



СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Карпова С. С., Грачева И. Е., Мошников В. А. Об особенностях спектров полной проводимости сетчатых нанокompозитных слоев на основе диоксида олова 3

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Фахми Ш. С. Оценки степени приближения к энтропии на основе пирамидально-рекурсивного метода кодирования изображений 8

Петров Д. Л. Динамическая модель консолидированного облачного хранилища данных 17

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Путов В. В., Друян Е. В., Путов А. В., Шелудько В. Н. Испытательный стенд для нового поколения буксируемых электромеханических установок аэродромного обслуживания 22

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Гончаров В. Д., Самсонов Д. С. Спектральный метод определения эффективной глубины проникновения тока для сигналов несинусоидальной формы 28

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Степанов Б. Г. Высокочастотные пьезопреобразователи для газовых сред 33

Топунов В. А. Поверхностные акустические волны во вращающихся пьезоэлектрических кристаллах 43

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование импульсного режима работы тонкостенного цилиндрического пьезоприемника с внутренним заполнением и корректирующей электрической цепью 49

БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Волегов К. А., Сидоренко В. М. Использование метода измерения импеданса дипольных антенн для исследования биологических объектов 57

Редакционный совет

Пузанков Д. В. (председатель)

Кутузов В. М. (заместитель
председателя)

Мейев В. А. (ответственный
секретарь)

Малышев В. Н. («Радиоэлектроника
и телекоммуникации»)

Соломонов А. В. («Физика твердого тела
и электроника»)

Герасимов И. В. («Информатика,
управление и компьютерные технологии»)

Путов В. В. («Автоматизация
и управление»)

Прокофьев Г. И. («Электротехника»)

Филатов Ю. В. («Приборостроение и информационно-измерительные технологии»)

Попечителей Е. П. («Биотехнические системы в медицине и экологии»)

Степанов С. А. («Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент»)

Маркова О. Ю. («Гуманитарные науки»)

Вендик О. Г. («История науки, образования и техники»)

Лысенко Н. В. («Современные технологии в образовании»)

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
тел.: 234-02-23

Учредитель:

Государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
электротехнический
университет "ЛЭТИ"
им. В. И. Ульянова (Ленина)»
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-44-87
Факс: (812) 346-27-58

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС2 – 8390 от 04 декабря 2006 г.
выдано Управлением Федеральной
службы по надзору за соблюдением за-
конодательства в сфере массовых ком-
муникаций и охране культурного насле-
дия по Северо-Западному федеральному
округу

Редакторы
Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,
И. Г. Скачек
Комп. верстка:
Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, А. А. Веселова

Подписано в печать 15.02.10 г.

Формат 6084 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 11,0.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)

Заказ 7.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-45-23
Факс: (812) 346-28-56

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Ахлаков М. К., Цинадзе Ш. Ш. Нравственное
воспитание – хорошо забытое старое
или никому не нужное сегодня понятие?64

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Бабаева А. В. Аксиология скуки.....69

Крылова Н. В. Педагогические идеи А. П. Щапова74

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Золотинкина Л. И. Переписка А. С. Попова и Э. Дюкрете.....80

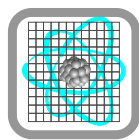
Сведения об авторах87

Правила представления рукописей авторами89

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 45821 ПО ОБЪЕДИНЕННОМУ
КАТАЛОГУ "ПРЕССА РОССИИ", ТОМ 1
"ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ"**

Подписка производится в любом почтовом отделении России

*Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых на-
учных журналов и изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых степеней доктора
и кандидата наук (решение Президиума Высшей
аттестационной комиссии Минобрнауки России
от 19 февраля 2010 года № 6/6)*



УДК 621.315.592

С. С. Карпова, И. Е. Грачева, В. А. Мошников

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СПЕКТРОВ ПОЛНОЙ ПРОВОДИМОСТИ СЕТЧАТЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ОЛОВА

Проведены исследования спектров полной проводимости сетчатых слоев нанокompозитов системы диоксид олова–диоксид кремния на комбинированной лабораторной установке. Установлено, что адмиттансный отклик изменяется в зависимости от состава газовой среды. Обсуждаются особенности спектра полной проводимости в рамках моделей адсорбции–десорбции.

Спектроскопия адмиттанса, пористые нанокompозиты, диоксид олова

Сетчатые слои являются перспективными для создания газочувствительных элементов сенсоров нового поколения.

В настоящее время актуальность контроля и анализа газового состава и необходимость в газовых датчиках постоянно увеличиваются. Острый недостаток таких датчиков испытывают газовая и нефтяная промышленность, транспортные предприятия, химическая промышленность, природоохранные организации и медицина.

Одним из основных материалов, используемых для изготовления газочувствительных сенсоров адсорбционного типа, является диоксид олова [1], характеризующийся высокой адсорбционной способностью, а также значительной химической стойкостью и механической прочностью. Принцип действия полупроводниковых газовых сенсоров на основе металлооксидных слоев, представляющих собой наноструктурированные композиты, заключается в изменении электропроводности в результате хемосорбции газов [2]–[4].

Среди экспериментальных методов исследования электрических свойств металлооксидных полупроводниковых наноструктурированных композитов новые перспективы открывает спектроскопия полной проводимости (спектроскопия адмиттанса (проводимости) или импеданса (сопротивления)), которая представляет собой мощное средство изучения электрических свойств объектов с межзеренными границами и поверхностями раздела. С помощью этого метода можно получить информацию о плотности адсорбционных центров, сечении захвата носителей ловушками и времени релаксации, состоянии на поверхности раздела. Поэтому исследования полупроводниковых пористых наноматериалов на основе

диоксида олова под действием изменяющегося во времени электрического поля могут представлять значительный интерес при разработке газочувствительных слоев для адсорбционных полупроводниковых сенсоров нового поколения. Эта методика существенно дополняет информацию об адсорбционных свойствах структур с иерархией пор, получаемую из импульсных динамических измерений [5]. В настоящей статье приведены результаты исследований особенностей изменения спектра полной проводимости и анализа сетчатых структур на основе диоксида олова при отсутствии и в присутствии восстанавливающих газов в условиях вариации температуры.

Ранее исследования газочувствительности образцов динамическим методом выявили anomальное поведение сопротивления в первоначальный момент подачи газа-реагента (рис. 1) [6]. Для понимания физических причин данного явления было предложено более детальное исследование отклика наноструктур в присутствии восстанавливающих газов-реагентов при наложении на образцы электрического воздействия с переменной частотой.

Для этой цели была создана специальная комбинированная лабораторная установка, сочетающая возможности исследования наноструктур методом спектроскопии адмиттанса в условиях изменения газовой среды и температуры детектирования газов-реагентов. Блок-схема установки представлена на рис. 2.

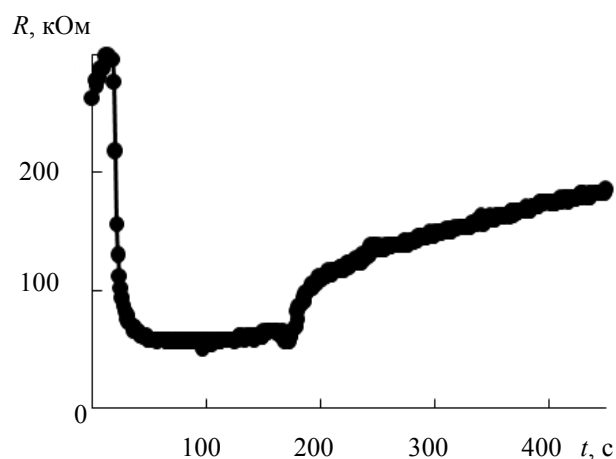


Рис. 1

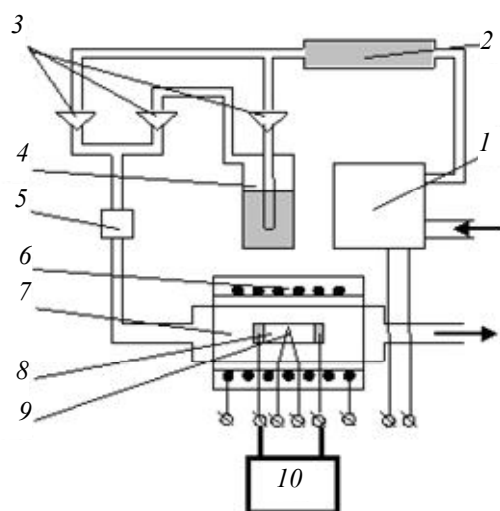


Рис. 2

В основе работы стенда (рис. 2) лежит принцип динамического разбавления газовых потоков. Атмосферный воздух или газ-реагент, нагнетаемый компрессором 1, поступает в осушитель 2. Сухой газ подается через ротаметр 3 в барботер 4, где насыщается парами вещества, по отношению к которому исследуется газочувствительность. Газ разбавляется до необходимой концентрации путем установления соответствующих потоков газа (эталонной газовой смеси). Вентиль 5 предназначен для прекращения потока синтетической газовой смеси в термостат 7, где на специальном пьедестале размещается испытуемый газочувствительный сенсор 8. Термопара 9 служит для регистрации температуры в термостате. Нагреватель 6 используется для поддержания необходимого значения температуры в термостате и, соответственно, на поверхности полупроводниковой пленки. К детектируемому образцу подключается измеритель иммитанса Е7-20, предназначенный для измерения при синусоидальном напряжении в частотном диапазоне от 25 Гц до 1 МГц параметров объектов, которые, как правило, заменяются параллельной и последовательной двухэлементной схемой за-

мещения. Иммитанс – термин, объединяющий понятия комплексного сопротивления (импеданса) и комплексной проводимости (адмиттанса).

В камере устанавливается требуемое значение температуры, подаются пары газа-реагента и измеряются частотные зависимости емкости и тангенса угла диэлектрических потерь в частотном диапазоне от 100 Гц до 1 МГц. Контактные площадки создавали с помощью контактола 3g SILBERLEITLACK (Art- № 530042). Частотные зависимости параметров строили в виде диаграмм Коула–Коула (зависимостей реальных и мнимых частей комплексной диэлектрической проницаемости):

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^\alpha},$$

где ϵ_0 и ϵ_∞ – значения статической и высокочастотной диэлектрической проницаемости; τ – время релаксации поляризации; α – параметр, который может иметь значения от 0 до 1. При этом значение вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости соотносилось с измеренной емкостью, а значение мнимой части – рассчитывалось как произведение вещественной части и тангенса угла диэлектрических потерь. Экспериментальные диаграммы Коула–Коула представляли собой зависимости в координатах эффективных значений вещественной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости.

Нужно отметить, что на частотных зависимостях представлены уже только полезные сигналы, а экспериментальные точки на кривых в относительно низкочастотном диапазоне не приводились вследствие большой сквозной электропроводности. Выделение полезного сигнала и «обрезку» низкочастотной области на кривых можно пояснить с помощью частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь (рис. 3), из которого видно, что при большой сквозной проводимости релаксационный максимум ω_m может быть не виден на графике.

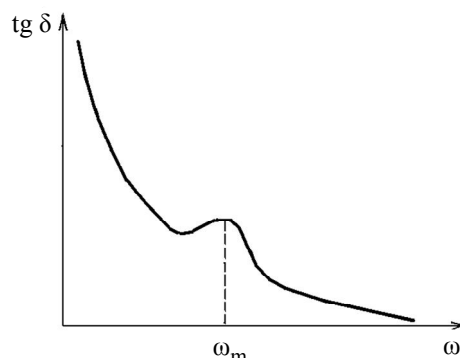


Рис. 3

На рис. 4 представлены в полулогарифмических координатах частотные зависимости реальных и мнимых частей комплексной диэлектрической проницаемости образца, полученного золь-гель-методом, в атмосфере воздуха (рис. 4, а) и в присутствии паров ацетона (рис. 4, б) и этанола (рис. 4, в) при температуре 355 °С.

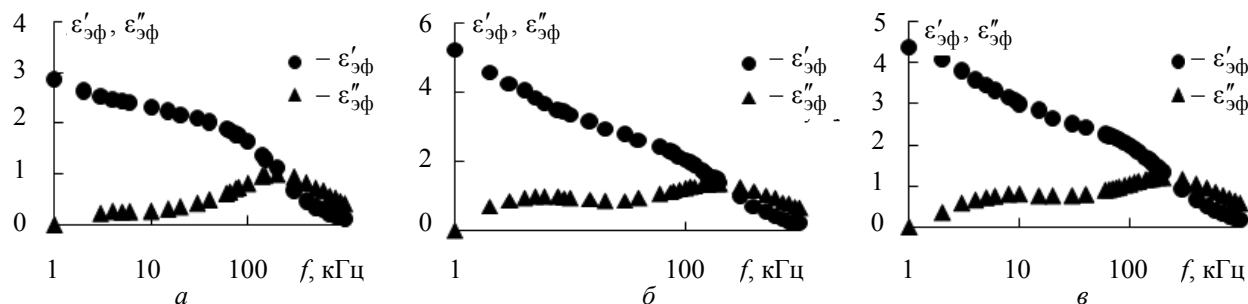


Рис. 4

На рис. 5 приведены типичные экспериментальные диаграммы Коула–Коула в атмосфере воздуха (рис. 5, а), в присутствии паров ацетона (рис. 5, б) и паров этанола (рис. 5, в) при температуре детектирования 355 °С для образца, частотные зависимости активной и реактивной составляющих комплексной диэлектрической проницаемости которых были представлены ранее. Как видно из зависимостей (рис. 5), в присутствии газа-восстановителя возникает дополнительная полуокружность на диаграмме Коула–Коула, природа которой обусловлена процессами перестройки и перезарядки поверхностных центров [6].

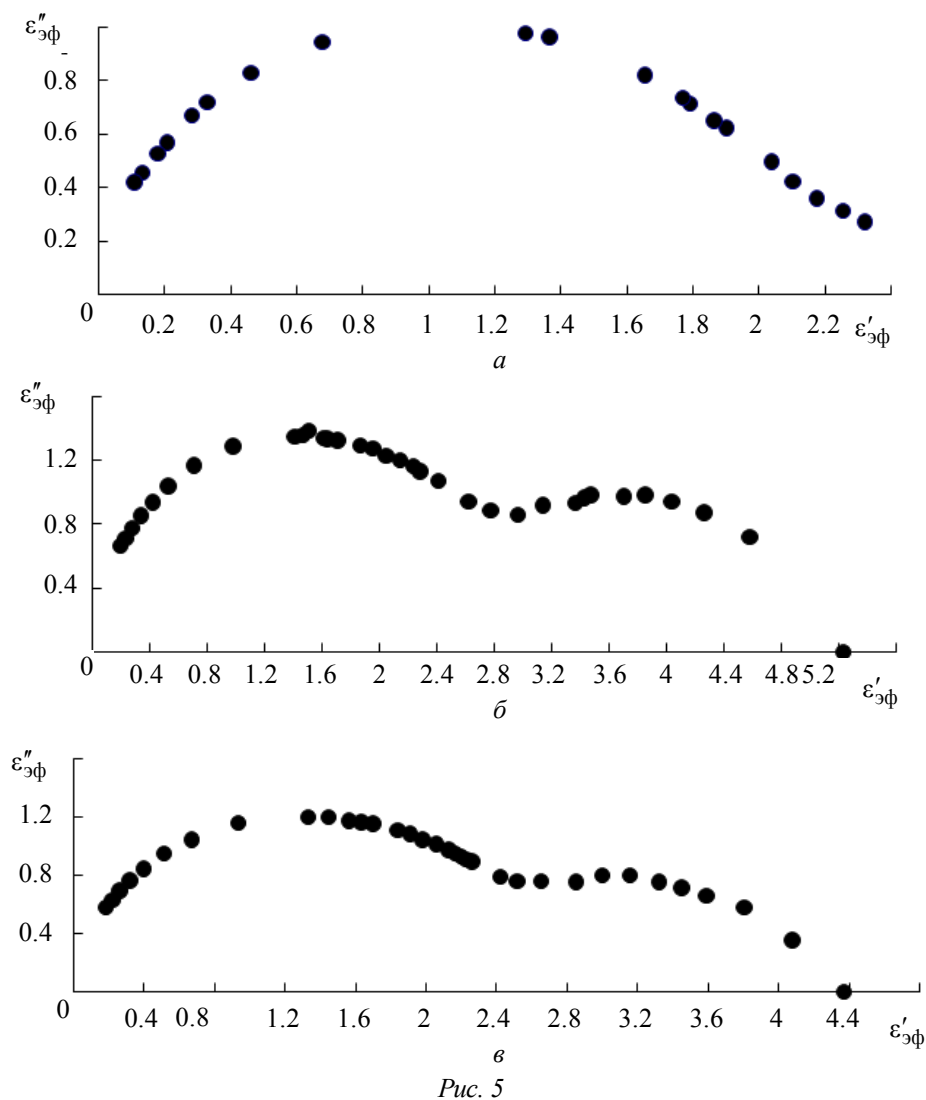


Рис. 5

На динамическое равновесие накладывается электрическое поле, уход заряда и перестройка будут зависеть от знака поля, при этом на некоторых частотах наблюдается резонанс.

Таким образом, исследование наноматериалов методом спектроскопии полной проводимости может быть разделено на несколько основных этапов:

1. Снятие частотных зависимостей в диапазоне от 100 Гц до 1 МГц емкости и тангенса угла диэлектрических потерь на комбинированной лабораторной установке, сочетающей возможности анализа наноструктур методом спектроскопии адмиттанса в условиях изменения газовой среды и температуры детектирования газов-реагентов.

2. Построение частотных зависимостей активной и реактивной составляющих комплексной диэлектрической проницаемости.

3. Выделение полезного сигнала на фоне больших потерь, связанных со сквозной электропроводностью на низких частотах.

4. Построение экспериментальных диаграмм Коула–Коула (Коула–Дэвидсона).

5. Сопоставление электрических эквивалентных схем замещения наноструктур с помощью специально разработанного программного обеспечения в среде LabVIEW, позволяющего анализировать годографы импеданса различных эквивалентных схем образцов.

6. Интерпретация эквивалентных схем образцов.

Таким образом, установлено, что в присутствии газа-восстановителя в сетчатых нанокompозитных слоях возникает дополнительная полуокружность на диаграмме Коула–Коула, природу которой можно объяснить процессами перестройки поверхностных центров.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию, ФПЦ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по направлению «Создание и обработка композиционных керамических материалов» (государственный контракт ПЗ99 от 30.07.09 г.) и по направлению «Разработка методов создания и формирование электрокаталитических слоев для портативных водород-воздушных топливных элементов», а также АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» Федерального агентства по образованию Российской Федерации, проект 2.1.2/2696.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов С. Ю., Мошников В. А., Томаев В. В. Адсорбционные процессы в поликристаллических полупроводниковых сенсорах / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 1998.
2. Волькенштейн Ф. Ф. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. М.: Наука, 1987.
3. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях / И. А. Мясников, В. Я. Сухарев, Л. Ю. Куприянов, С. А. Завьялов. М.: Наука, 1991.
4. Madou M. J., Morison S. R. Chemical sensing with solid state devices. London: Academic Press, 1991.
5. Спектроскопия адмиттанса газочувствительных наноструктурированных слоев на основе металлооксидов / И. Е. Грачева, В. А. Мошников, С. С. Карпова, М. Н. Морозова // Материалы XI междунар. конф. «Физика диэлектриков (диэлектрики–2008)», 3–7 июня 2008 г. СПб., 2008. Т. 2. С. 224–227.
6. Автоматизированная установка для измерения газочувствительности сенсоров на основе полупроводниковых нанокompозитов / И. Е. Грачева, А. И. Максимов, В. А. Мошников, М. Е. Плех // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 3. С. 143–146.

S. S. Karpova, I. E. Grachova, V. A. Moshnikov

ABOUT PECULIARITIES OF FULL CONDUCTIVITY SPECTRUMS OF NETTING NANOCOMPOSITE LAYERS BASED ON TIN DIOXIDE

Full conductivity spectrums of tin oxide-silicon oxide nanocomposite netting layers are studied using the combined laboratory setup. Admittance response is found to change depending on the gas environment content. Peculiarities of full conductivity spectrums are discussed in the context of adsorption-desorption models.

Admittance spectroscopy, porous nanocomposites, tin dioxide



УДК 621.3. 01

Ш. С. Фахми

ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПРИБЛИЖЕНИЯ К ЭНТРОПИИ НА ОСНОВЕ ПИРАМИДАЛЬНО-РЕКУРСИВНОГО МЕТОДА КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предлагается аналитическая модель для оценки степени приближения к ε -энтропии источника сигналов нестационарных изображений на основе пирамидально-рекурсивного метода разбиения исходного изображения. Проведены экспериментальные исследования и определены параметры системы кодирования изображений.

Аналитическая модель, нестационарные источники, ε -энтропия

Основные методологические концепции в вопросах кодирования нестационарных изображений долгое время основывались на различных модификациях спектральных методов, а трудности, возникшие при решении прикладных задач, относили на счет недостатков оборудования и аппаратного обеспечения – нехватки памяти, низкого быстродействия, отсутствия необходимых средств работы с большими объемами видеоинформации и т. д.

В настоящий момент, с появлением новой элементной базы в виде систем на кристалле и современных САПР на ее основе открылись новые возможности создания специализированных систем обработки нестационарных сигналов и почти сняты многие ограничения по скорости и сложности для проектирования систем обработки видеоинформации, что, казалось бы, должно привести к решению основных задач восприятия видеоданных техническими системами [1]. Однако проблема не исчезла, а лишь возросло понимание ее значимости и специфических сложностей из-за наличия фотоприемника в составе вычислителя [1]. Сложившаяся ситуация вынуждает исследователей делать все больший упор на развитии новых подходов к обработке изображений и способов их обработки, чтобы найти пути преодоления разрыва между «машинным» и «человеческим» восприятием изображений [2], [3].

Известно [2], что для человека характерно так называемое симультанное, или синтетическое, узнавание, когда наблюдаемый объект воспринимается как единое целое (например, мгновенное узнавание лица человека). Таким образом, узнавание идет без осознания, как условный рефлекс, следовательно, оно основано на принципах структурированного представления видеоданных [2], [3]. Этот механизм до сих пор не раскрыт и почти не изучен, следовательно, поиск оптимальных алгоритмов представления и структуризации видеоданных яв-

ляется актуальным и востребованным при решении задач кодирования нестационарных изображений [4], [5].

В работах [6]–[12] предложены алгоритмы кодирования нестационарных изображений с применением пирамидально-рекурсивного метода кодирования. Он основан на принципе рекурсивного разбиения изображения с целью представления в виде структурированной совокупности семантически значимых единиц или опорных точек (ОТ) и правил их взаимосвязей (соединения). Причем структурированность этих опорных точек идет от значений яркостей с учетом степени их корреляции. В данной статье приводится аналитическая модель оценки степени приближения к ε -энтропии исходного сигнала изображения при кодировании множества опорных точек и их взаимосвязей на основе пирамидально-рекурсивного метода.

Постановка задачи исследования. Суть пирамидально-рекурсивного метода состоит в следующем. Все изображение рассматривается как единая область (полигон) и на ней проверяется критерий однородности (наличие или отсутствие каких-либо объектов или опорных точек) (рис. 1). Если на этапе кодирования критерий выполняется, то изображение считается содержащим один лишь фон (далее обозначается как пустой полигон). В противном случае полигон разбивается на одинаковые равные полигоны¹ и на каждом из них вновь вычисляется критерий однородности. Затем выполняется проверка и дальнейшему разбиению подвергаются лишь те полигоны, для которых критерий не соблюдается. Далее в пределах каждого из полученных полигонов осуществляется поиск оптимальной точки, максимально характеризующей данный полигон [1]. Итак, в результате анализа всего изображения получаем полигональную двумерную сетку, содержащую как пустые полигоны, так и полигоны с ОТ. Каждая опорная точка характеризуется своими абсолютными координатами и яркостью в пределах полигона. Методы и алгоритмы разбиения, алгоритмы поиска объектов и критерии однородности в рамках данной статьи не рассматриваются, а с некоторыми из них можно ознакомиться в работах [10]–[12]. Далее на этапе декодирования каждая опорная точка соединяется с ближайшими соседними точками, и в итоге все точки будут соединены сеткой, называемой регулярной триангуляцией. Полученная треугольная сетка путем аппроксимации двумерной поверхности по яркости восстанавливает результирующее изображение [11].

Информация о местоположении ОТ состоит из описания последовательности разбиения, что определяет нахождение ОТ с точностью до покрывающего ее полигона, и координат ОТ относительно полигона. Способ описания последовательности разбиения, в частности, при разбиении на 2, 3 и 4 равных прямоугольных полигона, рассмотрен в [6]–[11], а общий случай (при разбиении полигона на несколько равных частей) описан в [3]. При покрытии всех ОТ в соответствии с правилами разбиения могут образоваться пустые полигоны, не покрывающие ни одной ОТ. Очевидно, что при разбиении полигона на две части пустых полигонов будет меньше, но общее число разбиений будет больше, чем при разбиении полигона на много равных частей. Сжатие информации о местоположении ОТ зависит от обоих указанных факторов, следовательно, возникает задача оценки степени приближения к ε -энтропии при кодировании источника и определения оптимального числа полигонов после разбиения.

¹ В экспериментах исследовано разбиение априорной области на различное число частей: $d = 2, \dots, 6$, т. е. дихотомия (деление на две части), трихотомия (деление на три части), тетрахотомия (деление на четыре части) и т. д.

В данной статье не рассматриваются вопросы, связанные с поиском опорных точек на изображении, а анализируется минимальное количество информации, необходимое для кодирования опорных точек с использованием пирамидально-рекурсивного метода при допущении о равновероятном распределении опорных точек в пределах полигона.

Общий подход к кодированию по опорным точкам. Каждая опорная точка характеризуется своими абсолютными координатами и яркостью. Будем считать, что ОТ равновероятно распределены в пределах всего исходного изображения. Процесс покрытия полигонами представлен в следующем виде: ОТ последовательно, в произвольном порядке наносятся на поле изображения, при этом, если в соответствующем полигоне окажутся две ОТ, то полигон разбивается на равные части до тех пор, пока каждая ОТ не окажется единственной в своем полигоне. Количество возможных дроблений ограничено заданной дискретностью изображения.

Введем следующие обозначения: n – число ОТ, равное числу заполненных (покрывающих ОТ) полигонов (рис. 1, a); m – максимальное число разбиений, приводящее к размеру полигона в один пиксель изображения; d – число полигонов, полученных при разбиении исходного полигона; N – общее число пикселей исходного изображения (очевидно, что $N = d^m$); K – число бит информации, необходимое для кодирования только местоположения ОТ; v – разрядность яркости ОТ.

Требуется оценить функцию $K = F(n, d, m)$ и найти оптимальное число полигонов после разбиения (d), минимизирующее функцию K (т. е. $F \rightarrow \min$). В нормированных единицах искомого отношения запишется в виде

$$k = f(n_{\text{нор}}, d, m), \text{ где } k = K/N, \quad n_{\text{нор}} = n/N.$$

Ввиду случайного характера формирования сообщения (в статье – появления опорных точек) необходимо связать количество информации с вероятностями появления каждого сообщения источника. Эту задачу решил в 1946 г. К. Шеннон при кодировании двойного источника [13].

Учитывая, что все ОТ появляются независимо друг от друга и с одинаковой вероятностью, число бит информации для кодирования местоположений ОТ в общем виде будет $I_{\text{max}} = n \log N$ [13]. Способы решения задачи сжатия информации рассматриваются подробно в разделе теории информации, называемом теорией кодирования источника [14], [15].

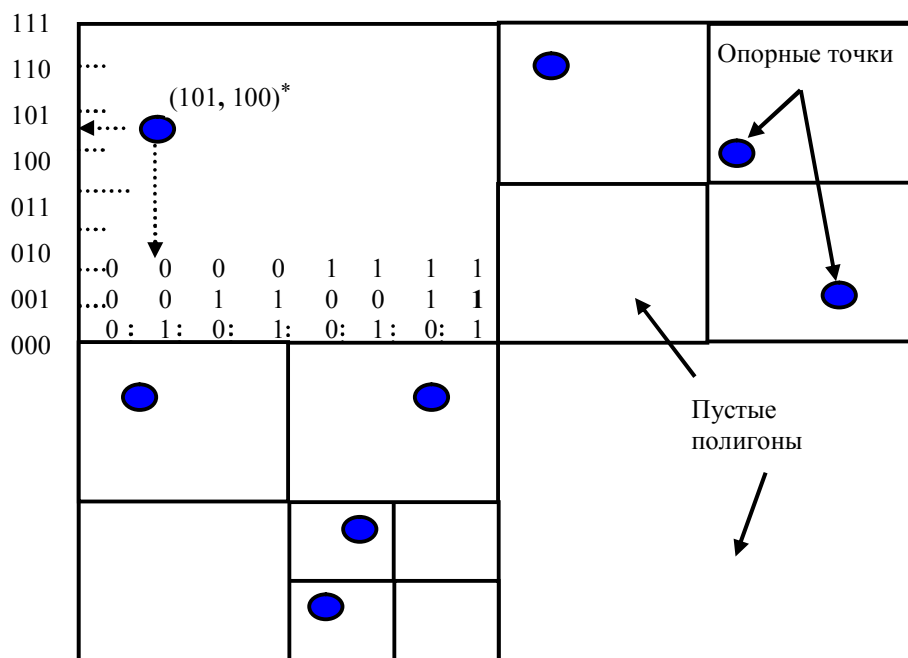
В данной статье решается задача, связанная, в частности, с определением степени приближения к ε -энтропии источника путем генерации и кодирования информации об ОТ с учетом равновероятного характера их появления.

Коэффициент сжатия определяется выражением

$$K = (nv + n \log N)/(nv + B), \quad (1)$$

т. е. $k = (n_{\text{нор}}v + n_{\text{нор}} \log N)/(n_{\text{нор}}v + b)$, где $\log N$ – разрядность абсолютных координат ОТ.

Способ сжатия изображений по ОТ. Для решения поставленной задачи рассмотрим алгоритм формирования сжатого описания изображения (рис. 1: a – исходное изображение; b – сжатое описание, где * – информация о координатах опорных точек в пределах полигона). После каждого разбиения в описание заносится один из следующих признаков:



а

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сжатое описание	Пр ₁	Пр ₂	Пр ₁	Пр ₁	Пр ₃	Пр ₂	Пр ₂	Пр ₃	Пр ₂
Код	11	0*	11	11	10	0*	0*	10	0*

10	11	12	13	14	15	16	17
Пр ₂	Пр ₂	Пр ₃	Пр ₁	Пр ₂	Пр ₂	Пр ₂	Пр ₃
0*	0*	10	11	0*	0*	0*	10

б

Рис. 1

• Пр₁ – признак того, что полигон подлежит следующему дроблению, т. е. покрывает более одной ОТ.

• Пр₂ – признак того, что полигон далее не подлежит дроблению и покрывает одну ОТ. В этом случае в сжатое описание дополнительно заносятся координаты ОТ в пределах полигона.

• Пр₃ – признак того, что полигон не содержит ни одной ОТ и, следовательно, не подлежит следующему дроблению.

Таким образом, сжатое описание (K) состоит из двух составляющих: $K = K_1 + K_2$, где K_1 – информация, необходимая для кодирования и передачи признаков Пр₁ и Пр₃; K_2 – информация, необходимая для кодирования и передачи ОТ, сопутствующая Пр₂.

Видно (рис. 1, б), что общее число признаков x вычисляется по формуле: $x = [d(n + \Delta n) - 1] / (d - 1)$, где Δn – число пустых полигонов, т. е. количество Пр₃ в сжатом описании. Число Пр₂ равно числу ОТ n , число Пр₁: $x_1 = x - n - \Delta n$.

Для кодирования признаков используем коды Хаффмана [16], наиболее часто встречающийся признак кодируем одним битом, а остальные – двумя битами (рис. 1, б).

Сравнивая величины x_1 , n и Δn получим:

при $d = 2$: $x_1 > n$, Δn ; а при $d > 2$: либо $n > x_1$, Δn , если $E \leq 1$, либо $\Delta n > x_1$, n , если $E > 1$, где $E = \Delta n / n$. Следовательно, можно легко вывести и показать, что

$$K_1 = \begin{cases} x_1 + 2(n + \Delta n) \text{ при } d = 2, \\ n + 2(x_1 + \Delta n) \text{ при } d > 2 \text{ и } E \leq 1, \\ \Delta n + 2(x_1 + n) \text{ при } d > 1 \text{ и } E > 1. \end{cases}$$

После преобразования получим [6], [9]:

$$K_1 = \begin{cases} 3n_{\text{нор}} N(E + 1) \text{ при } d = 2, \\ n_{\text{нор}} N(2dE + d + 1) / (d - 1) \text{ при } d > 2 \text{ и } E \leq 1, \\ n_{\text{нор}} N(2d + E(d + 1)) / (d - 1) \text{ при } d > 2 \text{ и } E > 1. \end{cases}$$

Для кодирования местоположения ОТ внутри полигона необходимо число бит, зависящее от размера полигона, т. е. уровня разбиения ℓ . Исходное изображение назовем полигоном с уровнем $\ell = 0$. После первого разбиения имеем полигоны уровня $\ell = 1$ и т. д. Пиксель будет являться неотделимым полигоном уровня m , тогда

$$K_2 = \sum_{\ell=1}^m r_{\ell} Z_{\ell}, \quad (2)$$

где Z_{ℓ} – число заполненных (т. е. покрывающих ОТ) полигонов уровня ℓ ; r_{ℓ} – необходимая разрядность для кодирования координат ОТ.

Полигон уровня ℓ содержит N/d^{ℓ} пикселей, тогда

$$r_{\ell} = \log N/d^{\ell}. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в соотношение (2) и, учитывая, что

$$\sum_{\ell=1}^m Z_{\ell} = n,$$

получим

$$K_2 = N \log d (n_{\text{нор}} m - (1/d^m)) \sum_{\ell=1}^m \ell Z_{\ell}.$$

Окончательное нормированное выражение для определения количества информации будет:

$$K = \log d^* (n_{\text{нор}} m - (1/d^m)) \sum_{\ell=1}^m r_{\ell} Z_{\ell} \begin{cases} 3n_{\text{нор}} E(E + 1) & \text{при } d = 2, \\ n_{\text{нор}} (2dE + d + 1) / (d - 1) & \text{при } d > 2. \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, данный способ сжатия позволяет по выражению (4) вычислить число бит информации, необходимое для определения местоположения ОТ. Однако для вычисления по выражениям (4) и (1) нужно определить следующее:

$E = f(n_{\text{нор}}, d, m)$ – долю пустых полигонов по отношению к числу ОТ;

$Z_{\ell} = f(n_{\text{нор}}, d, m, \ell)$ – число заполненных полигонов различных уровней ℓ .

Рекуррентные соотношения для вычисления числа пустых и заполненных полигонов. Для нахождения E и Z_{ℓ} рассмотрим следующую модель. Изображение представим полем площадью 1; ОТ последовательно наносятся на поле с равной вероятностью появления в любой точке, что приводит к дроблению соответствующих полигонов, при котором появляются как заполненные, так и пустые полигоны.

Обозначим:

r_{ji} – суммарную площадь пустых полигонов i -го уровня после появления j -й точки;

S_{ji} – суммарную площадь заполненных полигонов уровня i после появления точки j ;

p_{ji} – вероятность появления ОТ $j+1$ в пустом полигоне уровня i ;

q_{ji} – вероятность появления ОТ $j+1$ в заполненных полигонах уровня i ;

Z_{ji} – число заполненных полигонов уровня i после появления точки j ;

Y_{ji} – число пустых полигонов уровня i после появления точки j .

Площадь полигона уровня i равна $1/d$. С учетом этого напомним ряд очевидных соотношений [2], [3], [6], [9]:

$$\sum_{\ell=1}^m (p_{j\ell} + q_{j\ell}) = 1, \quad \sum_{\ell=1}^m Z_{j\ell} = \sum_{\ell=1}^m S_{j\ell} \cdot d^\ell = j \quad \text{и} \quad \sum_{\ell=1}^m (r_{j\ell} + s_{j\ell}) = 1, \quad (5)$$

$$Z_{j\ell} = S_{j\ell} d^\ell, \quad Y_{j\ell} = r_{j\ell} d^\ell,$$

где $j = 1, \dots, n$; $\ell = 1, \dots, m$; $r_{j\ell} = (d-1)/d$; $S_{11} = 1/d$; $p_{11} = (d-1)/d$, $q_{11} = 1/d$ и площадь полигона уровня i равна $1/d$.

Искомые величины Z_ℓ и E для вычисления по выражению (4) будут:

$$E(n_{\text{нор}}, d, m) = \frac{\sum_{i=1}^m Y_{ji}}{j} \quad \text{при } j = n, \quad (6)$$

$$Z_\ell(n_{\text{нор}}, d, m, \ell) = Z_{n,\ell},$$

где $\ell = 1, \dots, m$.

После появления каждой ОТ значения p_{ji} и q_{ji} вычисляются по площадям r_{ji} , S_{ji} :

$$p_{ji} = r_{ji}/(1 - j/d^m);$$

$$q_{ji} = (S_{ji} - z_{ji}/d^m)/(1 - j/d^m). \quad (7)$$

В знаменателях выражений и числителе второго выражения учитываются те площади, где невозможны повторные появления ОТ из-за конечного числа пикселей на изображении.

Площади r_{ji} и S_{ji} вычисляются как математическое ожидание случайных величин, принимающих значение различных площадей с соответствующими вероятностями в зависимости от появления ОТ в заполненных или пустых полигонах для всех уровней.

Рассмотрим вычисление площади $r_{j+1, i}$. В зависимости от координат очередной ОТ возможны следующие ситуации (рис. 2):

1. Уменьшение площади: $r_{j+1, i} = r_{ji} - 1/d^i$. Это соответствует появлению $j+1$ ОТ в пустом полигоне i -го уровня; вероятность этого события – p_{ji} (цифра 1 на рис. 2).

2. Увеличение площади: $r_{j+1, i} = r_{ji} + (d-2)/d^i$. Это соответствует появлению ОТ в заполненном полигоне более низкого уровня при условии, что ОТ вызвала цепочку дроблений до уровня ℓ , т. е. появилось d новых полигонов, из которых $d-2$ – пустых и 2 заполненных: предшествующий и текущий $j+1$ -й ОТ (цифра 2 на рис. 2). Пусть ОТ появилась в заполненном полигоне уровня $i-1$; вероятность этого события $q_{j, i-1}$. Тогда возможны две ситуации:

- с вероятностью $1/d$ потребуется более одного разбиения (цифра 2' на рис. 2);
- с вероятностью $1 - 1/d$ потребуется одно разбиение (цифра 2 на рис. 2).

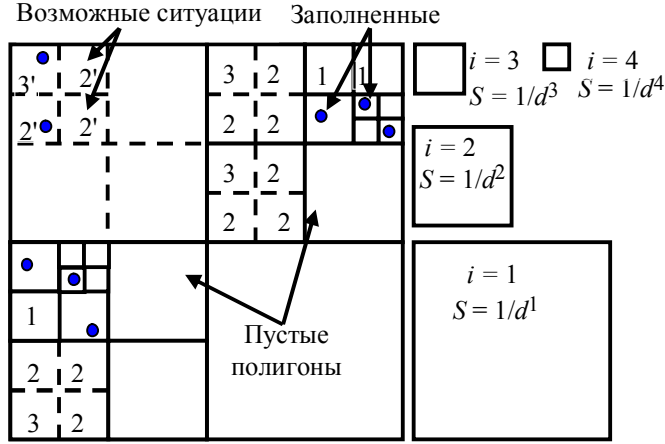


Рис. 2

Следовательно, искомая вероятность при условии появления ОТ в полигоне уровня $i - 1$ составит $q_{j,i-1}(1 - 1/d)$. Если ОТ появилась в заполненном полигоне уровня $i - 2$ (вероятность – $q_{j,i-2}$), то с вероятностью $(1/d)(1/d)$ потребуется более двух разбиений, а с вероятностью $1/d(1 - 1/d)$ – два разбиения, т. е. до уровня i . Следовательно, искомая вероятность составит $q_{j,i-1}1/d(1 - 1/d)$. В итоге, суммируя вероятности по всем уровням, получим искомую вероятность:

$\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} (1 - \frac{1}{d})$. Следует иметь в виду, что найденная вероятность справедлива при усло-

вии, что $i = m$. Если $i = m$, то дальнейшие разбиения невозможны. При появлении ОТ в полигоне $(i - 1)$ -го уровня (вероятность – q_{ji}) произойдет только одно разбиение. При появлении ОТ в полигоне $(i - 2)$ -го уровня с вероятностью $1/d$ произойдет 2 разбиения, т. е. до уровня i . В итоге при $i = m$ искомая вероятность составит: $\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}}$.

3. Увеличение площади: $r_{j+1,i} = r_{ji} + (d - 1)/d^i$. Этот случай аналогичен второму, но разница состоит в том, что цепочка разбиений не заканчивается на уровне i . Очевидно, что этот случай исключается при $i = m$ (цифра 3 на рис. 2). Проводя аналогичные рассуждения, получим вероятность этого случая: $\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \frac{1}{d}$.

4. Площадь сохранится: $r_{j+1,i} = r_{ji}$. Эта ситуация возникает во всех остальных случаях, ее вероятность составит: $1 - p_{ji} - \sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}}$ при $\ell \leq m$.

Суммируя произведения площадей на вероятности соответствующих рассмотренных ранее четырех возможных исходов, после элементарных преобразований получим окончательное выражение:

$$r_{j+1,i} = r_{ji} - p_{ji}/d^i + 1/d^i \sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \begin{cases} (d-1)^2 & \text{при } i < m, \\ d(d-2) & \text{при } i = m. \end{cases} \quad (8)$$

По аналогии вычислим площадь $S_{j+1,i}$. Возможны следующие ситуации [6], [9]:

1. Уменьшение площади: $S_{j+1,i} = S_{ji} - 1/d^i$ с вероятностью q_{ji} .
2. Увеличение площади: $S_{j+1,i} = S_{ji} + 2/d^i$ с вероятностью $\sum_{\ell=1}^{i-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} (1 - \frac{1}{d})$ при $i > m$;

$$\sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \text{ при } I = m.$$

3. Увеличение площади: $S_{j+1,i} = S_{ji} + 1/d^i$ с вероятностью p_{ji} .

4. Площадь сохраняется: $S_{j+1,i} = S_{ji}$ с вероятностью

$$1 - q_{ji} - p_{ji} \sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \begin{cases} 1 - \frac{1}{d} & \text{при } i < m, \\ 1 & \text{при } i = m. \end{cases}$$

Окончательное выражение:

$$S_{j+1,i} = S_{ji} + 1/d^i (p_{ji} - q_{ji}) + 1/d^i \sum_{\ell=1}^{\ell-1} q_{j,i-\ell} \frac{1}{d^{\ell-1}} \begin{cases} 2(d-1) & \text{при } i < m, \\ 1 & \text{при } i = m. \end{cases} \quad (9)$$

С учетом выражений (5), (7)–(9) получим следующие рекуррентные выражения [6], [9]:

$$Y_{j+1,1} = Y_{j,1} + \frac{\begin{cases} (d-1)^2, & \text{если } \ell < m \\ d(d-2), & \text{если } \ell = m \end{cases} \sum_{\ell=1}^{m-1} (1-d)^{\ell-m} Z_{j1} - Y_{j1}}{d^\ell - jd^{\ell-m}}, \quad (10)$$

$$Z_{j+1,1} = Z_{j,1} + \frac{\begin{cases} 2(d-1), & \text{если } \ell < m \\ 2d, & \text{если } \ell = m \end{cases} \sum_{\ell=1}^{m-1} (1-d)^{\ell-m} Z_{j1} - Z_{j1}(1-d^{\ell-m})}{d^\ell - jd^{\ell-m}}.$$

Оценка степени приближения к энтропии. Рассмотренная аналитическая модель позволяет вычислить значение количества информации (k) (см. постановку задачи) по следующей схеме:

1. По выражениям (10) находим число заполненных и пустых полигонов (y_{ji}, z_{ji}) при заданных ℓ, m, d, i и j .

2. По выражению (6) вычисляем E и Z_ℓ .

3. Используя выражение (4) определяем k .

Для оценки эффективности предложенного способа кодирования информации о расположении ОТ сравним результаты моделирования с теоретическим минимумом (рис. 3).

На поле изображения, содержащем N пикселей, n ОТ могут распределиться $C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$ способами. С учетом равновероятности распределения ОТ все комбинации независимы, следовательно, количество информации, необходимое для кодирования любой комбинации, составит [13]:

$$H_\varepsilon = \log C_N^n \quad k_{\min} = -n_{\text{нор}} \log n_{\text{нор}} - (1 - n_{\text{нор}}) \log(1 - n_{\text{нор}}). \quad (11)$$

Выражение (11) позволяет вычислить ε -энтропию источника H_ε , но ничего не говорит о способе кодирования, при котором достигается.

Выводы. Сформулируем кратко основные выводы, которые можно рассматривать и как основные черты описанного рекурсивного метода для представления и кодирования нестационарных источников изображений.

- На рис. 4 приведены зависимости $E(n_{\text{нор}})$ при различных d, m . Анализ результатов позволяет утверждать, что E слабо зависит от m и при $N = d^m > 10^3$ этой зависимостью можно пренебречь (ошибка на уровне десятых долей процента). Из графиков следует, что $d = 3$ или 4 является оптимальным.

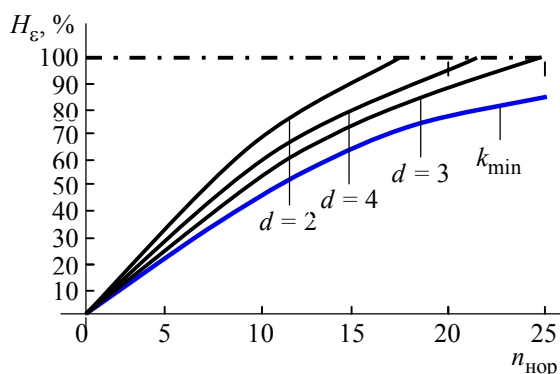


Рис. 3

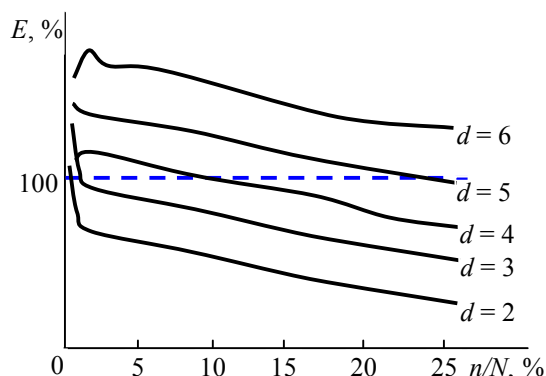


Рис. 4

Применение пирамидально-рекурсивного метода при обработке изображений позволяет сохранить в памяти ЭВМ опорные точки в виде некоторой регулярной, иерархической структуры. Эта структура описывается рекурсивно, путем указания и выбора критерия разбиения, поиска опорных точек и закона их развития. Такая структура данных позволяет абстрагироваться от исходного многомерного скалярного или векторного поля и работать с плоским графом (регулярным деревом), сохраняющим в то же время все свойства многомерного поля.

- Определено, что оптимальным числом полигонов после разбиения при проектировании систем кодирования на основе пирамидально-рекурсивного метода с равновероятным распределением ОТ на исходных изображениях является $d = 3$.

- Показано, что эффективным оказывается пирамидально-рекурсивное разбиение изображений с равномерным распределением ОТ, когда количество ОТ не превышает 30 % от общего количества точек исходного изображения.

На рис. 5 приведены зависимости $k(n_{\text{нор}})$ при оптимальном $d = 3$ и различных значениях v и $N = d^m$, следовательно, максимального приближения к ϵ -энтропии можно достичь при значениях $v = 6, m = 12$.

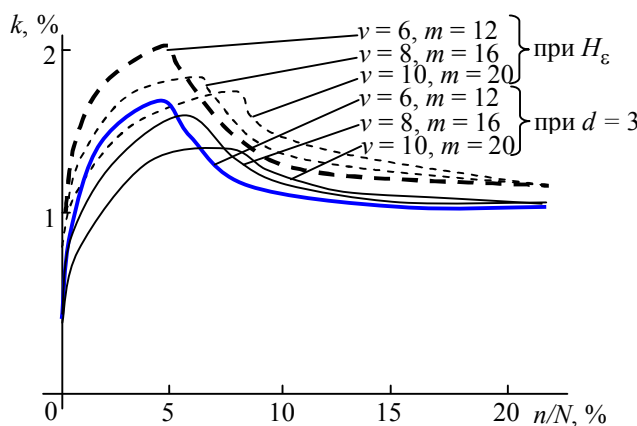


Рис. 5

- Введено новое понятие пустого полигона при ПРП, обеспечивающего более эффективное кодирование последовательности ОТ, где разработанная модель позволяет определить число пустых полигонов для любого заранее известного количества опорных точек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердотельная революция в телевидении / В. В. Березин, А. А. Умбиталиев, Ш. С. Фахми и др. М.: Радио и связь, 2007.
2. Александров В. В., Горский И. Д. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход. Л.: Наука, 1985.
3. Александров В. В., Горский И. Д. Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных. Л.: Наука, 1983.
4. Эксперименты с машинным зрением / В. П. Андреев, Д. А. Белов, Г. Г. Вайнштейн и др.; Под ред. И. А. Овсеевича. АН СССР ИППИ-М.: Наука, 1987.
5. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1980.
6. Шакиб Ф., Шах В. В., Шмидт В. К. Оценка степени сжатия изображений с использованием рекурсивного метода разбиения // Изв. ГЭТУ. 1993. Вып. 462. С.54–65.
7. Фахми Ш. С. Аналитическая модель оценки эффективности кодирования информации по опорным точкам // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2006. Вып. 2. С. 71–75.
8. Фахми Ш. С., Шах В. В., Шмидт В. К. Алгоритм сжатия и восстановления изображений с пирамидально-рекурсивной структурой данных / СПбГЭТУ. СПб., 1993. Деп. в ВИНТИ 11.02.93, № 350-В93. 10 с.
9. Фахми Ш. С., Шах В. В., Шмидт В. К. Аналитическая модель для оценки степени сжатия информации по опорным точкам // Методы и аппаратно-программные средства цифровой обработки сигналов / ЛЭТИ. СПб., 1993. № 1. С. 40–45.
10. Фахми Ш. С., Шах В. В., Шмидт В. К. Алгоритм сжатия и восстановления методом деления на треугольники // Изв. ГЭТУ. 1993. Вып. 448. С. 5–15.
11. Фахми Ш. С. Кодирование и декодирование видеоинформации // Вопросы радиоэлектроники. Сер. «Техника телевидения». 2007. Вып. 2. С.43–51.
12. Фахми Ш. С. Полигональная рекурсивная обработка видеоинформации // Вопросы радиоэлектроники. Сер. «Техника телевидения». 2008. Вып. 1. С. 42–49.
13. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
14. Витерби А. Д., Омура Дж. Принципы цифровой связи и кодирования / Пер. с англ., Под ред. К. Ш. Зигангирова. М.: Радио и связь, 1982.
15. Теория кодирования / Т. Касами, И. Токура, Е. Ивадари, Я. Инагаки; Пер. с япон.; Под ред. Б. С. Цыбакова и С. И. Гельфанда. М.: Мир, 1978.
16. Хаффман Д. А. Методы построения кодов с минимальной избыточностью // Кибернетический сборник. М.: Мир, 1963. Вып. 3. С. 79–87.

Sh. S. Fahmi

ANALYTICAL MODEL FOR ESTIMATE OF APPROACH DEGREE TO EPSILON-ENTROPY IN SYSTEMS OF ENCODING NON-STATIONARY IMAGES SOURCES

In this paper the analytical model for estimate of a approach degree to an epsilon-entropy of non-stationary images on pyramidal-recursive method basis splitting of the initial image is offered. Experimental researches are lead and parameters of system encoding images are certain.

Analytical model, non-stationary sources, ϵ -entropy

УДК: 681.324

Д. Л. Петров

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ

Предложена динамическая модель консолидированного облачного хранилища данных. На основе разработанной модели было формально доказано, что эффективность консолидированного облачного хранилища с единым набором устройств хранения выше, чем у набора раздельных хранилищ.

Облачные вычисления, распределенные хранилища данных, моделирование систем

Облачные вычисления.

История. Облачные вычисления (computing clouds, англ.) – это концепция, согласно которой вычислительные ресурсы находятся на удаленных серверах и арендуются по требованию. Приложения лишь временно используют эти ресурсы для выполнения своих функ-

ций. Концепцию трудно назвать новой. Еще в 60-х гг. XX в. создатель языка программирования Лисп и автор термина «искусственный интеллект» Джон Маккарти высказал предположение о необходимости совместного использования компьютерных мощностей в виде услуги, проводя аналогию с электросетями и водоснабжением. Технологии тех лет были слишком примитивны для подобных решений. В некоторой мере эта концепция была реализована позже в майнфреймах, в которых пользователи одной организации имели доступ через терминал к общему компьютеру. Появление grid-технологий в 90-х гг. XX в. создало технологическую базу для компьютерных мощностей, предоставляемых в виде услуги. Эта технологическая база оформилась в виде стандартов веб-служб (web-services), которые унифицировали интерфейсы взаимодействия между службами. Полноценное развитие концепция облачных вычислений получила только начиная с 2000 г. Ее развитию способствовали повсеместное распространение Интернета как телекоммуникационной основы и стандарты веб-служб как технологическая база. Термин computing cloud впервые использовал в 2004 г. Николас Дж. Карр [1], описывая вычислительные ресурсы, предоставляемые по требованию.

Облачные хранилища данных. Облачные вычисления существенно меняют взгляды на технологии [2], [3]. Использование ресурсов по требованию позволяет создавать приложения и устройства с новыми техническими и экономическими характеристиками. Сегодня можно говорить о переходе к экономике услуг или сервисов [3]. Службы, являющиеся инфраструктурой для других служб или сервисов, получили название инфраструктуры как услуги, или IaaS [4].

Одним из типов новых устройств являются облачные хранилища данных. Эти хранилища используют IaaS-инфраструктуру, т. е., не имея собственных устройств хранения, они арендуют их. Такие устройства необходимы для предоставления более специализированных хранилищ, нежели «сырые» устройства хранения. Например, арендуя набор серверов с блочными устройствами хранения, можно их представлять в виде единого хранилища с сетевым протоколом доступа (HTTP, WebDAV или SMB). Другим примером может служить служба резервного копирования, основанная на IaaS-инфраструктуре.

Проблемы облачных хранилищ. Облачные хранилища данных появились недавно, поэтому с ними связано множество нерешенных проблем [5]. Самая явная проблема заключается в неоднозначной терминологии. В некоторых работах облачным хранилищем называют предоставляемую инфраструктуру [6], в других работах – хранилища-сервисы, основанные на IaaS [5], [7].

Вторая проблема облачных хранилищ – необходимость менять количество устройств хранения, т. е. масштабироваться. Масштабирование – главный аспект облачных вычислений [3], [5]. Регулярное масштабирование требует описания динамики хранилища на уровне модели. Существующие модели не описывают динамику хранилища.

Еще одна проблема – алгоритмы управления ресурсами. Для обычных хранилищ, имеющих фиксированное количество устройств хранения, разработано множество алгоритмов [8], [9]. Ранее [7] автором было показано, что не все разработанные алгоритмы применимы к облачным хранилищам. В данной статье будет предложена модель консолидированного облачного хранилища, которая нацелена на решение обозначенных проблем.

Существующие модели.

Пользовательские требования. Основными элементами любого распределенного хранилища данных являются устройства хранения (или диски) и элементы данных (блоки данных или файлы). Со стороны пользователей хранилища формируются требования к элемен-

там данных. Описывая хранилища данных и требования к ним, будем использовать терминологию из работ [8], [9].

На основании [9] опишем модель пользовательских требований к хранилищу.

Определение 1. Модель пользовательских требований к хранилищу образуют кортеж $R = (U, M, Q)$, где $U = \{u_1, u_2, \dots\}$ – множество пользователей; $M = \{m_1, m_2, \dots\}$ – множество элементов данных; $Q: U \rightarrow X \subseteq M$ – требования пользователей к элементам данных.

Хранилища данных. Основная функция хранилища – распределение элементов данных по устройствам хранения таким образом, чтобы пользовательские требования к данным (определение 1) были удовлетворены.

Определение 2. Хранилище данных – это кортеж $S = (M, D, P, L, C, R)$, где $M = \{m_1, m_2, \dots\}$ – множество элементов данных; $D = \{d_1, d_2, \dots\}$ – множество устройств хранения; $P: M \rightarrow D$ – распределение элементов данных по устройствам хранения; $L \in N$ – загрузка устройств хранения (натуральное число); $C \in N$ – объем устройств хранения (натуральное число); R – пользовательские требования к данным из определения 1.

Объем устройств хранения C ограничивает количество элементов данных, которые могут одновременно размещаться на одном устройстве. Загрузка устройств L ограничивает максимальное количество пользователей, способных одновременно работать с данным устройством. В некоторых работах [9] для каждого устройства задаются отдельные ограничения на загрузку и объем, но, поскольку устройства хранилища обычно однотипные, проще задавать параметры натуральными числами.

На практике часто используются консолидированные хранилища или фермы хранилищ, представляющие собой объединение нескольких хранилищ. Такая консолидация позволяет снизить затраты на обслуживание хранилищ [10].

Определение 3. Консолидированное хранилище $S_{\text{farm}} = \{S_1, S_2, \dots\}$ состоит из множества раздельных хранилищ данных S_i , где $S_i = (M_i, D_i, P_i, L, C, R_i)$ – хранилища из определения 2.

Консолидированные облачные хранилища данных.

Пользовательские требования к облачному хранилищу. Регулярное изменение пользовательских требований к данным и масштабирование облачных хранилищ требуют описания динамики хранилища на уровне модели. Опишем пользовательские требования к облачному хранилищу на основании определения 1, явно указав их динамическую природу.

Определение 4. Модель пользовательских требований к облачному хранилищу образует кортеж $R(t) = (U, M, Q(t))$, где $U = \{u_1, u_2, \dots\}$ – множество пользователей; $M = \{m_1, m_2, \dots\}$ – множество элементов данных; $Q(t): U \rightarrow X \subseteq M$ – требования пользователей, меняющиеся во времени.

Модель облачного хранилища. Модель облачного хранилища должна разделять инфраструктуру и отдельные хранилища (хранилища-сервисы), использующие эту инфраструктуру. Основная задача хранилищ-сервисов – эффективное использование инфраструктуры, т. е. устройств хранения. Для решения этой задачи им необходимо подстраиваться под меняющиеся требования пользователя, минимизируя количество используемых устройств хранения, т. е. необходимо быстро масштабироваться. Постоянные изменения состава устройств приводят к необходимости описывать динамику поведения хранилища в зависимости от времени.

Для начала опишем масштабирующееся облачное хранилище как составную часть консолидированного облачного хранилища.

Определение 5. Масштабирующееся облачное хранилище – это хранилище $S(t) = (M, D(t), P(t), L, C, R(t))$, содержащее: $M = \{m_1, m_2, \dots\}$ – множество элементов данных; $D(t) = \{d_1, d_2, \dots\}$ – множество устройств хранения, меняющееся во времени, такое, что $\forall t, D(t) \geq 0$; $P(t): M \rightarrow D$ – функция распределения элементов данных по устройствами хранения, меняющаяся во времени; $L \in N$ – загрузка устройств хранения; $C \in N$ – объем устройств хранения; $R(t)$ – пользовательские требования к данным, меняющиеся во времени.

Имея указанные определения, можно определить консолидированное облачное хранилище, включающее в себя как набор масштабирующихся облачных хранилищ, так и инфраструктуру.

Определение 6. Модель консолидированного облачного хранилища $S_{\text{cloud}} = \{S, D, D_{\text{use}}(t), \dots\}$ содержит: $S = \{S_1(t), S_2(t), \dots\}$ – множество масштабирующихся хранилищ (определение 5), $S(t) = (M(t), D(t), P(t), L, C, R(t))$; $D = \{d_1, d_2, \dots\}$ – множество устройств хранения, общих для всех масштабирующихся хранилищ; $\forall t, D_{\text{use}}(t) \subseteq D$ – подмножество устройств хранения, используемых в момент t одним из хранилищ S ; $\forall t, i: D_i(t) \subseteq D_{\text{use}}(t)$ – множество устройств хранения, используемых масштабирующимся хранилищем S_i в момент времени t . При этом выполняется условие $\forall t, i, j, i \neq j \Rightarrow D_i(t) \cap D_j(t) = \emptyset$, т. е. масштабирующиеся хранилища не могут одновременно использовать какое-либо устройство хранения.

Доказательство эффективности облачного хранилища.

Теорема (Эффективность консолидированного облачного хранилища). Консолидированное облачное хранилище за период T использует не больше устройств хранения, чем ферма хранилищ.

Доказательство. Для фиксированного набора хранилищ данных S_i с фиксированными требованиями пользователей R_i рассмотрим 2 варианта создания распределенных хранилищ: консолидированное облачное хранилище $S_{\text{cloud}} = \{S, D, D_{\text{use}}(t)\}$ (определение 6) и ферму хранилищ $S_{\text{farm}} = \{S'_1, S'_2, \dots\}$ (определение 3).

Каждому хранилищу фермы S'_i соответствует масштабируемое облачное хранилище $S_i(t)$ консолидированного облачного хранилища, которое способно менять состав устройств хранения. Множество устройств хранения хранилищ фермы S'_i будем обозначать D'_i , чтобы не путать его с функцией множества устройств масштабируемых облачных хранилищ $D_i(t)$.

Очевидно, что каждому из хранилищ фермы во время функционирования потребуется $D'_i = \max_{t \in T} D_i(t)$ устройств хранения, а всем устройствам совместно за период T потребуется $\sum_i D'_i = \max_{t \in T} \sum_i D_i(t)$ устройств.

Консолидируемому хранилищу в момент времени t для обслуживания всех масштабируемых хранилищ требуется $D_{\text{use}}(t) = \sum_i D_i(t)$ устройств хранения, поскольку оно использует совместный пул устройств D . Верхняя граница этой суммы за период T и будет требуемым

количеством устройств хранения, т. е. консолидируемому хранилищу для обслуживания всех хранилищ требуется $D_{\text{use}} = \max_{t \in T} \sum_i D_i(t)$ устройств хранения.

Сравнивая требуемое количество устройств консолидированного облачного хранилища $\max_{t \in T} \sum_i D_i(t)$ и количество устройств фермы хранилищ $\sum_i \max_{t \in T} D_i(t)$, приходим к неравенству

$$\max_{t \in T} \sum_i D_i(t) \leq \sum_i \max_{t \in T} D_i(t). \quad (1)$$

Очевидно, что максимум суммы положительных чисел не больше суммы максимума тех же чисел, т. е. неравенство (1) выполняется при условии $\forall t \in T, D(t) \geq 0$, что соответствует определению 4 облачного хранилища.

Из неравенства (1) следует, что консолидированному хранилищу требуется не больше устройств хранения, чем ферме хранилищ.

Выводы. Описаны история и предпосылки возникновения концепции облачных вычислений. Произведен обзор имеющихся моделей хранилищ данных с указанием существующих проблем. Предложена модель консолидированного облачного хранилища данных. В отличие от существующих, представленная модель является динамической, что позволяет описывать на модели такие процессы, как регулярное масштабирование хранилища. На основе разработанной модели было формально доказано, что эффективность консолидированного облачного хранилища с единым набором устройств хранения выше (формально – не ниже), чем у набора отдельных хранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nicholas G. Carr. Does IT Matter? Information Technology and the Corrosion of Competitive Advantage. Harvard: Harvard Business Press, 2004.
2. Robison S. A Bright Future in the Cloud // Financial Times. 2008. № 4.
3. Delic K. A., Walker M. A. Emergence of the academic computing clouds // Ubiquity, ACM. 2008. Vol. 9, Issue 31.
4. Fouquet M., Niedermayer H., Carle G. Cloud computing for the masses // CoNEXT, Rome, 1–4 dec. 2009. N. Y.: ACM, 2009. P. 31–36.
5. Zuckerman B. Scalable storage in the cloud // Cloud Slam conf., 20–24 apr. 2009.
6. Gurumurthi S. Architecting Storage for the Cloud Computing Era // Micro Magazine. 2009. Vol. 29, Issue 6. P. 68–71.
7. Petrov D., Tatarinov Y. Data migration in the scalable storage cloud // ICUMT, St.Petersburg, 12–14 Oct. 2009. P. 1–4.
8. On Algorithms for Efficient Data Migration / J. Hall, J. Hartline, A. Karlin, et al. // SODA, Washington, 7–9 jan. 2001. Washington: SIAM, 2001. P. 620–629.
9. Approximation Algorithms for Data Placement on Parallel Disks / L. Golubchik, S. Khanna, S. Khuller et al. // SODA, San Francisco, 9–11 jan. 2000. San Francisco: SIAM, 2000. P. 223–232.
10. Spellmann A., Erickson K., Reynolds J. Server consolidation using performance modelling // IT Professional. 2003. Vol. 5, Issue 5. P. 31–36.

D. L. PETROV

DYNAMIC MODEL OF CONSOLIDATED CLOUD STORAGE

A dynamic model of the consolidated cloud storage is proposed in this work. On the basis of the developed model we have formally proved that the consolidated cloud storage with a pool of storage devices is more effective than a set of separated storages.

Cloud computing, distributed data storages, system modeling



УДК62.50:681.513.6

**В. В. Путов, Е. В. Друян,
А. В. Путов, В. Н. Шелудько**

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ БУКСИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АЭРОДРОМНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассмотрены вопросы сертификационных испытаний измерителей коэффициента сцепления, создания стендового испытательного оборудования и возможности проведения государственных сертификационных испытаний измерителей коэффициента сцепления в лабораторных условиях с применением специального испытательного стенда. Приведены результаты проведения отдельных экспериментов и испытаний измерителей коэффициента сцепления на стенде.

Динамометрический стенд, стендовые испытания, лабораторные испытания, сертификация, измеритель коэффициента сцепления, буксируемая установка аэродромного обслуживания

Коэффициент сцепления – собственная характеристика поверхности наземного покрытия, определяющая меру сцепления с ней колес транспортного средства. Во всем мире он является предметом исследования, и ведутся работы по увеличению коэффициента сцепления покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов и автомобильных дорог в целях повышения безопасности транспортных перевозок. Коэффициент сцепления может изменяться, например, в зависимости от погодных условий, и в аэропортах необходим постоянный контроль состояния поверхности [1].

Среди измерителей коэффициента сцепления наибольшим признанием пользуются устройства, представляющие собой автомобильные прицепы, оснащенные одним-двумя измерительными колесами. Насчитывается до двух десятков фирм, выпускающих такую технику, прочно закрепившихся на мировом рынке. На кафедре САУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разработаны буксируемые установки аэродромного обслуживания для измерения коэффициента сцепления двух моделей и разрабатываются новые модификации, выгодно отличающиеся от известных мировых разработок тем, что в них используются автоматически управляемые электромеханические устройства торможения измерительного колеса [2].

При работе над созданием аэродромных буксируемых установок на кафедре САУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» возникает потребность в различных испытаниях. В ходе создания любой техники периодически необходимы отладочные испытания. Стендовые отладочные испытания представляются очень практичными, поскольку они возможны практически на любой стадии готовности техники.

Любое измерительное средство при появлении должно быть откалибровано, для того чтобы можно было интерпретировать его показания. Калибровка измерителя коэффициента сцепления в аэродромных условиях практически невозможна, так как в мире не существует эталонных калиброванных поверхностей с известными фрикционными свойствами, на которых можно было бы исследовать автомобильный прицеп, поэтому предпочтение должно быть отдано калибровке измерителей коэффициента сцепления, осуществляемой на калибровочных стендах.

Измерители коэффициента сцепления в России и во всем мире подлежат обязательной государственной сертификации и сертификационным испытаниям. Большой объем аэродромных сертификационных испытаний можно и целесообразно замещать стендовыми и проводить в лабораторных условиях. Исполнительным органом, проводящим сертификацию аэродромной техники, аккредитованным в системе сертификации ГОСТ Р², является Межгосударственный авиационный комитет (МАК)³.

Первая аэродромная буксируемая установка сертифицирована в России в 2009 г., ей присвоен сертификат типа, распространяющийся на все изделия этого типа, выпущенные в условиях лицензированного производства, а также на три экземпляра данного типа, участвовавшие в государственных сертификационных испытаниях. Таким образом, сертификации подлежат все изделия этого типа, выпущенные на нелицензированном производстве, а также изделия других типов.

На сертификацию типа изделий, разработанных в СПбГЭТУ «ЛЭТИ», потребовалось около пяти лет и затрачено немало средств. Опираясь на приобретенный опыт, авторы предлагают дорогостоящие и труднореализуемые натурные сертификационные испытания, проводимые совместными усилиями группы разработчиков, комиссии по сертификации аэродромов и оборудования МАК и сотрудников аэропорта «Пулково», заменить лабораторными испытаниями в целях экономии времени и других ресурсов. Для реализации такой замены на кафедре САУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разрабатывается соответствующее испытательное оборудование, а также методологическое и программное обеспечение.

Для динамических испытаний аэродромной тормозной тележки в помещении требуется применение некоего имитатора качения измерительного колеса с произвольно задаваемой скоростью. Таким образом формируется потребность в создании стенда, построенного на основе принципа «бегущей дорожки» или гонного барабана. На таком стенде можно выполнять отладку, калибровку, сертификационные испытания, периодические метрологические проверки, повторные отладочные и калибровочные испытания буксируемых установок (после ремонта, ресурсные и др.), исследование новых и поиск более эффективных режимов торможения.

² Сайт сертификационного центра «ЛенТЕСТ»: <http://www.lentest.ru/>.

³ Сайт межгосударственного авиационного комитета: www.mak.ru.

Вот уже на протяжении 80 лет стенды используются для измерения тяговых характеристик автомобилей [3]. Динамометрический стенд – это установка для снятия силовых характеристик транспортного средства. Такие стенды, как правило, позволяют определить мощность и расход топлива, тяговую характеристику, время и путь разгона и другие параметры. Кроме того, стенды, как правило, оснащают измерительной техникой для поэлементного диагностирования систем и агрегатов, исправность которых удобно проверять при имитации рабочих режимов автомобиля (двигателя, трансмиссии, спидометра и т. д.). Самыми универсальными являются комбинированные стенды (станции), предназначенные для диагностирования не только указанных агрегатов, но и тормозных систем.

Авторами были изучены порядка ста стендов, их конструкции и принципы работы; проведены патентные исследования⁴, обобщены требования, приведенные в международных и российских стандартах⁵. Была разработана классификация изученных стендов по конструкции имитатора пути, устройству динамометрической системы, типу силового агрегата, составу испытуемого образца и другим признакам. В результате обобщения полученных данных был создан синтетический облик специального динамометрического стенда, обобщающий не только более чем восьмидесятилетний опыт применения такого стендового оборудования, но и содержащий новые решения. Выполнение требований, сформулированных в стандартах, дает основание полагать, что разработанный стенд удовлетворяет требованиям международных и российских стандартов на динамометрическое стендовое оборудование для мото- и автотранспорта.

Представленный стенд позволяет проводить испытания изделий, имеющих различные массогабаритные параметры. В качестве объектов для стендовых испытаний были рассмотрены указанные выше модели электромеханических аэродромных буксируемых установок, существенно отличающиеся друг от друга конструктивным исполнением.

Одна из этих установок (рис. 1) весит 650 кг, содержит две электрические машины постоянного тока, включенные по схеме взаимной нагрузки, передний мост автомобиля ВАЗ 21213 «Нива» и имеет ширину колеи несущих колес 1720 мм и длину колесной базы 995 мм.

На рис. 1 представлен эскиз испытательного стенда с помещенной на него двухдвигательной электромеханической аэродромной установкой; цифрами обозначены: 1 – барабан; 2 – измерительное колесо тележки; 3 – двухдвигательная аэродромная установка; 4 – рама стенда; 5 – двигатель; 6 – зазор между барабаном и полом; 7 – пол; 8 – пандус-трансформер; 9 – зубчатый ротор датчика скорости двигателя; 10 – транспортные колеса тележки; 11 – поверхность для опоры транспортных колес; 12 – площадка для дополнительного метрологического оборудования.

Пандус-трансформер 8 стенда, изображенный на рис. 1, включающий в себя три трапа для всех колес тележки, может находиться в трех функциональных состояниях: собственно наклонного пандуса, компактно сложенном и в состоянии горизонтальной платформы (изображено на рисунке), когда его боковые трапы формируют собой поверхности для опоры транспортных колес шасси тележки.

⁴ Сайт ИП ФИПС: http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru.

⁵ ГОСТ ИСО 6970–2007 «Мотоциклы и мопеды – Динамометрический стенд» – официальное издание аутентичного перевода международного стандарта ISO 6970:1994 «Motorcycles and mopeds – Chassis dynamometer bench» (ISO 6970:1994, IDT): http://www.gosstandart.gov.by/txt/BDD_pdf/gi6970-2007.pdf, ГОСТ Р 41.83–99, Дополнение 2 Динамометрический стенд: <http://www.docload.ru/Basesdoc/9/9694/index.htm> и другие.

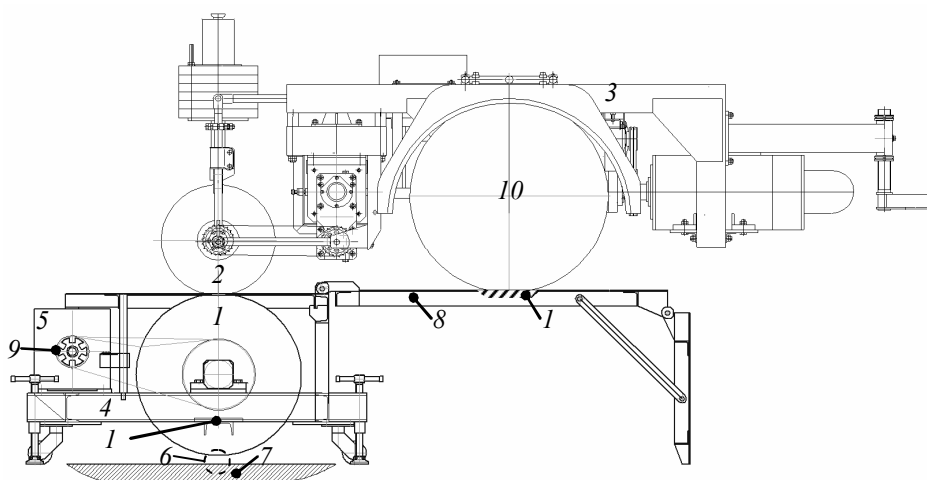


Рис. 1

Другая аэродромная буксируемая установка (рис. 2), разработанная в 2007–2008 гг., реализует схему динамического торможения синхронного генератора. Масса тележки составляет 450 кг, а колесная база – 90 мм.

На рисунке представлен чертеж окончательной конструкции стенда с размещенной на нем буксируемой установкой с синхронным генератором.

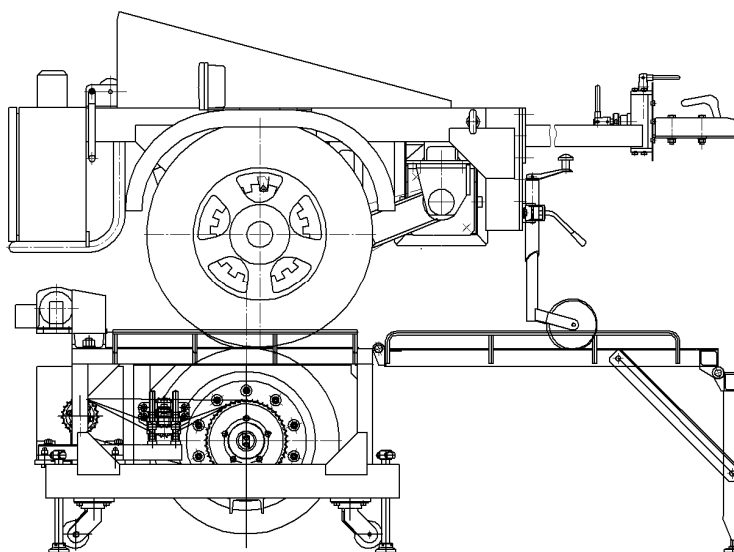


Рис. 2

Всего в ходе конструкторской разработки выполнено 463 чертежа. В программном пакете КОМПАС-3D созданы действующие 3D-модели разработанных конструкций.

На рис. 3 представлена 3D-модель стенда, где цифрами обозначены: 1 – барабан; 2 – поверхность для установки опорного колеса ИКС-1; 3 – рама стенда; 4 – двигатель; 5 – тензометрический узел натяжения цепи; 6 – рама пандуса; 7 – левый и правый трапы пандуса; 8 – средний трап пандуса; 9 – поверхности для опоры транспортных колес установок разных моделей; 10 – опорные поворотные колесики стенда и площадки для их монтажа; 11 – регулируемые винтовые упоры; 12 – ведомая звезда стенда; 13 – площадка для дополнительного метрологического оборудования; 14 – крышка барабана с окном для установки измерительного колеса; 15 – ведущая звезда стенда; 16 – площадка для двигателя и измерительного узла; 17 – балка с площадкой для ручной лебедки; 18 – ограждение платформы.

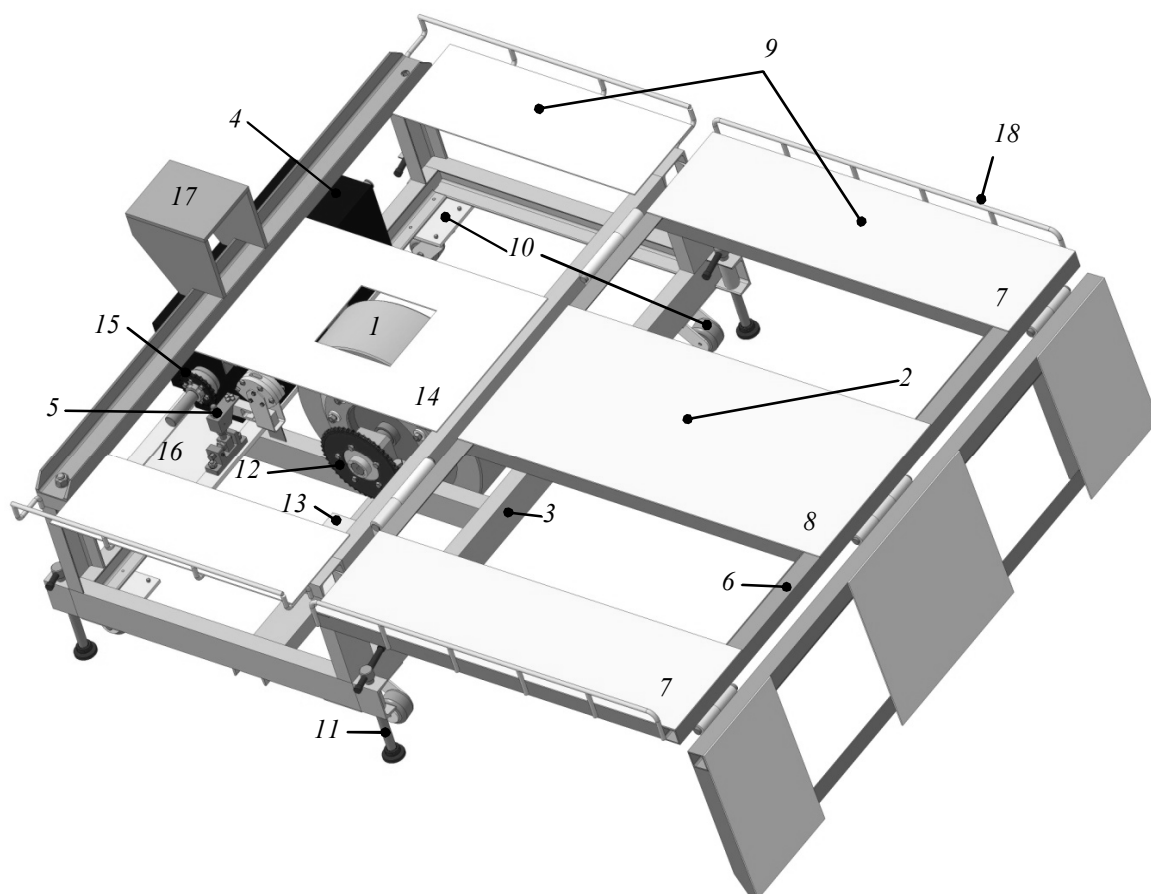


Рис. 3

3D-модель позволяет более наглядно, чем на чертеже, рассмотреть конструкцию стенда с пандусом, установленным в положение «горизонтальная платформа». Ограждение 18 платформы служит для предотвращения падения тележки с пандуса при подъеме ее на стенд и с платформы при каких-либо манипуляциях, а также для ее фиксации стропами в испытательном режиме. Ровная горизонтальная платформа размерами 2×1.8 м, которую можно покрыть сплошным настилом, позволяет обеспечить установку практически любого шасси.



Рис. 4

Разработанная конструкторская документация на испытательный стенд включает в себя полные спецификации и деталировки и готова к промышленной реализации.

На рис. 4 показан стенд с размещенной на нем электромеханической буксируемой установкой с синхронным генератором в УНЛ «Мехатронные комплексы подвижных объектов и мобильные установки аэродромного обслуживания».

Система управления частотой вращения барабана стенда включает три уровня: высший уровень представлен промышленным панельным компьютером ТРС-1260G-A1 с сенсорным экраном, средний (уровень сопряжения) – контроллером Infineon C-164, и низший – управляемым приводом постоянного тока мощностью 24 кВт. Система управления выполнена в виде стойки информационно-управляющей и силовой электроники (на рис. 4 слева).

Полированный барабан стенда изготовлен из алюминиевого сплава. Его собственные фрикционные характеристики измерены при помощи установки с синхронным генератором при постоянном подтормаживании измерительного колеса до уровня проскальзывания⁶, равного 10 %. Полученный коэффициент сцепления составил 0.586⁷.

Также был поставлен эксперимент по достижению низкого коэффициента сцепления. При прокатывании измерительного колеса по барабану область их контакта смачивалась водой. Это привело к очень сильному уменьшению сцепления. Поверхность барабана стала даже более скользкой, чем поверхность тающего льда, а ее коэффициент сцепления составил 0.03. Этот уровень никогда не был достигнут в полевых условиях. Создав ледяное наземное покрытие в аэродромных условиях, удалось добиться значений коэффициента сцепления, достигающих уровня 0.16. По сертификационным требованиям испытания должны проводиться при состояниях покрытия с различной описательной характеристикой, отличающихся между собой по величине коэффициента сцепления в диапазоне от 0.08 до 0.6. Достигнутое в лабораторных условиях значение с большим запасом удовлетворяет требованиям, предъявляемым к условиям проведения сертификационных испытаний на низком коэффициенте сцепления, тогда как на аэродромных испытаниях значения коэффициента сцепления, равного 0.08, не удастся достигнуть ни при каких погодных условиях.

Для имитации коэффициента сцепления с большими значениями необходим барабан с поперечной насечкой. При его смачивании не происходит резкого падения сцепления даже при использовании гладкой шины. Возможно также создание барабана, на котором гладкие участки чередуются с насеченными с частотой, достаточной для того, чтобы график результирующего сцепления обладал приемлемой гладкостью. Изменяя соотношение величин гладких и насеченных участков, можно изготавливать барабаны с любыми фрикционными свойствами.

В настоящее время на кафедре САУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» на описываемом стенде проводится целый ряд испытаний и исследований измерителей коэффициента сцепления, и полученные результаты позволяют утверждать, что возможно также проведение сертификационных испытаний в этих условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ-94). М.: Воздушный транспорт, 1995.
2. Мобильная электромеханическая установка нового поколения для оперативного контроля аэродромных покрытий / В. В. Путов, В. Е. Хильченко, А. В. Путов, В. Н. Шелудько // Мехатроника, автоматизация и управление. 2007. № 10. С. 25–30.
3. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Г. В. Крамаренко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983.

V. V. Putov, E. V. Druyan, A. V. Putov, V. N. Shelud'ko

TEST BENCHES FOR AIRFIELD FRICTION TESTERS

The questions of airfield surface friction tester certification tests, the establishment of the bench test equipment and the possibility of the airfield surface friction testers state certification in the laboratory conditions using special test bench are discussed. The results of individual experiments and airfield surface friction tester tests are presented.

Dynamometer, test bench, laboratory testing, certification, friction coefficient measurement, airfield surface friction tester

⁶ Скольжение, проскальзывание – величина $S = (\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{д}}) / \omega_{\text{н}} \cdot 100 \%$, где $\omega_{\text{с}}$ – частота свободного вращения измерительного колеса, $\omega_{\text{т}}$ – частота вращения подтормаживаемого измерительного колеса.

⁷ Коэффициент сцепления измеряется в безразмерных единицах.



УДК 621.365.5

В. Д. Гончаров, Д. С. Самсонов

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ТОКА ДЛЯ СИГНАЛОВ НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Предложен новый метод анализа взаимодействия импульсного электромагнитного излучения с веществом, основанный на представлении импульса произвольной формы в виде гармонического ряда (ряда Фурье) и исследовании взаимодействия каждой гармоники ряда с веществом.

Спектр, глубина проникновения, скин-эффект, несинусоидальный сигнал

В целом ряде современных электротехнологий процесс нагрева стремятся проводить за минимальное время. Особенно ярко это проявляется в случае высокоинтенсивной импульсной закалки [1]. Малое время нагрева дает возможность чрезвычайно быстрого охлаждения нагретого материала (за счет теплопроводности во внутренние холодные слои материала). При этом происходит фиксация неравновесного состояния, и полученные закаленные слои приобретают более высокую прочность по сравнению с традиционными способами закалки.

Для получения указанного эффекта с помощью нагрева индукционным способом необходимо увеличивать мощность источника электромагнитного (ЭМ) излучения и его частоту и уменьшать время нагрева. Простые оценки свидетельствуют о том, что для получения глубины закаленного импульсным способом слоя в 1 мм необходимо обеспечить плотность высокочастотной (ВЧ) мощности порядка $0.5 \cdot 10^9$ Вт/м² в течение промежутка времени 0.2...0.5 нс. То есть для того чтобы закалить относительно небольшую поверхность (площадью 30 мм²), необходим генератор мощностью порядка 100 кВт и частотой 440 кГц (а если бы мы захотели еще уменьшить время нагрева – для того чтобы получить толщину закаленного слоя в 0.5 мм, – нам потребовался бы генератор мощностью в два раза, а частотой в четыре раза больше). Вследствие того что для проведения операций импульсной закалки относительно небольших деталей требуются мощные источники ВЧ-тока, эта эффективная технология остается не востребованной.

Применение высокоинтенсивной закалки имеет смысл когда используется импульсный источник тока с малой длительностью импульса и большой энергией при относительно невысокой средней мощности.

Подобным требованиям, в частности, удовлетворяют системы питания, которые используются в установках для ускорения плазменных сгустков [2]. Такие системы представляют собой батарею конденсаторов и коммутатор, разряжающий эту батарею. Подобная система питания позволяет получить токовые импульсы длительностью 10–6–10–5 с и выделить за это время в обрабатываемом изделии 200...1000 Дж энергии (т. е. получить импульсную мощность порядка 1 ГВт). При этом ток разряда конденсатора $i(t)$ и связанная с ним напряженность магнитного поля $H(t)$ имеют вид затухающей во времени экспоненты. Очевидно, что при расчете сопротивления токоподводящих шин и самого технологического устройства нельзя пользоваться формулами, справедливыми для систем постоянного тока, а также для расчета систем, использующих синусоидальные ВЧ-сигналы.

В то же время, есть возможность приспособить хорошо разработанный математический аппарат расчета систем ВЧ индукционного нагрева для расчетов взаимодействия с веществом ЭМ-излучения произвольной формы. Для этого достаточно определить глубину проникновения в проводник ЭМ-излучения произвольной формы [3]. Глубина проникновения тока Δ является одним из основных параметров, используемых при расчете ВЧ-систем. Использование глубины проникновения позволяет достаточно точно определить такие важнейшие для расчетов системы параметры, как индуктивность и активное сопротивление нагрузки, индуктора, системы токоподводов.

Определение глубины проникновения в проводник ЭМ-излучения произвольной формы позволяет использовать в дальнейших расчетах математический аппарат систем ВЧ индукционного нагрева.

Основы спектрального метода определения глубины проникновения тока в проводящий материал ЭМ излучения произвольной формы. Для оценки глубины проникновения тока, созданного сигналом сложной формы, предлагается использовать следующий подход.

1. Представим одиночный импульс напряженности магнитного поля $H(t)$ на поверхности проводника в виде интеграла Фурье – как сумму бесконечного набора гармонических составляющих:

$$H(t) = A_0 + \frac{1}{2\pi} \int_{0+}^{\infty} A(\omega) \cos(\omega t + \varphi(\omega)) d\omega, \quad (1)$$

где A_0 – постоянная составляющая сигнала. Природа рассматриваемого импульса не имеет значения: он может быть как результатом протекания тока по проводнику, так и наведен сторонним током. Если исходный сигнал периодический, можно сразу переходить к п. 2.

2. Заменим одиночный сигнал периодической последовательностью импульсов одной и той же формы, следующих друг за другом через промежуток времени $t = T$. Это позволит перейти от интеграла (1) к отрезку ряда Фурье, а от бесконечно малых амплитуд гармоник – к конечным амплитудам A_{m_k} , что более удобно для инженерного расчета:

$$H(t) = A_0 + \sum_{k=1}^N A_{m_k} \cos(k\omega_1 t + \varphi_k),$$

где $A_{m_k} = \frac{2}{T} A(\omega) \Big|_{\omega=k\omega_1}$; k – порядковый номер гармоники; N – количество учитываемых гармоник; $\omega_1 = \frac{2\pi}{at_n}$ – частота первой гармоники, a – коэффициент, определяющий отношение выбранного периода сигнала T к длительности импульса; $\varphi_k = \varphi(\omega) \Big|_{\omega=k\omega_1}$ [4].

Замена одиночного сигнала периодической последовательностью импульсов возможна в случае, если отдельные импульсы периодического сигнала не будут влиять друг на друга. То есть период сигнала надо выбрать так, чтобы амплитуда предшествующего импульса на исследуемом расстоянии от поверхности не превышала 2...3 % максимальной к началу следующего импульса. Количество учитываемых гармоник N определяется исходя из 3 % амплитудного критерия [4].

3. Определим действующее значение напряженности магнитного поля на поверхности:

$$H_0 = \sqrt{A_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^N A_{m_k}^2}.$$

4. Для каждой дискретной гармоники с частотой ω_k определим глубину проникновения тока Δ_k (в метрах) в проводник. Для этого воспользуемся традиционной для индукционного нагрева металлов формулой [3]:

$$\Delta_k = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega_k \mu_0 \mu}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f_k}}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·м; μ – относительная магнитная проницаемость; f_k – частота k -й гармоники, Гц. Необходимо отметить, что соотношение (2) и все, основанные на нем, верны при следующих допущениях:

- 1) падающая электромагнитная волна является плоской;
- 2) проводящая среда, на которую она падает, является полубесконечной, а волна падает по нормали к ней;
- 3) электромагнитные свойства среды постоянны;
- 4) рассматриваемая k -я гармоника – установившийся синусоидальный сигнал.

Зная глубину проникновения Δ_k , напряженность магнитного поля k -й гармоники на произвольной глубине x можно найти из формулы:

$$A_{m_k}(x) = A_{m_k} e^{-x/\Delta_k}. \quad (3)$$

5. Определим действующее значение напряженности магнитного поля на некоторой произвольной глубине h (например, $h = 1$ м):

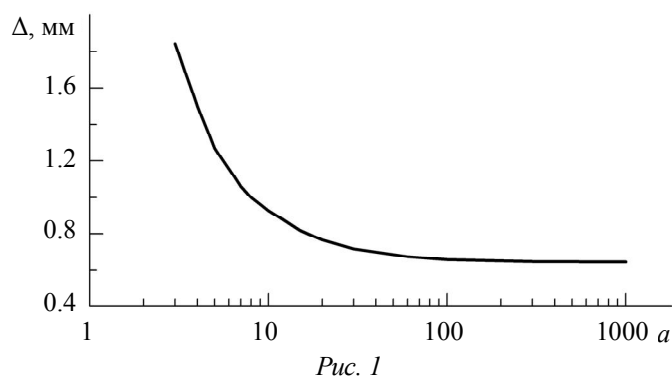
$$H_1 = \sqrt{A_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \left(A_{m_k} e^{-1/\Delta_k} \right)^2}.$$

6. Теперь, зная действующие значения напряженности магнитного поля на поверхности и на произвольной глубине, можно записать выражение для нахождения глубины проникновения тока согласно формуле (3):

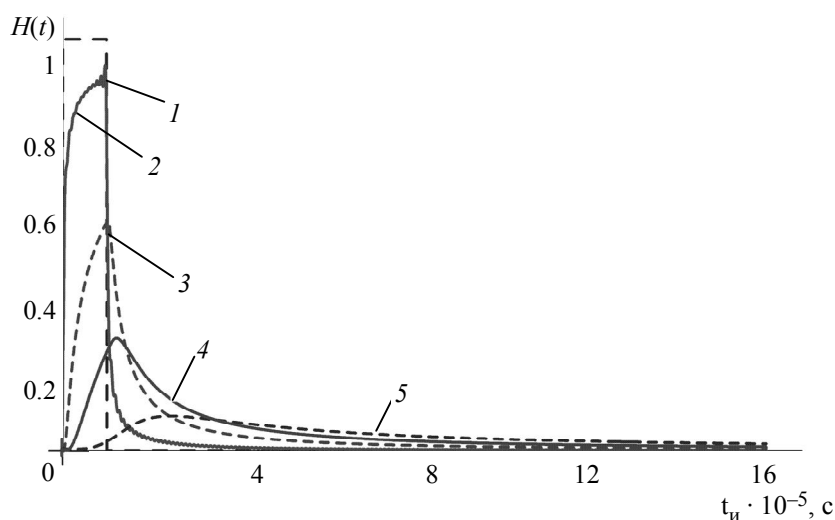
$$e^{-1/\Delta_{\text{эф}}} = \frac{H_1}{H_0} \Rightarrow -\frac{1}{\Delta_{\text{эф}}} = \ln \frac{H_1}{H_0} \Rightarrow \Delta_{\text{эф}} = \frac{-1}{\ln \frac{H_1}{H_0}} = \frac{1}{\ln \frac{H_0}{H_1}}.$$

На глубине $x = \Delta_{\text{эф}}$ действующее значение напряженности магнитного поля (и одно-значно связанная с ним плотность тока проводимости) уменьшится в e раз. Эту глубину по аналогии с ВЧ индукционным нагревом можно назвать эффективной глубиной проникновения тока для сигнала несинусоидальной формы.

Определение расчетных параметров и эффективной глубины проникновения. Для определения требований по выбору параметров расчета были проведены серии расчетов зависимости глубины проникновения импульса тока прямоугольной формы от коэффициента a (рис. 1) на примере импульса длительностью $t_{\text{и}} = 10^{-5}$ с. Из приведенных результатов следует, что отношение выбранного периода сигнала T к длительности импульса не должно быть меньше. Для того чтобы в этом случае (при $a \geq 25$) достаточно точно описать форму импульса, количество учитываемых гармоник N не должно быть меньше 100.



На рис. 2 приведены результаты расчетов формы импульса напряженности магнитного поля на разных расстояниях от поверхности медного проводника: 1 – исходный прямоугольный импульс на поверхности, 2 – на глубине $0,1 \Delta_{\text{эф}}$, 3 – на глубине $0,5 \Delta_{\text{эф}}$, 4 – на глубине $\Delta_{\text{эф}}$, 5 – на глубине $2 \Delta_{\text{эф}}$.



Материал	$t_{\text{и}} = 10^{-4}$ с	$t_{\text{и}} = 10^{-5}$ с	$t_{\text{и}} = 10^{-6}$ с	$t_{\text{и}} = 10^{-7}$ с
Титан ($\rho = 6.5 \cdot 10^{-7}$, $\mu = 1$), мм	7.40	2.57	0.99	0.49
Медь ($\rho = 1.8 \cdot 10^{-8}$, $\mu = 1$), мм	1.48	0.64	0.37	0.28

В качестве примера с помощью предложенной методики проведены расчеты эффективной глубины проникновения импульсных сигналов прямоугольной формы и разной длительности $t_{\text{и}}$ в медь и титан. Результаты этих расчетов приведены в таблице.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-08-00964-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шукин В. Г. «Моделирование процессов тепло- и энергообмена при высокочастотной импульсной закалке стали», дис... канд. физ.-мат. наук: 01.04.14, Новосибирск, 1995.
2. Создание газоразрядной плазмы воздуха в сверхзвуковом магнитогидродинамическом канале / Р. В. Васильева, А. В. Ерофеев, Б. Г. Жуков и др. // ЖТФ, 2009. Т. 79. Вып. 6.
3. Слухоцкий А. Е. Установки индукционного нагрева. Л.: Энергоиздат, 1981.
4. Бычков Ю. А., Золотницкий В. М., Чернышев Э. П. Основы теории электрических цепей. СПб.: Лань, 2002.

V. D. Goncharov, D. S. Samsonov

SPECTRAL METHOD OF EFFECTIVE PENETRATION DEPTH OF NON-HARMONIC CURRENT CALCULATION

Offering a new method of analysis how pulse electromagnetic radiation interacts with substance. The offered method is based on representation of an impulse of any form in the form of a harmonics sequence (Fourier sequence) and research on how each harmonic in a sequence interacts with substance.

Spectrum, penetration depth, skin-effect, non-harmonic signal



УДК 534.232

Б. Г. Степанов

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СРЕД

Для ультразвукового преобразователя (УЗП) в виде пьезопластины, двусторонне нагруженной на произвольные входные импедансы, рассматриваются отдельный и совмещенный режимы его работы. Анализируется влияние механических потерь, наличие демпфера и параметров согласующих слоев на частотные и импульсные характеристики УЗП. Оценивается эффективность работы УЗП и влияние на его характеристики увеличения толщины согласующих слоев до $3/4$ длины волны.

Ультразвуковой преобразователь, ширина полосы пропускания, частотные и импульсные характеристики, газовая среда

Для работы в воздушной среде на достаточно высоких частотах (сотни килогерц) могут быть использованы УЗП на базе пьезокерамических пластин с системой согласующих, как правило четвертьволновых, слоев. В работах [1]–[4] была показана возможность применения этих преобразователей в диапазоне частот до 1 МГц как в режиме обычной эхолокации [1], [2], так и для более специфических целей: контроля акустического контакта измерительных преобразователей [3], контроля скорости движения транспортеров (эскалаторов) [4] и решения ряда задач дефектоскопии путем возбуждения в контролируемых изделиях поверхностных волн [5]. Основная сложность при разработке таких преобразователей состоит в необходимости согласования их с низкоимпедансной нагрузкой на газовую среду и использования для этой цели согласующих слоев с достаточно малым удельным импедансом $\sim 10^4 \dots 10^5$ Па·с/м, которому в определенной степени могут соответствовать пенопласты. Однако выполнение согласующих четвертьволновых слоев из пенопласта (пористой полистирольной или полиуретановой структуры с относительно малой скоростью звука $\sim 1100 \dots 1500$ м/с) для диапазона частот ~ 1 МГц имеет определенные трудности как технологического, так и функционального порядка (размер пор может приближаться к толщине слоя). С другой стороны, использование согласующих слоев позволяет расширить полосу пропускания, причем для рассматриваемых УЗП (в отличие от аналогичных УЗП, нагружен-

ных на водную или твердую среду) это сопровождается увеличением уровня чувствительности в режимах излучения и приема по сравнению со случаем их работы без согласующих слоев. Последнее обстоятельство объясняется существенным ростом электроакустического КПД [6]. С учетом изложенного, определенный интерес представляет оценка влияния на амплитудно-частотные и импульсные характеристики УЗП толщины согласующих слоев при ее увеличении до $3/4$ длины волны в материале слоев.

Для модели УЗП в виде пьезопластины толщиной d , нагруженной своими поверхностями (по координатам 0 и d) соответственно на входные импедансы Z_V и Z_W , в результате решения граничной задачи можно получить выражения для колебательных скоростей этих поверхностей $\dot{\xi}_0(\psi)$ и $\dot{\xi}_d(\psi)$:

$$\dot{\xi}_{0,d}(\psi) = \frac{\mp N_{\text{И}} \left(1 - \cos \psi + j \frac{Z_{W,V}}{zS} \sin \psi \right)}{\frac{Z_V + Z_W}{zS} \left(\cos \psi - \frac{\beta}{\psi} \sin \psi \right) - j \left[\left(1 + \frac{Z_V Z_W}{z^2 S^2} \right) \sin \psi - 2 \frac{\beta}{\psi} (1 - \cos \psi) \right]}, \quad (1)$$

где $N_{\text{И}} = \frac{e_{33} U}{zd}$ (e_{33} – пьезоэлектрическая постоянная; U – электрическое напряжение);

$\beta = k_{33}^2$ (k_{33} – коэффициент электромеханической связи); z и S – удельный импеданс и площадь поверхности пьезопластины; $\psi = kd$ – волновая толщина пьезопластины; $k = \omega / c$; ω – круговая частота; c – скорость звука в пьезопластине. В предположении, что поперечные размеры пьезопластины существенно больше длины звуковой волны в воздухе, т. е. в приближении плоских волн, выражения для звуковых давлений, создаваемых во фронтальном (рабочем) и тыльном направлениях, запишем в следующем виде: $p_V(\psi) = z_V \dot{\xi}_V(\psi)$ и $p_W(\psi) = z_W \dot{\xi}_W(\psi)$, где $\dot{\xi}_V(\psi) = \dot{\xi}_0(\psi) K_V$; $\dot{\xi}_W(\psi) = \dot{\xi}_d(\psi) K_W$; K_V и K_W – коэффициенты передачи по колебательной скорости через импедансы Z_V и Z_W плоскопараллельных слоев [7], характеризующихся своими относительными толщинами $a_{qV,W} = \psi_{qV,W} / \psi$ и удельными импедансами $z_{qV,W}$, а также контактирующими с внешними средами с удельными импедансами соответственно z_v и z_w ; $q = 1, 2, \dots$ – номер слоя, отсчитываемый от внешней среды.

В режиме приема чувствительность рассматриваемой модели УЗП, пьезопластина которого электрически нагружена на входную проводимость $Y_{\text{эл}}$, в результате решения граничной задачи о падении на него плоской волны определим следующим образом:

$$M_{V,W}(\psi) = \frac{\bar{Z}_{V,W} K_{V,W}^{\sigma}}{z_B + \bar{Z}_{V,W}} \frac{N_{\text{Пр}} \left(1 - \cos \psi + j \frac{Z_{W,V}}{zS} \sin \psi \right)}{\psi \left[2\beta \frac{1 - \cos \psi}{\psi} \frac{Y_{\text{эл}}}{Y_{\text{эл}} - j\omega C_{\text{эл}}} - j \frac{Z_{W,V}}{zS} \left(\cos \psi - \frac{\beta \sin \psi}{\psi} \frac{Y_{\text{эл}}}{Y_{\text{эл}} - j\omega C_{\text{эл}}} \right) \right]}, \quad (2)$$

где $\bar{Z}_{V,W}$ и $\bar{K}_{V,W}^\sigma$ – входные импедансы и коэффициенты передачи по механическому напряжению плоскопараллельных слоев [7], определенные при падении на них звуковой волны с соответствующей внешней стороны УЗП; $N_{\text{Пр}} = 2g_{33}d \frac{j\omega C_{\text{эл}}}{Y_{\text{эл}} - j\omega C_{\text{эл}}}$; g_{33} – пьезоэлектрическая

постоянная; $C_{\text{эл}}$ – электрическая емкость пьезопластины. В структуре выражений для $\bar{Z}_{V,W}$ используется входной импеданс пьезопластины $\bar{Z}_{\text{ВХ}}^{0,d}$, который может быть определен для указанной модели УЗП в зависимости от направления прихода звуковой волны в следующем виде:

$$\bar{Z}_{\text{ВХ}}^{0,d} = zS \frac{Z_{W,V}\Phi_1/(zS) - j\Phi_2}{\Phi_1 - jZ_{W,V}\Phi_1 \sin \psi/(zS)}, \quad \text{где} \quad \Phi_1 = \cos \psi - \frac{\beta}{\psi} \sin \psi \frac{Y_{\text{эл}}}{Y_{\text{эл}} - j\omega C_{\text{эл}}};$$

$$\Phi_2 = \sin \psi - 2 \frac{k_{33}^2}{\phi} (1 - \cos \psi) \frac{Y_{\text{эл}}}{Y_{\text{эл}} - j\omega C_{\text{эл}}}.$$

Для УЗП, работающих в газовых средах, существенным является учет потерь в составляющих их элементах, особенно для слоев, выполненных из пенопласта, поскольку его механическая добротность сравнительно невелика и в зависимости от марки составляет $\sim 5 \dots 30$ [8]. Для учета механических потерь можно ввести комплексные волновые числа как для пьезопластины $k(1 + j/2Q)$, так и для пассивных слоев $k_{qV,W}(1 + j/2Q_{qV,W})$, где $k_{qV,W} = \omega/c_{qV,W}$; Q и $Q_{qV,W}$ – механические добротности пьезопластины и слоев; $c_{qV,W}$ – скорость звука в слоях. Электрические потери можно учесть введением комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{33}''(1 + \text{tg } \delta)$, где δ – угол диэлектрических потерь в материале пьезопластины. Определяя электроакустический КПД для рассматриваемой расчетной модели УЗП как отношение полной акустической мощности излучения к потребляемой электрической мощности, запишем выражение для него в следующем виде:

$$\eta(\psi) = \frac{z_v |\dot{\xi}_V(\psi)|^2 + z_w |\dot{\xi}_W(\psi)|^2}{\text{Re}(UJ^*)}, \quad (3)$$

где $J = -j\omega C_{\text{эл}}U + e_{33}S[\dot{\xi}_d(\psi) - \dot{\xi}_0(\psi)]/d$ – электрический ток, протекающий через пьезопластину; J^* – величина, комплексно-сопряженная J .

В соответствии с полученными выражениями рассмотрим последовательно основные режимы работы УЗП. Предварительно остановимся на режиме излучения, ограничившись рассмотрением тыльной нагрузки в виде $Z_W = z_w$, где внешней средой будет воздух $z_w = 420 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$ или демпфер $z_w = z_d$. При проведении расчетов значение удельного импеданса пьезопластины принималось равным $z = 30 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$, а коэффициента электро-механической связи $k_{33} = 0.6$, при котором для режима излучения значение a_{qV} , соответствующее $1/4$ длины волны на резонансной частоте пьезопластины ω_p , будет $a_{qV} = 0.605$. В табл. 1 и 2 для двух наиболее типичных значений механической добротности

Таблица 1

№	Q	Q_{IV}	$z_w \cdot 10^6$, Па·с/м	$z_{IV} \cdot 10^6$, Па·с/м	$\Delta f / f_{cp}$, %	$p_{VN \max}$	КПД, %
1	300	–	0.00042	–	0.05	1	0.75
2		10	0.00042	0.45	15.3	0.35	1.2
3		25	0.00042	0.11	8.5	1.46	10.5
4		50	0.00042	0.05	5.2	3.07	33
5		25	1	0.22	13.4	0.63	18...63
6			2	0.42	15.7	0.33	16...70.5
7			3	0.72	20.5	0.20	13.3...81
8			4	1.02	24.2	0.14	12...85.5
9			5	1.43	27.8	0.10	10.4...86
10			6	2.0	33.9	0.072	8.9...87
11			7	2.6	34.3	0.054	7.8...88
12	100	–	0.00042	–	0.15	0.33	0.25
13		10	0.00042	0.54	17.3	0.29	0.95
14		25	0.00042	0.13	8.6	1.17	8.5
15		50	0.00042	0.06	6.1	2.38	27.2
16		25	1	0.25	13.7	0.54	15.5...55.8
17			2	0.53	17.9	0.27	12.8...66.7
18			3	0.79	21.8	0.18	12...75.2
19			4	1.12	25.4	0.13	10.9...81.8
20			5	1.55	29.2	0.089	9.7...83.3
21			6	2.3	36.3	0.066	7.8...85.5
22			7	2.7	37.5	0.054	7.6...87

пьезопластины Q приведены результаты расчетов по изменению удельного импеданса согласующего слоя z_{IV} , относительной полосы пропускания $\Delta f / f_{cp}$, определяемой по уровню –3 дБ, максимального значения нормированного звукового давления $p_{VN \max}$ в полосе частот и электроакустического КПД в зависимости от характера тыльной нагрузки, в том числе – удельного импеданса демпфера $z_w = z_d$. Данные табл. 1 соответствуют случаю использования четвертьволнового согласующего слоя, а табл. 2 – случаю трехчетвертьволнового согласующего слоя, обеспечивающих максимальную полосу пропускания. Значения звукового давления нормированы к его уровню, создаваемому пьезопластиной, работающей в воздухе без согласующих слоев и демпфера ($z_v = z_w = 420 \text{ Па·с/м}$; $a_{qV, w} = 0$) при значении $Q = 300$. В этом случае уменьшение Q в 3 раза приводит к соответствующему уменьшению уровня излучения и КПД, а также к росту полосы пропускания. Добавление одного четвертьволнового согласующего слоя сопровождается существенным (более чем на порядок) ростом электроакустического КПД и полосы пропускания, а также увеличением уровня излучения (при формально определенных значениях механической добротности слоя $Q_{IV} \geq 15$). Здесь следует отметить одно обстоятельство: согласно расчетам при уменьшении механической добротности согласующего слоя Q_{IV} увеличивается его удельный импеданс z_{IV} , обеспечивающий достижение максимальной полосы пропускания. Однако физически уменьшение Q_{IV} связано с уменьшением механической жесткости и большей рыхлостью собственно материала пенопласта, что ведет, как правило, к меньшему значению z_{IV} . Для фиксированного значения доб-

ротности Q_{IV} выбор значения удельного импеданса z_{IV} меньше оптимального (см. данные таблиц) приводит к росту уровня излучения, уменьшению полосы пропускания и КПД. По мере увеличения степени демпфирования пьезопластины (для согласующего слоя зафиксировано значение $Q_{IV} = 25$) уровень звукового давления начинает уменьшаться, а полоса пропускания и значение удельного импеданса согласующего слоя – последовательно увеличиваться. Следует отметить, что увеличение удельного импеданса согласующего слоя с ростом удельного импеданса демпфера характерно не только при нагрузке УЗП на воздух, но и на воду. Укажем также еще на одно обстоятельство: по мере увеличения $z_w = z_d$ уменьшается влияние значения Q_{IV} на итоговые частотные характеристики УЗП и в частности – на значение z_{IV} . Что касается электроакустического КПД, то при наличии демпфера в таблицах приведены 2 его значения. Первое соответствует минимальному значению КПД в области резонансной частоты пьезопластины, когда наиболее сильно проявляется влияние согласующего слоя, а второе – его значению на краях полосы пропускания, когда усиливается влияние нагруженности тыльной стороны пьезопластины на чисто активный импеданс демпфера, имитирующего полубезграничную среду с удельным импедансом z_d .

Таблица 2

№	Q	Q_{IV}	$z_w \cdot 10^6$, Па·с/м	$z_{IV} \cdot 10^6$, Па·с/м	$\Delta f / f_{cp}$, %	$p_{VN \max}$	КПД, %
1	300	–	0.00042	–	0.05	1.0	0.75
2		10	0.00042	1.3	16.0	0.115	0.2
3		25	0.00042	0.26	7.3	0.6	1.6
4		50	0.00042	0.09	4.2	1.75	8.5
5		25	1	0.57	11.0	0.23	14.6...58.5
6			2	1.12	14.9	0.12	14.4...71
7			3	1.8	18.5	0.073	13.5...76.5
8			4	2.7	22.4	0.05	12.1...81.4
9			5	3.6	26.7	0.037	11.5...84.5
10			6	5.0	30.4	0.028	9.8...85.6
11			7	6.2	32.7	0.023	9.4...87.6
12	100	–	0.00042	–	0.15	0.33	0.25
13		10	0.00042	1.5	16.6	0.1	0.1
14		25	0.00042	0.3	7.7	0.47	1.3
15		50	0.00042	0.12	4.9	1.18	6.0
16		25	1	0.67	12.1	0.20	12.4...51.4
17			2	1.3	16.1	0.10	12 ...64.2
18			3	2.1	19.7	0.066	11.7...75.2
19			4	3.0	24.1	0.045	11.1...77.9
20			5	4.0	27.2	0.034	10.3...81.1
21			6	5.2	30.7	0.026	9.7...83.7
22			7	6.6	33.3	0.021	8.7...85.3

В качестве примера на рис. 1 приведены нормированные (как и для табл. 1 и 2) амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) звукового давления $p_{VN}(\psi)$, чувствительности в режиме приема $M_{VN}(\psi)$, а также КПД $\eta(\psi)$, определяемые в соответствии с формулами (1)– (3), для УЗП, соответствующих вариантам 3 (рис. 1, а, б) и 6 (рис. 1, в, г) табл. 1. Как видно, с позиции расширения полосы пропускания используемое значение $a_{IV} = 0.605$ не является оптимальным для режима приема. При этом наличие демпфера существенно уменьшает значение высокочастотного максимума АЧХ чувствительности в режиме приема. В случае использо-

вания трехчетвертьволнового согласующего слоя (табл. 2) основные ранее отмеченные зависимости сохраняются, однако сильнее проявляются потери в согласующем слое. По сравнению со случаем четвертьволнового согласующего слоя указанное обстоятельство приводит к уменьшению уровня излучения и значения КПД, а также к увеличению более чем в 2 раза значений удельного импеданса согласующего слоя. Что касается полосы пропускания, то ее ширина также несколько уменьшается, но это в большей мере определяется дополнительными фазовыми набегам по длине согласующего слоя при отклонении его волновой длины от кратной четверти длины волны. Данные табл. 1 и 2 показывают, что для рассматриваемых УЗП использование демпферов с удельным импедансом $z_w = z_d \geq (3...5)10^6$ Па·с/м приводит к существенному (более чем на порядок) снижению уровня излучения, что для ряда технических задач может оказаться неприемлемым, несмотря на рост полосы пропускания.

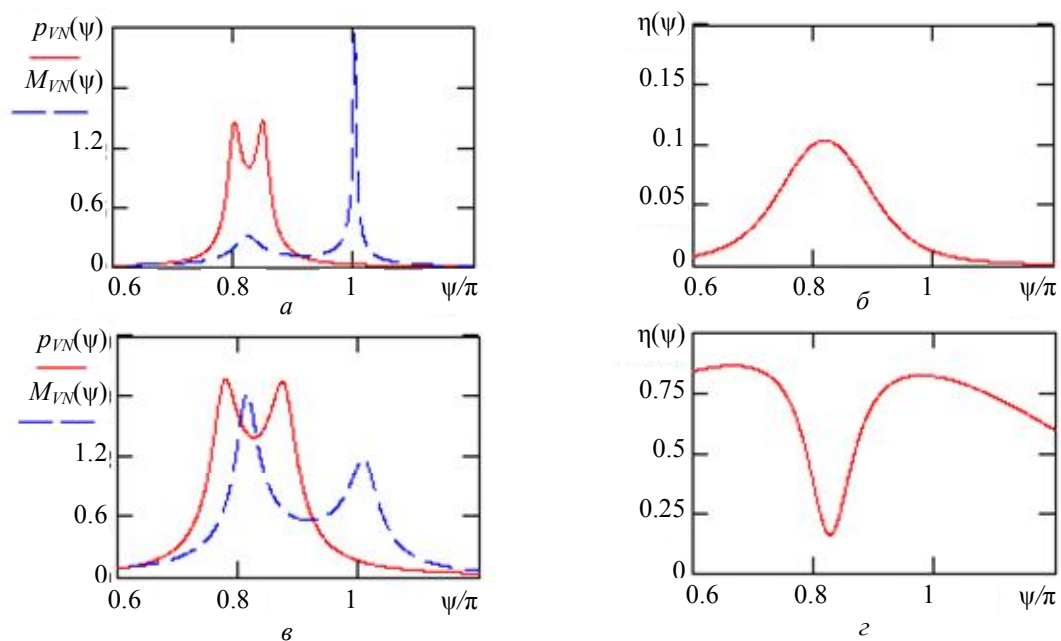


Рис. 1

В табл. 3 и 4 приведены некоторые результаты расчетов АЧХ нормированного звукового давления, а также КПД для УЗП с двумя согласующими слоями и значением добротности $Q = 300$. При этом рассматривались следующие варианты: оба слоя четвертьволновые, оба слоя трехчетвертьволновые, а также их комбинации. Результаты расчетов (табл. 3, $z_w = 420$ Па·с/м) показывают, что увеличение числа согласующих слоев в целом приводит к дополнительному расширению полосы пропускания и росту уровня звукового давления по сравнению со случаем использования одного согласующего слоя (см. табл. 1). При этом значение удельного импеданса слоя, контактирующего с воздухом, остается сравнительно малым, несмотря на уменьшение его механической добротности. В табл. 4 показано влияние наличия демпфера ($z_w = z_d$) на частотные характеристики УЗП и его параметры. При этом значения механических добротностей согласующих слоев Q_{1V} и Q_{2V} , а также значения удельных импедансов z_{1V} и z_{2V} подбирались исходя из физической реализуемости соответствующих им материалов. Как видно, в этом случае удастся несколько увеличить значения

удельного импеданса слоя, граничащего с воздухом. В целом же дополнительное использование демпфера проявляется подобно ранее рассмотренному случаю одного согласующего слоя. Однако для УЗП с двумя согласующими слоями уровень излучения (чувствительность в режиме приема) и полоса пропускания могут быть получены в 1.5...2 раза большими, чем для УЗП с одним согласующим слоем при равных значениях удельного импеданса демпфера. В качестве примера на рис. 2 показаны нормированные АЧХ звукового давления, чувствительности в режиме приема, а также КПД, рассчитанные для УЗП, соответствующих вариантам 7 табл. 3 (рис. 2, а, б) и 4 табл. 4 (рис. 2, в, г).

Таблица 3

№	Q_{1V}	Q_{2V}	a_{1V}	a_{2V}	$z_{1V} \cdot 10^6$, Па·с/м	$z_{2V} \cdot 10^6$, Па·с/м	$\Delta f / f_{cp}, \%$	$p_{VN \max}$	КПД, %
1	10	25	0.605	0.605	0.01	0.8	23.7	1.23	26
2	20	50	0.605	0.605	0.007	0.6	21.3	1.91	56.3
3	10	25	1.815	1.815	0.07	1.5	17.0	0.33	1.6
4	20	50	1.815	1.815	0.01	0.8	13.3	1.07	11.3
5	10	25	0.605	1.815	0.03	1.7	18.5	0.82	9.6
6	20	50	0.605	1.815	0.02	1.2	16.3	1.6	28.4
7	10	25	1.815	0.605	0.03	0.87	23.5	0.5	4.3
8	20	50	1.815	0.605	0.007	0.4	16.7	1.58	27.7

Таблица 4

№	$z_d \cdot 10^6$, Па·с/м	Q_{1V}	Q_{2V}	a_{1V}	a_{2V}	$z_{1V} \cdot 10^6$, Па·с/м	$z_{2V} \cdot 10^6$, Па·с/м	$\Delta f / f_{cp}, \%$	$p_{VN \max}$	КПД, %
1	2	10	30	0.605	0.605	0.02	1.7	30.9	0.6	22...60
2		15	50	1.815	1.815	0.13	2.6	21.3	0.2	13...69
3		10	50	0.605	1.815	0.09	3.3	25.2	0.35	16...63
4		10	30	1.815	0.605	0.05	1.8	31.1	0.22	11...64
5	4	10	50	0.605	0.605	0.02	3.0	36.6	0.34	21...85
6		25	50	1.815	1.815	0.7	2.7	29.6	0.08	18...76
7		15	30	0.605	1.815	0.15	1.0	34.8	0.14	26...79
8		15	30	1.815	0.605	0.15	1.0	35.1	0.14	26...66

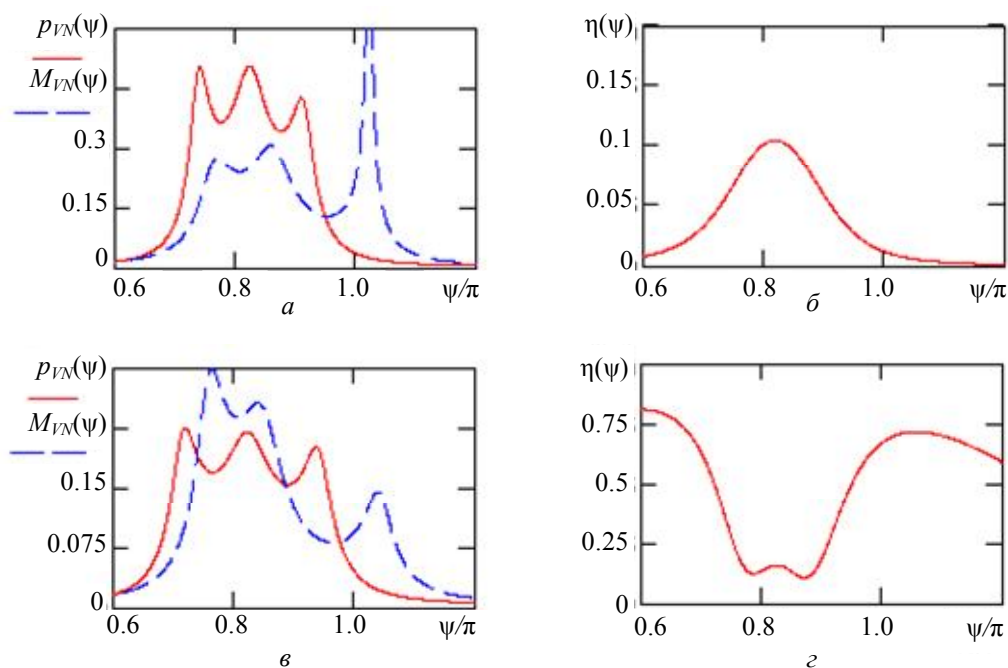


Рис. 2

Что касается режима приема, то в силу обратимости пьезокерамических УЗП для него (при $Y_{эл} \approx 0$, т. е. в режиме холостого хода) сохраняются все ранее рассмотренные основные положения режима излучения. Однако для режима приема следует учитывать, что максимум чувствительности пьезопластины соответствует ее полуволновой толщине на антирезонансной частоте $\psi = \psi_a = \omega_a d / c = \pi$ и для получения широкополосных частотных характеристик чувствительности при использовании согласующих слоев следует выбирать $a_{qV} = \psi_{qV} / \psi = 0.5$. Таким образом, оптимальные частотные характеристики в режимах излучения и приема оказываются смещенными друг относительно друга на частоту, зависящую от значения коэффициента электромеханической связи [9]: $k_{33} \approx \sqrt{1 - \omega_p^2 / \omega_a^2}$. Это обстоятельство следует учитывать при работе УЗП в совмещенном режиме, когда рассматривается частотная характеристика тракта $K_V(\psi) = p_V(\psi)M_V(\psi)$. В этом случае для достижения наиболее широкой полосы пропускания по тракту (ее значение обычно оценивается по уровню –6 дБ) следует выбирать промежуточное значение a_{qV} по отношению к тем, которые требуются для оптимальных частотных характеристик в режимах излучения и приема. Что касается значений удельных импедансов согласующих слоев, то их выбор в значительной мере определяется значением k_{33} и реализуемой в режимах излучения и приема полосой пропускания. Так при $k_{33} > 0.5$ и сравнительно широкой полосе пропускания целесообразно увеличивать значения z_{qV} по сравнению с оптимальными, получаемыми для каждого из режимов в отдельности, а при $k_{33} \leq 0.5$ и сравнительно небольшой полосе пропускания – сохранять или несколько уменьшать значения z_{qV} .

При работе УЗП в импульсном режиме необходимо учитывать спектральную функцию возбуждающего сигнала. Пусть УЗП возбуждается электрическим импульсом напряжения $u(t) = \begin{cases} U_m \sin \omega_a t & \text{при } 0 \leq t \leq nT_a / 2, \\ 0 & \text{при } t > nT_a / 2, \end{cases}$ где U_m – амплитуда электрического импульса; T_a – период колебаний на антирезонансной частоте пьезопластины ω_a ; n – число полупериодов. Тогда спектральная функция возбуждающего импульса для нечетного числа полупериодов $n = 2m - 1$ будет иметь вид: $U(\gamma) = \frac{2}{\omega_a} \frac{\cos[\pi\gamma(2m-1)/2]}{1-\gamma^2} \exp\left[-j\frac{\pi\gamma(2m-1)}{2}\right]$, а для четного

числа полупериодов $n = 2m$: $U(\gamma) = \frac{2j}{\omega_a} \frac{\sin \pi\gamma m}{1-\gamma^2} \exp[-j\pi\gamma m]$, где $\gamma = \frac{\psi}{\psi_a} = \frac{\omega}{\omega_a}$; $m = 1, 2, \dots$ – число полных периодов. Тогда электрический сигнал, формируемый УЗП как приемником, может быть определен с использованием преобразования Фурье:

$U_{пр}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} U(\gamma)K_V(\gamma)e^{-j\pi\gamma t} d\gamma$. При этом амплитудно-временная зависимость принятого УЗП

акустического импульса с точностью до постоянного множителя может быть определена по

формуле [10]: $U_{пр}^*(t) = 2 \operatorname{Re} \int_0^{\gamma_B} U(\gamma)K_V(\gamma)e^{-j\pi\gamma t} d\gamma$, где γ_B – верхний предел интегрирования,

определяющий полноту спектральных составляющих $U(\gamma)$, например по уровню

$\frac{U_{\min}(\gamma)}{U_{\max}(\gamma)} \leq 0.1$. На рис. 3 приведены примеры АЧХ спектральных функций, соответствующих

полупериодному, одно-, двух- и трехпериодному импульсам возбуждения УЗП. Очевидно, что в идеале для неискаженной передачи импульсных сигналов спектральная характеристика импульса возбуждения должна полностью перекрываться частотной характеристикой УЗП или как минимум – совпадать. Для рассматриваемых сравнительно узкополосных УЗП их АЧХ не всегда охватывает даже основной максимум спектральной характеристики импульса возбуждения, не говоря уже о том, что относительная

линейность их фазочастотной характеристики также проявляется в ограниченном полосой пропускания диапазоне частот. В связи с этим для возбуждения рассматриваемых УЗП следует использовать целое число периодов колебаний m , ограниченное сверху условием достижения режима установившихся колебаний. В качестве примера на рис. 3 приведены нормированные АЧХ звукового давления $p_{VN}(\psi)$, чувствительности в режиме приема $M_{VN}(\psi)$ и всего тракта

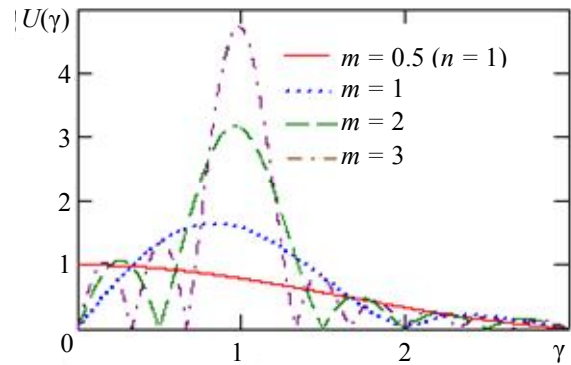


Рис. 3

$K_{VN}(\psi)$, а также соответствующие этому случаю импульсные характеристики при возбуждении одним ($m = 1$), двумя ($m = 2$) и тремя ($m = 3$) периодами частоты ω_a для УЗП по варианту 4 табл. 4, но с рядом измененных параметров: $a_{1V} = 1.7$; $a_{2V} = 0.58$;

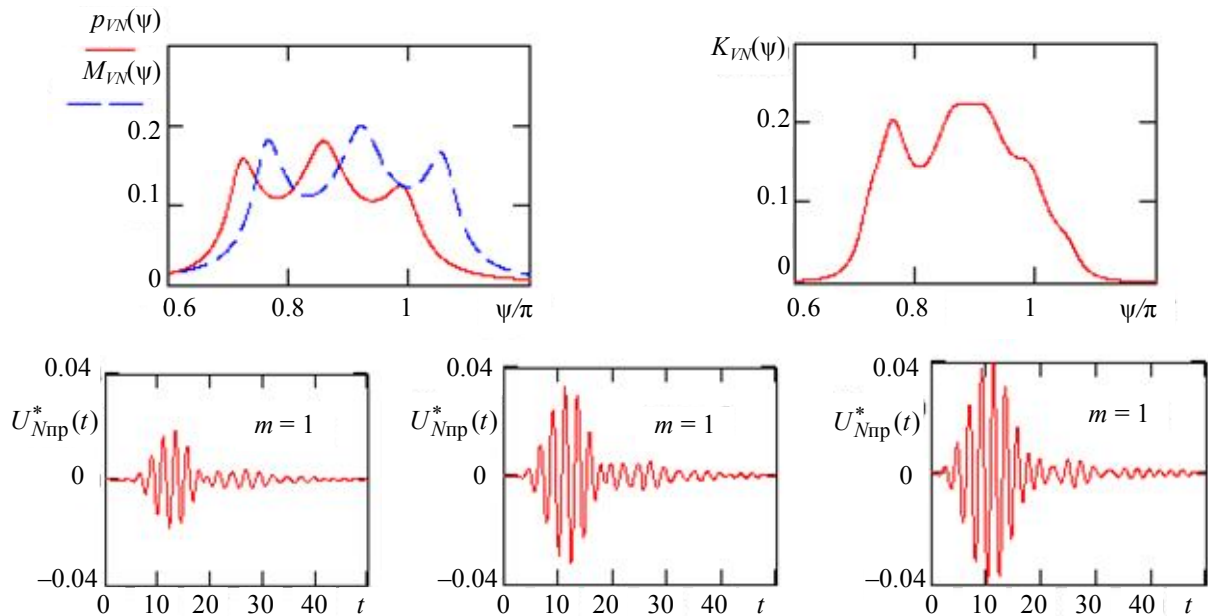


Рис. 4

$z_{1V} = 0.15 \cdot 10^6$ Па·с/м. Как видно, здесь несколько уменьшены относительные волновые размеры слоев и увеличено значение удельного импеданса слоя, контактирующего с воздухом. Полоса пропускания тракта на уровне -6 дБ составляет $\Delta f / f_{cp} \approx 34.5$ %. Ввиду ограниченности полосы пропускания амплитуда импульсного сигнала с ростом числа периодов

возбуждения увеличивается и при $m \geq 4$ достигает своего установившегося значения. Для сравнения приведем некоторые данные расчетов коэффициента передачи по тракту для УЗП без согласующих слоев для двух значений коэффициента электромеханической связи:

а) $k_{33} = 0.6$: при наличии демпфера $z_d = 2 \cdot 10^6$ Па·с/м имеем $K_{VN \max} \approx 6 \cdot 10^{-4}$ при полосе пропускания $\Delta f / f_{cp} \approx 25$ %; без демпфера – два узкополосных максимума $K_{VN \max} \approx 8 \cdot 10^{-3}$, каждый с полосой пропускания $\Delta f / f_{cp} \approx 0.6$ %, которой соответствует импульс с несколькими десятками периодов нарастания до установившегося режима и не менее этого – после; б) $k_{33} = 0.1$ (значение, типичное для кварца, у которого $\omega_p \approx \omega_a$): при наличии демпфера $z_d = 2 \cdot 10^6$ Па·с/м имеем $K_{VN \max} = 10^{-3}$ при полосе пропускания $\Delta f / f_{cp} \approx 8$ %; без демпфера – $K_{VN \max} \approx 0.3$ при полосе пропускания $\Delta f / f_{cp} \approx 0.7$ %.

Приведенные результаты расчетов дают лишь общее представление об основных зависимостях и тенденциях изменения частотных характеристик рассматриваемых УЗП от значения параметров образующих их элементов. В каждом конкретном случае при расчете частотных и импульсных характеристик УЗП, а также – дальнейшем их проектировании необходимо оценивать и учитывать значения добротности, скорости звука и удельного импеданса материалов, входящих в состав УЗП. Относительно слабое демпфирование рассматриваемых УЗП, несмотря на итоговое уменьшение коэффициента передачи по тракту, способствует укорочению импульсного сигнала и соответственно – улучшению разрешающей способности. Отметим также, что использование двух согласующих слоев позволяет в большей степени стабилизировать частотные и импульсные характеристики УЗП при отклонении параметров этих слоев от их оптимальных значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tone M., Yano Ts., Fukumoto A. High-frequency ultrasonic transducer operating in air // Japanese Journ. of Applied Physics. 1984. Vol. 23, 6, part 2. P. 436–438.
2. Khuri-Yakub B. T., Kim J. H. etc. A new design for air transducers // IEEE, Ultrasonic Symposium, USA, Chicago, 1988. P. 503–506.
3. Пат. РФ № 2107300 / Л. Л. Аронов, Г. А. Михайлов, Б. Г. Степанов, Э. А. Стержанов. Раздельно-совмещенный ультразвуковой преобразователь. Оpubл. 20.03.1998. Бюл. № 8.
4. Степанов Б. Г. О возможности контроля качества акустического контакта искательной системы вагон-дефектоскопа // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Приборостр. и информ. технологии». 2003. Вып. 1. С. 42–46.
5. Farlow R. Real-time ultrasonic techniques for implementing non-contact NDT systems employing piezoceramic composite transducers // Insight. 1994. 36 / № 12. P. 926–935.
6. Степанов Б. Г. О работе широкополосных ультразвуковых преобразователей в газовых средах // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Приборостр. и информ. технологии». 2003. Вып. 1. С. 34–41.
7. Дианов Д. Б., Кузнецов В. М. Влияние переходных слоев на частотные характеристики стержневых пьезопреобразователей // Изв. ЛЭТИ. 1968. Вып. 63. С. 60–78.
8. Михайлов А. В., Орлов В. И. Акустические свойства предварительно сжатых жестких пенопластов // Механика композитных материалов. 1981. № 6. С. 1120–1122. Рига: Зинатне, 1981.
9. Пьезокерамические преобразователи: Справ. / Под ред. С. И. Пугачева. Гл. 2. 1984. Л.: Судостроение, 1984.
10. Об импульсных характеристиках акустического тракта иммерсионного дефектоскопа / В. А. Каширин, С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко, Б. Г. Степанов // Дефектоскопия. 1997. № 3. С. 73–79.

B. G. Stepanov
HIGH-FREQUENCY TRANSDUCERS FOR GAS MEDIAS

For ultrasonic transducer (UST) in the form of piezo plate loaded with two sides on any entrance impedances the separate and combined modes of his operation are considered. Influence of mechanical losses, the presence of damper and parameters of matching layers on frequency and pulse characteristics UST is analyzed. The efficiency of operation UST and influence on its characteristics of increase in thickness of matching layers till 3/4 lengths of a wave is estimated.

The ultrasonic transducer, width of a passband, frequency and pulse characteristics, the gas media

УДК 534:62-752.4

В. А. Топунов

ПОВЕРХНОСТНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

Рассматриваются особенности распространения акустических волн по поверхности вращающегося полупространства из пьезокристалла. Рассмотрено строгое решение задачи, доведенное до численных результатов. Подробно описан физический эффект влияния вращения для различных срезов кварца и ниобата лития.

Поверхностные акустические волны, инерциальные свойства акустических волн, акустоэлектронные устройства, акустические датчики, акустический датчик вращательного движения

Вращательное движение твердого тела влияет на характер распространения поверхностной акустической волны (ПАВ) вследствие проявления ее инерциальных свойств [1]. Эффект связан с тем, что при распространении ПАВ частицы тела совершают колебательное движение по эллипсу со скоростью $\mathbf{v}$, поэтому при вращении тела со скоростью $\boldsymbol{\omega}$ на его частицы массой m действует инерциальная сила Кориолиса $m \cdot 2(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v})$, что приводит к изменениям параметров волны. В оптике аналогичный эффект называется эффектом Фарадея. Сущность его состоит в том, что при помещении оптически прозрачного вещества в магнитное поле $\mathbf{B}$ изменяются скорость и поляризация света, проходящего через эту среду, вследствие действия силы Лоренца $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ на электроны вещества заряда q , которые движутся со скоростью $\mathbf{v}$ [1].

Исследование влияния вращения на поверхностную волну представляет интерес, во-первых, при разработке сенсоров вращательного движения на основе поверхностных волн, а во-вторых, с целью стабилизации работы устройств акустоэлектроники, которые располагаются на вращающихся объектах [2]. Применение пьезоэлектрических кристаллов в данных прикладных задачах дает преимущество по сравнению с изотропной средой. Анизотропия кристалла обеспечивает возможность выбора как характеристик самой волны, так и характеристик влияния вращения кристалла на волну, а пьезоэффект обеспечивает удобный способ возбуждения и приема волны на основе ВШП.

В работах [1]–[3] эффект влияния вращения на ПАВ оценивался по разнице скоростей волны для вращающегося и покоящегося кристаллов. Однако анализ действия сил Кориолиса показывает, что возможны изменения характера колебаний (смещения, электрического потенциала) без видимого изменения скорости волны. Совместный анализ влияния силы Кориолиса на различные характеристики ПАВ, распространяющихся в пьезокристаллах, а также физическое обоснование получаемых результатов являются предметом данной статьи.

Рассмотрим ПАВ, распространяющуюся в направлении оси x_1 по поверхности вращающегося пьезоэлектрического полупространства с внешней нормалью x_3 . Вращение полупространства описывается постоянным во времени вектором угловой скорости ω (рис. 1).

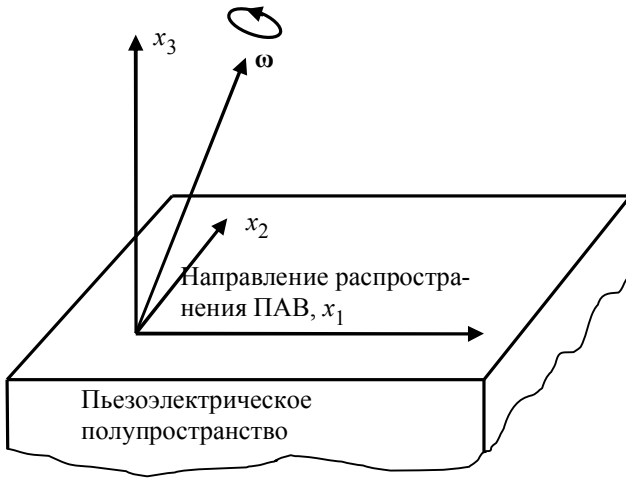


Рис. 1

1). При вращении тела каждая колеблющаяся точка внутри него, движение которой относительно тела описывается вектором смещения ξ , помимо линейного ускорения $\mathbf{a}_{\text{лин}} = \partial^2 \xi / \partial t^2$ обладает центростремительным ускорением $\mathbf{a}_{\text{ц.с}} = \omega \times (\omega \times \xi)$ и ускорением Кориолиса $\mathbf{a}_{\text{к}} = 2\omega \times (\partial \xi / \partial t)$. Если учесть все эти виды ускорений, то система уравнений акустической волны во вращающейся пьезоэлектрической среде, записанная в тензорной форме, будет иметь вид [2]:

$$\rho \left(\frac{\partial^2 \xi_i}{\partial t^2} + 2(\epsilon_{ink} \omega_n) \frac{\partial \xi_k}{\partial t} + (\omega_i \omega_k \xi_k - \omega_k \omega_k \xi_i) \right) = C_{iklm} \frac{\partial^2 \xi_m}{\partial x_k \partial x_l} + e_{jik} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_j \partial x_k}, \quad (1)$$

$$e_{prs} \frac{\partial^2 \xi_s}{\partial x_p \partial x_r} - \epsilon_{pq} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_p \partial x_q} = 0,$$

где C_{iklm} , e_{jik} , ϵ_{pq} – тензоры упругих, пьезоэлектрических и диэлектрических постоянных соответственно; ρ – плотность; ϕ – электрический потенциал; ϵ_{ink} – тензор Леви-Чивита.

Будем искать решение уравнений для компонент вектора смещения ξ_i и электрического потенциала ϕ в виде:

$$\begin{aligned} \xi_i &= \xi_{0i} \exp[-jk(l_m x_m - ut)], \\ \phi &= \phi_0 \exp[-jk(l_m x_m - ut)], \end{aligned} \quad (2)$$

где $k = \frac{2\pi f}{u}$ – волновое число; l_1, l_2, l_3 – направляющие косинусы волнового вектора; u – фазовая скорость ПАВ; ξ_{0i} , ϕ_0 – амплитуды компонент вектора смещения и электрического потенциала соответственно.

Если учесть что $W_i = \omega_i / (2\pi f) \ll 1$, то составляющую, связанную с центростремительным ускорением, можно не учитывать [1]. Тогда из (1) и (2) получим

$$\begin{bmatrix} \Gamma_{11} - \rho u^2 & \Gamma_{12} + 2j\rho u^2 W_3 & \Gamma_{13} - 2j\rho u^2 W_2 & \gamma_1 \\ \Gamma_{12} - 2j\rho u^2 W_3 & \Gamma_{22} - \rho u^2 & \Gamma_{23} + 2j\rho u^2 W_1 & \gamma_2 \\ \Gamma_{13} + 2j\rho u^2 W_2 & \Gamma_{23} - 2j\rho u^2 W_1 & \Gamma_{33} - \rho u^2 & \gamma_3 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 & \gamma_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_{01} \\ \xi_{02} \\ \xi_{03} \\ \phi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\Gamma_{im} = C_{iklm} l_k l_l$, $\gamma_i = e_{jik} l_j l_k$, $\gamma_4 = -\epsilon_{pq} l_p l_q$ ($i, m = 1, 2, 3$).

Решение системы (3) нетривиально, если ее определитель равен нулю, т. е.

$$\begin{vmatrix} \Gamma_{11} - \rho u^2 & \Gamma_{12} + 2j\rho u^2 W_3 & \Gamma_{13} - 2j\rho u^2 W_2 & \gamma_1 \\ \Gamma_{12} - 2j\rho u^2 W_3 & \Gamma_{22} - \rho u^2 & \Gamma_{23} + 2j\rho u^2 W_1 & \gamma_2 \\ \Gamma_{13} + 2j\rho u^2 W_2 & \Gamma_{23} - 2j\rho u^2 W_1 & \Gamma_{33} - \rho u^2 & \gamma_3 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 & \gamma_4 \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) является характеристическим уравнением системы дифференциальных уравнений (1). При этом решение системы (1) для ПАВ должно удовлетворять граничным условиям и условию затухания ПАВ на бесконечной глубине, которые остаются теми же, что и для ПАВ в неподвижных кристаллах, т. е. будут иметь вид [4]:

$$\begin{aligned} C_{3klm} \frac{\partial \xi_m}{\partial x_l} + e_{j3k} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} &= 0, \\ e_{3sr} \frac{\partial \xi_s}{\partial x_r} - \epsilon_{3q} \frac{\partial \phi}{\partial x_q} - k\epsilon_0 \phi &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

В общем виде задача о распространении ПАВ во вращающейся пьезоэлектрической среде аналитического решения не имеет, но ее можно решить численно. Численное решение данной задачи является надстройкой над хорошо известным итерационным методом расчета ПАВ [4]. Однако здесь возникают сложности в анализе получаемых результатов. Трудности заключаются в том, что, во-первых, результат зависит от большого числа исходных параметров: среза кристалла, направления распространения волны, направления оси вращения, а во-вторых, не ясно, что именно изменится в волне вследствие действия инерциальных сил: фазовая скорость, поляризация колебаний, амплитуда колебаний, электрический потенциал или направление распространения волны. В связи с этим обратим внимание на использование более простых, интуитивных подходов к данной задаче.

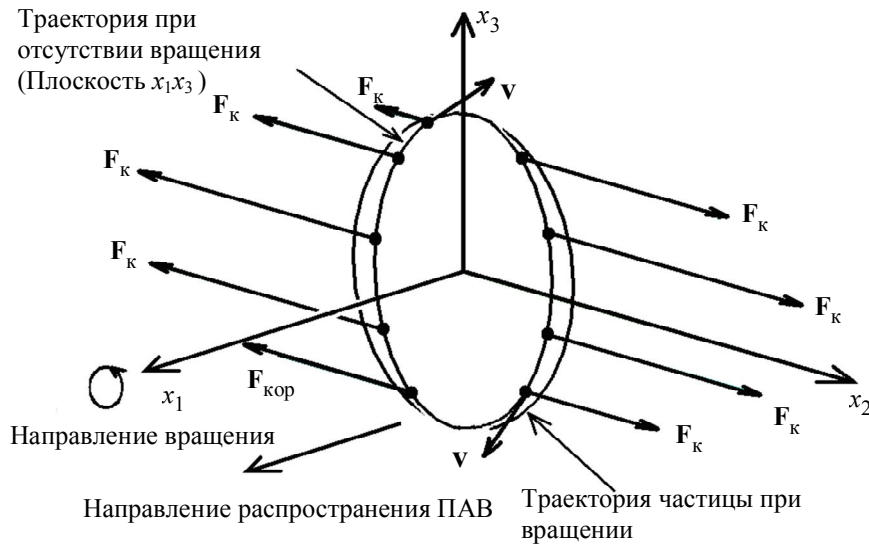


Рис. 2

Для упрощения, вначале будем рассматривать ПАВ с колебаниями только в сагиттальной плоскости, т. е. в плоскости, содержащей направление распространения волны и нормаль к поверхности кристалла. В кристаллах тригональной 32- и 3m-симметрии (кварц, ниобат ли-

тия, тантолат лития) такие волны существуют для нескольких срезов и направлений распространения волны, множество которых можно описать с помощью углов Эйлера (λ, μ, θ) [5] следующим образом: $\lambda = n \cdot 60^\circ$, $\mu = x$, $\theta = 90^\circ + m \cdot 180^\circ$, или $\lambda = y$, $\mu = 0$, $\theta = (1/2 + p)60^\circ - y$, где $n, m, p \in Z$; $x, y \in R$. Из этого набора для численных расчетов будем брать ST-Y-срез кварца ($\lambda = 0$, $\mu = 132.75^\circ$, $\theta = 90^\circ$).

Рассмотрим вращение вокруг направления распространения волны (ось x_1). На рис. 2, в результате численного решения уравнений (1)–(5) и графического моделирования, показано, как будет действовать сила Кориолиса на частицу, а также смещение этой частицы под действием силы Кориолиса. Видно, что знакопеременное воздействие силы Кориолиса в направлении оси x_2 возбуждает колебание частицы в направлении оси X_2 и происходит «поворот» траектории частицы вокруг оси x_3 . Здесь значение возникающего смещения, рассчитанного по сложному алгоритму, пропорционально значению силы Кориолиса, которая действует на частицу, рассчитанному по простой формуле $F_K = m \cdot 2(\omega \times v)$, а их направления совпадают. В связи с этим упрощается подход к решению данной задачи.

Рассмотрим анизотропию влияния вращения на ПАВ. В данном случае под анизотропией будем понимать зависимость изменения смещения ξ_2 вследствие действия силы Кориолиса от направления распространения волны в кристалле (т. е. от угла Эйлера θ) (рис. 3). На этом рисунке рассматривается амплитуда смещения ξ_2 при небольшом отклонении направления распространения волны от направления $\theta = 90^\circ$ при различных значениях скорости вращения вокруг оси x_1 . Вначале рассмотрим график при отсутствии вращения ($W_1 = 0$). Это рассмотрение важно потому, что причиной анизотропии влияния вращения на волну является изначальная анизотропия характера колебаний в волне при отсутствии вращения. Видно, что при отсутствии вращения значение

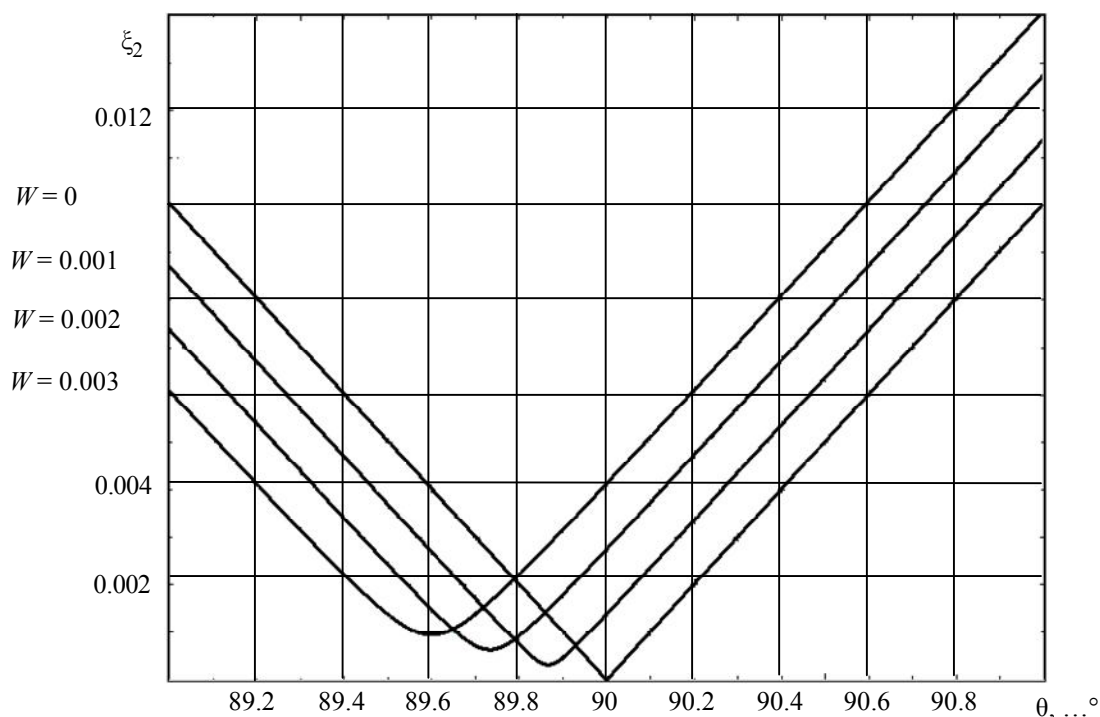


Рис. 3

смещения ξ_2 симметрично относительно направления $\theta = 90^\circ$. При возникновении вращения появляется асимметрия относительно направления $\theta = 90^\circ$, а именно при $\theta < 90^\circ$ смещение ξ_2 уменьшается при увеличении скорости вращения, а при $\theta > 90^\circ$ – растет. При этом наблюдается сдвиг минимума графика в сторону меньших углов θ .

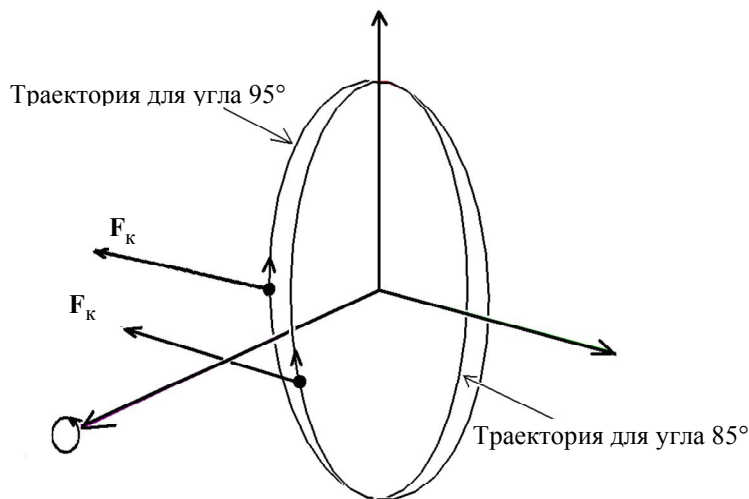


Рис. 4

На рис. 4 показано, как колеблется частица в ПАВ при отсутствии вращения для направлений распространения $\theta = 85^\circ$ и 95° . При $\theta = 85^\circ$ сила Кориолиса будет действовать против уже имеющегося смещения частицы вдоль оси x_2 , как бы “прижимая” ее к плоскости x_1x_3 , а при $\theta = 95^\circ$ – наоборот. Сдвиг минимума графика в сторону меньших углов θ объясняется отклонением эллипса в соответствующую сторону, что приводит к отклонению направления переноса энергии волной. В заключение рассмотрения случая вращения вокруг направления распространения отметим, что вследствие пьезоэффекта значение смещения ξ_2 связано со значением электрического потенциала, создаваемого волной. В связи с этим отмеченное свойство анизотропии может быть использовано для построения датчиков вращения по дифференциальному принципу.

Рассмотрим еще один интересный случай влияния инерциальных сил на ПАВ. В данном случае кристалл вращается вокруг нормали к плоскости, в которой колеблется частица (рис. 5).

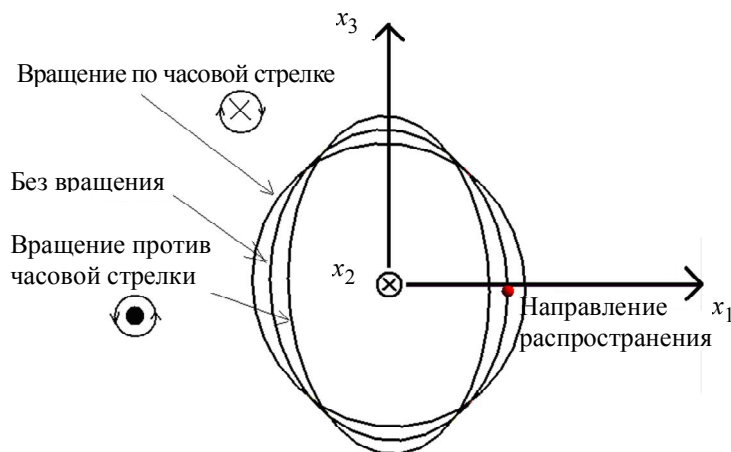


Рис. 5

При вращении против часовой стрелки сила Кориолиса будет действовать по радиусу кривизны вовнутрь эллипса, что приведет к увеличению жесткости материала и соответственно скорости волны. С другой стороны, при вращении по часовой стрелке сила Кориолиса будет действовать по радиусу кривизны вне эллипса, что вызовет уменьшение жесткости материала и скорости волны [1]. Анизотропия приведет к отклонению эллипса от сагиттальной плоскости и, как следствие, к ослаблению эффекта (рис. 6).

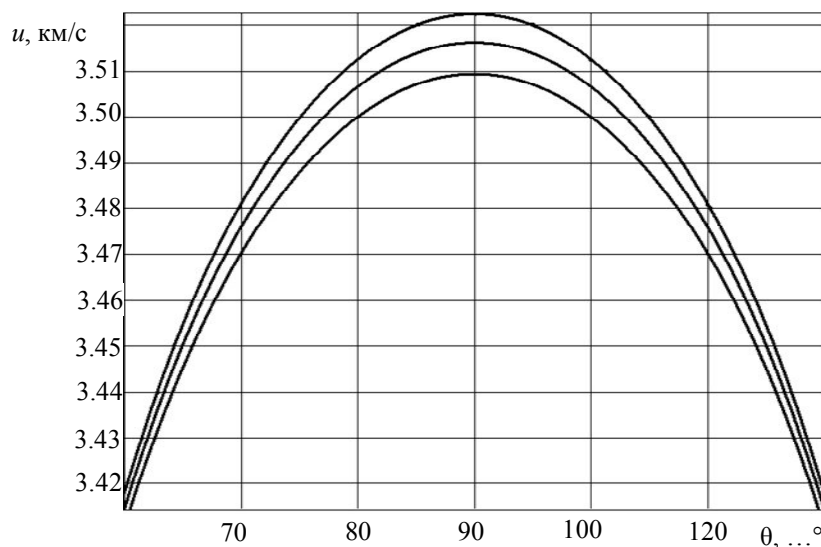


Рис. 6

Таким образом, в данной статье рассмотрены 2 подхода к анализу эффекта влияния вращательного движения пьезокристалла на характер распространения ПАВ. Первый заключается в численном решении уравнений, описывающих распространение ПАВ в сплошной пьезоэлектрической среде, второй – в анализе действия силы Кориолиса на колеблющуюся частицу. Также была отмечена оптическая аналогия данного эффекта. Полученные результаты могут быть использованы, во-первых, при разработке сенсоров вращательного движения на основе поверхностных волн, а во-вторых, с целью стабилизации работы устройств акустоэлектроники, которые располагаются на вращающихся объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lao Y. Gyroscopic effect in surface acoustic waves // IEEE Ultrasonic symposium, Boston, 5–7 nov. 1980.
2. Fang H., Yang J., Jiang Q. Gyroscopic effect on surface waves in piezoelectric // IEEE Ultrasonic symposium, Coesata-Tahoe, 17–20 oct. 1999.
3. Fang H., Yang J., Jiang Q. Surface Acoustic Waves propagating over a rotating piezoelectric Half-Space // IEEE Transactions on ultrasonic, ferroelectrics and frequency control. 2001. Vol. 8, № 4. P. 998–1004.
4. Royer D., Dieulesaint E. Elastic waves in solids. Heidelberg: Springer, 2000.
5. Morgan D. Surface Acoustic wave filters. Oxford: Elsevier, 2007.

V. A. Topunov

SURFACE ACOUSTIC WAVES IN ROTATING PIEZOELECTRIC CRYSTAL

We consider the peculiarities of the propagation of acoustic waves on the surface of a rotating half of the piezoelectric crystal. We consider the exact solution of the problem brought to the numerical results. Described in detail the physical effect of rotation for the different sections of quartz and lithium niobate.

Surface acoustic waves, inertial properties of acoustic waves, acoustoelectronic devices, acoustic sensors, acoustic sensor of rotational motion

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТОНКОСТЕННОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОПРИЕМНИКА С ВНУТРЕННИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ И КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ

Рассмотрен нагруженный на воду пьезоприемник в виде тонкостенного цилиндра с внутренним жидкостным заполнением. К электрическому выходу преобразователя подключена электрическая корректирующая RL -цепь. Предполагается, что приемник возбуждается акустическим сигналом в виде полупериода синусоиды на частоте радиального резонанса цилиндра. Расчетным путем исследован импульсный режим работы данного преобразователя. Определены параметры системы, при которых достигается минимальная длительность сигналов с приемника. Для различных материалов заполнения получены оценки значений амплитуд и длительностей сигналов на выходе приемника.

Электрический импульс, акустический импульс, пьезокерамический цилиндр, пьезоприемник, электрическая корректирующая цепь, материал заполнения

Для решения различных задач гидроакустики приемные и излучающие преобразователи часто приходится размещать на больших глубинах. При этом воздействие значительных гидростатических давлений может приводить к разрушению пьезопреобразователей. С целью увеличения механической прочности их внутренняя полость заполняется различными жидкими материалами, что позволяет снижать механические напряжения в пьезокерамической оболочке. Однако внутренний объем жидкости представляет дополнительную жесткость для колебательной системы. Это влечет за собой уменьшение полосы пропускания преобразователя по сравнению со случаем отсутствия внутреннего заполнения. В результате длительность излучаемых и принимаемых преобразователями сигналов затягивается, что ведет к ухудшению важных параметров гидроакустической аппаратуры (разрешающей способности, точности определения координат цели и дистанции до нее). Данным обстоятельством объясняется актуальность задачи снижения длительностей излучаемых и принимаемых сигналов. Одним из возможных путей ее решения является подключение электрических корректирующих RL -цепей к электрической стороне преобразователя. Предшествующие работы авторов [1]–[3] посвящены исследованию возможности уменьшения длительностей импульсов, излучаемых тонкостенными цилиндрическими преобразователями. Так, например, в [1] рассмотрен случай, соответствующий работе такого преобразователя с внутренним заполнением. Работа пьезоцилиндрического излучателя без заполнения, но с подключенной корректирующей цепью изучена в [2]. Более общий случай, подразумевающий одновременное применение электрической цепи и внутреннего заполнения, подробно исследован в [3].

Представляет интерес дальнейшее рассмотрение аналогичных вопросов для случая, соответствующего варианту работы тонкостенного пьезоцилиндра в режиме приема. Постановка задачи представлена на рис. 1, где изображен упомянутый преобразователь. Будем предполагать в качестве активного материала пьезокерамику ЦТСНВ-1. Акустическая нагрузка – вода. Обозначим через R_{cp} и H средний радиус и высоту цилиндра соответственно. Введем параметр $\alpha = \delta/R_{cp}$, с помощью которого можно характеризовать относительную толщину стенки пьезо-

электрического приемника (δ – толщина стенки). Пусть $U(t)$ – импульс электрического напряжения на выходе преобразователя. При решении задачи будем исходить из предположения о том, что цилиндр является “бесконечно длинным”, что на практике соответствует выполнению соотношения $H/(2R_{\text{ср}}) > 3$. Использование модели бесконечно длинного цилиндра по-

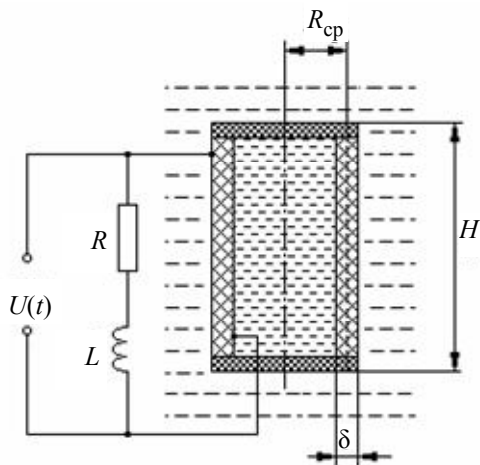


Рис. 1

зволит не рассматривать зависимость от координаты вдоль оси цилиндра. Задача при этом сводится к одномерной, зависящей только от волнового аргумента kR , где $k = \omega/c$ – волновое число в соответствующей среде (ω – циклическая частота, c – скорость звука в среде).

Электрическая схема-аналог рассматриваемого пьезоприемника приведена на рис. 2. Здесь M – масса пьезокерамического материала; C_M – механическая гибкость цилиндра при радиальных колебаниях и режиме короткого замыкания электрической стороны; C_0 – электрическая емкость механически заторможенного преобразователя; K_U – коэффициент электро-

механической трансформации. Корректирующая цепь представляет собой последовательное соединение элементов R и L и включена параллельно преобразователю. Индуктивность L может быть выражена через резонансную частоту $\omega_{\text{эл}}$ контура, образованного элементом L и собственной емкостью C_0 преобразователя:

$$\omega_{\text{эл}} = \frac{1}{\sqrt{LC_0}}.$$

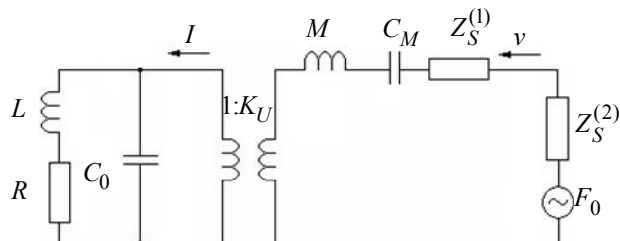


Рис. 2

Сопrotивление R можно охарактеризовать параметром Q , имеющим смысл добротности:

$$Q = \frac{\omega_{\text{эл}} L}{R}.$$

Приведем выражения для параметров электрической схемы-аналога преобразователя.

Считая поляризацию преобразователя радиальной, имеем

$$K_U = \left(\frac{2\pi d_{31}}{s_{11}^E} \right) H,$$

где d_{31} – пьезомодуль; s_{11}^E – элемент матрицы гибкостей при постоянной напряженности E электрического поля.

Масса $M = \rho_k S_{\text{бок}} \delta$, где ρ_k – плотность пьезокерамики; $S_{\text{бок}} = 2\pi R_{\text{ср}} H$ – площадь боковой (приемной) поверхности цилиндра.

$$\text{Гибкость } C_M = \frac{s_{11}^E R_{\text{ср}}}{2\pi H \delta}.$$

Резонансная частота радиальных колебаний $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{MC_M}} = \frac{c_1}{R_{\text{ср}}}$, где $c_1 = \frac{1}{\sqrt{\rho_{\text{к}} s_{11}^E}}$.

Условие резонанса можно записать в виде $k_{\text{к0}} R_{\text{ср}} = 1$, где $k_0 = \frac{\omega_0}{c_1}$ – волновое число в пьезокерамике на частоте резонанса.

Сопротивление излучения $Z_S = Z_S^{(1)} + Z_S^{(2)}$ состоит из двух слагаемых: $Z_S^{(1)}$ – сопротивление излучения вовнутрь преобразователя, $Z_S^{(2)}$ – сопротивление излучения во внешнюю среду.

Введем безразмерную (относительную) частоту $\gamma = \omega/\omega_0$. Обозначим также $b_1 = c_{\text{к}}/c_3$, $b_2 = c_{\text{к}}/c_{\text{в}}$, где c_3 – скорость звука в материале заполнения, $c_{\text{в}}$ – скорость звука во внешней среде (воде).

Тогда на основании формул, приведенных в [4], можно написать

$$Z_S^{(1)}(\gamma) = -jz_3 S_{\text{бок}} \frac{J_0(b_1\gamma)}{J_1(b_1\gamma)}, \quad Z_S^{(2)}(\gamma) = jz_{\text{в}} S_{\text{бок}} \frac{H_0^{(2)}(b_2\gamma)}{H_1^{(2)}(b_2\gamma)}.$$

Здесь z_3 и $z_{\text{в}}$ – удельные акустические сопротивления материала заполнения и воды соответственно; J_0 и J_1 – функции Бесселя нулевого и первого порядков соответственно; $H_0^{(2)}$ и $H_1^{(2)}$ – функции Ганкеля второго рода нулевого и первого порядков соответственно.

Полное сопротивление механического контура с учетом сопротивления излучения

$$Z_M(\gamma) = Z_{\text{цпл}}(\gamma) + Z_S(\gamma),$$

где $Z_{\text{цпл}}(\gamma) = jz_{\text{к}} S_{\text{бок}} \alpha \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right)$.

На электрической стороне схемы-аналога для емкости C_0 можно написать следующие выражения: $C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{33}^{u1} S_{\text{бок}}}{R_{\text{ср}} \alpha}$, где ε_0 – электрическая постоянная; $\varepsilon_{33}^{u1} = \varepsilon_{33}^{\sigma} (1 - k_{31}^2)$; k_{31} – коэффициент электромеханической связи пьезоматериала; $\varepsilon_{33}^{\sigma}$ – диэлектрическая постоянная при постоянном механическом напряжении.

Введем также параметр $n = \omega_{\text{эл}}/\omega_0$, характеризующий настройку электрического контура. Тогда для элементов R и L можно написать выражения:

$$R = \frac{1}{nQ} \cdot \frac{1}{\omega_0 C_0}; \quad j\omega L = j \frac{\gamma}{n^2} \cdot \frac{1}{\omega_0 C_0}.$$

Параллельное соединение LR -цепи и емкости C_0 имеет импеданс

$$Z_{\text{йё}} = \frac{(R + j\omega L) \frac{1}{j\omega C_0}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_0}} = \frac{A(\gamma)}{B(\gamma)} \cdot \frac{1}{\omega_0 C_0},$$

где $A(\gamma) = \frac{1}{nQ} + j \frac{\gamma}{n^2}$, $B(\gamma) = 1 + j\gamma A$.

Из электрического контура в механический контур вносится импеданс

$$Z_{\text{внос}} = Z_{\text{эл}} K_U^2 = \frac{A(\gamma)}{B(\gamma)} \cdot \frac{K_U^2}{\omega_0 C_0} = k_{31}^2 \alpha Z_K \frac{A(\gamma)}{B(\gamma)}.$$

Со стороны механического источника силы полное входное механическое сопротивление

$$Z_{\text{вх. мех}} = Z_M(\gamma) + Z_{\text{внос}} = \frac{Z_M(\gamma) B(\gamma) + k_{31}^2 \alpha Z_K A(\gamma)}{B(\gamma)}.$$

Скорость $v(\gamma)$, возникающая в механическом контуре под действием силы $F_0 = pS_{\text{бок}}$:

$$v(\gamma) = \frac{pS_{\text{бок}} B(\gamma)}{Z_M(\gamma) B(\gamma) + k_{31}^2 \alpha Z_K A(\gamma)}.$$

«Падение напряжения» в механическом контуре $Z_{\text{внос}}$

$$U'_{\text{внос}} = v(\gamma) Z_{\text{внос}} = pS_{\text{бок}} \frac{k_{31}^2 \alpha Z_K A(\gamma)}{Z_M(\gamma) B(\gamma) + k_{31}^2 \alpha Z_K A(\gamma)}.$$

Выходное электрическое напряжение на приемнике

$$U_{\text{вых}}(\gamma) = \frac{U'_{\text{внос}}}{K_U},$$

что приводит к выражению

$$U_{\text{вых}}(\gamma) = \left(\left(\frac{d_{31}}{\epsilon_0 \epsilon_{33}^{\sigma}} \right) R_{\text{ср}} \right) p(\gamma) \frac{\alpha A(\gamma)}{\frac{Z_M(\gamma)}{Z_K} B(\gamma) + k_{31}^2 \alpha A(\gamma)}.$$

Предполагаем, что на цилиндрический преобразователь падает плоская звуковая волна с волновым вектором, перпендикулярным к боковой поверхности цилиндра. Учет дифракции на поверхности цилиндра согласно [5] осуществляется введением множителя

$$k_d = \frac{1}{\sqrt{1 + (k_B R_{\text{ср}})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\gamma b_2)^2}}.$$

Предполагаем также, что падающая волна звукового давления представляет собой один полупериод синусоиды частоты ω_0 , т. е. резонансной частоты радиальных колебаний:

$$p(t) = \begin{cases} p_m \sin \omega_0 t, & 0 \leq t \leq T_0/2, \\ 0, & t < 0 \text{ и } t > T_0/2, \end{cases}$$

где T_0 – период резонансной частоты.

Спектральная плотность импульса звукового давления

$$p(\gamma) = \frac{\cos\left(\gamma \frac{\pi}{2}\right)}{1-\gamma^2} e^{-j\gamma \frac{\pi}{2}}.$$

Для расчета формы электрического импульса на выходе приемника используем обратное преобразование Фурье. Введем также безразмерное время $T = \frac{t}{(T_0/2)}$, где t – обычное время.

Тогда, с точностью до постоянного множителя, можно получить выражение зависимости электрического напряжения на выходе приемника от времени:

$$U(T) = \operatorname{Re} \int_0^{\infty} U_{\text{вых}}(\gamma) k_d(\gamma) e^{j\gamma\pi T} d\gamma.$$

При вычислениях опускается множитель $\left(\frac{d_{31}}{\varepsilon_0 \varepsilon_{33}^{\sigma}}\right) R_{\text{ср}} p_m$.

На основании представленных выше формул рассчитана форма импульсов электрического напряжения на выходе рассматриваемого тонкостенного цилиндрического пьезоприемника. В качестве материалов, предназначенных для заполнения внутреннего объема преобразователя, выбраны вода и глицерин – жидкости, наиболее часто применяемые для этих целей. Вычисления осуществлены в области значений параметра α от 0,01 до 0,2. Указанный диапазон соответствует допущению о малости относительной толщины стенки цилиндра.

Для конкретных значений параметра α последовательным перебором определены значения параметров n и Q , при которых возможно получение минимальных длительностей сигналов с приемника. Будем в дальнейшем называть эти значения оптимальными (n_{opt} и Q_{opt}). В качестве примера приведем некоторые из них. Так, например, в случае заполнения внутренней полости преобразователя глицерином, при $\alpha = 0,01$ они составляют: $n_{\text{opt}} = 1$ и $Q_{\text{opt}} = 1,1$; при $\alpha = 0,1$ – $n_{\text{opt}} = 0,85$ и $Q_{\text{opt}} = 1,45$; при $\alpha = 0,2$ – $n_{\text{opt}} = 1,2$ и $Q_{\text{opt}} = 1,25$. На рис. 3 для различных значений α показаны формы сигналов, получаемых с преобразователя, внутренняя полость которого заполнена глицерином. Так, на рис. 3, а представлен вид импульса электрического напряжения при $\alpha = 0,01$ для случая оптимально подобранных значений параметров n и Q . Для сравнения на рис. 3, б приведен сигнал, получаемый на выходе рассматриваемого приемника при отсутствии электрической коррекции. На рисунках по осям абсцисс отложено безразмерное время T , а по осям ординат – нормированные к единице значения электрического напряжения на выходе преобразователя. Договоримся, как и в ранее опубликованных работах, за длительность импульса принимать время, прошедшее от его начала до момента снижения амплитуды сигнала в 10 раз по отношению к максимальному значению, т. е. в соответствии с часто применяемым критерием определения длительности импульса по уровню –20 дБ. Можно видеть, что в обоих рассматриваемых случаях (с применением оптимально подобранной корректирующей цепи и без нее) длительности импульсов $\tau_{\text{и}}$ практически равны и составляют примерно значение $\tau_{\text{и}} = 2,7$ полупериода колебаний на резонансной частоте ω_0 . В обоих случаях сигнал имеет «правильную», регуляр-

ную форму. Следовательно, применение корректирующей цепи не уменьшило длительности сигнала с приемника, но и не ухудшило его формы. Вместе с тем, как показал расчет, использование оптимальной электрической коррекции увеличило амплитуду сигнала примерно на 25 %.

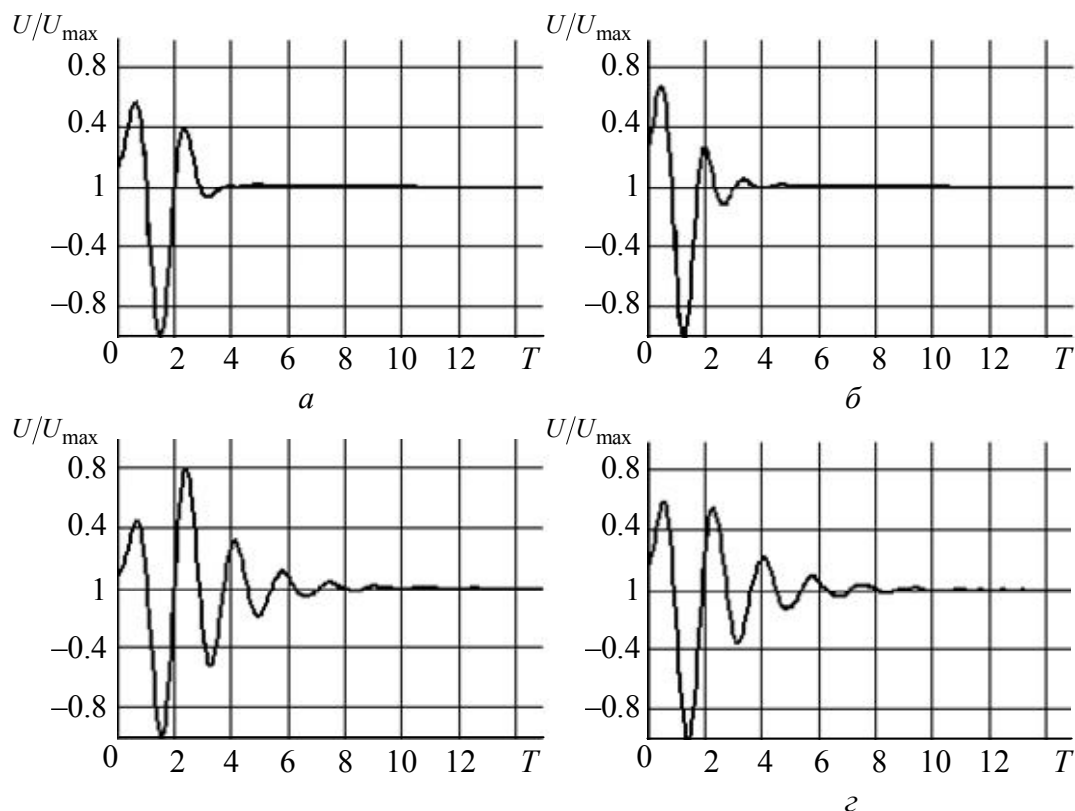


Рис. 3

На рис. 3, в и г представлены сигналы на выходе приемника при значении параметра $\alpha = 0,2$, что соответствует максимальной относительной толщине стенки из всего рассмотренного в расчете диапазона. На рис. 3, в приведен вид сигнала с пьезоприемника с оптимально подобранной корректирующей нагрузкой, а на рис. 3, г – без нее. Можно видеть, что и в этом случае сигналы очень близки по длительности, которая составляет $\tau_{\text{и}} = 5,8$ полупериода. Однако, как показал расчет, применение правильно подобранных параметров RL -цепи позволило увеличить амплитуду импульса. Рост амплитуды сигнала за счет подключения нагрузки составил примерно 12 %.

Определенный интерес представляют также результаты расчета длительностей получаемых с приемника сигналов при заполнении его внутренней полости водой. В качестве примеров, иллюстрирующих некоторые результаты проведенного исследования, можно привести значения n_{opt} и Q_{opt} , которые получены для различных значений параметра α . В частности, при $\alpha = 0,01$ они составляют: $n_{\text{opt}} = 1,6$ и $Q_{\text{opt}} = 1,25$; при $\alpha = 0,1$ – $n_{\text{opt}} = 0,63$ и $Q_{\text{opt}} = 1,25$; при $\alpha = 0,2$ – $n_{\text{opt}} = 0,9$ и $Q_{\text{opt}} = 2,2$. Форму сигналов с приемника с водным заполнением для некоторых значений параметра α можно наблюдать на рис. 4. Например, для $\alpha = 0,1$ на рис. 4, а представлен результат применения RL -цепи с оптимально подобранными значениями параметров n и Q . Для сравнения на рис. 4, б приведен результат, соответствующий случаю ее отсут-

ствия. Видно, что применение электрической коррекции позволяет несколько снизить длительность сигнала (с $\tau_{\text{и}} = 4,3$ до $\tau_{\text{и}} = 3,5$, т. е. в 1,7 раза). Амплитуда сигнала при этом, как показал расчет, увеличивается примерно на 70 %. Кроме того, использование RL -цепи позволяет улучшить форму сигнала в заключительной, «хвостовой» его части.

Аналогичные данные для водного заполнения преобразователя при $\alpha = 0,2$ приведены на рис. 4, в (соответствует применению оптимальной электрической коррекции) и рис. 4, г (электрическая цепь отсутствует). Видно, что применение электрической коррекции также способствует улучшению формы сигнала, хотя для столь большого значения параметра α этот эффект проявляется менее ярко, чем при $\alpha = 0,1$. Длительность импульса при этом уменьшается в 1,1 раза (от $\tau_{\text{и}} = 6,3$ до $\tau_{\text{и}} = 5,6$), а амплитуда, как показал расчет, увеличивается на 60 %.

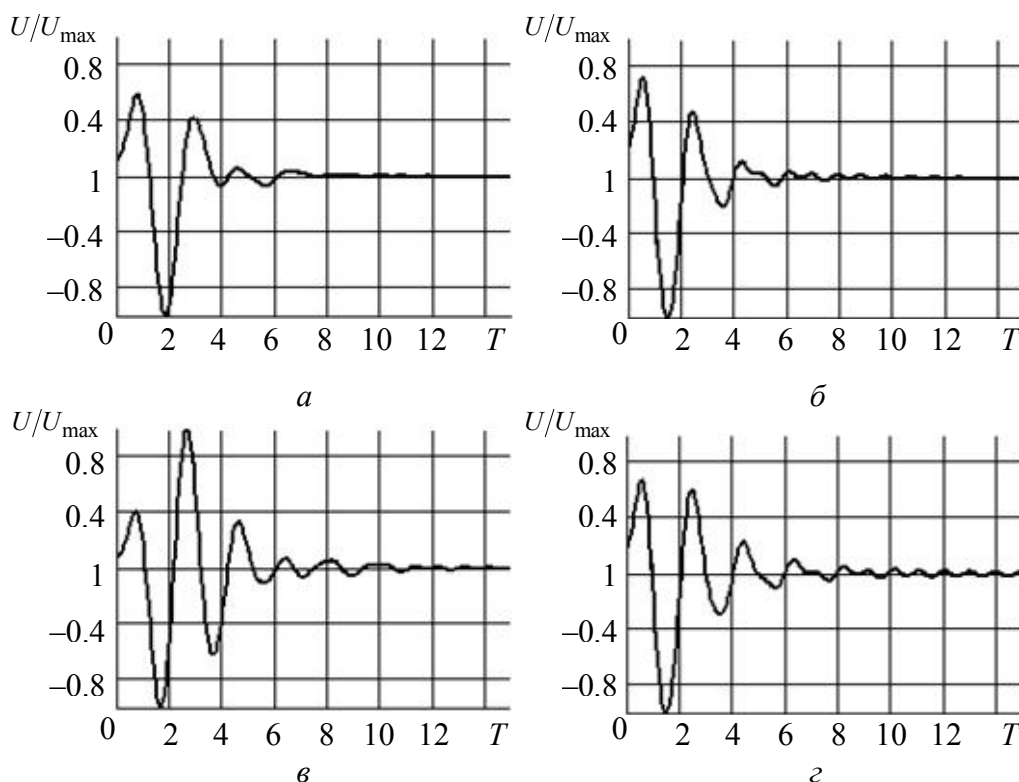


Рис. 4

Представленные результаты свидетельствуют о том, что положительный эффект от использования RL -цепей с правильно подобранными параметрами оказывается более выраженным в случае водного заполнения внутренней полости по сравнению с применением для этих целей глицерина. Вместе с тем, применение глицерина дает возможность получать сигналы более «правильной», регулярной формы, что иногда на практике имеет важное значение. Длительности сигналов на выходе пьезоприемника с корректирующей электрической цепью при использовании в качестве заполняющего материала обеих жидкостей оказываются близкими по своему значению.

Таким образом, на основе проведенного расчета исследован импульсный режим работы тонкостенного цилиндрического пьезоэлектрического приемника с внутренним заполнением жидкостями и подключенной корректирующей электрической нагрузкой. Установлены значения параметров, которые характеризуют данную систему и позволяют получить наименьшую длитель-

ность сигнала на выходе приемника. Получены конкретные оценки длительностей и амплитуд выходных электрических импульсов при использовании для заполнения внутренней полости широко распространенных жидкостей – воды и глицерина. Отмечено, что применение электрической коррекции может способствовать улучшению формы и увеличению амплитуды сигнала, получены оценки этого увеличения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Импульсный режим работы тонкостенного пьезоцилиндра с внутренним заполнением // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 4. С. 40–46.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование импульсного режима работы тонкостенного пьезокерамического цилиндра с электрической нагрузкой // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. № 9. С. 45–48.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. О влиянии электрической цепи на длительность сигнала, излучаемого в воду тонкостенным пьезоэлектрическим преобразователем с внутренним заполнением // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 6. С. 37–46.
4. Шендеров Е. Л. Волновые задачи гидроакустики. Л.: Судостроение, 1972.
5. Свердлин Г. М. Гидроакустические преобразователи и антенны. Л.: Судостроение, 1980.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko

INVESTIGATION OF PULSE MODE OF OPERATION OF A THIN-WALLED CYLINDRICAL PIEZOELECTRIC DETECTOR FILLED WITH A LIQUID MATERIAL AND CONNECTED TO A CORRECTIVE CIRCUIT

A piezoelectric detector in the form of a thin-walled cylinder filled with a liquid media inside and loaded on liquid outside is considered. Electric output of the transducer is connected to a corrective LR-circuit. It is supposed that excitation of the transducer is realized by an acoustic pressure pulse in the form of one half period of sinusoid at the frequency of the radial resonance of the cylinder. By means of calculation, pulse mode of operation of the transducer was investigated. The system parameters providing minimal durations of electric pulses at the output of the receiver are determined. The estimates of amplitudes and durations of pulses at the output of the transducer are obtained for different filling materials.

Electric pulse, acoustic pulse, piezoceramic cylinder, piezoelectric detector, corrective electric circuit, filling material



УДК 577.335

К. А. Волегов, В. М. Сидоренко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСА ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Исследована возможность неконтактного определения диэлектрических характеристик приповерхностных слоев биологических сред. Показано, что для такой задачи можно использовать неконтактный метод, основанный на измерении импеданса антенн. Представлены результаты компьютерного численного моделирования применимости метода для анализа приповерхностных слоев организма.

Неконтактный метод, приповерхностные слои, диэлектрические характеристики, импеданс антенны, толщина слоя, высота расположения антенны, диэлектрическая проницаемость, эпидермис, роговой слой

Задача определения характеристик приповерхностных слоев организма весьма актуальна, так как на этом основании можно судить о психосоматическом состоянии человека. Поэтому широкое распространение получили методы получения данных о потенциалах и электропроводности кожи, общим недостатком которых является то, что они контактные. В то же время существуют дистанционные методы получения информации о диэлектрических характеристиках исследуемой среды путем регистрации импеданса приёмопередающих антенных систем, находящихся вблизи ее поверхности [1], [2], [5]. Целью настоящей работы является изучение возможности исследования комплексной диэлектрической проницаемости в приповерхностных слоях организма на основании метода измерения импеданса антенны.

Метод заключается в регистрации различий импедансных характеристик (действительной и мнимой частей импеданса) линейной антенны, расположенной в свободном пространстве и в присутствии исследуемой среды. Эти различия несут информацию о диэлектрической проницаемости среды.

Рассмотрим теоретические основы метода, полагая, что существует система из двух вибраторных антенн, расположенных в свободном пространстве параллельно координатной оси X вблизи поверхности исследуемой среды с произвольным числом слоев n . Антенна 1 (передающая) длиной $2l_1$ расположена на высоте h , а антенна 2 (приемная) длиной $2l$ – на расстоянии z от границы исследуемой среды. Требуется определить взаимный импеданс антенн при наличии исследуемой среды. Решение задачи проводится методом наведенных ЭДС. Для синусоидального распределения токов вдоль антенн 1 и 2, их взаимный импеданс при наличии исследуемой среды

можно представить в следующем виде: $Z_{\text{tot}} = Z_{\text{free}} + Z_{\text{bord}}$, где Z_{free} – характеризует взаимный импеданс двух антенн в свободном пространстве; Z_{bord} – определяется вкладом во взаимный импеданс двух антенн за счет присутствия исследуемой среды. Расчет значений Z_{free} дается в разных литературных источниках и не вызывает трудностей [4].

Для расчета значений Z_{bord} нами использовалось соотношение, приведенное в [7], которое в общем виде можно представить как

$$Z_{\text{bord}} = \frac{240}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} E(v, \Theta, \varepsilon) \left[A(v) \frac{B(v, \Theta, l_1, l_2, \varepsilon)}{D(v, \Theta)} - C(v, \Theta) \frac{B(v, \Theta, l_1, l_2, \varepsilon)}{D(v, \Theta)} \right] \times \exp\left(-2\pi \frac{h+z}{\lambda} \sqrt{v^2 - 1}\right) dv d\Theta, \quad (1)$$

где v – параметр функции Бесселя; Θ – угловая координата; $\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$ – комплексная диэлектрическая проницаемость исследуемой среды; $E(v, \Theta, \varepsilon)$, $A(v)$, $C(v, \Theta)$, $B(v, \Theta, l_1, l_2, \varepsilon)$, $D(v, \Theta)$ – функции, описывающие характеристики электромагнитных полей антенной системы в присутствии исследуемой среды с диэлектрической проницаемостью ε .

Приведенное соотношение дает возможность на основании численных расчетов получить связь между импедансными характеристиками антенны и диэлектрической проницаемостью среды ε с произвольным профилем по глубине исследуемого организма. При этом среда представляется в виде слоистой структуры с постоянным в пределах каждого слоя i значением ε_i . При $l_1 = l_2 = \lambda/4$, $y = 0$, $c = 0$ соотношение (1) может быть использовано в случае одной приемопередающей антенны, расположенной над исследуемой средой.

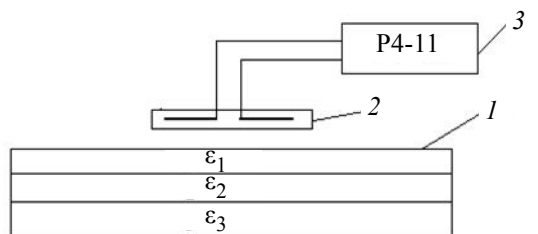


Рис. 1

Ранее один из вариантов метода, в котором используется одна приемопередающая антенна, хорошо зарекомендовал себя при исследовании слоистых грунтов [3], [6], [7]. Схема этого эксперимента представлена на рис. 1, где: 1 – слоистая среда; 2 – антенна; 3 – измеритель импедансных характеристик.

Антенны для проведения экспериментальных измерений изготавливались из отрезков медного провода диаметром $d = 0.04/\lambda$. Длина плеча вибратора составляла величину, близкую $1/4\lambda$, и уточнялась в процессе предварительной настройки антенны над листом металла на оптимальной высоте (на высоте, где регистрировался максимум значения импеданса) таким образом, чтобы наблюдался резонанс на рабочей частоте. Затем проводилось измерение действительной и мнимой частей импеданса антенны в свободном пространстве. Окончательная проверка настройки антенны производится путем снятия зависимости импеданса от высоты подъема ее над поверхностью среды. Если антенна настроена правильно, то должно наблюдаться соответствие теоретически рассчитанного максимума импеданса антенны на оптимальной высоте с максимумом, полученным в эксперименте. Конструкция антенны представлена на рис. 2, где 1 – подводящий кабель; 2 – диэлектрическая трубка; 3, 5 – эпоксидный компаунд; 4 – согласующее устройство; 6 – плечи вибратора; 7 – пенопласт.

Экспериментальные исследования слоистых грунтов проводились с помощью панорамного измерителя комплексных сопротивлений Р4-11 (для антенн с частотами 450, 800 и 1200 МГц), позволяющего провести измерения в диапазоне 1...1250 МГц. Антенны по очереди подключались к измерителю (измеритель комплексных коэффициентов передачи Р4-11) и на них подавался синусоидальный сигнал амплитудой 100 мкВ. Сигнал с внутреннего генератора Р4-11 возбуждает антенну в первый момент времени, во второй момент времени генератор выключается, антенна принимает сигнал, на основании которого определяют значения действительной и мнимой частей импеданса. Инструментальная погрешность измерителя импедансных характеристик антенны, использованной для исследования слоистых грунтов составляла ~8...10 % [3], [6].

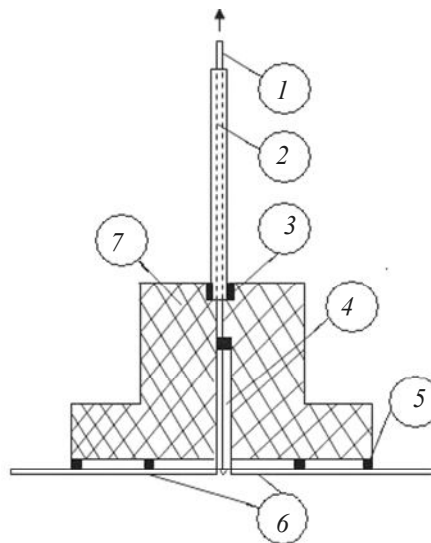


Рис. 2

При проведении экспериментов со слоистыми грунтами рассматривались случаи нарастания и убывания диэлектрической проницаемости с глубиной слоя. Исследования проводились с четвертьволновыми дипольными линейными антеннами на частотах 450, 800 и 1200 МГц. Стенд, моделирующий слоистую среду, размещался на поверхности из выровненного песка. Некоторые результаты исследований представлены на рис. 3 и 4. На рис. 3 приведены зависимости Z' , Z'' , и $|Z|$ антенны на частоте 1200 МГц от ее высоты над четырехслойным грунтом, диэлектрическая проницаемость которого возрастает с ростом глубины, где 2, 1, 5 – экспериментальные, а 4, 6, 3 – теоретические значения действительной части, мнимой части, модуля импеданса соответственно.

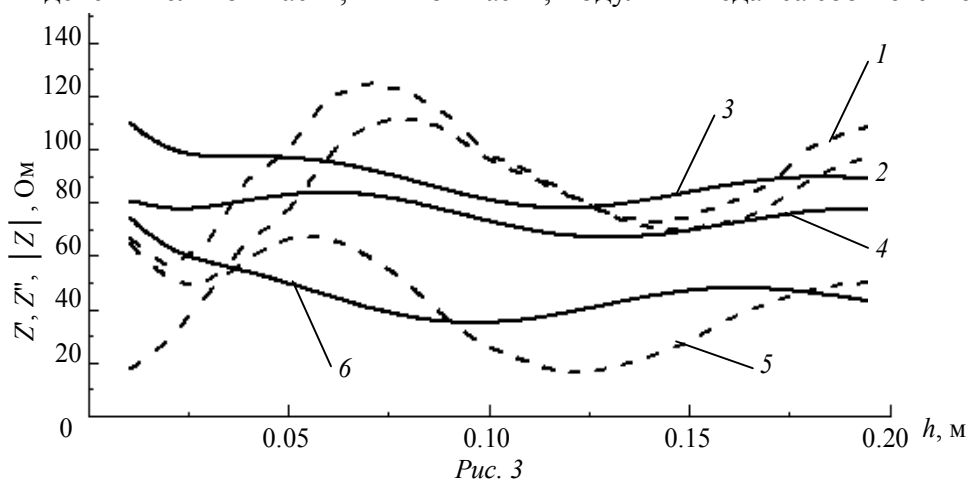


Рис. 3

На рис. 4 представлены зависимости Z' , Z'' и $|Z|$ антенны при частоте 1200 МГц от высоты ее расположения над четырехслойной средой, диэлектрическая проницаемость которой снижается с ростом глубины, где 4, 6, 1 – экспериментальные, а 3, 5, 2 – теоретические значения действительной части, мнимой части, модуля импеданса соответственно.

Из рис. 3, 4 видно, что теоретические и экспериментальные зависимости в целом совпадают на качественном уровне. Причем теоретические и экспериментальные зависимости больше всего различаются при малых значениях h , а вариации теоретических зависимостей менее выражены, чем вариации экспериментальных.

На основании этих результатов в [1], [2], [5] был сделан вывод о том, что существуют оптимальные высоты расположения антенны, которые соответствуют точкам перегиба приведенных на рис. 3, 4 зависимостей.

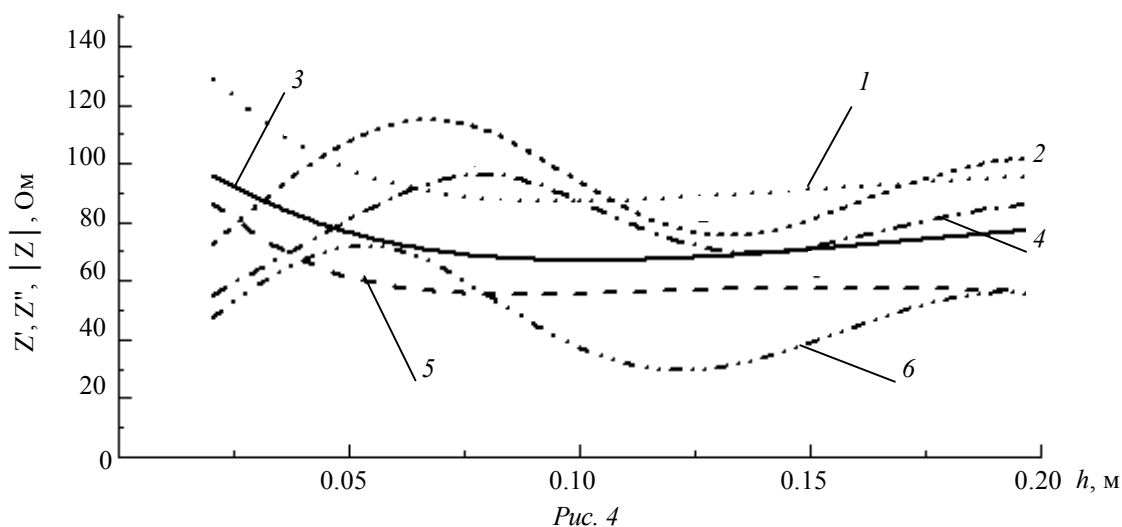


Рис. 4

Нами проведен численный эксперимент с использованием выражения (1), с помощью которого исследована возможность применения рассмотренного метода для дистанционного контроля характеристик приповерхностных слоев организма человека. При этом считалось, что условия эксперимента соответствуют схеме, представленной на рис. 1. Характерные параметры приповерхностных слоев организма человека, влияющие на результаты расчетов теоретических зависимостей, приведены в таблице.

Номер слоя	Слой, i	Толщина T_i , м	Диэлектрическая проницаемость ϵ_i , Ом
1	Роговой слой	$5 \cdot 10^{-3}$ м	$53 + 57.24i$
2	Влажная дерма	$3 \cdot 10^{-3}$ м	$52 + 36.92i$
3	Жировой слой	10^{-2} м	$49 + 21.07i$
4	Мышечный слой	10^{-2} м	$49 + 21.07i$

Были исследованы зависимости действительной Z' и мнимой Z'' частей, а также модуля импеданса $|Z|$ зондирующей антенны при $h = 0.02$ м от комплексной диэлектрической проницаемости второго слоя среды (влажная дерма). Именно здесь находятся такие чувствительные к состоянию организма структуры кожи, как микрокапиллярные сосуды, рецепторы, свободные нервные окончания и др. Значения диэлектрической проницаемости этого слоя варьировались в диапазоне, характерном для организма человека. Зависимости Z' , Z'' и $|Z|$ от ϵ'_2 при разных частотах приведены на рис. 5, где 1, 2, 3 – модули импеданса; 4, 5, 6 – действительные части импеданса; 7, 8, 9 – мнимые части импеданса на частотах 800, 950 и 1800 МГц соответственно.

Из рис. 5 следует, что максимальные изменения наблюдаются для значений Z' и $|Z|$ от ϵ'_2 и лежат в пределах 5 %.

На рис. 6 представлены результаты расчета зависимостей Z' , Z'' и $|Z|$ от толщины второго слоя T_2 для антенны, расположенной на фиксированном расстоянии $h = 0.02$ м от среды, где 2, 1, 3 – модули импеданса; 6, 5, 4 – действительные части импеданса; 8, 7, 9 – мнимая часть импеданса на частотах 800, 950 и 1800 МГц соответственно.

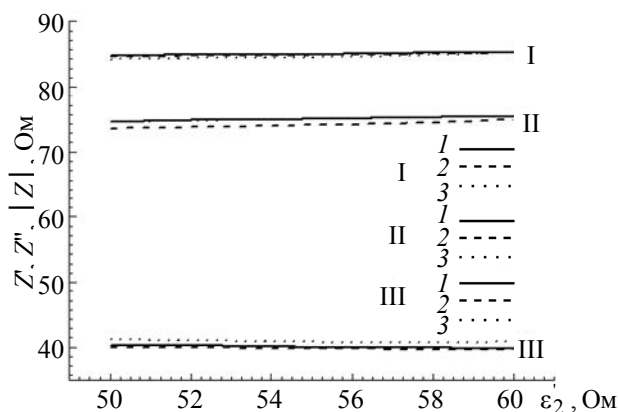


Рис. 5

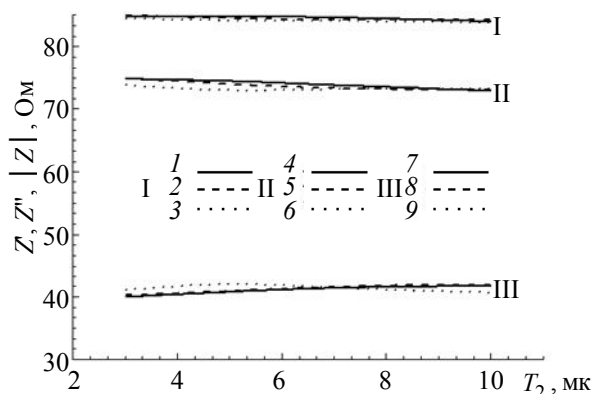


Рис. 6

Проведенные расчеты показывают, что изменение толщины второго слоя по-разному влияет на значения Z' , Z'' и $|Z|$.

Особый интерес с точки зрения перспектив использования метода для оценки психического состояния организма представляет исследование влияния диэлектрической проницаемости первого слоя (рогового слоя) на импедансные характеристики антенны. Дело в том, что психическое состояние организма отражается на влажности этого слоя, а она непосредственно связана с его диэлектрической проницаемостью.

Результаты моделирования зависимостей Z' , Z'' и $|Z|$ от h в случае организма, находящегося в спокойном состоянии (значение диэлектрической проницаемости рогового слоя $\epsilon_1 = 53 + j57.24$), представлены на рис. 7, где 1, 2, 3 – модули импеданса; 4, 5, 6 – действительные части импеданса; 8, 9, 7 – мнимые части импеданса на частотах 800, 950 и 1800 МГц соответственно.

Значение h варьировало от 0.01 до 0.24 м с шагом 0.01 м. Приведенные на рис. 7 зависимости импедансных характеристик линейной антенны от h имеют осциллирующий характер и качественно соответствуют результатам, представленным на рис. 4. Причем наблюдаются заметные различия этих зависимостей на разных частотах работы антенн. Из рис. 7 следует, что оптимальные для проведения исследований значения h (при которых наблюдаются максимумы приведенных зависимостей) лежат в пределах 0.3...0.56 длины волны излучения, на которой работает измерительная система.

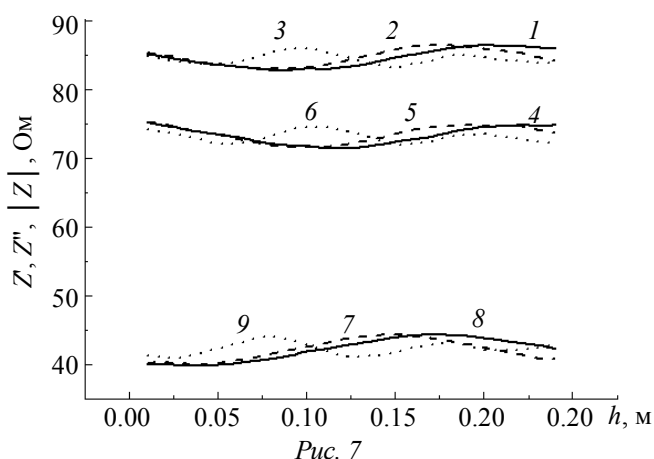


Рис. 7

Результаты моделирования зависимостей Z' , Z'' и $|Z|$ от h в случае

организма, находящегося в возбужденном состоянии (повышенное значение диэлектрической проницаемости рогового слоя $\epsilon_1 = 81 + j57.24$, что обусловлено увлажнением рогового слоя), представлены на рис. 8, где 3, 2, 1 – модули импеданса; 6, 4, 5 – действительные части импеданса; 9, 8, 7 – мнимые части импеданса на частотах 800, 950, 1800 МГц соответственно.

Значения диэлектрических проницаемостей остальных слоев были постоянны и соответствовали данным, приведенным в таблице.

Из сравнения результатов, представленных на рис. 7 и 8 видно, что точки перегибов зависимостей (максимумы и минимумы) различаются, что показывает то, что наибольшее влияние на импеданс оказывают первые слои организма. Осцилляции зависимостей импеданса наступают раньше и имеют меньший период при большей диэлектрической проницаемости рогового слоя.

Зависимости Z' , Z'' и $|Z|$ от h на частоте 800 МГц для спокойного и возбужденного состояний организма (при значениях диэлектрической проницаемости рогового слоя $\epsilon_1 = 53 + j57.24$ и $\epsilon_1 = 81 + j57.24$) представлены на рис. 9, где 1, 3, 5 – действительная часть, мнимая часть и модуль импеданса при диэлектрической проницаемости рогового слоя $\epsilon_1 = 53 + j57.24$; 2, 4, 6 – действительная часть, мнимая часть и модуль импеданса при диэлектрической проницаемости рогового слоя $\epsilon_1 = 81 + j57.24$ на частоте 800 МГц.

Из рис. 9 видно, что наблюдается явное изменение импедансных характеристик при переходе организма от спокойного к возбужденному состоянию.

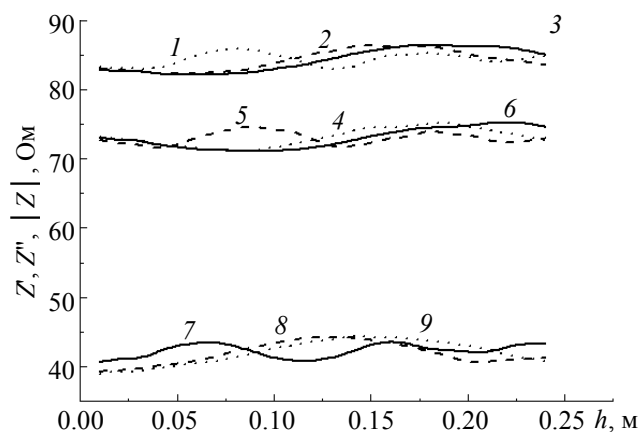


Рис. 8

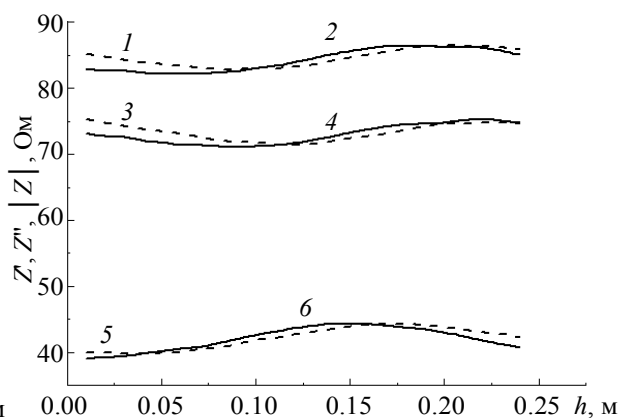


Рис. 9

Результаты проведенных исследований показывают, что существуют зависимости импедансных характеристик антенны распределения диэлектрической проницаемости по глубине в организме от удаленности антенны от его границы и частот электромагнитных волн, используемых для зондирования. Полученные результаты могут применяться для выбора оптимальных условий проведения дистанционных исследований состояния организма.

В целом можно сделать вывод о том, что для исследования биологических объектов могут быть использованы четвертьволновые дипольные антенны, при этом инструментальная погрешность измерительной системы должна составлять величину порядка единиц процентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радугин О. К. Теорема о связи решений задач о поле вертикального и горизонтального диполей // 1966. Изв. вузов. Сер. «Физика». № 5. С. 86–90.
2. Волегов К. А., Сидоренко В. М. Исследование возможности использования линейных дипольных антенн для дистанционного измерения комплексной диэлектрической проницаемости приповерхностных слоев организма // Тез. V Междунар. конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб.: 2009.

3. The investigation of the possibility of using linear dipole antennas for dimension of dielectric permittivity of the real soil and layered soil. / Avdochenko B. I., Batsula A. P., Shostak A. S. et al. // Proc. of conf. Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. Sevastopol, Ukraine. 2008. P. 261–263.
4. Брант А. А. Исследование диэлектриков на СВЧ. М.: Физматгиз, 1963. С. 196–404.
5. Подповерхностная радиолокация / М. И. Финкельштейн, В. А. Карпухин, В. А. Кутев, В. Н. Метелкин. М.: Радио и связь, 1994.
6. Входной импеданс ультравысокочастотной линейной антенны, расположенной над трехслойной средой / А. С. Шостак, Б. И. Авдоченко, В. В. Загоскин, и др. // Изв. вузов. Сер. «Физика». 2005. С. 71–73.
7. Дума А. Р., Дорохов В. И., Шостак А. С. Радиоволновый метод контроля параметров диэлектрических материалов на основе измерения импеданса линейных антенн // Дефектоскопия. 1986. № 1. С. 54–61.

K. A. Volegov, V. M. Sidorenko

THE USING OF DIPOLE ANTENNAS IMPEDANCE MEASURING METHOD FOR BIOLOGICAL OBJECTS RESEARCH

The problem of electrical characteristics determination of biological environment boundary layer has been studied. It has been demonstrated that the use of noncontact methods for boundary layers analysis is optimal for this task. Noncontact methods of electrical characteristics determination have been analyzed. The use of noncontact method of boundary layers electrical characteristics research on the basis of dipole antennas impedance measuring has been proposed. The results of this method practical use obtained during mineral medium research have been presented. It has shown the results of computer numerical modeling of using this method for organism boundary layers analyses.

Noncontact methods, boundary layers, electrical characteristics, antenna impedance, layer thickness, level of antenna position, dielectric inductivity, epidermis, horny layer



УДК 378.1

М. К. Ахлаков, Ш. Ш. Цинадзе

НРАВСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ – ХОРОШО ЗАБЫТОЕ СТАРОЕ ИЛИ НИКОМУ НЕ НУЖНОЕ СЕГОДНЯ ПОНЯТИЕ?

Делается попытка проанализировать состояние вопроса по нравственному воспитанию молодежи в стране в целом и в высших учебных заведениях в частности, а также роль средств массовой информации, особенно электронных средств массовой информации по данному вопросу. Приводятся высказывания крупных ученых, авторитетов в различных областях человеческой деятельности о состоянии дел по нравственному воспитанию в нашей стране. Ставится вопрос о роли педагогов и сотрудников вуза в третьем виде основной деятельности вуза после учебной и научной, – нравственном воспитании молодого поколения.

Моральное воспитание, высшее учебное заведение, патриотизм, ненормативная лексика, идеология, общество потребления

На конференции «Современные технологии обучения: международный опыт и российские традиции» в 2005 г. одним из авторов этой статьи был сделан доклад о роли телевидения в патриотическом воспитании учащейся молодежи [1], в котором проводилась основная мысль, что в высших учебных заведениях никто не занимается патриотическим воспитанием молодежи, а российское телевидение не то что не воспитывает, а скорее ведет антипатриотическую пропаганду, в результате чего у учащейся молодежи такие слова, как «любовь к Родине», «защита отечества», «любовь и уважение к своему народу и языку», ассоциируются не с гордостью за свою страну и великий русский язык, а вызывают лишь непредсказуемую усмешку.

Прошло пять лет, но, не подводя пока никаких итогов, сегодня хочется поговорить не только о частном случае – «патриотическом воспитании», а о нравственном воспитании молодежи в целом – о том, что лет 25–30 назад было третьей основной задачей учебных заведений наряду с учебной и научной деятельностью.

Создается впечатление, что сегодня вузы по взаимному умолчанию полностью игнорируют эту деятельность, несмотря на декларативные заявления о том, что формирование мировоззрения молодого поколения в современную эпоху является одной из основных миссий вуза. Между тем формирование человека демократического общества ни в коем случае не снимает проблем нравственного воспитания. «Это обусловлено потребностями передачи морального опыта старших поколений подрастающему поколению и выработки активной жизненной позиции» [2].

В процессе нравственного воспитания у человека вырабатываются отношение к обществу, к коллективу, к другим людям, то есть его активная жизненная позиция. А воспитание человека с активной жизненной позицией как главная задача государства не отрицается ни одним общественно-политическим строем на Земле. При этом, помня о том, что усвоение моральных принципов и норм осуществляется в процессе преобразовательной деятельности, нельзя делать вывод, что изменение самой общественной жизни под углом демократизации общества и есть нравственное воспитание. Следует обратить внимание и на то, что нравственное воспитание не может быть автономной проблемой отдельных научных или учебных заведений, различных средств массовой информации или общественных организаций. Это область, где нельзя достичь намеченных успехов без выработки единой общей цели, критериев и методов достижений. Но если в Конституции СССР было записано, социалистическое общество – это «общество высокой организованности, идейности и сознательности трудящихся – патриотов и интернационалистов» [3], то в Конституции Российской Федерации записано, что «никакая идеология не может устанавливаться в качестве государственной или обязательной» [3, ст. 13, п. 2], то есть фактически у нас государство без идеологии.

Нам непонятно, как может существовать государство без идеологии. Нельзя понимать идеологию как политическую догму. В любой деятельности присутствуют идеология, методология и т. п., вокруг которых объединяются задачи, цели, критерии и ожидаемые результаты деятельности. Нам кажется, что наши депутаты, принимая эту Конституцию, немного слухавили. Идеология у новой России, конечно, есть – это построение общества потребления – общества гонки за карьерой и деньгами. Все остальные человеческие ценности лишены прежнего значения. Такие качества, как порядочность, честность, культура, воспитанность, уважение и терпимость к взглядам, религиям и национальностям других людей, отодвинуты далеко назад или вообще отброшены как абсолютно ненужные.

Конечно, мы довольно часто слышим голоса руководителей нашего государства с призывами к нравственному воспитанию, но они тонут под гулом наших средств массовой информации, и особенно электронных средств массовой информации, которые настойчиво внушают, что не тем, кто коверкает русский язык, используя ненормативную лексику, всевозможные и невозможные сленги и т. п., необходимо изучать грамматику русского языка, русскую литературу, а нам надо принимать их словарь как неизбежную реальность и переходить на их язык. И вот уже появились новые словари русского языка, где эти все, мягко говоря, искажения рекомендованы к применению.

30–31 янв. 2009 г. состоялось заседание «круглого стола» по проблемам нравственности и духовности с участием Даниила Александровича Гранина – писателя, почетного гражданина Санкт-Петербурга, Абдусалама Абдулкеримовича Гусейнова – академика РАН, директора института философии РАН, Александра Сергеевича Запесоцкого – академика Российской академии образования, ректора СПбГУП, Сергея Петровича Капицы – главного научного сотрудника Института физических проблем им. П. Л. Капицы и Генри Марковича Резника – президента адвокатской палаты г. Москвы, где Д. А. Гранин сказал: «Сегодня мы столкнулись с такой жизнью, непривычной для нас, где ценности стали совершенно другими. Я, как человек литературы, особенно болезненно ощущаю, что в школах сокращается изучение литературы. Я вижу как гаснет интерес к поэзии. Прекратились поэтические вечера, телевиде-

ние этим не занимается совершенно, уменьшается потребление художественной литературы вообще, а особенно русской. А что же остается от того, что составляет любовь к России, любовь к своей стране?» [4].

Похоже, у нас это никого из власть имущих не волнует. А между прочим, во многих странах не чураются следить за чистотой своего родного языка и издавать соответствующие подзаконные акты. Так, например, по словам С. П. Капицы, в Англии есть специальная служба, которая следит за нормативностью языка в средствах массовой информации, в том числе и в электронных. Там существует социальная ответственность журналистских кругов и людей, управляющих телевидением. Во Франции есть министерство франкофонии, которое поддерживает французский язык.

Правда, сказать, что на телевидении за прошедшие 5 лет ничего не изменилось, нельзя. Исчезли, например, с незакодированных каналов порнофильмы. Появились художественные фильмы без поголовных убийств и моря крови. Но это только капля в море. В целом пока что нас методически приучают к тому, что насилие может быть нормой. Наши передачи о «героях-бандитах и их победах», как недавно прозвучало в одной из телевизионных программ, приводят к страху и безысходности одних и к вседозволенности других... Развлекательные программы – самого дурного вкуса. Они практически полностью перенесены с западного телевидения и озвучены по-русски. А. С. Запесоцкий по этому поводу сказал: «Производитель теперь начинает взращивать в нас потребителя низкокачественного продукта, потому что его производить дешевле. То, что мы сегодня видим по телевидению, – продукция для идиотов. Вы посмотрите: ни одной новой телевизионной формы не создано за весь постсоветский период. Телебоссы скупили на Западе хлам и платят самим себе миллионы долларов за его повтор, тиражирование. Единственная новая, оригинальная программа, которая сделана в России за последние 15–20 лет, – это «Дом-2» [4].

А если проанализировать информационные программы новостей, то легко заметить, что большую часть времени муссируются отрицательные аспекты повседневной жизни: убийства и другая криминальная хроника, катастрофы, кризис, постоянное повышение стоимости жизни, как будто специально подобранные отвратительные, душераздирающие сцены из борьбы за выживание животных – тем самым вызываются отрицательные эмоции, апатия, нагнетаются неуверенность в себе и постоянное чувство страха.

А охаивание всего советского в телевизионных передачах стало уже чуть ли не обязательным в любом жанре, тем самым вызывая у молодых вместо уважения антипатию к своим родителям, дедушкам и бабушкам, и в целом – к истории своей Родины.

О каком же нравственном воспитании может идти речь? Создается впечатление, что, не имея возможности показать что-нибудь стоящее за 20 лет «развития» новой России, нас пытаются убедить, что сейчас все равно хорошо, так как раньше было плохо. Но это, на наш взгляд, тупиковый путь, особенно в вопросах нравственного воспитания. Вот что сказал об этом А. А. Гусейнов на упомянутом уже заседании «круглого стола»: «Прежде всего, следует осознать одну важнейшую истину исторического существования народа: ныне живущее поколение не может быть судьей по отношению к предыдущим. Нет у него такого права, прежде всего нравственного. Это не значит, что мы не должны критически анализировать уроки прошлого, действия наших предков. Можем и должны, но во вторую очередь и в определенной

нравственной тональности. Прежде всего, наше отношение к прошлому и предыдущим поколениям должно быть благодарным – за то, что они сделали возможным наше существование. За то, что передали нам эстафету исторического развития. Мы живем в новой России около 20 лет. Какую мы получили страну – по уровню экономического развития, степени образованности населения, интеллектуальному и научному потенциалу, по численности населения, продолжительности жизни? И во что мы его превратили? По всем этим показателям мы пошли резко вниз. Из передовой державы, даже сверхдержавы, мы превратились во что-то второразрядное. Что мы можем предъявить как наши достижения, заслуги перед отчизной? Вот как надо ставить вопрос. Надо спросить с себя, а не прятаться за мнимое разоблачение прошлого и лицемерную заботу о будущем» [4].

Но давайте вернемся на землю, то есть в вуз. Каков моральный облик наших студентов? Как они ведут себя в родном университете? И каков вклад в их нравственное воспитание педагогов, то есть нас с вами? Мы вспоминаем начало семидесятых годов, когда один из авторов начинал педагогическую деятельность, а второй учился в ЛЭТИ, и нас поражают те изменения, которые произошли в поведении не только студентов, но и сотрудников вуза. Сегодняшние студенты даже не понимают, что когда входит в аудиторию преподаватель и здороваются, то им надо ответить ему вставанием.

Переходя в пересменку из корпуса в корпус, преподаватель демонстративно держит дверь и пропускает студентов. Пройдут не менее 10–15 человек, прежде чем кто-то из них сообразит, что неплохо бы пропустить сначала преподавателя или просто человека намного старше. А на каком языке говорят студенты? Ощущение такое, что находишься не в вузе, а на «малине» уголовников. На каждое нормативное слово приходится 2–3 блатных, матерных или, в лучшем случае, сленговых слов. Однажды в коридоре второго корпуса услышали громкий разговор идущей впереди нас очень симпатичной и хорошо одетой студенческой парочки. Хотя разговором назвать это трудно – это был сплошной мат. Причем девушка, не стесняясь ни идущих по тому же коридору своих сверстников, ни людей постарше, использовала мат круче и чаще, чем её собеседник.

А что говорить о курении? В то время когда весь мир борется с курением и достигаются неплохие результаты, в нашей стране курильщиков за последние 15–20 лет стало намного больше. Причем основной вклад в этом увеличении внесли девушки. Не секрет, что сегодня среди старшеклассниц некурящих намного меньше, чем курящих. А про наркотики и говорить не хочется. Вы и сами хорошо знаете, что творится в стране. И каждый из читающих эти строки мог бы привести много аналогичных примеров.

И не пора ли нам призадуматься? Нет ли во всем этом нашей, сотрудников вуза, вины? А можем ли мы сказать, что являемся им примером? Положа руку на сердце, давайте признаемся себе, а сильно ли отличается наша речь от молодежной, особенно когда мы собираемся в однополых компаниях по разному поводу?

А курение? Уже несколько раз выпускались указы о запрете курения в служебных помещениях, коридорах и на лестничных площадках. Ну и что? Разве секрет, что до сих пор всё ещё во многих помещениях, не говоря уж о лестничных площадках, сотрудники курят, причем зачастую в присутствии студентов. Разве об этом не известно заведующим кафедрами и руководителям других подразделений? Конечно известно. Создается впечатление, что

приказы и распоряжения издаются, чтобы создать видимость борьбы против чего-то, а реально всё пущено на самотек.

А куда исчез институт кураторства? Нет, официально он не исчез. Но фактически его нет. Практически ни на одной кафедре сегодня нет официально назначенных кураторов по группам, ведь именно кураторская работа с её регулярными обсуждениями учебных, общественных, а часто и личных вопросов, являлась основой нравственного воспитания студенческой молодежи.

В заключение хотим сказать следующее. Советы давать трудно, да и как-то неудобно. Мы не психологи, и образование у нас не педагогическое, но если все мы сегодня не осознаем, что нравственное воспитание как было, так и остается одним из важнейших видов деятельности вуза, то в ближайшее время уже станет поздно, и останется только посыпать голову пеплом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цинадзе Ш. Ш. Роль телевидения в патриотическом воспитании учащейся молодежи // Мат. XI Междунар. конф. «Современные технологии обучения: международный опыт и российские традиции», СПб., 20 апр. 2005 г. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2005. Т. 2. С. 9–12.
2. Нравственное воспитание / А. М. Архангельский, А. И. Афанасьева, О. С. Богданова и др. М.: Мысль. 1979.
3. Конституция СССР. М.: Юридическая литература. 1977.
4. Бузулукский А. Н. Совесть: бесполезное свойство души? Фрагм. стеногр. «круглого стола» по проблемам нравственности и духовности // Санкт-Петербургские ведомости. 14 мая 2009 г.

M. K. Akhlakov, Sh. Sh. Tsinaadze

MORAL EDUCATION. IS IT A GOOD OLDY THAT IS ACTUAL AGAIN OR JUST A CASTAWAY?

We tried to review the state-of-the-art in moral education of the young people in our country in general and in universities in particular, as well as the role of the mass media especially electronic media in this aspect. The ideas of the authorities in different fields were cited. We discussed the role of the university staff in cultivation of moral and patriotic values among the younger generation – the third main kind of the high school activities after the academic and scientific ones

Moral education, university, patriotic values, strong language, ideology, consumer society



УДК 1021:017

А. В. Бабаева

АКСИОЛОГИЯ СКУКИ

Антропологический анализ феномена скуки в культуре. Выявление отличительных черт в представлении о скуке в европейской и русской культурах.

Культура, общество, человек, бинарность, скука

Вся тварь разумная скучает.
И. Гете. Фауст

Человек XX – начала XXI вв. редко говорит о скуке. Современный ритм жизни как бы исключает такое состояние. Нам некогда скучать. Мы «завалены» разнообразными видами деятельности, динамично меняем свои социальные роли, включены в сложную систему взаимосвязей. И все же проблема скуки стоит перед современным человеком. Скука с трудом поддается формализации: ее не измерить частотой пульса, как страх, и она может принимать скрытые формы, ускользающие от интервью и опросов.

Скука – одна из самых ярких черт эпох нового и новейшего времени. «Скучно» – одно из символических выражений в языке человека нового времени, которое обычно используется для обозначения целого ряда чувственных ощущений и бессмысленности в самых разных ситуациях. Многие описания скуки в литературе очень похожи друг на друга, в основном это жалобы на то, что ничто не интересно, а также констатация факта, что это невыносимое испытание. В современных психологических словарях скуку определяют как «болезненно воспринимаемое аффективное состояние, характеризующееся диффузной напряженностью, нетерпением и чувством неудовлетворенности» [1, с. 263]. Диапазон состояния скуки достаточно широк: от ощущения интеллектуального превосходства над окружающими и экзистенциального неудовлетворения до циничного пресыщения благами жизни. Скукой можно объяснить весь спектр человеческого поведения – от самых экстремальных поступков до полного каталептического бездействия. Например, один из героев «Записок из подполья» Достоевского утверждал, что «все от скуки, господа, все от скуки...» [2, с. 57]. Характерную формулировку скуки можно найти, например, в комедии Георга Бюхнера «Леонс и Лена»: «Чего только не делают люди от скуки! Они учатся от скуки, они молятся от скуки, они любят, они сватаются и размножаются от скуки и, в конце концов, умирают от скуки» [3, с. 21].

Широта диапазона состояния скуки находит свое выражение и в терминологическом многообразии, выражающем данное состояние. В русском языке можно выделить такие понятия, как «скука», «хандра», «уныние», «апатия», «подавленность», «вялость», «опустошенность», «тоска смертная», иногда «сплин».

Если провести небольшую историческую ретроспективу данного понятия, то можно выявить интересные факты. Так, в древнегреческом языке, если верить словарям, специального слова «скука» не было, хотя существовали такие понятия, как «невозмутимость», «равнодушие». Но данные понятия определяют иное состояние человека.

Первые известные нам черты скуки в языке встречаются в эпоху поздней античности. В произведениях Сенеки встречается понятие *taedium vitae* – усталость от жизни. Сенека описывает ощущения, напоминающие современную скуку.

В эпоху Средневековья появляется специальный термин, обозначавший состояние «демонической одержимости» – *assidia* (дословно «вялость», «уныние», близкие с безразличием и праздностью). Но данное понятие выражало моральное состояние духовного «отпадения» от Бога. Человек считался виновным в таком состоянии и был обязан его преодолевать. Кто страдает от *assidia*, попадали в один из кругов Дантова ада. Предписываемое лекарство от *assidia* находится за пределами земного мира.

В эпоху Возрождения понятие «скука» было заменено понятием «меланхолия». Меланхолия считалась особой разновидностью болезни тела, которую следовало лечить. В отличие от *assidia* и от скуки, неудовольствие (боль) в меланхолии спаяно с мудростью (что получило символическое выражение в известной картине Дюрера «Меланхолия»).

Современное слово «скука» появляется в европейских языках в XVII в., раньше всего – во французском (известны случаи, когда на немецкий язык слово *ennui* переводили пространным пересказом). Романтики впервые подробно описали этот феномен. Долгое время скука оставалась статусным символом. При французском дворе скука считалась привилегией монархов, а скука, которую испытывали другие, например придворные, толковалась иначе. Скука, внедренная во все слои общества, потеряла свою эксклюзивность. За Чайльд Гарольдом и Онегиным на скуку стали жаловаться повсеместно. Начиная с XVII в. вначале в Англии, а затем в Западной Европе утверждается представление, что состояние скуки – некая общечеловеческая болезнь. «Невыносимей всего для человека полный покой, без страсти, без развлечения. Тогда немедленно из глубины души поднимается скука, мрак, печаль, досада, отчаяние», – писал Б. Паскаль. Англичанин Р. Бертон (1577–1640), автор «знакового» для своего времени труда «Анатомия меланхолии» (1621), в котором с энциклопедической подробностью определены душевные и общественные истоки меланхолии, писал: «Я пишу, дабы избежать меланхолии. У меланхолии нет большей причины, чем праздность, и нет лучшего средства против, чем занятость» [4, с. 4].

В конце XVIII в. романтики категорически заявили, что жизнь должна быть интересной, только в такой жизни не будет места скуке. В этот же период формируется представление о том, что труд помогает избегать состояния скуки, так как заполняет время человека содержанием. Работать не покладая рук, чтобы избежать мучительного состояния скуки. Работать, чтобы исцелиться от скуки, которая порождает отвращение к собственному существованию. И до сегодняшнего дня существует представление, что занятому человеку некогда

скучать. Более того, скуку принято отрицать, даже у самого себя. Да и когда же скучать, когда в мире столько интересного, когда внутренний мир должен быть наполнен... И вместе с тем, человек продолжает скучать.

В русских памятниках письменности понятие «скука» до Петровской эпохи не встречается. И действительно, русский человек не скучал, а испытывал «тоску смертную» как недовольство собой и всем миром. Из такого состояния, всеми мыслимыми и немыслимыми силами, пытались как-нибудь выйти, устроить так, чтобы этого окаянного состояния не было. Традиционно уходили в запой, тогда «смертная тоска» превращалась в безумие. А если «заглушить» «тоску смертную» не только вином, но и «смертным боем», тогда освобождение придет потом с чувством вины. Можно было «идти куда глаза глядят». Самое ярко проявляющееся стремление – это стремление «на волю». Такие взгляды нашли свое выражение в русском народном фольклоре: «цвет в поле – человек на воле», «неволя пляшет, неволя песни поет, а воля спать не дает».

Стремление во что бы то ни стало уйти от скуки породило в русской культуре специфический феномен – трикстерство, т. е. нахождение на грани между нормой и аномалией. Сама культурная среда способствовала формированию такого специфического человека.

Трикстер находится между Бытием и Небытием. Он всем своим существованием воплощает вечный поиск смысла жизни. В русской культуре проблема смысла жизни занимала важное место в системе мировоззрения и очень часто становилась результатом ухода от скуки. Жизнь понималась как особый способ Бытия, не нуждающийся в формировании каких-либо ограничительных систем. Поиск смысла жизни осуществлялся через преодоление дисциплинарных пространств, порождающих «тоску смертную», в порыве к свободе. В русском культурном пространстве существовало два представления о свободе: свобода как постоянное самостановление, в процессе которого человек движется этой свободой, но она – всего лишь начало деперсонализации – становится Бытием-вне-Себя.

Вместе с тем существовало представление и о другой свободе, которая становится активным началом самоформирования «пребывания-у-себя-самого». Истинная свобода, к которой необходимо стремиться, возможна через осуществление самоопределения «самости», «самобытия».

Смысл жизни пытались найти в преодолении субъективности, слиянии с внешней реальностью для Себя и вовне.

Человек, находящийся между Бытием и Инобытием, формирует специфический мир. В нем реализуются системы антиповедения. Контраст между светлой сущностью и грубой реальностью нашел яркое воплощение в фигуре и мировосприятии трикстера. Социокультурные условия формировали своеобразную «телесную карту» русского человека, которая стремилась к воплощению идеальных образов. Но в столкновении с окружающей противоречивой реальностью, в большинстве случаев, возникал трикстер. Вечное нахождение между аномалией и нормой, поведением и антиповедением, устремленность к недостижимым идеалам формировали своеобразие мировосприятия. «Положение человека в мире определяется тем, что во всех измерениях своего бытия и поведения он в каждый момент находится между двумя границами...: между тем, что выше, и тем, что ниже...» [5, с. 7]. Эта граница прошла и закрепилась в самосознании русского человека, сформировала специфику русского культурного пространства. Противоречия не противопоставлялись как мертвые данности, а воспринимались как постоянно пересекающиеся, перетекающие одно в другое.

Во всех культурах мира от скуки пытаются куда-нибудь деться. Развитие культуры можно представить как процесс изобретения разнообразных вещей, позволяющих избегать состояния скуки. Развлечение не могло быть поставлено на поток, пока скука не приобрела явный и глобальный характер. Расширение границ культуры, появление новых видов досуговой деятельности, массовая культура, медиокультура – в разных вариантах пытаются противостоять скуке. Даже возникновение грандиозной индустрии развлечений не смогло уничтожить скуку. Причем люди могут испытывать скуку не только от безделья, но и от дела, от отсутствия интереса и от множества разнообразных интересов.

В XX в. появилось мнение, что феномен скуки связан с развитием техники. Возникновение техноцентризма привело к трансформациям в системе ценностей человека и, как результат, к утрате многих смыслов. О связи техники со скукой в XX в. писали, в частности, Фридрих и Эрнст Юнгер, Льюис Мамфорд, Роберт Музиль и мн. др. В трудах Мартина Хайдеггера эта связь была осмыслена наиболее радикально: «Вероятно, они составляют одно целое: отчуждение технического мира и глубинная скука, являющиеся скрытой тягой к исконной родине» [6, с. 215]. По мнению М. Хайдеггера, современная техника, корнями уходя в античность, возникает в Европе в XVII в. В это же время, напомним, в европейских языках появляется слово «скука». Техника, по мнению Хайдеггера, – это не только и не столько машины, оборудование, сколько определенное отношение к миру, которое он назвал «поставом». Техника есть то, что «поставляет», выводит из мира потаенное: так машины извлекают руду в карьере открытой добычи. Это не единственный подход к тому, что Хайдеггер называет раскрытием потаенного: наряду с поставом существует производство – установка, свойственная искусству. В древнегреческом мире техника и производство, *techne* и *poiesis*, были одним целым, но потом распались. Производство обладает своего рода онтологическим превосходством: бережно относясь к тайне, оно поддерживает ее жизнь, в то время как производство, пытаясь организовать тайну, предаёт ее забвению. Превращая потаенное всего лишь в материал для обеспечения и управления, техника отчуждает человека от него самого.

Один из ресурсов технической организации – время. Поскольку сущность технической деятельности – эффективность, время начинает восприниматься как препятствие. И если изначально целью научно-технического прогресса провозглашалось сбережение времени, то в итоге техника стала попыткой обуздания, подчинения времени: неэффективно расходуемое время переживается как скучное.

В конечном счете в скуке нас больше всего угнетает само отсутствие какого-либо угнетения, а именно: в скуке нам не хватает тайны с ее «внутренним ужасом», который придает человеку величие. Спасение от скуки Хайдеггер видит не в беспрестанной деятельности и не в развлечении, которым современная техника всячески потакает, а в настройке на еще более глубокую скуку. Скука пребывает в спящем состоянии, а неумной деятельностью и развлечениями мы лишь еще больше усыпляем ее. Чем глубже скука, тем она более скрыта. Неудовольствие от скуки толкает нас из ее глубины к поверхности, к легкой, поверхностной скуке. Но только опустившись на самое дно скуки, сделав скрытую скуку явной, мы можем из нее выйти. Выход из скуки будет означать не только облегчение страдания: поскольку глубинная скука есть то, что замыкает нас, она же и укажет нам на то, что именно замкнуто и что именно следует отомкнуть. В этом смысле скука и есть тяга к исконной родине, т. е. к нашим пре-

дельным бытийным способностям. Отсюда требование к заскучавшему пробудить скуку и – что труднее – не дать ей уснуть. Такое отношение к скуке мы находим и у И. Бродского: «Скука – это ваше окно с видом на время, которое всякий стремится закрыть, чтобы избежать возможной утраты душевного равновесия. Это ваше окно в бесконечность времени. Когда это окно однажды распаивается, не пытайтесь его захлопнуть; напротив, распаивайте его во всю ширь. Ибо скука говорит на языке времени, и она дает вам самый ценный в вашей жизни урок. Скука – это вторжение времени в круг ваших ценностей. Она помещает ваше существование в правильную перспективу, чистым итогом чего является точность и скромность» [7].

Если в европейской культуре скуку длительный период соотносили с бездельем, поэтому пытались выйти за ее рамки, погружаясь в работу, либо отрицали, так как «некогда скучать», то в русской культуре утвердилось представление, что «скука есть одна из принадлежностей мыслящего существа» [8, с. 217]. Думающий человек не может не скучать, так как ум – не только преимущество, но и бремя.

Скуку можно представить не только как деструктивное состояние, но и как позитивное, как некий толчок к действию. Не случайно среди русских пословиц есть и такая: «От скуки мастер на все руки».

Норвежский философ Ларе Свендсен, исследуя данный феномен, подчеркивал, что «скука – проблема не праздности, но смысла» [9, с. 28]. Скуку можно рассматривать как источник поиска жизненных альтернатив. Скука, подобно боли в организме, является симптомом утраты смысла человеческого существования. Чтобы скучать, субъект должен воспринимать самого себя как индивида, который может оказаться в разных обстоятельствах, и требовать смысла и от мира, и от самого себя. Скука нашего времени – тоска по позитивной цельности. Скука – обнажение корней Бытия, переживание вторичности всех человеческих смыслов, неизбежной условности и ограниченности всех наших желаний. Поэтому жить постоянно в состоянии скуки невозможно, но необходимо время от времени погружаться в скуку. Именно такие временные «погружения» позволяют человеку посмотреть со стороны на свою жизнь, найти более верные средства реализации ценностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Психологическая энциклопедия/ Под ред. Р. Корсина, А. Ауэрбаха. М.: Высш. шк., 2002.
2. Достоевский Ф. М. Собр. соч.: В 6 т. М.: Прогресс, 1978. Т. 5.
3. Современная зарубежная драматургия. М.: Прогресс, 2000.
4. Бертон Р. Анатомия меланхолии. М.: б.м.и., 1889.
5. Зиммель Г. Избр.: В 2 т. М.: Наука, 1996. Т. 2.
6. Хайдеггер М. Бытие и время. М.: Наука, 1991.
7. Бродский И. Похвала скуке // О печали и разуме. М.: Авалон, 2002.
8. Пушкин А. С. Письмо Рылееву (май 1825)// А. С. Пушкин. Собр. соч.: В 4 т. М.: Просвещение, 1987. Т. 4.
9. Свендсен Л. Философия скуки. М.: Наука, 2008.

A. W. Babaewa

AXIOLOGY BOREDOM

Analyses specificity boredom. Demonstration national peculiarity Russian picture world.

Culture, society, person, boredom, twofold

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ИДЕИ А. П. ЩАПОВА

Рассматриваются педагогические идеи Афанасия Прокопьевича Щапова (1831–1876) – российского историка и этнографа, основателя социоестественного подхода в изучении истории России и одного из создателей демократической педагогики в дореволюционной России.

Общая педагогика, история, этнография, демократическая педагогика

Афанасий Прокопьевич Щапов (1831–1876) – российский историк и этнограф, основатель социоестественного подхода в изучении истории России и один из создателей демократической педагогики. Родился в 1830 г., в селении Анге, Верхоленинского уезда за Леной, в 210 верстах от Иркутска в семье пономаря и крестьянки-бурятки. Благодаря этому историческому сюжету Щапов всю жизнь испытывал чувство своей сопричастности к народу, поскольку с самого детства познал и тяжесть крестьянского труда, и разницу между социальными слоями. Когда Афанасию было 7 лет, он попал к учителю-поселенцу, нанятому для него отцом. Методика педагога-любителя была простой и надежной: учитель писал на бумаге буквы, а Афоня обводил их сухим пером на бумаге (до образования дырки). Это длилось полгода. Дальнейшее домашнее обучение продолжил сам отец.

В восьмилетнем возрасте талантливого и прилежного к учебе ребенка отправили учиться (1841) в Иркутское духовное училище – бурсу за казенный счет¹. История этого училища была тесно связана с духовной семинарией, образованной в 1779 г. В 1818 г. ее низшие классы отделились от высших и получили название приходских и уездных училищ и собственно семинарии. Жизнь училища подчинялась жесткому расписанию, проводились воспитательные мероприятия, известные под названием «секуции». Жестокость бурсацкой педагогики испытал на себе и юный воспитанник. Но суровые условия жизни и учения не сломили характер Щапова. Любовь и тяга к знаниям быстро выделили ребенка среди одноклассников. Пристрастием ученика стало написание трактатов по мотивам прочитанных книг и образовательных предметов. В 1846 г. Щапова перевели в духовную семинарию, где была та же зубрежка, полуголодное существование, применялись телесные наказания. Афанасий Щапов провел в Иркутской семинарии шесть лет (1846–1852) и закончил учебу в возрасте далеко не юном.

Щапов как лучший выпускник поступил в Казанскую духовную академию (1852). В семинарии изучали 43 предмета: катехезис митрополита Платона, священную историю, катехезис Филарета, толкование священного писания, православное исповедание веры Петра Могилы, риторику, церковную историю, церковную археологию, библейскую историю, а также алгебру, геометрию, физику, ботанику, сельское хозяйство, логику, русскую историю и др. В эти годы Афанасий ознакомился с «Историей государства российского» Н. М. Карамзина. Работа именитого историка оказала на него сильное влияние. Но и социальные противоречия, очевидцем которых он оказался в юношестве, также оставили глубокий след в его переживаниях и способствовали в последующем развитию критического восприятия дворян-

¹ Латыпова Наталия. Щапов Афанасий Прокопьевич. http://www.krugosvet.ru/enc/istoriya/SHCHAPOV_AFANASI_PROKOPEVICH.html

ской и либеральной историографии. Щапов очень усердно работал и в среде товарищей выделялся своей неустанной страстью к познанию, особенно наук мировоззренческого плана: физиологии, социологии и др.

В это время студенты получили возможность доступа к художественной и общественно-политической литературе. Именно прогрессивная русская литература повлияла на формирование разносторонних социально-политических и педагогических взглядов Щапова. Способствовало его личностному развитию и сотрудничество в популярных среди просвещенных людей журналах. Его заинтересовали идеи А. И. Герцена и Н. Г. Чернышевского. Для него оказались доступны статьи «Современника» и «Отечественных записок». А. Щапов изучал общественно-политическую, педагогическую, философскую литературу. Большое значение для его последующей ученой и карьерной деятельности имело знакомство с богатой библиотекой рукописей Соловецкого монастыря, которая во время Крымской войны была перевезена в Казань. Щапов участвовал в составлении описи этих рукописей.

На последнем курсе А. П. Щапов посвятил себя работе над магистерской диссертацией, вышедшей в Казани под заглавием «Русский раскол старообрядства, рассматриваемый в связи с внутренним состоянием русской церкви и гражданственности в XVII веке и в первой половине XVIII в.» (1858), которая оказалась лучшей среди работ, представленных магистрантами. Диссертация также получила благоприятный отклик историков и аналитическую оценку в журнале «Современник». Признанием заслуг Щапова явилось приглашение остаться преподавателем русской истории и для продолжения научных исследований. Всецело отрешиться от общепринятой точки зрения на историю религии Щапов не мог; тем не менее, научно-исследовательский труд его был совершенно новым явлением и обратил на себя всеобщее внимание. Щапов рассматривал раскол не только как религиозное, но как историческо-бытовое и социальное явление: в нем, по мнению Щапова, сохранился, так сказать, окаменелый осколок древней России, выразилась русская народность XVII века в ее отрешенности от иноземных элементов реформы Петра Великого. В академии Щапов преподавал историю русской церкви, останавливаясь главным образом на анализе взаимодействия византийских начал со славяно-русским языческим мировоззрением, давшего, как ему представлялось, новый специфически русский строй религиозных представлений.

Дальнейшую разработку этих лекций дали его «Исторические очерки народного мирозерцания и суеверия (православного и старообрядческого)», в «Журнале Министерства Народного Просвещения» (1863). Но, несмотря на специфичность и глубину религиозных взглядов, общественное демократическое настроение да и сама история его личной жизни формировали постепенно материалистические и революционные взгляды Щапова. Позже Афанасий Прокопьевич был приглашен в Казанский университет для чтения лекций. Его лекции «Общий взгляд на историю великорусского народа», «О Конституции», «О декабристах» содержали острые политические моменты. В своих статьях и выступлениях на лекциях Щапов утверждал, что народ – основной создатель материальных благ и ему принадлежит заслуга в развитии и освоении территории страны, главная роль в экономике и культуре. Поэтому земля должна быть всенародной собственностью, а крепостное право и самодержавная власть уничтожены. Лектор Щапов был очень авторитетен и популярен среди демократически настроенной части студенчества. Расплата за крамольные взгляды последовала быстро:

по приказу царя он был отстранен от преподавательской деятельности, арестован и отправлен в Петербург. Будучи под следствием, Щапов обратился к Александру II с двумя письмами, в которых предлагал обоснование своих реформ, связанных с изменением роли областных земских советов. Расследование по поводу его благонадежности закончилось решением Синода отправить Щапова в Соловецкий монастырь. Благодаря заступничеству известных деятелей он был освобожден и даже взят на службу чиновником по раскольниковым делам. В этот период Афанасий Прокопьевич активно занимался литературной деятельностью и сотрудничал с журналом «Современник», «Отечественные записки». Несмотря на эти послабления, отношение официальных властей не изменилось, и он был сослан на родину в с. Анге, а потом переведен на поселение в Иркутск. Этот период жизни и творчества А. П. Щапова был связан с другими приоритетами: определением путей и способов изменения устройства общества. Кроме того, в круг научных интересов вошли теоретические и практические сюжеты, связанные с антропологией и этнографией. Основой мировоззрения Щапова становится прогрессивная для того исторического периода теория, которую он охарактеризовал как социально-антропологическую. Человек через призму этой концепции рассматривался как часть природы и в неразрывной связи с окружающей средой. Значительную роль в теории Щапова играл разум как движущая сила в развитии общества. Афанасий Прокопьевич возлагал на науку и просвещение большую надежду в изменении будущего людей и общества. Разумеется, он создавал и то, что просто распространением знаний не уничтожить социальную несправедливость. Его социальное происхождение, «путь» в другие статусные роли в обществе и формирующиеся новые взгляды – все это вызывало внутренний протест против существующего строя и особенно системы образования и воспитания молодого поколения в стране. Глубокая эрудиция, знание педагогической, церковной и другой литературы, да и сама преподавательская деятельность позволяли Щапову использовать самые разные источники для разрешения собственно практических и теоретических проблем новой демократической педагогики [1].

Существовавшая в России система народного образования не удовлетворяла педагога как совершенно оторванная от реальной жизни, от потребностей развивающейся промышленности, от народных чаяний. Он критиковал ее и за сословность, и за то, что она не давала глубоких знаний, не формировала научное мировоззрение молодежи. Знания, даваемые средней и высшей школой, также носили ограниченный характер, были предназначены стратегически для привилегированных классов. Народ в массе своей оставался безграмотным и не имел никаких перспектив для саморазвития. Правительственная педагогика объясняла отсталость и невежество русского народа его неспособностью к образованию, особенно среднему и высшему, в связи с его неразвитостью от природы. Вопрос о наследственности решался Щаповым с научных позиций и с горячей полемичностью. Исходя из того, что люди не рождаются князьями и боярами, а огромную разницу между ними создают сословные привилегии, он писал: «Просвещение по естественному праву должно быть неотъемлемым достоянием каждого человека. Темнота и невежество народа объясняются не наследственностью, а тем, что трудящиеся массы лишены не только средств, но и прав на образование, находятся в неблагоприятных условиях среды» [2].

Щапов критиковал пороки социальной среды и семейного воспитания. Критика вредного влияния социальной среды, а также подчеркивание огромной роли воспитания были прогрессивными сторонами его педагогических взглядов. Эти взгляды Щапова о роли среды и воспитания были направлены против государственной педагогики, рекомендовавшей лю-

для низших сословий не выходить за границы среды, к которой они принадлежат по происхождению. В развитии сил и способностей человека, а не их подавлении, Щапов видел цель воспитания. Выдвинутый им идеал нового человека, а также определение источников его формирования, имели принципиальное значение в борьбе за перестройку системы народного образования и за изменение характера русской школы. Из рассмотрения фундаментальных посылок, отводимых среде и воспитанию как основам развития человека, можно сделать вывод о том, что Щапов преодолевал ограниченность антропологизма и рассматривал человека не только как часть природы, но и как продукт общественных отношений. Эти же задачи, поставленные и решаемые практической педагогикой, направлены на умственное, нравственное, эстетическое и трудовое воспитание народа, изменение его роли в развитии общества. А. П. Щапов считал, что в условиях вредного влияния социальной среды и семьи именно школа должна взять на себя задачу умственного и нравственного воспитания молодежи. Для этого необходимо увеличить количество школ для народа, совершенствовать систему народного образования в стране, провести коренной пересмотр содержания и методов обучения и воспитания, отменить наказания.

Важную роль Щапов отводил умственному воспитанию, которое может развить способности народа к интеллектуальной деятельности, разбудить в нем дремлющие умственные силы, сформировать на основе глубоких знаний в области естественных и гуманитарных наук материалистическое мировоззрение. В связи с этим он много писал о пересмотре содержания образования, сумел определить политический смысл введения правительством классического образования, которое отрывало школу от политической, экономической и культурной жизни страны. Он был убежден, что России нужны реальные политехнические школы, в которых наряду с получением глубоких научных знаний учащиеся могли бы практически изучать различные отрасли промышленности и сельского хозяйства родного края, в мастерских, на фабриках, на полях, в ботанических садах. Щапов мечтал о связи науки и просвещения с жизнью и с практикой, поэтому старался поставить политику просвещения в зависимость от конкретной действительности; исходил из уровня жизни народа и его потребностей. Пропаганда реального образования является в связи с этим прогрессивным явлением, направленным против засилья схоластики религии. Исходя из того, что умственное воспитание формирует мировоззрение, Щапов указывал на тесную взаимосвязь умственного развития человека с нравственным. В основу нравственного воспитания он предлагал положить три основные идеи: естественность, человечность, гражданственность. Следовательно, школы для народа должны носить не только научно-образовательный, но и воспитательный характер. Он называл подобные школы школами социально-нравственного гуманизирования народа. Понимая великое значение труда человека в прогрессивном развитии общества, Щапов хотел, чтобы трудовой принцип пронизывал всю систему обучения и воспитания молодого поколения. Идеи, положенные им в основу главных образовательных проектов, можно сформулировать следующим образом: право на образование есть право каждого человека; образование должно быть всенародным и бессловесным; равным для мужчин и для женщин; равным для всех народов России, так как способности к образованию обнаруживают не только русские, но и иностранцы. По планам Щапова, система народного образования основывалась на преемственности этапов школьного образования, завершение которых делало возможным получение и высшего образования. Он предлагал передать правление народным образованием общественному управлению. С его позиций это способствовало бы возможности

учета интересов широких масс людей без жесткого вмешательства чиновников разного уровня, ведущих вопросами образования. Щапов как педагог-теоретик пытался разрешить как широкие социальные проблемы, так и общие методологические, специфические вопросы образования и воспитания народа, которые активно обсуждала педагогическая общественность того времени. Эти педагогические вопросы были для него вопросами политическими: он связывал их с задачами революционного преобразования общества и сделал тем самым значительный вклад в педагогическую теорию своего времени, отстаивая новые взгляды.

А. П. Щапов горячо отстаивал права народа на получение образования. Он предполагал организовать широкую систему школ, институтов и университетов на демократической основе. В программе обучения, которая предполагалась им для школы, ставилась цель пробуждения и «гармонического» развития начал «гуманности и человечности», чтобы каждый человек мог получить необходимые ему знания. В отношении высшей школы он предъявлял следующее требование: она должна быть «народным храмом высшего образования». В организации бесплатных школ для детей всех сословий и распространении университетского образования Щапов видел средство в руках народа, позволяющее осуществить преобразование общественно-политических отношений в стране. Работники интеллектуального труда, в частности «народные историки», должны иметь своей целью воспитание у народа при помощи просвещения чувства «исторического самопознания» и сознания своих сил. Просвещение должно быть средством подготовки народа к управлению страной. «Всенародное образование необходимо для того, чтобы из всей массы народа выходили на поприще общественной службы и деятельности люди, избранные по дарованиям ума, по просвещению, по глубине, истинности и твердости убеждений...». Распространение образования и просвещения, по его убеждению, необходимо для внедрения достижений науки и техники в народное хозяйство страны и для развития производительных сил прежде всего на далеких окраинах России. Значительное место в просветительском творчестве занимают идеи Щапова об отношении русского народа к другим народам многонациональной страны. Он выступал активным сторонником защиты и равноправия всех рас и национальностей и с проповедью скорейшего всестороннего просвещения всех.

Особое место в его творчестве уделено теории и истории отечественной педагогики. История русской педагогики с позиций практической науки в России только начиналась. После выступления Н. И. Пирогова в «Морском Вестнике» (1848) началось бурное обсуждение этих направлений в публицистической литературе и специальных изданиях. А. П. Щапов не остался в стороне от наболевших в России проблем и в 60-е гг. создал ряд обобщающих историко-педагогических исследований. Книга «Социально-педагогические условия умственного развития русского народа» (1869) вызвала горячее обсуждение как демократической, так и реакционной общественности. В журналах того времени и периодической печати в бурной философской и исторической полемике критиковались социальные и педагогические условия, в которых, как полагал А. П. Щапов, происходило и проходило уродливое воспитание и образование народа. Он обвинял церковь за ее противодействие науке, обвинял самодержавие и чиновничий произвол в области образования, наносивших урон начальной, средней и высшей школе. Невыносимым препятствием и отрицательным наследием отечественной истории на пути народа к знаниям и развитию он считал крепостное право, поскольку оно отнимало у народа право мыслить и развиваться свободно. Большое место в работах Щапова заняла проблема женского образования и воспитания, и он один из первых как публицист и педагог поднял вопрос об этом. Разрешение этой проблемы тесно связывалось с борьбой за

равноправие женщин. И поэтому женский вопрос носил для Щапова политический характер. В работах «Значение народной женщины в антропологическом и социальном развитии русской народности» (1870), «Влияние общественного миросозерцания на социальное положение женщины в России» (1871), «Миросозерцание, мысль, труд и женщина в истории русского общества» (1873) А. Щапов писал о разных периодах русской истории в связи с угнетением женщин, о тяжком положении женщин среди инородцев и впервые обрисовал в педагогической науке образ женщины-педагога. Это прежде всего выражалось в признании равноправия женщин во всех сферах жизни. Его самобытные идеи способствовали дальнейшему развитию прогрессивной педагогики XIX в. и будущего. Достаточно сложно всесторонне показать историческую и педагогическую концепции А. П. Щапова. Его большие и малые работы содержат поиски и результаты настойчивых попыток определить объективные закономерности в жизни народов России и человечества. Ему, выходцу из обездоленной национальной и трудовой среды, благодаря невероятному труду и несомненному таланту, через пламенное переживание сердца, удалось создать и оставить после себя практические рекомендации для изменения условий в нашей современной жизни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маджаров А. С. Афанасий Щапов. Иркутск: Вост.-Сиб. книж. изд-во, 1992.
2. Соч. А. П. Щапова: В 3 т. СПб.: Издание М. В. Пирожкова, 1906.

N. V. Krylova

THE PEDAGOGICAL IDEAS OF A. P. SCHAPOV

The pedagogical ideas of Schapov Afanasii Prokop'evich (1831–1876) are examined. He was the Russian historian and ethnographer, founder of sotsio-estestvennogo approach in the study of history of Russia and one of creators of democratic pedagogics in pre-revolution Russia.

Pedagogical ideas, history, ethnography, democratic pedagogics



УДК 621(099)

Л. И. Золотинкина

ПЕРЕПИСКА А. С. ПОПОВА И Э. ДЮКРЕТЕ

Краткий обзор переписки между А. С. Поповым и Э. Дюкрете по вопросам, связанным с производством аппаратуры для радиосвязи на основе идей и разработок Попова в период с 1898 по 1905 гг. Обзор составлен на основе писем Э. Дюкрете, так как оригиналов писем А. С. Попова сохранилось очень мало.

А. С. Попов, Э. Дюкрете, Маркони, радиосвязь

В книге «А. С. Попов–Э. Дюкрете. Письма и документы. 1898–1905 гг.» (рис. 1), выпущенной к 150-летию юбилею ученого-физика, профессора Александра Степановича Попова (1859–1906), раскрыта одна из наименее известных и изученных сторон его деятельности – практическая реализация его изобретения радиосвязи фирмой Эжена Дюкрете, известного французского электротехника, инженера и предпринимателя. Производство этой аппаратуры

в период с 1899 по 1904 гг. при постоянных консультациях А. С. Попова стало наиболее яркой страницей в деятельности фирмы Дюкрете. В книге отмечены результаты плодотворного сотрудничества двух стран – России и Франции в области радиотелеграфии, совместной деятельности двух ярких личностей – выдающегося ученого А. С. Попова, решившего проблему передачи информации с помощью электромагнитных волн, и талантливого инженера Э. Дюкрете, в оригинальных конструктивных решениях которого нашли воплощение идеи А. С. Попова.



Рис. 1

Основное содержание книги составляют подлинные документы, по которым прослеживается напряженная конкурентная обстановка конца XIX – начала XX вв. между фирмами, способными выпускать аппаратуру для нового вида связи.

В Мемориальном музее А. С. Попова Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» хранится собрание писем Эжена Дюкрете к А. С. Попову (рис. 2), включающее более 250 единиц хранения: письма (196 единиц хранения), брошюры, вырезки из газет, ценники, счета и др. В музее хранится 14 черновиков писем А. С. Попова к Э. Дюкрете. Поиском оригиналов писем занималась еще Екатерина Александровна Попова-Кьяндская (1899–1976) – дочь А. С. Попова, помощь также оказывал Е. Д. Айсберг (Франция). Благодаря их усилиям в музее появились копии оригиналов трех писем А. С. Попова 1898–1904 гг.

Одной из задач авторов книги было осуществление полного перевода писем Э. Дюкрете, выявление по задаваемым в них вопросам смысла ответов А. С. Попова. В результате проверки и обработки этой новой информации стало возможным достоверное определение содержания посланий А. С. Попова и их датировки.

Большая часть писем Э. Дюкрете – 43 письма – посвящена вопросам усовершенствования элементов аппаратуры; в 38 письмах основное внимание уделено вопросам патентования за границей нового изобретения А. С. Попова – телефонного приемника депеш; 26 сообщений содержат описания опытов по телеграфии без проводов, основной задачей которых было увеличение дальности связи. В 24 письмах решаются вопросы отправки и получения деталей к аппаратуре. Выполнению заказов на аппаратуру и деталей к ней посвящено 22 письма (приведены тарифы). В 11 письмах рассматриваются общие вопросы телеграфирования без проводов, в 7 письмах представлено описание различных приборов. Во многих посланиях одновременно затрагивается несколько тем. Определенный интерес представляют и ценники на аппаратуру этой фирмы. Э. Дюкрете регулярно сообщает Попову об организации и проведении ежегодной выставки Французского физического общества. В ряде писем подробно излагаются вопросы установки аппаратуры беспроводного телеграфирования на французских военных судах. В письмах Э. Дюкрете постоянно рекламирует свою продукцию, стремясь к расширению рынка сбыта, предлагает организовать в Санкт-Петербурге торговый дом по продаже аппаратуры беспроводной телеграфии.

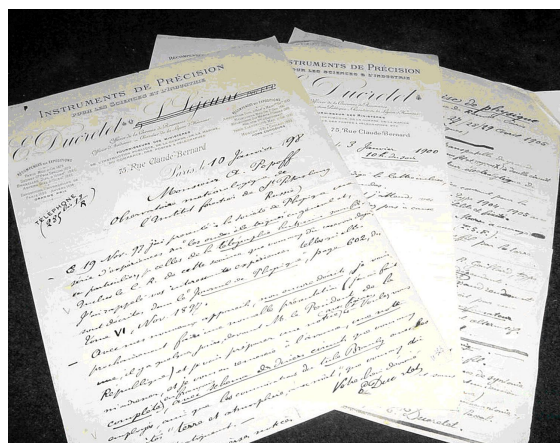


Рис. 2

Общий уровень теоретической и инженерной мысли в области электротехники в конце XIX в. был достаточно высок. Франция была страной, подарившей миру целую плеяду выдающихся ученых-физиков, ярких деятелей в области электротехники. В это время именно в Париже были сконцентрированы научные и творческие силы в области электротехники: Бреге и Грамм, Дебре и Д'Арсонваль, Леблан, Фонтен, Ниоде, Голяр, Дюкрете, Бранли и др. Россия, Англия и Франция внесли главнейший вклад в электротехнику. Научные идеи и достижения русских ученых и изобретателей П. Л. Шиллинга, Б. С. Якоби, П. Н. Яблочкова, А. Н. Лодыгина, а затем и А. С. Попова определяли развитие электротехники в различные десятилетия XIX в. Однако в практическом применении этих идей, в развитии электротехнической промышленности ведущая роль принадлежала Франции, Англии и Германии.

Ни с каким другим физическим обществом так прочно не было связано Русское физико-химическое общество, как с подобным же обществом во Франции. Хорошо налаженный вследствие этого обмен научной литературой способствовал скорейшему ознакомлению сторон

с новинками, появившимися в каждой из этих стран. С 1893 г. А. С. Попов был членом Французского физического общества. Неудивительно поэтому, что первые публикации А. С. Попова о сделанном им изобретении, помещенные в «Журнале Русского физико-химического общества» в 1895 и 1896 гг., стали достоянием французской научно-технической общественности. Когда мировая печать в 1896–1897 гг. громко заговорила о перспективности беспроводной связи, и перед Францией возник вопрос о необходимости развертывания этой отрасли техники у себя, французам надо было делать выбор между системой связи, осуществленной и незапатентованной А. С. Поповым, и такой же системой, охраняемой английским патентом Маркони. Естественно, что деловые круги Франции пошли по первому пути. Их представителем оказался владелец мастерской физических приборов в Париже инженер Э. Дюкрете.



Рис. 3

В 1897 г. Э. Дюкрете, пользуясь опубликованными А. С. Поповым данными, создает первую во Франции аппаратуру для телеграфии без проводов и демонстрирует передачу сигналов без проводов 5 ноября 1897 г. (рис. 3) — между 4-й площадкой Эйфелевой башни и территорией Пантеона и 19 ноября 1897 г. — на заседании Французского физического общества.

Имеется опубликованный протокол этого заседания, где указывается, что «г-н Дюкрете описывает аппаратуру, сконструированную А. Поповым в 1895 г. и применявшуюся в Санкт-Петербурге для приема и регистрации электрических волн по мере их появления. Эта аппаратура, как видно из известных работ, рождает, передает, принимает и регистрирует электрические волны; независимо от того, являются ли они результатом атмосферных разрядов или же осциллятора, можно с помощью этой аппаратуры установить приход посылаемых волн на перекрываемом расстоянии».

Интерес Э. Дюкрете к изобретению А. С. Попова послужил основой для начала делового контакта и переписки. В первом своем письме к А. С. Попову Э. Дюкрете интересуется, какими опубликованными работами, которые могли бы подтвердить его приоритет в этом деле, располагает автор изобретения. А. С. Попов в ответном письме называет свой доклад 1905 г., опубликованный в виде статьи в 1906 г., «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний» и подчеркивает, что считает эту статью «достаточной для заключения о тождественности составных частей и расположения их в моем приборе и в приемной станции г. Маркони».

В апреле 1898 г. Э. Дюкрете вновь выступает во Французском физическом обществе с докладом на тему «О герцевой телеграфии без проводов с радиокондуктором Бранли и приспособлениями А. Попова и Э. Дюкрете». В своем докладе он подробно описывает первые работы А. С. Попова, подчеркивает его приоритет по отношению к Г. Маркони, указывая, что «их (электрических волн) способность распространяться в пространстве позволяет перейти к беспроволочному телеграфу, осуществленному в 1895 г. русским ученым профессором Поповым, а затем в таких же условиях в 1896 г. г. Маркони», и демонстрирует изготовленную его фирмой аппаратуру.

В январе 1899 г. А. С. Попов обратился с докладной запиской к главному инспектору минного дела контр-адмиралу К. Д. Остелецкому. Он изложил соображения о необходимости дальнейшего и более энергичного внедрения связи без проводов на флоте. Им, в частности, были отмечены успехи, достигнутые Э. Дюкрете в деле создания радиоаппаратуры. «Пользуясь моими указаниями и средствами своей прекрасной мастерской, – писал он, – г. Дюкрете построил вполне законченный прибор для телеграфирования без проводников. Попутно им сделаны усовершенствования в индукционных спиралях и принадлежностях их, а также изобретен особый телеграфный аппарат Морзе, автоматически идущий, пока действует его электромагнит, и останавливающийся минуту спустя после окончания депеши; таким образом, телеграммы могут быть принимаемы без неотлучного дежурства при аппаратах».

Когда же в апреле 1899 г. возник вопрос о целесообразности закупки у Э. Дюкрете приборов для испытания на кораблях русского флота, А. С. Попов возбудил вопрос о необходимости своей поездки за границу: «Заочное приобретение новых приборов представляет, однако, некоторый риск; вследствие этого я считал бы полезным в начале мая посетить Париж для ознакомления со всеми приборами, касающимися этого дела и не составляющими никакого секрета; кроме того, я имею возможность ознакомиться со всеми сделанными фирмой Дюкрете в Париже опытами телеграфирования».

Командировка А. С. Попова за границу состоялась, и 23 мая 1899 г. он сообщил из Парижа домой: «Вчера уже был у Дюкрете, многое видел у него. Приборы, изготовляемые им, очень хорошие – обещает, что экземпляры, изготовляемые для меня, будут еще лучше. Возможно, что Дюкрете облегчит мне вторую половину лета весьма значительно...». В письме речь идет об уже состоявшемся заказе фирме трех комплектов станций для предстоящих их испытаний «во вторую половину лета» на Черном море (рис. 4).

Во время пребывания во Франции А. С. Попов пользовался большим вниманием со стороны научных и инженерных кругов.

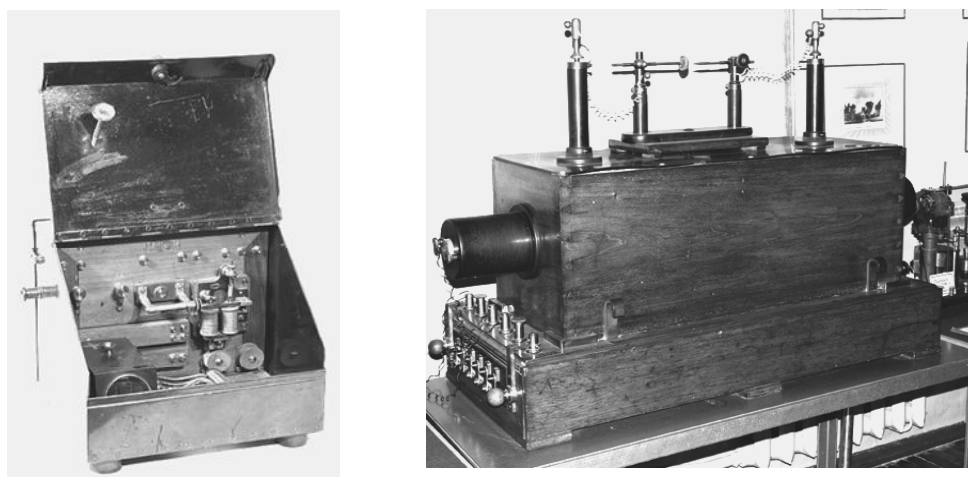


Рис. 4

Важным моментом в сотрудничестве Э. Дюкрете и А. С. Попова является изобретение А. С. Поповым телефонного приемника депеш – нового типа приемного устройства с приемом сигналов на слух. В этом приемном устройстве Попов применил кристаллический детектор из стальных или угольных электродов и окисленных стальных иголок. Этот приемник обладал гораздо большей чувствительностью по сравнению с когерентным приемником. На этот приемник Попов получает патент в России.

В письме от 14 декабря 1899 г. А. С. Попов информирует Э. Дюкрете о своем новом изобретении и обращается с просьбой оказать содействие в получении патентов в других странах. Э. Дюкрете высылает Попову на подпись доверенность на свое имя для ведения дел по патентованию на предмет оформления документов.

Э. Дюкрете в письме от 17 декабря 1899 г. предлагает А. С. Попову оформить их взаимоотношения договором, в котором предусматривалась бы передача Дюкрете решения вопросов по конструкции приборов и эксплуатации системы «целиком и полностью», указывает на различные моменты по оформлению патентов и расходов по этим делам. Судя по переписке, вскоре такой договор был заключен.

1900 г. характеризуется очень интенсивной перепиской между А. С. Поповым и Э. Дюкрете, в которой доминируют вопросы оформления патентов и способы ускорения их оформления. В письме от 27 февраля 1900 г. Э. Дюкрете просит А. С. Попова «не публиковать ничего прежде, чем будет закончен вопрос о патентах». «Прежде, чем отдаться в руки капиталистов, надо их знать так же, как их возможности и намерения». Приемник под маркой «Попов – Дюкрете» был запатентован во Франции, Великобритании, Италии, Бельгии, Швеции, Швейцарии, Австрии, Испании, США.

Успешные испытания аппаратуры фирмы Дюкрете в 1899 и 1900 гг., и особенно Гогландская эпопея, в ходе которой аппаратура Дюкрете использовалась для спасения броненосца «Генерал-адмирал Апраксин», дали основание А. С. Попову ходатайствовать о награждении Э. Дюкрете. 7 августа 1900 г. вышел указ о награждении Э. Дюкрете орденом Св. Станислава 2-й степени. В свою очередь, Э. Дюкрете ходатайствовал (но безуспешно) о награждении А. С. Попова орденом Почетного легиона.

В 1900 г. беспроволочный телеграф был принят на вооружение русского флота. Последовало решение об оснащении первых 12 кораблей аппаратурой беспроволочного телеграфа. Аппаратура для этих 12 станций была заказана по рекомендации и при посредничестве А. С. Попова фирме Дюкрете. Выполнению этого, исключительно важного для Дюкрете, заказа, положившего начало его коммерческим контактам в сфере беспроволочной телеграфии с Морским ведомством России, посвящено несколько писем.

Важным событием 1900 г. стала поездка А. С. Попова в Германию и далее во Францию, где он принял участие в Физическом и Электротехническом конгрессах и в работе Всемирной промышленной выставки в Париже. Во время этой поездки состоялась встреча А. С. Попова и Э. Дюкрете. На Парижской выставке демонстрировались действующие грозоотметчик А. С. Попова, изготовленный в Кронштадте, в водолазной мастерской Колбасьева, а также корабельная радиостанция производства Э. Дюкрете марки «Popoff-Ducretet-Tisseau». А. С. Попов был награжден большой золотой медалью и дипломом. Из переписки с Э. Дюкрете следует, что изготовленный в Кронштадте грозоотметчик был доставлен в Париж еще в апреле и проходил предэкспозиционную подготовку в фирме Дюкрете.

В письме Э. Дюкрете от 12 августа 1901 г. сообщается о поставке в г. Ростов-на-Дону аппаратуры беспроволочной телеграфии для Комитета Донских гирл. Письмом от 3 октября 1901 г. сообщается об отправке дополнительно семи приемников с приложением «практического руководства». Таким образом, фирма Дюкрете перешла от экспериментальных работ к промышленному изготовлению аппаратов беспроволочной телеграфии для военных и гражданских нужд и коммерческой деятельности.

В нескольких письмах, начиная с 1902 г., Э. Дюкрете высказывает большое беспокойство по поводу сообщения в «Националь де Брюссель» из Кронштадта о том, что в Морском ведомстве организуется большая мастерская для производства и конструкции аппаратов беспроводной телеграфии и что сам изобретатель Попов будет руководить производством этих аппаратов. Эта информация была правдивой. Морское министерство приняло решение о развитии собственной базы по производству аппаратуры беспроводного телеграфирования. За этим решением последовало создание Кронштадтской мастерской, заведующим которой был назначен товарищ А. С. Попова по университету Е. Л. Коринфский.

Важно подчеркнуть, что А. С. Попов, являясь фактически одним из организаторов Кронштадтской мастерской и принимая самое активное участие в её дальнейшем развитии и укреплении, действовал в определенном смысле в ущерб собственным коммерческим интересам, создавая конкурента фирме Дюкрете на российском рынке. Заслуживает при этом внимания крайняя «скупость» А. С. Попова в предоставлении какой-либо информации по данному вопросу своему французскому коллеге, что объясняется достаточно строгим отношением русского ученого к использованию в своих контактах сведений конфиденциального, служебного характера. В течение первой половины 1901 г., пока Кронштадтская мастерская еще не приступила к производству своих радиостанций, Морское ведомство России сделало у Дюкрете два заказа – на 6 и 7 станций соответственно.

В 1902 г. фирма Дюкрете продолжает поставки аппаратуры в Россию в небольшом объеме, выполняет заказы для Электротехнического института (рис. 5), для Электротехнической школы Военного ведомства и для 148-го пехотного Каспийского полка, кроме того, фирма поставляет и отдельные элементы аппаратуры – когереры, катушки Румкорфа и пр.

О коммерческой стороне взаимоотношений свидетельствуют выставленные счета на расходы фирмы Дюкрете. Счета направляются как непосредственно А. С. Попову, так и в Ростов-на-Дону, и в Электротехнический институт.

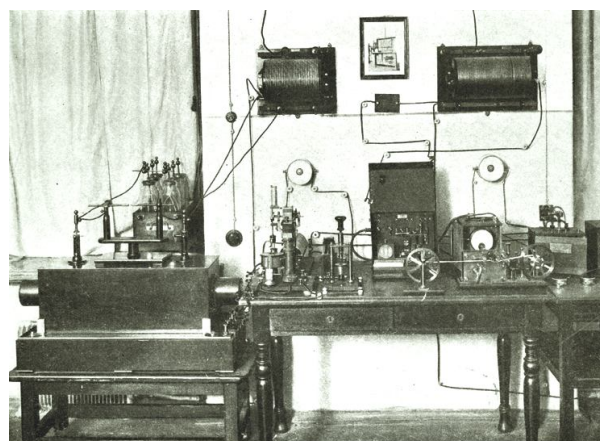


Рис. 5

Появившаяся в 1902 г. в печати информация о возможных контактах Морского ведомства и лично А. С. Попова с немецкой фирмой «Telefunken» вызывает его обоснованную тревогу. Ряд причин – недостаточно развитая научно-исследовательская база фирмы Дюкрете и ее мощности – привели к тому, что Морское ведомство в 1904 г. в Санкт-Петербурге организует отделение «беспроводной телеграфии по системе профессора Попова и Общества беспроводной телеграфии “Telefunken”». А. С. Попов в письмах Э. Дюкрете воздерживается от каких-либо комментариев действий Морского ведомства.

В 1903 г. фирма Дюкрете продолжает активные исследования, направленные на увеличение дальности связи. Так, в письме от 27 июня 1903 г. сообщается об установлении связи между Парижем и кораблем, а также другими пунктами с использованием аэростата, наполненного водородом, который поднимался на высоту более 200 м.

В письмах 1904 и 1905 гг. Э. Дюкрете сообщает о возможности приезда в Санкт-Петербург его сына, который хорошо знаком с монтажом и регулировкой аппаратов беспроволочной телеграфии. Он предлагает услуги от его имени по «получению на приборах хороших результатов и для обучения персонала». В одном из своих последних писем Э. Дюкрете обращается к морскому атташе г. Епанчину с просьбой переслать А. С. Попову данные о полученных результатах дальнего приема в Париже из Мелуна (45 км) и ряд других технических деталей. Э. Дюкрете продолжает в течение всей первой половины 1905 г. высылать информацию о проходящих выставках и об участии в них его фирмы. Последнее письмо Дюкрете в адрес профессора Электротехнического института императора Александра III А. С. Попова датировано 10 июня 1905 г., содержит ряд аргументов в пользу аппаратуры его фирмы и надежду на заключение новых контрактов.

Однако печальный итог Русско-японской войны и другие внешнеполитические условия привели к тому, что после продолжительного молчания А. С. Попова переписка прекратилась.

Можно выделить три основных этапа активной совместной деятельности и переписки А. С. Попова и фирмы Э. Дюкрете:

- 1898–1899 гг. – период начальных совместных разработок (25 писем Э. Дюкрете);
- 1900 г. – решение вопросов патентования телефонного приемника А. С. Попова, решение технологических задач по изготовлению принципиально нового приемного устройства, серийное производство когерентных приемников (41 письмо);
- 1901–1905 гг. – время серийного производства аппаратуры, решения практических задач оснащения судов российского и французского флотов станциями беспроволочной телеграфии, попытки Э. Дюкрете сохранения и расширения рынка сбыта своей продукции (130 писем).

Изучение переписки А. С. Попова и Э. Дюкрете позволяет утверждать то, что фирма Дюкрете явилась одной из первых в Европе, которая освоила совершенно новую на тот период область техники – беспроволочную телеграфию. Фирма Дюкрете смогла быстро наладить производство когерентного приемника потому, что работала в тесном сотрудничестве с его изобретателем А. С. Поповым. Э. Дюкрете оказал весьма существенную помощь А. С. Попову в вопросах патентования и защиты авторских прав на телефонный приемник депеш и новую конструкцию когерентера (кристаллического детектора), чем способствовал росту международного авторитета А. С. Попова как изобретателя беспроволочного телеграфа.

Сотрудничество между Э. Дюкрете и А. С. Поповым было полезно для обеих сторон и стимулировало работы по развитию систем беспроволочной телеграфии в мире.

Переписка охватывает сравнительно небольшой промежуток времени – немногим больше 7 лет, но это годы стремительного накопления нового экспериментального и научного материала, первый этап промышленной, серийной разработки станций беспроволочной телеграфии с использованием высокочастотных затухающих электромагнитных колебаний, а поэтому эти письма чрезвычайно важны для истории начального периода развития радиотехники.

L. I. Zolotinkina

CORRESPONDENCE BETWEEN A. S. POPOV AND E. DUCRETET

A short review of the correspondence between A. S. Popov and E. Ducretet on the topics of radio communication devices, based on ideas and developments of Popov during 1898–1905 years. The review is based on Ducretet letters, because there is very few original Popov's letters.

A. S. Popov, E. Ducretet, Marconi, radio communication

Сведения об авторах

Ахлаков Махмуд Камилович

Доцент кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 996-81-66.

Бабаева Анна Владимировна

Профессор кафедры философии СПбГЭТУ, д-р филос. наук.

Тел.: (812) 346-47-83. E-mail: tdn1973@yandex.ru.

Волегов Кирилл Алексеевич

Аспирант кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-90-71. E-mail: kirillalekseevich@gmail.com.

Гончаров Вадим Дмитриевич

Профессор кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ, д-р техн. наук, доцент.

E-mail: VDGoncharov@rambler.ru.

Грачева Ирина Евгеньевна

Ассистент кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, канд. физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: IEGrachova@mail.ru.

Друян Евгений Васильевич

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: druian@yandex.ru.

Золотинкина Лариса Игоревна

Директор Мемориального музея А. С. Попова СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 234-59-00. E-mail: LIZolotinkina@mail.eltech.ru.

Карпова Светлана Сергеевна

Аспирант кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: SSKarpova@list.ru.

Коновалов Сергей Ильич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovlov@mail.eltech.ru.

Крылова Нина Васильевна

Доцент кафедры социально-гуманитарных наук Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), д-р филос. наук.

Тел.: +7 (911) 151-40-03.

Кузьменко Андрей Григорьевич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: SIKonovlov@mail.eltech.ru.

Мошников Вячеслав Алексеевич

Профессор кафедры микроэлектроники СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-31-64. E-mail: VAMoshnikov@mail.ru.

Петров Дмитрий Леонидович

Начальник лаборатории «ИТ в бизнесе» СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 309-93-52. E-mail: DLPetrov@mail.eltech.ru.

Путов Антон Викторович

Ассистент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: anputov@yandex.ru.

Путов Виктор Владимирович

Зав. кафедрой систем автоматического управления СПбГЭТУ, профессор, д-р техн. на-

ук.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: vvputov@mail.ru.

Самсонов Дмитрий Сергеевич

Магистрант кафедры электротехнологий и преобразовательной техники СПбГЭТУ.

E-mail: dmitry_samsonov@mail.ru.

Сидоренко Владимир Михайлович

Зав. кафедрой инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ, д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-90-71. E-mail: vmsidorenko@mail.ru.

Степанов Борис Георгиевич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: BGStepanov@mail.eltech.ru.

Топунов Владимир Андреевич

Студент гр. 4581 СПбГЭТУ.

Тел. +7 (911) 138-28-60. E-mail: vtopunov@mail.ru.

Фахми Шакиб Субхиевич

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. на-

ук.

Тел.: +7 (921) 335-32-74. E-mail: Shakeebf@mail.ru.

Цинадзе Шалвари Шалвович

Доцент кафедры телевидения и видеотехники СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (911) 237-38-13.

Шелудько Виктор Николаевич

Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-68-18. E-mail: vvputov@mail.ru.

Правила представления рукописей авторами

В редакционный совет журнала «Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"» необходимо представить:

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
 - рукопись статьи;
 - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
 - рукопись статьи;
 - сведения об авторе(ах);
 - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
 - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
 - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Сведения об авторах должны содержать:

1. Фамилию, имя, отчество (полностью) автора.
2. Основное место работы.
3. Должность.
4. Ученую степень, ученое звание.
5. Контактный телефон, адрес электронной почты.

Все сведения печатаются в строку (без пунктов) на русском и английском языках.

Правила оформления текста статьи

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

- текстовый редактор Microsoft Word версии не ниже 97;
- формат бумаги А4;
- параметры страницы: поля – верхнее 3 см, левое и нижнее 2.5 см, правое 2 см, верхний колонтитул 2 см, нижний колонтитул 2 см;
- основной текст статьи: шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по ширине; первая строка с абзацным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Arial» 12 pt, интервалы: «перед» 18 pt, «после» 6 pt; межстрочный интервал «Множитель 1.2»); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

Перечень авторов разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Arial» 14 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ слева 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Arial» 18 pt; выравнивание по левому краю; отступ слева 0.5 см, автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него – 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

Аннотация содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.7 см; интервалы перед абзацем и после него 12 pt, межстрочный интервал одинарный).

Ключевые слова состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 0 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

➤ *заголовок* «Список литературы» (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 12 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»);

➤ *библиографическое описание источника* с порядковым номером ссылки на него по тексту, начиная с первого, выполненное по ГОСТ 7.3–2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004 / Госкомстандарт. М., 2004 (отдельным абзацем; шрифт «Times New Roman» 10 pt; первая строка с абзацным отступом 0.7 см; выравнивание по ширине; межстрочный интервал одинарный).

Библиографический список не должен превышать 10 (для обзорных заказных статей – 20) наименований: приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются).

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив.

На каждый рисунок и таблицу в тексте статьи необходимо дать ссылку. Каждый рисунок и таблица должны быть пронумерованы (напр.: Рис. 1, Табл. 3).

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом.

Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Word или другими программами в черно-белом виде. Цветные рисунки не допускаются. Рисунки не редактируются. Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1.25 pt, вспомогательные (линии-выноски, оси, размерные линии) – 0.75 pt.

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на

рисунке даются шрифтом размером 10 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок, буквенные обозначения фрагментов и номер рисунка даются курсивом.

При невозможности представить электронные версии рисунков следует представить только твердые копии, обеспечивающие качественное воспроизведение рисунков после их сканирования (графики – черной тушью на белой бумаге, фотографии – на матовой бумаге размером не менее 9×12 см, не более 21×30 см).

Перечень основных тематических направлений журнала:

- Радиоэлектроника и телекоммуникации.
- Физика твердого тела и электроника.
- Информатика, управление и компьютерные технологии.
- Автоматизация и управление.
- Электротехника.
- Приборостроение и информационные технологии.
- Биотехнические системы в медицине и экологии.
- Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент.
- Гуманитарные науки.
- История науки, образования и техники.
- Современные технологии в образовании.

Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.

Технические вопросы можно выяснить по адресу: Izvestiya-leti@yandex.ru