 0.009\tilde{x}_2^2 - 0.026\tilde{x}_3^2 + 0.000\tilde{x}_4^2 - 0.032\tilde{x}_1\tilde{x}_2$$

$$+ 0.006\tilde{x}_1\tilde{x}_3 + 0.001\tilde{x}_1\tilde{x}_4 + 0.021\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.009\tilde{x}_2\tilde{x}_4$$

$$- 0.002\tilde{x}_3\tilde{x}_4$$

$$\eta(\theta = 3) = 0.738 - 0.124\tilde{x}_1 + 0.460\tilde{x}_2 - 0.006\tilde{x}_3 - 0.036\tilde{x}_4$$

$$+ 0.010\tilde{x}_1^2 + 0.064\tilde{x}_2^2 - 0.028\tilde{x}_3^2 + 0.001\tilde{x}_4^2 - 0.072\tilde{x}_1\tilde{x}_2$$

$$+ 0.009\tilde{x}_1\tilde{x}_3 + 0.004\tilde{x}_1\tilde{x}_4 + 0.011\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.021\tilde{x}_2\tilde{x}_4$$

$$- 0.002\tilde{x}_3\tilde{x}_4$$

$$F(\theta = 4) = 2.507 - 0.174\tilde{x}_1 + 0.463\tilde{x}_2 + 0.074\tilde{x}_3 - 0.048\tilde{x}_4$$

$$- 0.013\tilde{x}_1^2 - 0.166\tilde{x}_2^2 - 0.047\tilde{x}_3^2 + 0.004\tilde{x}_4^2 + 0.026\tilde{x}_1\tilde{x}_2$$

$$+ 0.009\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 + 0.068\tilde{x}_2\tilde{x}_3 + 0.005\tilde{x}_2\tilde{x}_4$$

$$- 0.003\tilde{x}_3\tilde{x}_4$$

$$\eta(\theta = 4) = 2.560 - 0.332\tilde{x}_1 + 0.787\tilde{x}_2 + 0.057\tilde{x}_3 - 0.092\tilde{x}_4$$

$$- 0.015\tilde{x}_1^2 - 0.222\tilde{x}_2^2 - 0.099\tilde{x}_3^2 + 0.012\tilde{x}_4^2 - 0.012\tilde{x}_1\tilde{x}_2$$

$$+ 0.010\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0.123\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.008\tilde{x}_2\tilde{x}_4 - 0.004\tilde{x}_3\tilde{x}_4$$

Соответственно для реальных переменных получаем:

$$F(\theta = 3) = -0.177 + 0.224q + 4.889F_0 + 0.614b + 0.099d$$

$$+ 0.080q^2 - 0.916F_0^2 - 0.410b^2 + 2.653d^2 - 1.26qF_0$$

$$+ 0.098qb + 0.364qd + 0.846F_0b - 7.420F_0d - 0.632bd$$

$$\eta(\theta = 3) = -0.465 + 0.721q + 2.149F_0 + 0.672b + 1.859d + 0.165q^2$$

$$+ 6.435F_0^2 - 0.444b^2 + 4.187d^2 - 2.860qF_0 + 0.142qb$$

$$+ 1.304qd + 0.443F_0b - 16.920F_0d - 0.556bd$$

$$F(\theta = 4) = -0.005 + 0.933q + 11.260F_0 + 0.930b - 2.327d$$

$$- 0.205q^2 - 16.632F_0^2 - 0.749b^2 - 26.780d^2 + 1.059qF_0$$

$$+ 0.141qb - 0.722qd + 2.725F_0b + 3.675F_0d - 0.898bd$$

$$\eta(\theta = 4) = -1.454 - 1.106q + 16.647F_0 + 1.857b - 0.478d$$

$$- 0.241q^2 - 22.188F_0^2 - 1.582b^2 - 74.600d^2 - 0.489qF_0$$

$$+ 0.164qb - 0.036qd + 4.935F_0b - 6.340F_0d - 1.212bd$$

Центральные сечения для полиномиальных моделей (15), (16) представлены на рис.4, 5, а для моделей (17) и (18)— на рис.6, 7.

Полученные полиномиальные модели допускают дальнейшее упрощение, если отбрасываются малозначимые члены. Соответствующий анализ может быть легко проведён с использованием хорошо разработанных в теории планирования эксперимента статистических методов.

$$F_{max} = 2.697 - 0.095\tilde{x}_1 + 0.055\tilde{x}_2 + 0.141\tilde{x}_3 - 0.039\tilde{x}_4 - 0.000\tilde{x}_1^2$$

$$+ 0.017\tilde{x}_2^2 - 0.013\tilde{x}_3^2 + 0.001\tilde{x}_4^2 - 0.029\tilde{x}_1\tilde{x}_2$$

$$+ 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0.002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 - 0.003\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0.001\tilde{x}_2\tilde{x}_4$$

$$- 0.002\tilde{x}_3\tilde{x}_4$$

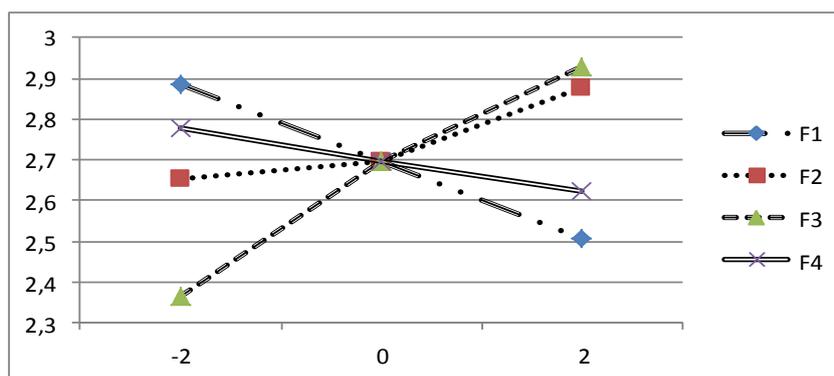


Рис.1. Центральные сечения модели F_{max}

$$\theta_{max} = 4,4 + 0,192\tilde{x}_1 - 0,502\tilde{x}_2 + 0,022\tilde{x}_3 + 0,015\tilde{x}_4 + 0,022\tilde{x}_1^2$$

$$+ 0,097\tilde{x}_2^2 + 0,032\tilde{x}_3^2 + 0,002\tilde{x}_4^2 - 0,028\tilde{x}_1\tilde{x}_2$$

$$- 0,028\tilde{x}_1\tilde{x}_3 + 0,002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 - 0,01\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0,003\tilde{x}_2\tilde{x}_4$$

$$- 0,003\tilde{x}_3\tilde{x}_4$$

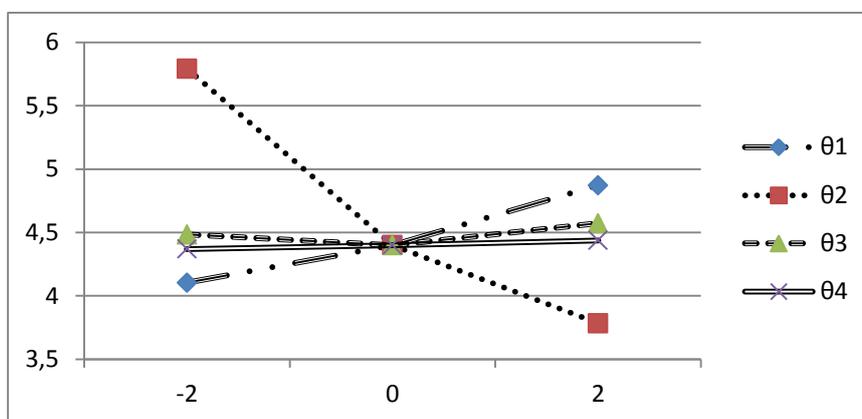


Рис.2. Центральные сечения модели θ_{max}

$$\begin{aligned} \eta(\theta_{max}) = & 2,968 - 0,212\tilde{x}_1 + 0,101\tilde{x}_2 + 0,180\tilde{x}_3 - 0,088\tilde{x}_4 \\ & + 0,003\tilde{x}_1^2 + 0,036\tilde{x}_2^2 - 0,031\tilde{x}_3^2 + 0,002\tilde{x}_4^2 - 0,069\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\ & + 0,001\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0,002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 - 0,003\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0,004\tilde{x}_2\tilde{x}_4 \\ & - 0,004\tilde{x}_3\tilde{x}_4 \end{aligned}$$

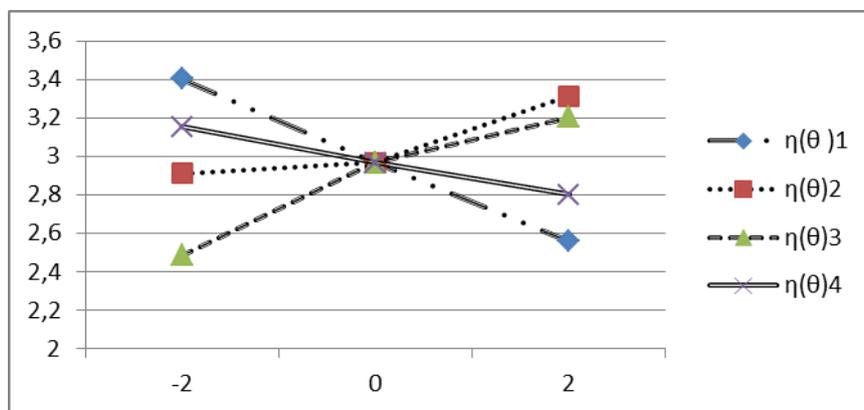


Рис.3. Центральные сечения модели $\eta(\theta_{max})$

$$\begin{aligned} F(\theta = 3) = & 1,37 - 0,104\tilde{x}_1 + 0,437\tilde{x}_2 + 0,020\tilde{x}_3 - 0,031\tilde{x}_4 \\ & + 0,005\tilde{x}_1^2 - 0,009\tilde{x}_2^2 - 0,026\tilde{x}_3^2 - 0,031\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\ & + 0,006\tilde{x}_1\tilde{x}_3 + 0,001\tilde{x}_1\tilde{x}_4 + 0,02\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0,009\tilde{x}_2\tilde{x}_4 \\ & - 0,02\tilde{x}_3\tilde{x}_4 \end{aligned}$$

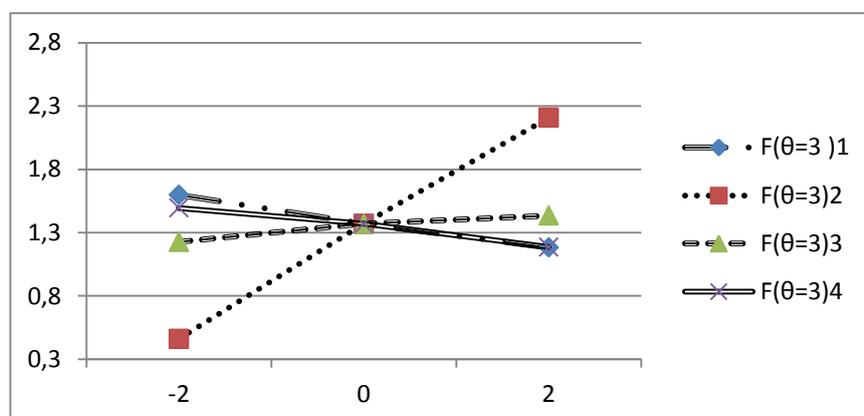


Рис.4. Центральные сечения модели $F(\theta = 3)$

$$\begin{aligned} \eta(\theta = 3) = & 0,738 - 0,124\tilde{x}_1 + 0,46\tilde{x}_2 - 0,006\tilde{x}_3 - 0,036\tilde{x}_4 \\ & + 0,010\tilde{x}_1^2 + 0,064\tilde{x}_2^2 - 0,028\tilde{x}_3^2 + 0,001\tilde{x}_4^2 - 0,072\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\ & + 0,009\tilde{x}_1\tilde{x}_3 + 0,004\tilde{x}_1\tilde{x}_4 + 0,011\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0,021\tilde{x}_2\tilde{x}_4 \\ & - 0,002\tilde{x}_3\tilde{x}_4 \end{aligned}$$

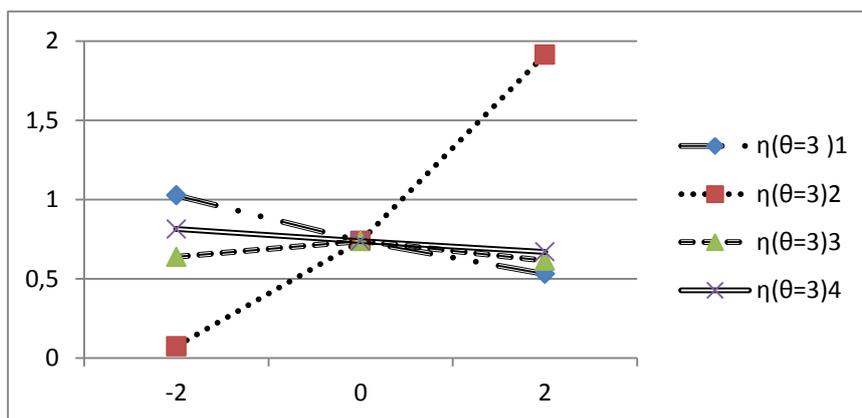


Рис.5. Центральные сечения модели $\eta(\theta = 3)$

$$\begin{aligned}
 F(\theta = 4) = & 2,507 - 0,174\tilde{x}_1 + 0,463\tilde{x}_2 + 0,074\tilde{x}_3 - 0,048\tilde{x}_4 \\
 & - 0,013\tilde{x}_1^2 - 0,166\tilde{x}_2^2 - 0,047\tilde{x}_3^2 + 0,004\tilde{x}_4^2 + 0,026\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\
 & + 0,009\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0,002\tilde{x}_1\tilde{x}_4 + 0,068\tilde{x}_2\tilde{x}_3 + 0,005\tilde{x}_2\tilde{x}_4 \\
 & - 0,003\tilde{x}_3\tilde{x}_4
 \end{aligned}$$

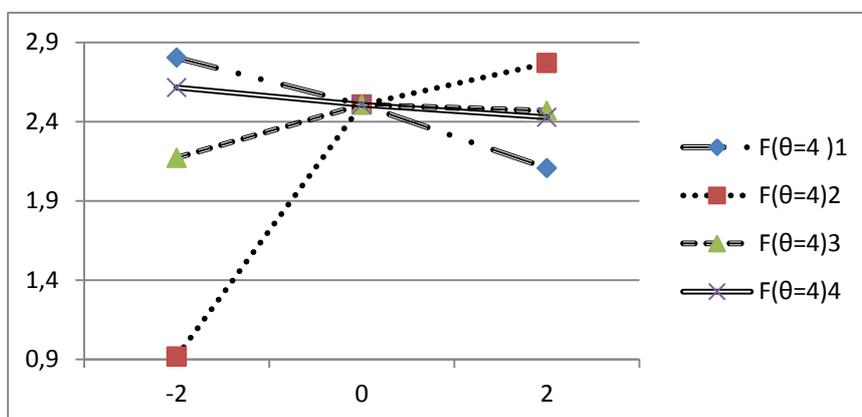


Рис.6. Центральные сечения модели $F(\theta = 4)$

$$\begin{aligned}
 \eta(\theta = 4) = & 2,560 - 0,332\tilde{x}_1 + 0,787\tilde{x}_2 + 0,057\tilde{x}_3 - 0,092\tilde{x}_4 \\
 & - 0,015\tilde{x}_1^2 - 0,222\tilde{x}_2^2 - 0,099\tilde{x}_3^2 + 0,012\tilde{x}_4^2 - 0,012\tilde{x}_1\tilde{x}_2 \\
 & + 0,010\tilde{x}_1\tilde{x}_3 - 0,123\tilde{x}_2\tilde{x}_3 - 0,008\tilde{x}_2\tilde{x}_4 - 0,004\tilde{x}_3\tilde{x}_4
 \end{aligned}$$

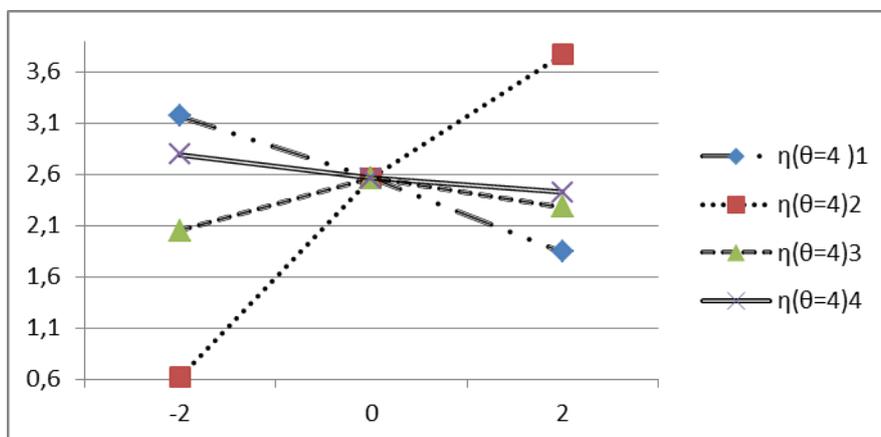


Рис.7. Центральные сечения модели $\eta(\theta = 4)$

-
1. Адлер Ю.П., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., 1976.
 2. Крамер Г. Математические методы статистики. М., 1975.
 3. Круг Г.К., Сосулин Ю.А., Фатуев В.А. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. М., 1977.
 4. Железовский Б.Е., Кальянов Э.В. Многочастотные режимы в приборах СВЧ.- М.: Связь, 1978.

ОБ ОДНОЙ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ОБУЧАЕМОСТИ УЧАЩИХСЯ

Железовский Б.Е., Белов Ф.А., Епифанова М.А.

В последние годы отмечается определённое понижение уровня знаний учащихся, поступающих в учебные заведения на естественнонаучные специальности. Эта тенденция начала проявляться относительно недавно. Так, по результатам Третьего международного исследования по оценке качества математического и естественно научного образования – TIMSS (Third International Mathematics and Science Study) – самого широкомасштабного по исследуемой проблематике проекта XX века, в котором приняли участие 45 стран с 1991 по 1999 годы, относительно учебного предмета «Физика» констатировалось, что подготовка выпускников школы к свободному использованию физических знаний в повседневной жизни не соответствует требованиям международного теста на физическую грамотность.

Известно, что современная парадигма гуманизации образования предопределяет изменение ценностных ориентиров и первостепенных задач школьного образования и переходу от чисто знаниевой парадигмы к личностно-ориентированной развивающей функции образовательного процесса. Однако, в любом случае знания были и остаются фундаментом развития личности в целом: «качество процесса обучения – необходимое условие всестороннего развития личности школьника...»[1].

В законе Российской Федерации об Образовании (стр.14, п.2) указывается на необходимость «обеспечить формирование у обучающихся адекватный современному уровень знаний... и адекватный мировому уровень общей и профессиональной культуры».

Решение указанной задачи возможно в том случае, если учащийся способен воспринимать в должной мере поступающую ему учебную информацию. Иными словами, речь идёт об обучаемости учащихся. Вряд ли можно отрицать, что эта характеристика личности является первостепенной для всего педагогического процесса.

В настоящей работе речь не идёт о поиске и внедрении в образовательный процесс специально ориентированных форм и методов преодоления указанного серьёзного препятствия в обучении школьника. Можно лишь предварительно предположить, что решение проблемы связано с внедрением в процесс обучения современных высокоэффективных педагогических технологий, в частности, мультимедийных, когда помимо абстрактно-логических построений

учащийся получает образное представление изучаемых физических объектов, способствующее его эмоционально-чувствительному восприятию. Как отмечают психологи, при этом в процесс познания включаются сразу два полушария головного мозга.

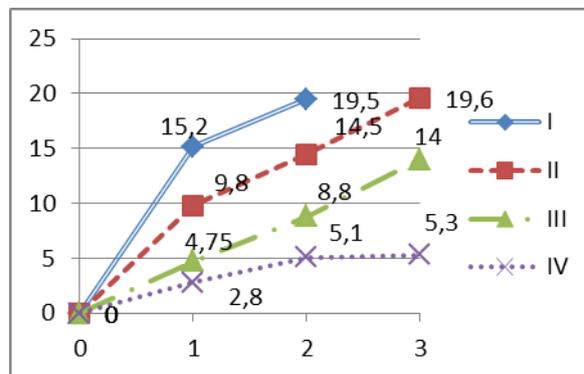
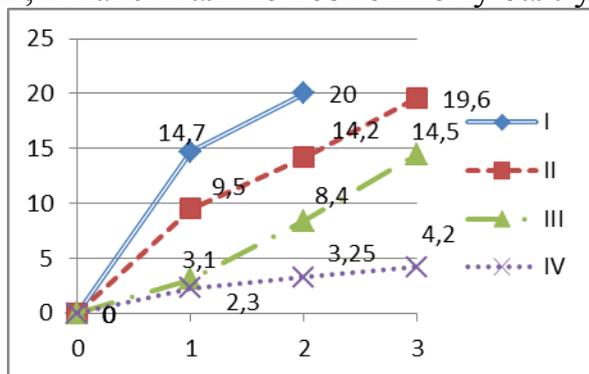
В этой связи небезынтересно высказывание: «Я услышал и – забыл, я увидел и – запомнил», которое подтверждается и психолого-педагогическими исследованиями, согласно которым при пассивном восприятии информации школьники сохраняют в памяти 10% того, что читают, 20% того, что слышат, 30% того, что видят, 50% того, что видят и слышат.

Для определения степени обучаемости учащимся 10-го и 11-го классов была прочитана одна из тем урока с добавочным материалом, расширяющим чисто учебные знания, взятым из сети Интернет и было предложено письменно ответить на 15 поставленных вопросов. Через определённые промежутки времени тот же материал был кратко повторен и учащиеся отвечали практически на те же вопросы с незначительными вариациями. Ответы оценивались по 20-бальной системе. Результаты исследований для 47 школьников 10-го класса представлены на рис.1, а для 42 школьников 11-го класса – на рис.2.

По горизонтали указаны номера тестов, а по вертикали полученные баллы по 20-бальной системе оценивания.

Особое внимание следует обратить на то, что можно достаточно чётко выделить в каждом случае четыре группы участников эксперимента, которые получали близкие оценки. Их усреднённые значения приводятся на рисунках.

Степень обучаемости школьников α оценивалась отношением среднего балла, набранного соответствующей группой учащихся после 3-го тестирования, к максимально возможному баллу.

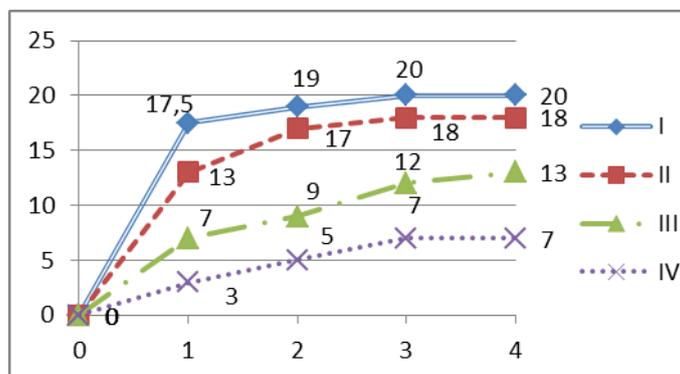


Нетрудно видеть, что к первой группе учащихся следует отнести тех, у которых $\alpha = 1$ (это 42,6% учащихся 10-х классов и 50% - 11-х классов); ко 2-ой группе $\alpha = 0,975$ (25,5% учащихся 10-х классов и 31% - 11-х классов). К третьей группе учащихся 10-х классов относятся 21,3%, со значением $\alpha = 0,725$ и 12% учащихся 11-х классов с $\alpha = 0,7$. К низкому уровню обучаемости (10,6% учащихся 10-х классов и 7% - 11-х классов) следует отнести учащихся соответственно с $\alpha = 0,21$ и $\alpha = 0,265$.

Полученные экспериментальные данные могут оказаться полезными при планировании работы в классе и организации индивидуализации обучения.

Вызывает определённую тревогу данные исследования студентов 1-го курса, которые по окончании обучения должны стать учителями физики.

После прочтения половины лекций, предусмотренных учебным планом, был проведён коллоквиум, после чего не прошедшие его в должной степени получили консультацию по полному прочитанному курсу и были подвергнуты проверке вторично. Эта процедура проводилась в дальнейшем ещё 2 раза. Результаты представлены на рис.3. Оценка знаний проводилась также по 20-балльной шкале.



Всего в проверке участвовало 14 первокурсников. Степень обучаемости вычислялась после 4-го опроса. Низкий уровень обучаемости в значительной степени связан с низким уровнем преподавания физики в соответствующих школах города и области. Многие из отстающих объяснили свои низкие показатели в учёбе частой заменой уроков физики другими дисциплинами, по которым учащиеся сдавали единый государственный экзамен. Как правило, этим предметом было обществознание. Оно же учитывалось и при поступлении на кафедру по направлению «Педагогическое образование» профиль «Физика», то есть при подготовке учителей физики.

В заключение следует отметить, что коэффициент обучаемости присутствует в уравнении учебного процесса [2,3].

1. Зарецкая И.И., Ломизе Л.С. Формирование личности – цель воспитания // Советская педагогика.- 1989, №12, с.41-48.

2. Железовский Б.Е., Мынков В.С. Об одной возможности использования нейронных сетей в педагогике// Исследование в области естественных наук и методики их преподавания. Саратов, ООО Издат. центр «Наука», 2011, с.66-72.

3. Епифанова М.А., Железовский Б.Е., Козырев А.П. Анализ логистического мотивационно-зависимого уравнения учебного процесса// Исследования по физике и методике её преподавания, Саратов, Издат. Центр «Наука»

ПАРАМЕТРЫ РС ЦЕПИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ КОНВЕРСИИ

Железовский Б.Е., Козырев А.П.

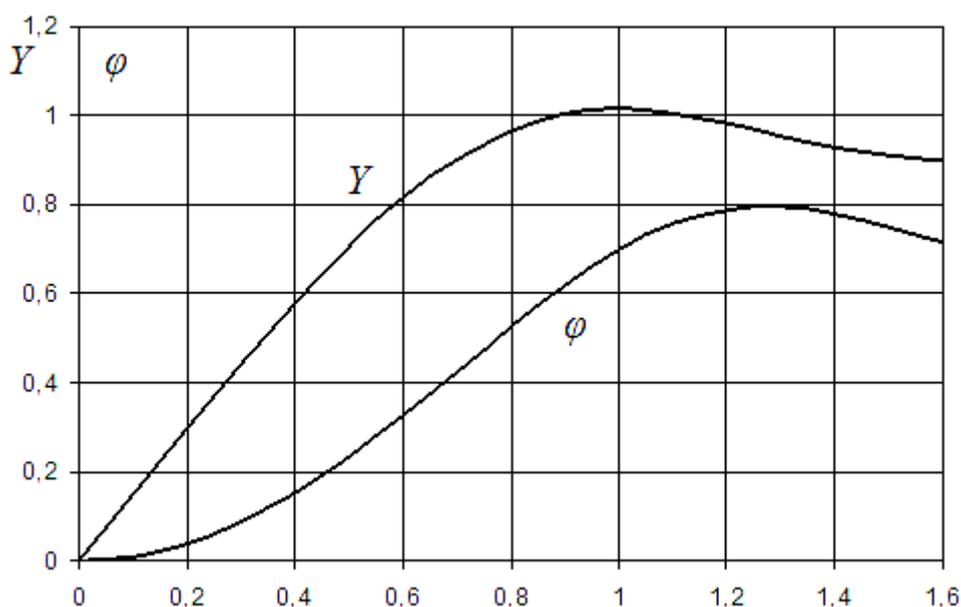
Амплитудно-фазовая конверсия (АФК)– изменение фазовых сдвигов в выходных сигналах в зависимости от изменения мощности входных сигналов

при работе радиотехнических устройств [1], в частности ЛБВ. Это подтверждается в результате эксперимента, а также при компьютерном моделировании работы ЛБВ с использованием системы уравнений[2]. В [1] на странице 38 опубликованы выходные амплитудная и фазоамплитудная характеристики, которые аппроксимированы полиномами:

$$Y(X) = 1.506X - 0.2803X^3 - 0.4769X^5 + 0.3454X^7 - 0.0869X^9 + 0.0076X^{11}, \quad (1)$$

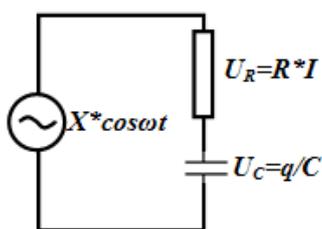
$$\varphi(X) = \arctg \frac{-0.0165 + 1.006X^2 - 0.34X^4 - 0.0696X^6 + 0.0508X^8 - 0.0064X^{10}}{1.007 - 0.0903X^2 - 0.4172X^4 + 0.369X^6 - 0.1076X^8 + 0.0105X^{10}}, \quad (2)$$

где X амплитуда входного сигнала, Y амплитуда выходного сигнала. Результаты расчетов по этим формулам приведены на графике:



Экспериментальные измерения и компьютерное моделирование амплитудно-фазовой конверсии ЛБВ во многом сопряжено с большими затратами. Избежать подобные трудности можно используя модель радиотехнического устройства с АФК в виде последовательно соединенных резистора и конденсатора с нелинейными параметрами.

Рассмотрим цепь, в которой последовательно включены источник тока с напряжением $E = X \cos \omega t$, сопротивление R и конденсатор C :



Для данной цепи выполняется соотношение $RI + q/C = X \cos \omega t$, дифференцируя которое и пользуясь тем, что $\frac{dq}{dt} = I$, получим уравнение

$$R \frac{dI}{dt} + \frac{I}{C} = -X\omega \sin \omega t. \quad (3)$$

Решение этого уравнения ищется в виде $I = Y \cos(\omega t + \varphi)$. Подставив решение в уравнение и произведя алгебраические преобразования,

найдем: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega RC}$, $Y = \frac{X}{\sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}}$.

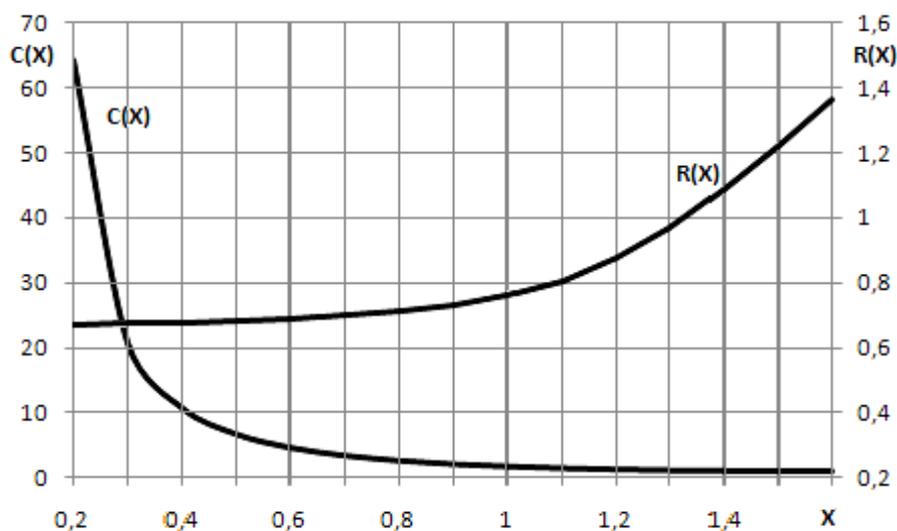
Из данных выражений можно получить: $C = \frac{Y}{X\omega \sin \varphi}$, $R = \frac{X \cos \varphi}{Y}$.

Окончательно, если использовать (1) и (2), то можно записать:

$$C(X) = \frac{1.506 - 0.2803X^2 - 0.4769X^4 + 0.3454X^6 - 0.0869X^8 + 0.0076X^{10}}{\omega(-0.0165 + 1.006X^2 - 0.34X^4 - 0.0696X^6 + 0.0508X^8 - 0.0064X^{10})}$$

$$R(X) = \frac{1.007 - 0.0903X^2 - 0.4172X^4 + 0.369X^6 - 0.1076X^8 + 0.0105X^{10}}{1.506 - 0.2803X^2 - 0.4769X^4 + 0.3454X^6 - 0.0869X^8 + 0.0076X^{10}}$$

Результаты расчетов по этим формулам для $\omega=1$ приведены на графике:



Анализируя характер изменения $C(X)$ и $R(X)$ можно прийти к выводу, что явление амплитудно-фазовой конверсии, по параметрам близким к тем, которые имеются у ЛБВ, можно наблюдать у RC цепи, если, например, вместо конденсатора использовать варикап. Зависимость емкости варикапа от приложен-

ного напряжения u описывается выражением [3] $C(u) = C_0 \sqrt{1 + \frac{u}{0.75}}$, C_0 — емкость варикапа при нулевом обратном напряжении.

1. Амплитудно-фазовая конверсия/Под ред. Крылова Г.М.—М.: Связь, 1979.—256 с., ил.
2. Железовский Б.Е., Кальянов Э.В. Многочастотные режимы в приборах СВЧ. -М.: Связь. 1978, -256 с., ил.

3. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. – М.: Радио и связь. 1982, -280 с., ил.

ПРОСТОЙ ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СКВАЖНОСТЬЮ

Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г., Тверикин К.С.

Большинство современных импульсных источников питания радиоэлектронной аппаратуры (*РЭА*) в своем составе содержат задающий генератор, работающий совместно с двухтактным усилителем мощности. Для оптимизации режима работы транзисторов инвертора необходимо исключить сквозной ток через них. Это достигается тем, что они открываются импульсами, имеющими так называемое «мертвое время»: задний фронт управляющего импульса одного плеча усилителя мощности на некоторое время τ запаздывает относительно переднего фронта импульса, открывающего транзистор другого плеча.

В работе [1] предложен задающий генератор, вырабатывающий импульсы, отвечающие вышеуказанным требованиям. При этом величина τ имеет фиксированное значение, равное четвертой части периода рабочей частоты.

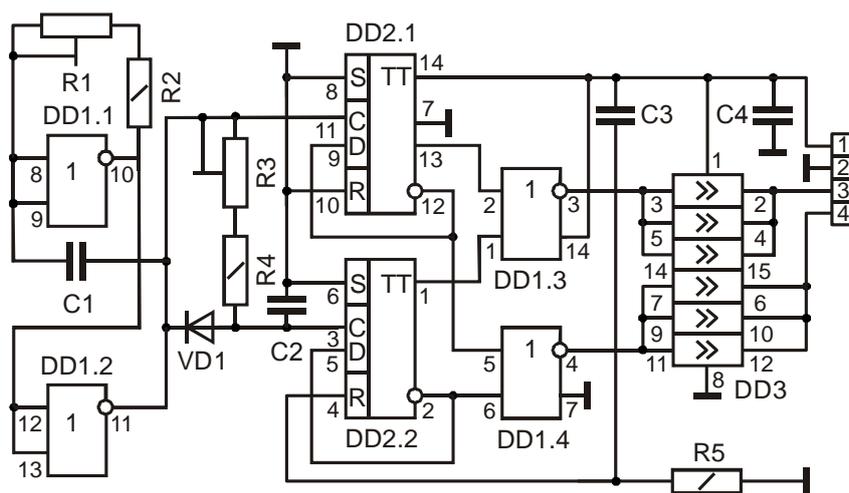
Как показал анализ сайтов интернета, эта схема пользуется большой популярностью у конструкторов *РЭА*.

Однако в ряде случаев может возникнуть необходимость в регулировании «мертвого времени». Так, например, при использовании в силовых ключах мощных быстродействующих транзисторов величину τ вполне можно уменьшить. Если же в силу интегрирующих проявлений цепей импульсы, поступающие на управляющие электроды инверторов «расширяются», «мертвое время» приходится уменьшать. Такие возможности авторам удалось реализовать при доработке электрической схемы генератора работы [1]. При этом для достижения устойчивости работы генератора область регулирования τ пришлось разбить на два диапазона $T < \tau < T/4$ и $T/4 < \tau < 0$. Каждому из данных участков соответствует своя схема устройства, отличающаяся только способом начальной установки триггера. Кроме того, в обоих вариантах, электрические схемы которых приведены на рис. 1, дополнительно используется микросхема преобразователя уровней сигнала, выполняющая в данном случае роль усилителя мощности. Такая новация упрощает согласование слаботочного выхода *КМОП* инвертора с входом возможного каскада, подключаемого к генератору.

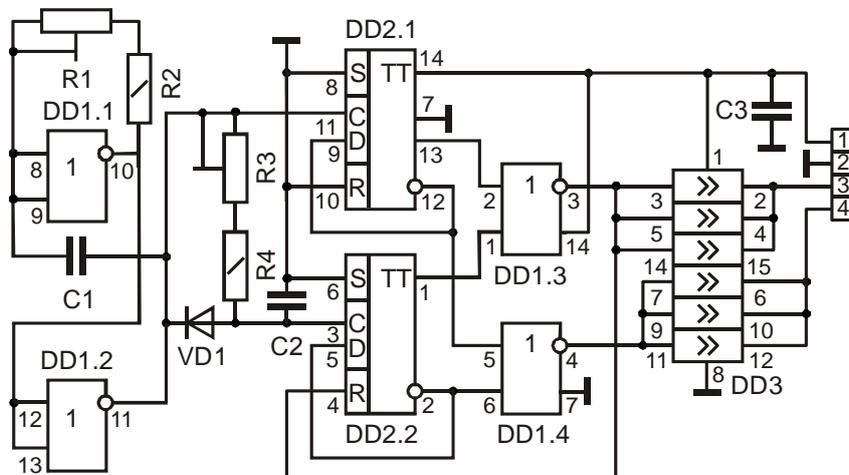
Величины емкости конденсатора $C1$ и резисторов $R1$ и $R2$ определяют частоту выходных импульсов генератора. Подстройка их частоты осуществляется триммером $R1$, а скважности – резистором $R4$. По окончании действия каждого импульса фазосдвигающий конденсатор разряжается через диод $VD1$.

В варианте *a* триггер *DD2.4* устанавливается импульсом, поступающим на его вход *R* в результате зарядки *C3* через резистор *R5* при включении питания. Во втором случае этот импульс подается с инверсного выхода логического элемента *DD1.3*.

При использовании микросхем 561 серии и напряжении питания 12 вольт ток, потребляемый генератором, не превышает 5 мА. Устройство содержит небольшое количество навесных деталей и при правильном монтаже и выборе номиналов элементов не нуждаются в наладке.



a)



б)

Рис. 1. Схемы вариантов генератора

В заключение заметим, что функция изменения величины «мертвого времени» может быть использована для подстройки выходного напряжения импульсного источника питания на основе предложенного задающего генератора.

1. Бирюков С., Радио №7, 1990.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ЛИНЗИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ В СРЕДЕ MATHCAD-15

Васильев А.Е., Жаворуева М.Е., Рачков В.А.

Явление гравитационного линзирования световых лучей космическими объектами привлекает в последние годы все большее внимание астрофизиков. Это явление – незаменимый инструмент астрофизических исследований. Оно не только позволяет наблюдать объекты излучения, недостижимые для оптических приборов в обычной ситуации, но и снабжает исследователей ценной информацией как об источнике света, так и о линзирующем объекте. В частности, благодаря гравитационному линзированию на скоплениях и сверхскоплениях галактик получают изображения сверх далеких объектов, недоступных для наблюдения какими либо другими способами. В последнее время проводятся перспективные исследования так называемой темной материи - несветящихся маломассивных объектов, в том числе, принадлежащих гало нашей Галактики, с помощью так называемого микролинзирования. Фиксируемое изменение видимого блеска звезд позволяет оценить параметры этих неизлучающих тел, таким образом, раскрывая их загадочную природу.

В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования траекторий световых лучей, искажаемых гравитационным полем как точечных, так и протяженных (сферически симметричных) объектов. В основу математической модели положены известные соотношения общей теории относительности, согласно которым, угол отклонения светового луча при прохождении мимо массивного объекта $\theta = \frac{4GM}{c^2 \cdot p}$ вдвое больше предсказываемого

классической теорией. При этом предполагается, что центр объекта (в форме шара), создающего гравитационное поле, и наблюдатель находятся на одной прямой, с которой совпадает координатная ось x . С учетом предполагаемой азимутальной симметрии, траектория светового луча $y = f(x)$ плоская. По сути дела, задача сводится к решению дифференциального уравнения траектории

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -a \cdot M(r) \frac{y(x)}{[y(x)^2 + x^2]^{1.5}}, \quad (1)$$

где параметр a (с учетом поправки ОТО)

$$a = \frac{8\pi G \cdot m_p^2 \cdot \rho_0}{c^2}. \quad (2)$$

В качестве начальных условий для уравнения (1) предусматривалось задание координаты источника $y(0) = y_0$, и наклона начальной траектории луча $y'(0) = p_0$. Кроме этого, блок начальных параметров предусматривал задание

нормирующих множителей для расстояний (m_p) и плотности вещества гравитирующего объекта (ρ_0); закона распределения плотности по радиусу объекта; горизонтальной координаты (x_0) источника света и координаты наблюдателя ($x_k; 0$); радиуса массивного сферического тела (r_0).

Моделирование траектории светового луча проводилось с помощью интегрированной системы решения математических, инженерно-технических и научных задач MathCAD 15.0. Выбор этой программной среды обусловлен тем, что ее мощная вычислительная база позволяет осуществлять расчеты по сложным математическим формулам, она имеет большой набор встроенных математических функций, позволяет производить визуализацию результатов вычислений.

Предусматривались две версии модели гравитационного линзирования. Первая модель предполагала рассмотрение сверх массивных сферических объектов с параметрами, характерными для скоплений и сверхскоплений галактик – по средней плотности вещества, линейным размерам и общей массе, что учитывалось соответствующим выбором нормирующих множителей (1 Мпк по линейным размерам, $10^{-20} \dots 10^{-18}$ кг/м³ для средней плотности вещества). При этом результатом работы программы являлись траектории уединенного светового луча от источника света до наблюдателя, включая область протяженного массивного объекта.

Вторая модель предназначалась для иллюстрации эффекта микролинзирования, когда искривление световых лучей, проходящих вблизи сравнительно небольших по размерам и массам объектов, не позволяло получить различных изображений источников света. Здесь характерные значения нормировочных множителей были 1 кпк и 10^{-9} кг/м³. В этом случае наблюдаемым результатом линзирования является изменение видимого блеска звезд фона, что дает информацию о невидимых маломассивных объектах, играющих роль слабых гравитационных линз.

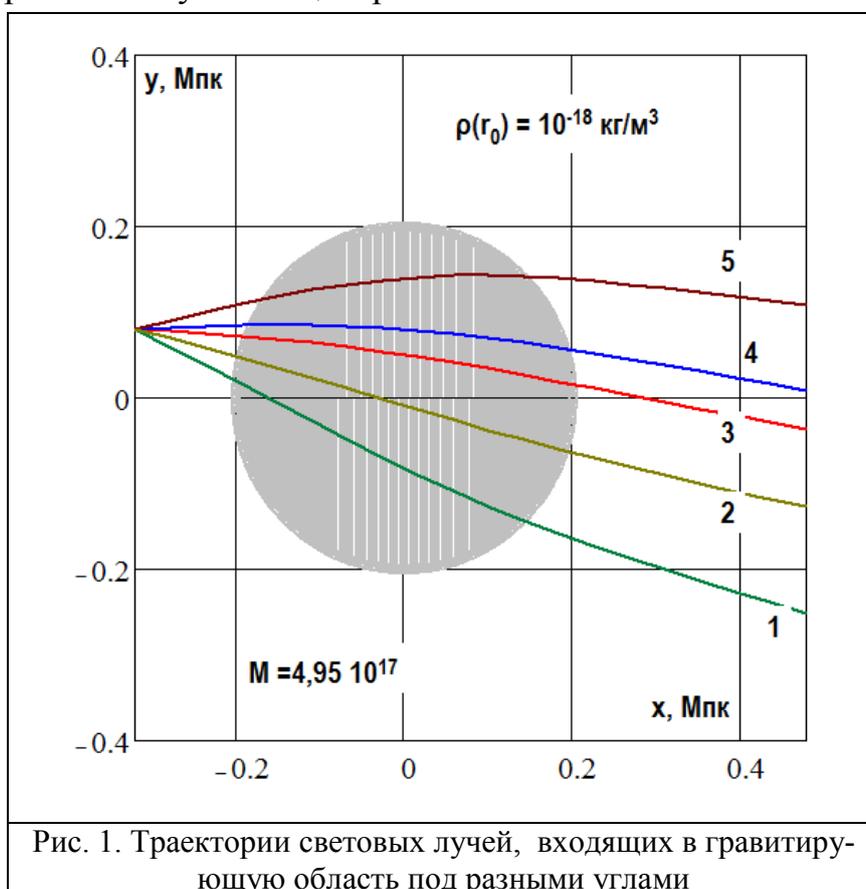
И в той, и в другой модели решение уравнения (1) проводилось с помощью встроенной функции Odesolve с параметрическим заданием начальных параметров: начальных значений функции и ее производной, начальное и конечное значения переменной интегрирования. При этом в первой модели область интегрирования разбивалась на три зоны: 1) начальный участок траектории светового луча – от источника до массивного объекта; 2) внутри сферической области с распределенной массой; 3) конечный участок траектории – от границ объекта до наблюдателя. В зависимости от исходных данных, расчет траектории луча проводился только в одной зоне, если луч не попадает в область массивной сферы, или во всех трех зонах в противном случае. Во всех трех зонах решались похожие дифференциальные уравнения, отличающиеся лишь значе-

ниями коэффициентов и начальных условий.

Границы зон определялись из условий пересечения лучом поверхности сферы; при этом значения $(x_{ek}; y_{ek})$, $y'(x_{ek})$ использовались в аргументах функции Odesolve для задания начальных условий во 2-й и 3-й зонах. В 1-й и 3-й зонах интегрирования в дифференциальное уравнение входит масса всей сферы $M(r_0)$; в зоне 2 учитывалась лишь масса объекта $M(x,y)$, попадающая во внутреннюю цилиндрическую область пространства, образующей для которой является траектория светового луча.

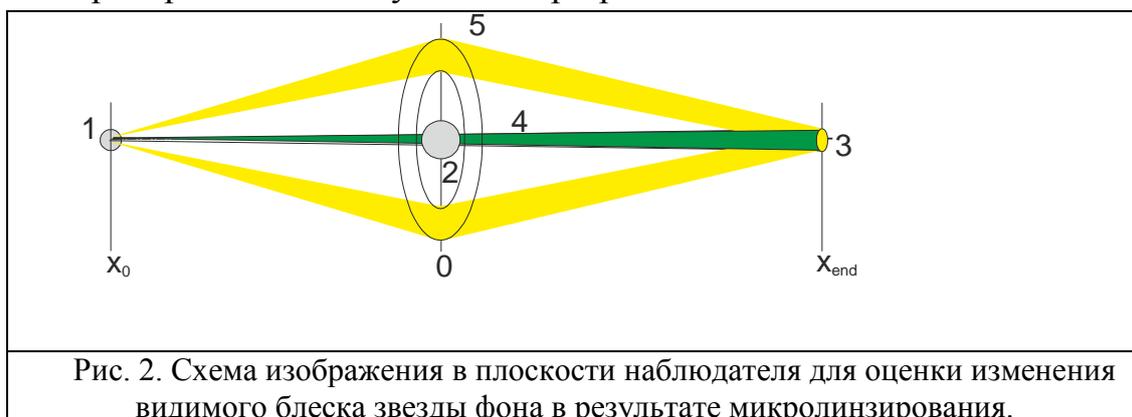
Функция Odesolve возвращает матрицу для построения графика «фронт Парето» во всем интервале переменной интервала интегрирования, или на любой его части. Поэтому результаты расчетов могли быть представлены либо сразу в виде графика, либо могли накапливаться (для сбора статистики) в виде матриц (задаваемого объема) в специальных файлах с помощью процедуры WRITEPRN.

В качестве примера расчетов по первой модели, на рис. 1 представлены траектории световых лучей, пронизывающих массивную сферическую область ($M = 4,95 \cdot 10^{17} M_0$) при попадании в нее под разными углами. Распределение плотности объекта по радиусу в представленном примере имеет параболический характер с максимумом в центре.



Отклонение траекторий лучей от прямолинейных в данном случае весьма заметно. На рисунке представлен лишь небольшой участок зоны 3, т. е. после

прохождения света через гравитирующий объект. В принципе, программа позволяет найти точки пересечения лучей, т. е. изображения источника света с помощью перебора начальных условий при расчете.



Во второй модели использовалась только одна (1-ая) зона интегрирования, поскольку размеры гравитирующего объекта были значительно меньше расстояний от источника световых лучей до объекта, и от объекта до наблюдателя. Размеры сферических объектов, влияние гравитации которых на траекторию световых лучей, как раз и исследовалось, принимались равными солнечным по порядку величины; масса объектов варьировалась от 0,1 до 10^9 от массы Солнца.

Оценка величины изменения видимого блеска проводилась с помощью следующего приема: для некоторой (небольшой) области в плоскости наблюдения (перпендикулярной оси x) выделялся телесный угол Ω_0 с вершиной в точечном источнике световых лучей (звезда фона), траектории которых не искажались гравитационным полем объекта. Схематично, ход световых лучей показан на рис. 3. Здесь источник (1); объект, создающий искажающее гравитационное поле (2) и наблюдатель (3) располагаются на одной прямой. При отсутствии объекта в центре, световые лучи источника в пределах конуса (4) с телесным углом Ω_0 попадают на площадку в плоскости наблюдателя. В присутствии объекта в центре его тяготение искажает ход световых лучей; падающий на ту же площадку световой поток через кольцевой конус (5), телесный угол которого равен Ω_1 . Величина этого телесного угла определялась с помощью перебора угла наклона лучей, идущих от источника. Полагая, что излучение звезды фона изотропно, можно считать световые потоки, попадающие на приемное устройство при отсутствии (E_0) и наличии (E_1) искажения траекторий пропорциональными величинам телесных углов Ω_0 и Ω_1 соответственно.

Благодаря тому, что источник световых лучей и наблюдатель находились на оси симметрии всей системы, отношение освещенностей приемного устройства при наличии и отсутствии эффекта микролинзирования выражалось простой

формулой:

$$b = \frac{E_1}{E_0} = \frac{\Omega_1}{\Omega_0} = \frac{\theta_{12}^2 - \theta_{11}^2}{\theta_0^2} \quad (3)$$

Здесь плоские углы θ_{11} и θ_{12} определяют внутреннюю и внешнюю границы телесного угла Ω_1 , а плоский угол θ_0 определяет телесный угол Ω_0 .

В качестве примера результатов моделирования, на рис. 3 представлены зависимости коэффициента увеличения видимого блеска звезды фона в результате микролинзирования от расстояния $D_{\text{набл}}$ от гравитирующего объекта до наблюдателя. В качестве параметра кривых выбрана масса объекта, выраженная в солнечных единицах. Расстояние между объектом (его радиус был выбран равным радиусу Солнца, $r_0 = R_0$) и звездами фона было выбрано 10 кпк, что соответствует расстояниям до звезд сферической подсистемы Галактики. Представленные зависимости показывают, что в результате эффекта микролинзирования возможно существенное изменение видимого блеска звезд фона даже при попадании на луч зрения маломассивных объектов с $M = (0,01...1)M_0$.

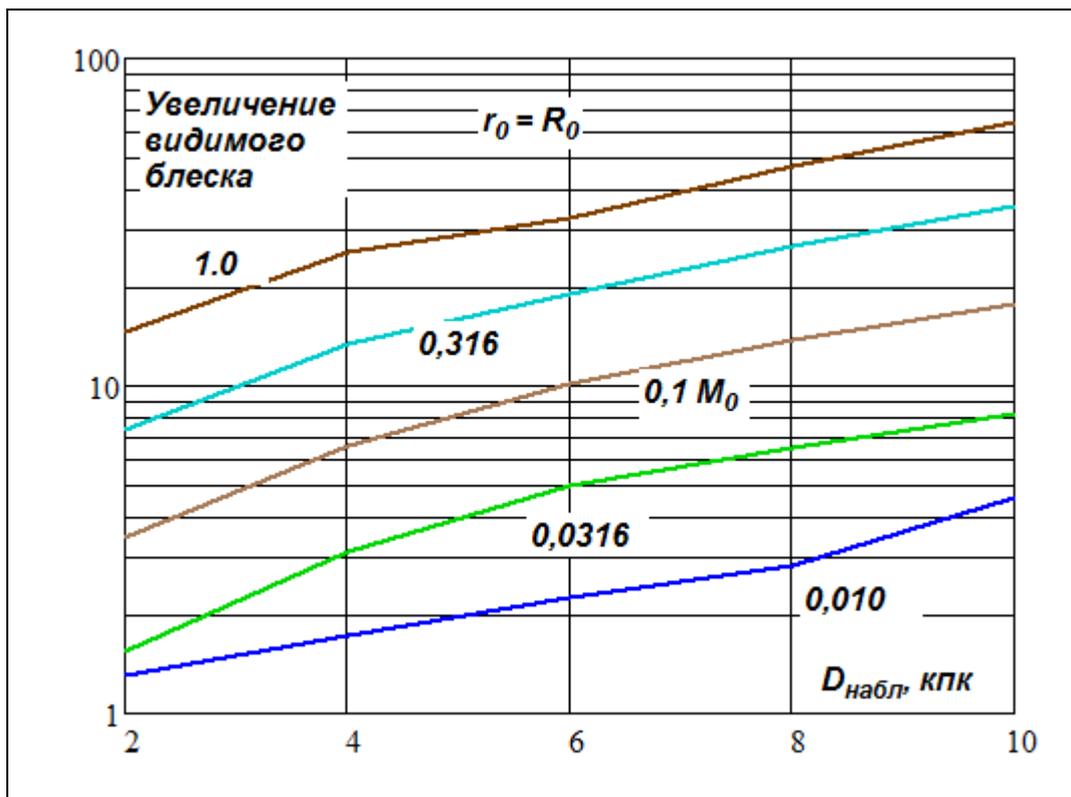


Рис. 3. Увеличение видимого блеска звезд в результате микролинзирования объектами различной массой в зависимости от расстояния до наблюдателя

Предлагаемая программа моделирования эффектов гравитационного линзирования в среде Mathcad-15 дает наглядную интерпретацию достаточно важного физического явления, и может быть использована в качестве компьютерной демонстрационной программы при обсуждении данной темы в курсе «Астрономия». Предполагается также использование этой программы для проведе-

ния компьютерной лабораторной работы по курсу астрономии.

1. Блюх П.В., Минаков А.А. Гравитационные линзы. - М.: Знание, 1990. С. Соровский образовательный журнал, т. 7, 8, 2001 г.
2. Черепашук А.М.. Гравитационное микролинзирование и проблема скрытой массы. – М: МГУ, 2000.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОГРАММ MATHCAD 15 ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ПЯТНА ПУАССОНА В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

Васильев А. Е., Рачков В. А.

Демонстрация пятна Пуассона в СВЧ диапазоне может быть проведена с использованием генератора СВЧ на диоде Ганна [1,2]. Использование пакета прикладных математических программ Mathcad 15 дает возможность дать наглядную теоретическую интерпретацию результатам демонстрационного эксперимента. В ее основе, как и во многих работах по дифракции, лежит принцип Гюйгенса – Френеля; предполагается также, что на диск по нормали падает плоская электромагнитная волна. Вторичные когерентные волны, попадающие в определенную точку наблюдения на экране, можно выразить в ком-

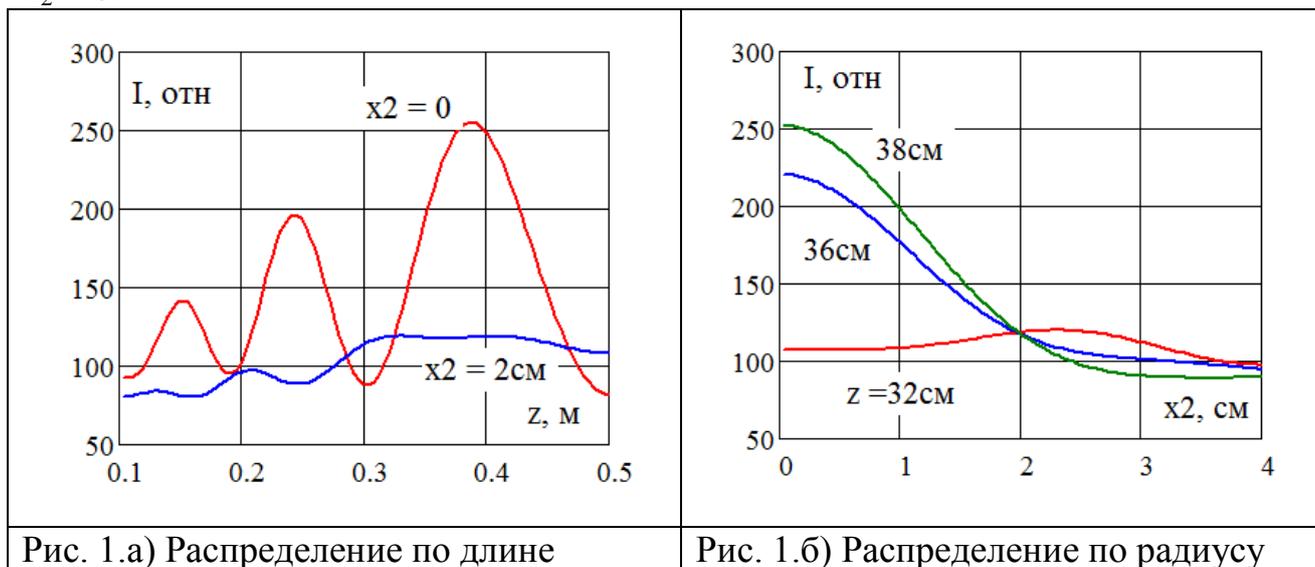
плексной форме $E = E_0 \frac{f(\alpha)}{\lambda \cdot r} \cdot e^{i \frac{2\pi}{\lambda} r}$ (1), где $f(\alpha)$ – некоторая функция угла α

между нормалью к фронту волны и направлением на точку наблюдения, близкая к 1 при малых углах; r – расстояние до точки наблюдения. Дифракционная картина на экране формируется в результате интерференции вторичных волн; но в отличие от общепринятого подхода с использованием зон Френеля результат интерференции в некоторой точке наблюдения можно получить непосредственным численным интегрированием функции (1) по открытой поверхности волнового фронта.

$i := \sqrt{-1}$	$k := \frac{2\pi}{\lambda}$	$E_0 := 1$	$w(u) := \cos(u)^2$
$r2(x2, \theta2, r) := \sqrt{r^2 - (x2 \cdot \sin(\theta2))^2} - x2 \cdot \cos(\theta2)$		$r1(x2, \theta2, r, z) := \sqrt{r2(x2, \theta2, r)^2 + (z)^2}$	
$\alpha(x2, \theta2, r, z) := \text{atan}\left(\frac{r2(x2, \theta2, r)}{z}\right)$		$E(x2, \theta2, r, z) := \frac{E_0 \cdot w(\alpha(x2, \theta2, r, z))}{\lambda \cdot r1(x2, \theta2, r, z)} e^{i \cdot k \cdot r1(x2, \theta2, r, z)}$	
$r0 := 3 \cdot r_0$	$F(x2, z) := 2 \cdot \int_{r_0}^{r0} \left(\int_0^\pi r \cdot E(x2, \theta2, r, z) d\theta2 \right) dr$		$I(x2, z) := (F(x2, z))^2$

Таблица 1. Фрагмент документа Mathcad 15, реализующий вычисление интенсивности волны в точке наблюдения $I(x2, z)$; здесь $x2$ – расстояние от оси симметрии, z – расстояние от диска (радиусом r_0) до плоскости наблюдения

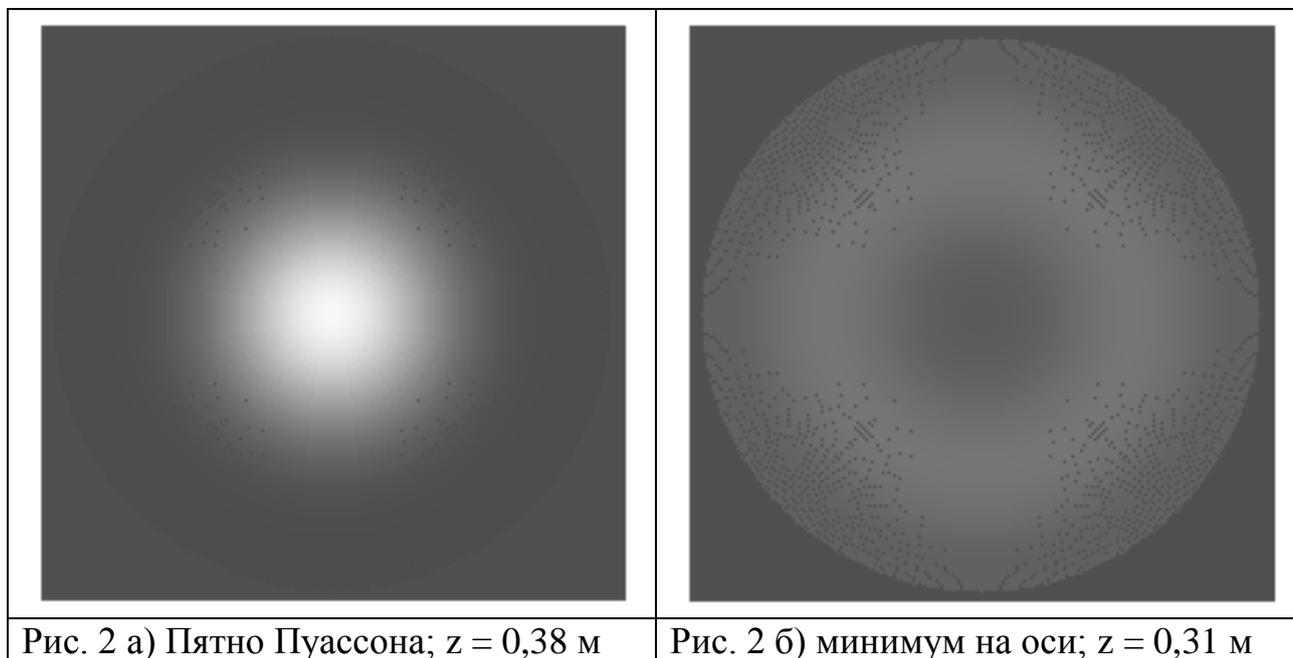
Для используемых в экспериментах значений параметров $r_0 = 90$ мм; $\lambda = 3$ см расчетные уровни интенсивности ЭМ волны I (в относительных единицах) показаны на рис. 1. Зависимость I на оси системы ($x_2 = 0$) от расстояния z между диском и плоскостью наблюдения имеет явно выраженный осциллирующий характер (рис. 1а). При удалении точки наблюдения (на 2 см) от оси зависимость становится плавной. В явном виде радиальное распределение интенсивности от радиальной координаты в плоскости наблюдения показано на рис. 1 б) в точках минимума ($z = 32$ см), максимума ($z = 38$ см) и в промежуточной точке ($z = 36$ см). Так называемое «пятно Пуассона» – светлое пятно в области геометрической тени – соответствует максимуму интенсивности при $z = 38$ см и $x_2 = 0$.



Для формирования расчетной дифракционной картины в плоскости наблюдения использовались следующие фрагменты документа Mathcad 15.

<pre> R := for u ∈ 1..N1 for r ∈ 1..N2 dr_{r,u} ← I((r / (25·N2), u·0.004 + 0.1)) dr </pre> <p>Заполнение матрицы интенсивностей: строки - радиальная координата x₂; столбцы - продольная координата z.</p> <p>Формирование матрицы изображений с уровнями "свет-тень" 255...80</p>	<pre> WRITEPRN("RZ1.prn") := R R1 := READPRN("RZ1.prn" Z1 := scale(R1, 80, 255) D(z) := for j ∈ 1..2n for l ∈ 1..2m dj,l ← 80 u ← trunc[(z - 0.1)250] for r ∈ 1..N2 dd ← Z1_{r,u} for o ∈ 1..N3 j ← n + trunc(r·sin((2·π·o) / N3)) l ← m + trunc(r·cos((2·π·o) / N3)) dj,l ← dd d </pre>
<p>Таблица 2. Формирование матрицы изображений дифракционной картины</p>	

На рис. 2 представлены расчетные изображения дифракционной картины в плоскости наблюдения для $z = 0,38$ м – максимум (пятно Пуассона), и $z = 0,31$ м – минимум интенсивности. «Действительный» размер изображения на экране имеет радиус 4 см.



1. Рачков В. А., Лебедев Е. Л. Применение электронного осциллографа в школьном физическом эксперименте. Методические рекомендации для учителей и студентов педагогических ВУЗов. Сар.ИПКРО, 1994 г.

2. Недогреева Н.Г., Рачков В.А., Романова Н.В. Вариант спецкурса «Изучение свойств электромагнитных волн», Актуальные направления развития современной физики и методики её преподавания в ВУЗе и школе. Материалы VI Международной науч. практ. конференции, г. Борисоглебск, 2011.

УДК 669.52.13:549.514.52

НОВЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Чесноков Борис Павлович, Саратовский госагроуниверситет им. Н. И. Вавилова
Шешукова Мария Дмитриевна, Саратовский госагроуниверситет им. Н. И. Вавилова
Наумова Ольга Валерьевна, Саратовский госагроуниверситет им. Н. И. Вавилова

Традиционные невосполняемые источники электроэнергии (нефть, газ, торф, уголь и т.п.) постепенно истощаются, что вынуждает человечество искать новые пути генерирования электроэнергии. Решить энергетические проблемы возможно благодаря использованию нетрадиционных источников энергии как ветер, термальные воды и особенно солнце. Практически во многих странах

мира применяют солнечную энергию, включая и северные государства, как Швеция, Финляндия и Канада, которая позволяет обеспечить значительную экономию топлива и резко снизить загрязнение окружающей среды. Для решения этой проблемы правительство России приняло программу развития альтернативной энергетики – «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года». В связи с этим в районах, не имеющих снабжения электричеством, солнечная энергия может стать доминирующим децентрализованным источником энергии благодаря ее практически неограниченному ресурсу.

Одной из проблем солнечных батарей является низкий КПД работы фотоэлемента и другие энергетические показатели, связанные с конструктивными и технологическими особенностями. Для устранения недостатков разрабатываются новые конструкции батарей, усовершенствуются технологии получения материалов, решаются проблемы по использованию как фронтальной, так и тыльной поверхности солнечного элемента. Большие усилия прилагаются к конструированию новых светоизлучательных устройств на базе нанокристаллов кремния, а также путем создания в полупроводниковых системах гетеропереходов [1].

Основу прогресса в солнечной энергетике могут составить разработки прогрессивных технологий при переработке минерального сырья для получения полупроводниковых материалов, основанных на новых принципах конвергенции. Недостаточный приток капитальных вложений в добывающие и перерабатывающие отрасли привел к структурной диспропорции между потребностями в сырье и возможностями их удовлетворения. Ограниченность доступных для освоения природных ресурсов сдерживается уровнем техники и особенно технологии. Все это привело к тому, что в процессе переработки кремнистых горных пород для получения поликристаллического кремния в большинстве случаев технически стало невозможно извлекать полезные компоненты со стабильными свойствами от партии к партии. Следовательно, делая ставки не на прирост ресурсов, а на эффективное их использование, существенно возрастает доля ответственности отраслей, занятых глубокой переработкой исходного сырья на основе высокоэффективных технологий.

Обычно горные породы являются очень плотными, и минералы, которые в них образуются, имеют неправильные формы, так как кристаллы растут в условиях весьма далеких от идеальных. Поэтому монокристаллы, встречающиеся в природе, не совершенны, так как для них характерны наличие трещин, загрязнений и других дефектов. В силу факторов природного характера в реальных условиях наблюдается нарушение трансляционной симметрии природных

кристаллов, вызывающие нарушение структуры и свойств полупроводниковых материалов и готовых изделий. Следовательно, инновационный рост как стратегическое направление развития будет обеспечиваться преимущественно за счет новейших технологий, основанных на квантовых переходах. В этом плане заслуживает внимание процесс на основе радиационной обработки веществ, позволяющий охватить все технологические переделы минерального сырья, включая обогащение кварцитов, очистку и получение монокристаллического кремния, обеспечивая отечественный и зарубежный рынок высокотехнологической продукцией.

Вопросы, связанные с изменением физических свойств различных материалов при действии на них проникающей радиации в настоящее время приобретают все большее значение [2-6]. Ядерное излучение очень сильный и многогранный фактор воздействия, который включает, по меньшей мере, многие нюансы: адгезии, сорбции, кинетики разложения и превращения, множество вопросов кристаллографии. Разработка этих процессов для переработки минерального сырья – кремнезема на основе ускорителей заряженных частиц, создает научный фундамент для непрерывного совершенствования технологии для полупроводниковой промышленности.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о правомочности разработанной технологии при получении кремния.

На рис. 1 представлены структурные изменения порошковых компонентов в зависимости от обработки.



Рисунок 1 – Высококремнистый халцедон после размола (а), после облучения и прокалки (б). Увеличение x200

Облучение гамма-квантами оказывает существенное воздействие на электронную структуру, вызывая перераспределение электрических зарядов внутри кристалла. В процессе радиационной обработки частиц порошка электроны, переходя на более высокий энергетический уровень, способствуют на последующих стадиях температурного передела направленному изменению их свойств.

Рассматривая структуры (рис.2), полученные из обработанного и необработанного сырья, было обнаружено, что в случае радиационного воздействия

формируются структуры с признаками пространственной самоорганизации. Таким образом, создавая определенную концентрацию дефектов, а затем, осуществляя направленное воздействие на диффузионные процессы, удастся обеспечить кардинальную перестройку структуры, что открывает широкие перспективы для направленного изменения свойств различных материалов в целях повышения их служебных характеристик.

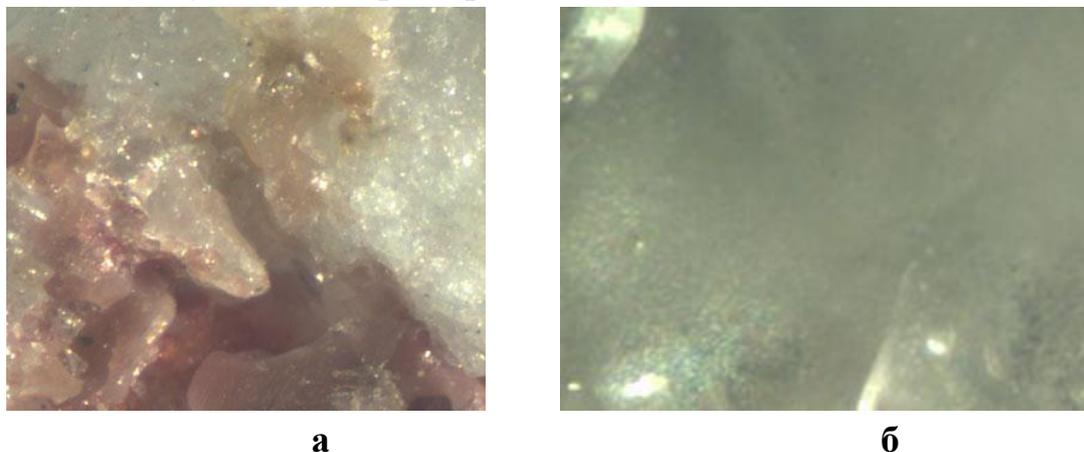


Рисунок 2 – Поверхности излома поликремния, полученного без облучения (а) и после облучения (б). Увеличение x200

Выводы. Благодаря наномеханизму воздействия гамма-излучения открывается возможность модифицирования минерального сырья, способствующая развитию технологии получения полупроводниковых материалов, полупроводниковых гетероструктур и интегральных схем.

1. Алферов Ж.И. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж.И. Алферов, П.С. Копьев, Р.А. Сурис и др. // Нано и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под редакцией П.П. Мальцева. Изд.: Техносфера, М. 2005.- С.19-23.

2. Конобеевский С. Т. Действие облучения на материалы. - М.: Атомиздат, 1967.-401 с.

3. Александров А. П. Атомная энергетика и научно-технический прогресс. – М.: Наука, 1978.

4. Ибрагимов Ш. Ш., Кирсанов В. В., Пятилетов Ю. С. Радиационные повреждения металлов и сплавов. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.

5. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем. Пер. с англ. под редакцией В. Н. Быкова и С. П. Соловьева. – М.: Атомиздат, 1967.-428 с.

6. Хмелевская В. С., Малышкин В. Г.// Материаловедение. 1998, №2, с. 25-33.

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЕЁ РАСПРОСТРАНЕНИИ В СРЕДЕ С ДИСПЕРСИЕЙ

Николаенко В.Н., Николаенко М.В., Скрипкарьев И.С.

С примерами дисперсии студенты физики знакомятся при изучении распространения света в средах. Один из самых наглядных примеров дисперсии — разложение белого света при его прохождении через призму (опыт Ньютона). Дисперсией объясняется факт появления радуги после дождя. Дисперсия является причиной хроматических аберраций оптических систем, в том числе фотографических и видео-объективов.

Сущностью явления дисперсии является неодинаковая скорость распространения лучей света с различной длиной волны в прозрачном веществе — оптической среде.

По аналогии с дисперсией света, дисперсией называются также сходные явления зависимости распространения волн любой другой природы от длины волны (или частоты). По этой причине, например, термин закон дисперсии, применяемый как название количественного соотношения, связывающего частоту и волновое число, применяется не только к электромагнитной волне, но к любому волновому процессу, например, к процессу распространения звуковых колебаний в воде или воздухе [1].

Данная работа посвящена разработке компьютерной модели, позволяющей наблюдать и оценивать степень влияния среды с дисперсией на характер распространения звукового импульса в этой среде при изложении студентам, например, проблемы ультразвуковой эхолокации [2].

Проблема связана с тем, что во всех случаях ненулевой дисперсии волновой пакет (импульс), генерируемый живым или искусственным локатором со временем расплывается. Важно показать студентам, как это происходит.

Часто под волновым пакетом понимают образование из волн, ограниченное в пространстве. Рассмотрим пакет плоских волн, движущийся вдоль оси x и имеющий в точке $x=0$ вид прямоугольного импульса амплитудой 1 и длительностью: во времени - Δt , в пространстве - Δx .

Уравнение распространения плоских волн в линейной среде по оси x имеет вид

$$\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где v — скорость волны.

Частными решениями уравнения (1) являются тригонометрические функции вида

где $\xi_n = (\omega_n t - k_n x)$, $v_n = \frac{\omega_n}{k_n}$, $\omega_n = \frac{2\pi n}{T} = \frac{2\pi}{T_n} = n\omega_1$, $k_n = \frac{2\pi n}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_n} = nk_1$, n — целое число, T_n , λ_n и k_n период колебаний, длина волны и волновое число n -ой гармоники.

Полное решение представляется в виде суммы

$$U(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \sin \xi_n + B_n \cos \xi_n]. \quad (2)$$

Определим неизвестные величины A_n, B_n, T_n и λ_n . Для этого, используем начальные условия задачи, в соответствии с которыми при наблюдении волнового процесса в точке пространства $x=0$ (у излучателя) волновой пакет имеет форму прямоугольного импульса с амплитудой $U = 1$ в течении интервала времени $(0, \Delta t)$ и $U = 0$ в интервале $[\Delta t, +\infty]$. При таких условиях

$$B_n = 0 \quad (3)$$

и, следовательно, (2) преобразуется в выражение

$$1 = \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \sin(\omega_n t)],$$

отображающее, фактически, разложение в ряд Фурье волнового пакета при $x = 0$ на интервале времени $(0, \Delta t)$. В соответствии с этим разложением получаем формулу для расчета A_n

$$A_n = \frac{2}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) dt, \quad (4)$$

а также связь Δt и T .

$$2\Delta t = T = T_1.$$

Из (2) нетрудно получить также связь Δx и λ

$$2\Delta x = \lambda = \lambda_1$$

Таким образом, заданием временного интервала прямоугольного импульса мы определяем фактически частоту первой гармоники его разложения в ряд Фурье.

$$\omega_1 = 2\pi\nu_1 = \frac{2\pi}{T_1} = \frac{\pi}{\Delta t}$$

Проинтегрируем (4),

$$A_n = \frac{2}{n\pi} (1 - \cos n\pi). \quad (5)$$

После подстановки (3) и (5) в (2) получим искомую формулу для исследования движения волнового пакета в виде прямоугольного импульса в свободном пространстве

$$U(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \sin(\omega_n t - k_n x), \quad (6)$$

Данный ряд является сходящимся, значит, мы его можем использовать для построения картины деформации волнового пакета в среде с дисперсией.

Дисперсия возникает при наличии зависимости скорости распространения волны в среде от частоты этой волны, т.е. если волновое число $k_n = f(\omega_n)$. В этом случае групповая скорость V связана с фазовой скоростью v волн в среде формулой Рэлея

$$V = v - \frac{\partial v}{\partial \lambda}$$

При $\frac{\partial v}{\partial \lambda} = 0$ - дисперсия отсутствует. При $\frac{\partial v}{\partial \lambda} > 0$ - дисперсия нормальная. При $\frac{\partial v}{\partial \lambda} < 0$ - дисперсия аномальная.

Произведем в формуле Рэлея некоторые преобразования и разделим обе её части на величину фазовой скорости. Получим соотношение

$$\delta\% = \frac{v-v}{v} 100 = \frac{\lambda}{v} \frac{\partial v}{\partial \lambda} 100$$

Преобразуем его к виду

$$\delta \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \frac{\partial \lambda}{\lambda} = \int_{v_1}^{v_n} \frac{\partial v}{v} \quad (7)$$

В (7) v_n и λ_n - характеристики n-ой гармоники разложения волнового пакета. Так как $\lambda_1 = n\lambda_n$, то решением данного интеграла является равенство

$$v_n = v_1 \left(\frac{1}{n}\right)^\delta. \quad (8)$$

Подставим (8) в формулу (6) и преобразуем её для удобства программирования. Получим

$$U(x, t) \cong \sum_{n=1}^N \frac{2}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \sin\left[n \frac{\pi}{\Delta t} \left(t - \frac{n^\delta}{v_1} x\right)\right]. \quad (9)$$

Итак, задавая $\delta, \Delta t$ и N , а также определяя по справочникам скорость v_1 распространения волны с частотой $\omega_1 = \frac{\pi}{\Delta t}$ в среде с заданной дисперсией δ , можем исследовать характер изменения формы волнового пакета, определяемого частотным диапазоном ($\omega_1 \div \omega_N$), при его движении вдоль оси ox

Для наблюдения процесса деформации волнового пакета со временем разработана программа построения картин волновых пакетов в точках пространства, в которые они приходят в задаваемые дискретные моменты времени $t = \mu(k\Delta t)$. Число $k = \text{const}$ определяет промежуток времени между точками наблюдения $\overline{\Delta t} = k\Delta t$, а μ – моменты наблюдения.

$$\mu = 1, 2, \dots, M,$$

где M - количество наблюдений.

Волновой пакет строится для каждого выбранного момента времени вычислением величины U в точках x , изменяющихся в диапазоне $|0 \div D\Delta x|$ с интервалом Δx . Величины D и Δx подбираются так, чтобы получить качественные рисунки импульсов.

Ниже приведена компьютерная «модель» – программа построения волновых пакетов в различные моменты времени.

Данная модель позволяет оценить влияние дисперсионных свойств среды на характер деформации волнового пакета со временем.

Компьютерная модель (программа) построения формы импульса звуковой волны в разные моменты времени (Delphi) состоит из: процедуры, которая вычисляет функцию $U(x, t)$ по заданным параметрам и выводит на экран график.

Интерфейс программы представлен на рис.1. Он состоит из 3 областей:

1. области ввода параметров,
2. области кнопок запуска программы построения звуковых импульсов.
3. область вывода картины деформации звуковых импульсов,

Опишем каждую область.

1. В первой области вводятся параметры, характеризующие свойства среды – v и δ ; описывающие волновой пакет – Δt и N ; а также параметры - k и

M , характеризующие промежуток времени между точками наблюдения и количество точек наблюдения. D – число разбиений интервала $|0 \div D\Delta x|$.

2. Во второй области имеется кнопка «Пуск» запуска программы построения звуковых импульсов.

3. В третьей области при нажатии кнопки «Пуск» в правом верхнем углу формы рисуются картины импульсов в разные моменты времени.

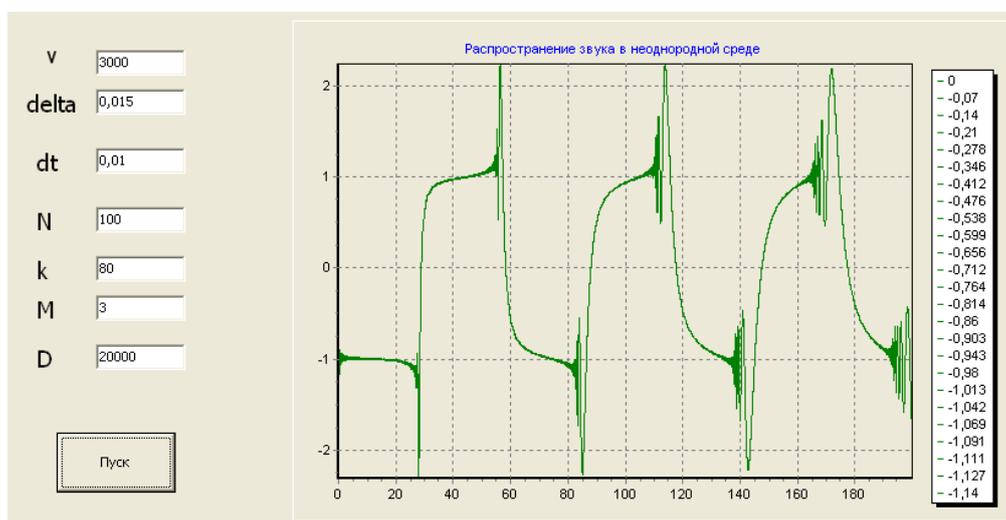


Рис.1 Интерфейс программы.

Таким образом, в данной работе предложена компьютерная модель, процесса распространения звуковых импульсов в средах с дисперсией. Эта модель может быть использована как лабораторная установка позволяющая исследовать степень влияния дисперсии среды на расплывание волновых пакетов, решать задачи по определению зон видимости при ультразвуковой локации, рассчитывать скорости движения эхолотаторов за целью, разрабатывать ультразвуковые установки при техническом конструировании и мн. др.

Компьютерная модель разработана для курсов общей и экспериментальной физики, введение в физику и компьютерное моделирование и экспериментальная физика.

1. Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 2, ч. А, М., 1968;
2. Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ HFSS.

Лазарев С.А., Терентьев А.А., Кошкаров Ф.Н.

HFSS – это мощный пакет программ, который предназначен для вычисления электромагнитных полей и многомодовых S-параметров в трехмерных пассивных электродинамических структурах сложной формы.

HFSS использует при решении уравнений электродинамики метод конечных элементов (Finite Element Method, FEM), включающий адаптивное генерирование и деление ячеек, осуществляемое специальной программой **Mesher**, и приводящий к созданию пространственной сетки. Смысл метода состоит в том, что пространство, в котором распространяются электромагнитные волны, разбивается на простейшие объемные элементы, имеющие форму тетраэдров.

На рис.1 показан пример визуализации разбиения пространства волновода на элементы.

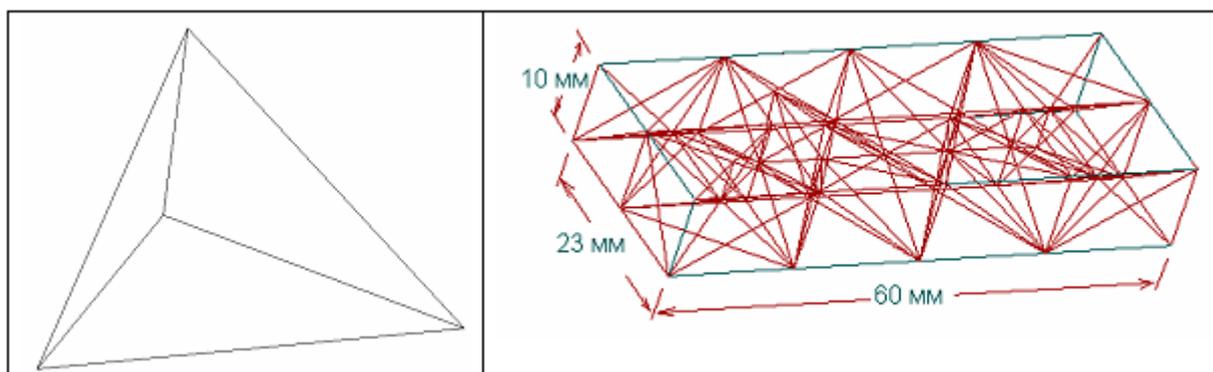


Рис. 1. Тетраэдр и разбиение трехмерного пространства в волноводе на тетраэдры

Размер тетраэдра должен быть достаточно мал для того, чтобы поле в его пределах можно было описать простой функцией или набором функций с неизвестными коэффициентами. Эти коэффициенты ищутся из уравнений Максвелла и граничных условий. В результате электродинамическая задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно этих коэффициентов. Решение СЛАУ легко находится численным методом на ЭВМ. Решения для электромагнитного поля, найденные из уравнений Максвелла, позволяют точно определить все характеристики СВЧ устройства с учетом возникновения и преобразования одних типов волн в другие, потерь в материалах и на излучение и т. д.

HFSS предоставляет достаточно широкие возможности моделирования антенн, делителей мощности, схем коммутации, волноводных элементов, фильтров СВЧ и трехмерных неоднородностей, с точным заданием материала, иден-

тификации портов и требуемых характеристик. В результате расчета находятся поля внутри и вне структур, а также многомодовые S-параметры.

Отметим, что в ходе разбиения форма отдельных элементов структуры искажается. Это относится, в первую очередь, к искривленным поверхностям. Поэтому выбор размеров тетраэдров влияет не только на точность определения поля, но и точность аппроксимации исходной структуры новой структурой, составленной из тетраэдров.

Задача определения потенциала ϕ в каждой точке двумерного пространства может быть сведена к задаче минимизации следующего функционала $I(\phi)$:

$$I(\phi) = \iint_S \phi \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) dx dy = - \iint_S \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (1)$$

где S – область, в которой ищется потенциал, то есть область, заключенная между внешним и внутренним проводниками.

Формула (1) отражает факт интегрирования по частям функции ϕ , подчиняющейся, как известно, уравнению Лапласа. Под минимизацией функционала понимается поиск такой функции $\phi(x, y)$, на которой интеграл в (1) достигает своего минимального значения. Из теории уравнения Лапласа известно, что функция, для которой функционал (1) достигает своего минимума, одновременно является решением уравнения Лапласа в той же области S .

На данном этапе целью работы является построение адекватной математической модели в среде HFSS с анимационной поддержкой всех наблюдаемых процессов, включая расчет электромагнитных полей в рабочем диапазоне частот и параметров рассеяния S_{nm} данного устройства.

На рис.2 показан пример визуализации в среде HFSS

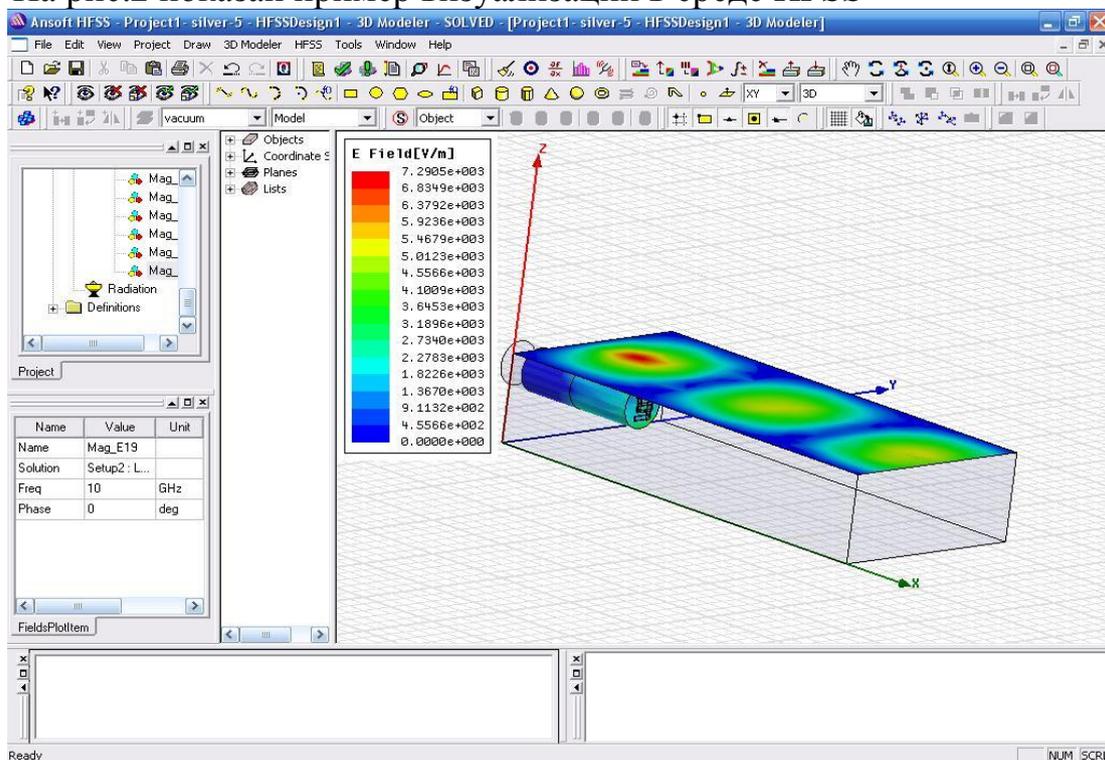


Рис. 2. Вид устройства в среде HFSS.

В ходе выполнения работы было построено специальное электродинамическое устройство, которое с добавлением пьезоэлемента будет представлять собой акусто-электронную линию задержки или как его ещё называют калибратор современных РЛС (радио локационные системы).

В дальнейшем планируется создать специальный пьезоэлектрический модуль, описывающий возбуждение и прием гиперзвуковых волн в пленках пьезоэлектрика, заполняющих пространство между обкладками конденсаторов с целью моделирования процессов распространения упругих волн в монокристаллических звукопроводах для отдельного устойчивого возбуждения сдвиговой или продольной акустических волн.

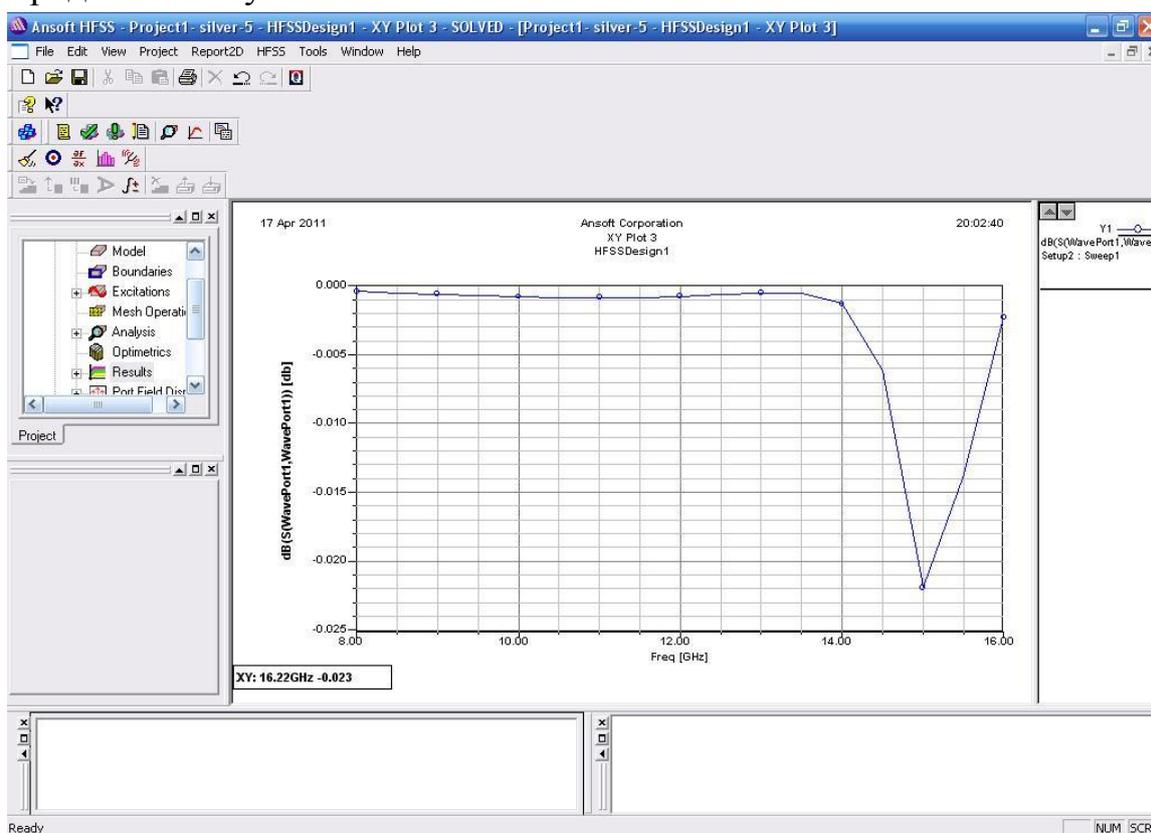


Рис. 3. График S-параметров

1. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft – М, ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009, 256 с.
2. HFSS – High Frequency Structure Simulation. Manuals, Ansoft, 2004.
3. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ. Под ред. В.В. Никольского/ М., Радио и Связь, 1982. - 272 с.
4. К. А. Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design, Wiley & Sons, 2nd edition, 1997, 942 pp.

Содержание

<i>Бурова Т.Г., Нурлыгаянова М.Н.</i> РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННО-КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛЕКУЛЫ ЦИТОЗИНА	3
<i>Вешнев В.П., Нурлыгаянов Т.А.</i> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТВЁРДЫХ СФЕР У СТЕНКИ.....	5
<i>Ершов А.С., Терентьев А.А.</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ТОРЦЕВЫХ ЭКРАНОВ И КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ХАРАКТЕР ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МАГНЕТРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ.....	9
<i>Железовский Б. Е., Белов Ф. А.</i> ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИДАКТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	12
<i>Железовский Б. Е., Белов Ф. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГЕНЕРАЛЬНОГО ФАКТОРА «УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ»	21
<i>Железовский Б.Е.</i> ПОСТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ МОДЕЛЕЙ ЛБВО.....	28
<i>Железовский Б.Е., Белов Ф.А., Епифанова М.А.</i> ОБ ОДНОЙ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ОБУЧАЕМОСТИ УЧАЩИХСЯ	39
<i>Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г., Тверикин К.С.</i> ПРОСТОЙ ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СКВАЖНОСТЬЮ	44
<i>Васильев А.Е., Жаворуева М.Е., Рачков В.А.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ЛИНЗИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ В СРЕДЕ МАТНСАД-15	46
<i>Васильев А. Е., Рачков В. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОГРАММ МАТНСАД-15 ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ПЯТНА ПУАССОНА В СВЧ ДИАПАЗОНЕ	51
<i>Чесноков Б.П., Шешукова М. Д., Наумова О.В.</i> НОВЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	53
<i>Николаенко В. Н., Николаенко М. В., Скрипкарев И.С.</i> НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЕЁ РАСПРОСТРАНЕНИИ В СРЕДЕ С ДИСПЕРСИЕЙ.....	57
<i>Лазарев С.А., Терентьев А.А., Кошкарлов Ф.Н.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ HFSS	61

ИЗ ИСТОРИИ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ И МЕТОДИКО- ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Б.Е Железовский, И.П. Ваганова

История кафедры физики и методико-информационных технологий неоднозначна.

Если считать, что она началась со времени создания в Саратове педагогического института, то есть со времени становления в Саратове высшего педагогического образования, то это 1912 год. Этому предшествовало решение Саратовской городской думы, принятое 19 августа 1911 года, ходатайствовать перед Министерством народного образования об открытии учебного заведения для подготовки кадров учителей народных училищ губернии. Казанский учительский институт с этой проблемой не справлялся. Такой институт был открыт в 1913 году, когда в 1-й класс института был принят 31 человек, хотя заявлений было 148. В декабре 1918 года Учительский институт был преобразован в Саратовский педагогический институт с четырёхлетним обучением, а в мае 1919 года он получил название Саратовский институт народного образования. Институт быстро развивался и уже к началу 1921-1922 учебного года в нём насчитывалось более пятидесяти профессоров и преподавателей. Уже в 1921 году, когда институт был включён в состав Саратовского государственного университета и получил статус педагогического факультета университета, в нём среди пяти отделений было и физико-математическое.

Первым деканом педфака стал профессор университета Борис Матвеевич Соколов. Впоследствии деканами педфака становились профессора П.С. Рыков, В.В. Буш.

В сентябре 1931 года педагогический факультет вышел из состава университета и приобрёл статус Саратовского государственного педагогического института.

Первым заведующим кафедрой физики в составе физико-математического факультета пединститута был доцент Василий Николаевич Немов. Указанное обстоятельство позволяет считать, годом основания кафедры

физики и методико-информационных технологий именно 1931 год. Кафедра состояла всего из трёх человек: доцента В.Н. Немова и двух ассистентов: В.В. Баженова и Г.К. Александрова.

В 1933 году состав кафедры включал уже 5 основных членов (доц. С.Д. Худяков, доц. М.Г. Богинский, асс. Н.В. Капустин, асс. В.В. Баженов, асс. Г.К. Александров) и четырёх совместителей: доц. В.Н. Немова, доц. Н.И. Завьялова, доц. П.С. Макошина, П.В. Вьюшкова.

В 1936 году состоялся первый выпуск специалистов из 15 человек.

1 сентября 1936 года заведующим кафедрой стал доцент Сергей Дмитриевич Худяков, которого в 1937 году сменил и.о. профессора Степан Петрович Литвиненко, а с 1 декабря 1938 года по 1 февраля 1939 года кафедру возглавлял опять С.Д. Худяков.

С 1 февраля 1939 года кафедра физики впервые была разделена на две: кафедру экспериментальной физики, которую возглавил доцент С.Д. Худяков и кафедру теоретической физики во главе с доцентом В.И. Лихтманом

В 1940 году было организовано 3 кафедры: кафедра физики (Б.Г. Гейликман), кафедра теоретической физики (В.И. Лихтман), кафедра экспериментальной физики (С.Д. Худяков). В апреле 1940 г. кафедр физики опять стало две: кафедра экспериментальной физики (доц. С.Д. Худяков) и кафедра теоретической физики (доц. В.И. Лихтман).

В 1946 году кафедра экспериментальной физики была переименована в кафедру общей физики и её возглавил доктор физико-математических наук Л. С. Маянц.

В 1954 году в связи с уходом Л.С. Маянца временно исполняющим обязанности зав. кафедрой был назначен доцент А. А. Кузнецов, а после очередного объединения кафедр в сентябре 1956 года кафедру общей физики около года возглавлял доцент А.Г. Гольдман.

В декабре 1957 года кафедра общей физики была опять разделена на две: кафедру общей физики (А.А.Кузнецов), и кафедру основ производства – (В.И. Крайнов, а с июля 1958 года – М.С. Крепс).

С мая 1959 года по октябрь 1962 года кафедра была одна (кафедра общей физики), которую возглавлял сначала И.Ф. Ковалёв, а с октября 1962 года А.А. Кузнецов. В январе 1971 года после очередного разделения кафедры общей физики на две кафедры того же названия руководил доцент В.А. Лабзин, а кафедрой теоретической физики – доцент И.Ф.Ковалёв.

В октябре 1974 года по конкурсу заведующим кафедрой общей физики был избран доцент Б.Е. Железовский, который в 1983 году в ИРЭ АН СССР успешно защитил докторскую диссертацию и стал профессором.

Под его руководством успешно защитили диссертации сотрудники кафедры А.П. Козырев и М.Е. Шнейдер по направлению радиопизика и электроника и Н.В. Романова и Н.Г. Недогреева по педагогике.

В разные годы на кафедре успешно работали талантливые исследователи: доцент Ю.В. Алексеев, награждённый знаком «Изобретатель СССР», руководивший многочисленными хоздоговорными работами; доцент В.Н. Николаенко, занимавшийся изучением и изготовлением по хоздоговорам установок для неразрушающего метода контроля свойств различных сред; талантливый учёный доцент И.И. Птичкин – специалист в области термодинамики фазовых переходов; доцент И.А. Малинов – теоретик в области радиопизики и ряд других преподавателей. В области методики преподавания физики плодотворно работала И.П. Ваганова.

После включения в 1999 году пединститута в состав университета кафедры теоретической, общей физики и кафедра информатики пединститута объединились в одну – кафедру физики и методико-информационных технологий. Заведующим кафедрой стал профессор Б.Е. Железовский.

На кафедре в настоящее время успешно работают профессор Т.Г. Бурова, доценты: Гаманюк В.Б., Вешнев В.П., Васильев А.Е., Романова Н.В., Недогреева Н.Г., Рачков В.А., ассистент Нурлыгаянова М.Н., а также большой коллектив аспирантов и сотрудников, обеспечивающих учебный процесс.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ И МЕТОДИКИ ЕЁ ПРЕПОДАВАНИЯ

Сборник научных статей

Подписано в печать 23.04.2012 Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Печать RISO. Усл. печ.л. 4,12. Тираж 50 экз.



Отпечатано с готовых диапозитивов
в ЗАО НТЦ «Волгапромстройбезопасность»
413105, г. Энгельс, пр-д Крупской, 73
тел./факс: (8453) 55-32-56,
тел.: (8452) 26-46-01

