



СОДЕРЖАНИЕ

Радиоэлектроника и телекоммуникации

Аммон Л. Ю., Жабров В. А., Марголин В. И. Моделирование процессов синтеза фрактальных наноразмерных пленок для фрактальных антенн и устройств нанорадиоэлектроники 3

Физика твердого тела и электроника

Устинов А. Б., Калинико Б. А. Собственная модуляционная неустойчивость электромагнитно-спиновых волн в слоистой структуре феррит-сегнетоэлектрик 11

Информатика, управление и компьютерные технологии

Горячев А. В., Дмитриевич Г. Д., Касасбех З. Архитектура подсистемы коллективного взаимодействия в САПР 17

Электротехника

Федоров В. В. Уравнения Максвелла для гравитационного поля 21

Позняк И. В., Печенков А. Ю., Шатунов А. Н. Удельная электропроводность высокотемпературного расплава системы UO_2 ZrO_2 28

Приборостроение и информационные технологии

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. О влиянии электрической цепи на длительность сигнала, излучаемого в воду тонкостенным пьезоцилиндрическим преобразователем с внутренним заполнением 37

Барина Е. А., Павлов П. А. Исследование лазерного гониометра 46

Гриненко В. А., Рябчиков С. Л., Селихов А. М., Попков С. В. Аппаратурная часть тракта предварительного усиления и передачи сигнала от пьезоэлектрических преобразователей 52

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 инфор-
мационно-измерительные
технологии»)

Попечителев 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»)

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
законодательства в сфере массовых
коммуникаций и охране культурного
наследия 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 08.04.09 г.
Формат 6084 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура "Times New Roman".
Печ. л. 12,0.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–150 экз.)

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

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

Современные технологии в образовании

Любименко А. И., Чигиринова М. В., Нечаева О. Д.
Направления модернизации методов и форм обучения
в системе высшего экономического образования 61

**Бегун П. И., Кривохижина О. В., Лебедева Е. А.,
Смирнова М. Ю.** Методология математического моделирования
состояния структур человеческого организма при изучении
биомеханики 67

**Управление качеством, инновационный
и антикризисный менеджмент**

Азарьева В. В., Степанов С. А. Методические основы
создания системы аттестации систем качества
образовательных учреждений 73

Леньков А. Н. Стоимостная оценка обесценения активов
при кредитовании юридических лиц 78

Енгуразов А. Р. Проблемы и перспективы развития
нефтегазового комплекса России 81

История науки, образования и техники

Иванов С. В. Научная и учебная деятельность
О. Д. Хвольсона и А. С. Попова 87

Сведения об авторах 95

Правила представления рукописей авторами 99

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России



УДК 501.544.015.2,544.023.23

Л. Ю. Аммон, В. А. Жабрев, В. И. Марголин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА ФРАКТАЛЬНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ФРАКТАЛЬНЫХ АНТЕНН И УСТРОЙСТВ НАНОРАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Рассматриваются методики моделирования процессов зарождения и роста фрактальных кластеров в наноразмерных пленках по алгоритму ограниченной диффузией агрегации. Полученные результаты сравниваются с экспериментальными данными по росту пленок, получаемых по золь-гель-технологии. Обсуждаются перспективы метода с необходимостью учета структуры и типа связей образующих кластер атомов и молекул.

Фрактал, фрактальный кластер, ограниченная диффузией агрегация, наноразмерные пленки

Развитие нанотехнологии и успешное внедрение ее методов в производство радиотехнических изделий, создание новых приборов на основе тонкопленочных технологий с использованием сегнетоэлектрических, магнитных и других наноразмерных пленок предъявляют к таким пленкам новые требования. Особый интерес для радиотехнических устройств представляют наноразмерные пленки с фрактальной структурой, которые за счет собственной внутренней структуры обладают и особыми свойствами. Одной из задач нанорadioэлектроники на современном этапе являются синтез, исследование и применение таких пленок. Применение фрактального подхода к конструированию фрактальных антенн позволило создавать антенные устройства с новыми характеристиками [1], [2], поэтому использование для фрактальных тонкопленочных антенн новых наноматериалов с фрактальной структурой открывает дальнейшие перспективы в совершенствовании таких антенных устройств [3]. С этой точки зрения совершенно необходимым представляется разработка методик моделирования процессов зарождения и роста таких пленок и модельного изучения их структуры с непременным сравнением моделей с экспериментальными результатами и последующей корректировкой моделей. Успешность разработки и синтеза новых наноматериалов и устройств на их основе во многом определяется пониманием физики и химии процессов самоорганизации ансамблей наночастиц в одно-, двух- и трехмерные структуры. Миграция атомов и молекул по поверхности подложки и процессы зарождения и динамики роста наночастиц формируют на подложке или в пространстве упорядоченный ансамбль

определенной архитектуры, который зависит от многих параметров. Моделируя процессы зарождения и динамику роста наночастиц на подложке (двумерный вариант) или в пространстве (трехмерная модель) можно попытаться предсказать структуру и форму наноразмерной пленки или трехмерной наночастицы и подобрать такие параметры системы, при которых будет получена нужная архитектура.

Исходные представления и основные концепции. В обзоре, посвященном методам моделирования, отмечается, что для исследования вопросов самоорганизации наночастиц в настоящее время используют различные методы моделирования. Традиционно коллоидные системы моделируются методами твердых или мягких сфер, при помощи теории устойчивости дисперсий Дерягина–Ландау–Фервея–Овербека (ДЛФО) или другими методами, связанными с определением потенциалов межчастичных взаимодействий в растворе. Еще одним мезоскопическим методом моделирования дисперсии в коллоидах служит метод динамики рассеяния частиц. Важной проблемой использования вычислительных моделей для прогнозирования самоорганизации наночастиц является учет многомасштабности физических процессов. Анализ процессов самоорганизации традиционными методами моделирования будет сопряжен с определенными проблемами как раз вследствие необходимости учета широкого диапазона временных и размерных эффектов. Методы, учитывающие многомасштабность, обычно подразумевают использование информации, полученной в одном масштабе, для последующего моделирования процессов на более высоком уровне размерности.

Любая открытая система, в которой происходят обменные процессы, может быть отнесена к самоорганизующимся системам. Под обменными процессами здесь понимается в общем случае обмен веществом, энергией и информацией. Цель самоорганизации состоит в приведении составляющих систему частиц к единой мере под воздействием внутренних и внешних воздействий – возникновение источников самоупорядочения, самопроизвольное накопление информации, структурирование. В связи с этим процесс самоорганизации можно рассматривать в двух аспектах – структурном и функциональном. В структурном аспекте происходит изменение внутреннего строения системы, тогда как в функциональном аспекте изменяется качество системы. Структурная самоорганизация обеспечивает структурную стабильность системы, благодаря ей происходит поиск самосогласованности между входящими в состав системы компонентами. Структурная самоорганизация направлена на достижение определенных функций, и наоборот, функциональная самоорганизация достигается за счет определенного строения системы [5].

Поверхностные атомы подложки образуют силовое поле, которое способствует образованию на поверхности подвижных групп атомов и кластеров, причем над поверхностью подложки в процессе кристаллизации потенциал максимален, что приводит к высокой вероятности ассоциации атомов в кластер и низкой вероятности распада этого кластера [6]. Необходимо отметить, что кинетика зарождения и роста тонких пленок определяется не только параметрами процесса конденсации, но и зависит от реальной структуры кристаллической подложки. Процесс зарождения кластеров протекает в основном на вакансиях, выходах дислокаций на поверхность, примесных атомах, ступенях и пр. Однако при определенных условиях возможно зарождение и образование малоатомных кластеров на бездефектных участках подложки, поскольку при повышении ее температуры

и увеличении подвижности атомов возрастает и роль дефектов в процессе образования кластеров [7], [8]. Под фракталом в широком смысле слова понимается жестко организованная на принципах самоподобия иерархическая структура. И хотя в литературе не найти строгого определения фрактала, он означает структуру, возникающую, когда обломки (части) целого соединяются друг с другом так, что появляется инвариантность (неизменность) по отношению к масштабу. Поэтому иногда фракталом называют объект, состоящий из частей, подобных целому, т. е. обладающий самоподобием.

В соответствии с моделью, предложенной в [9], для создания фрактальной структуры вначале необходимо получить парогазовую смесь. Достичь этого можно различными путями: методом электрического взрыва тонкой металлической проволоки (для тугоплавких материалов), испарением вещества электронным или лазерным лучом, помещением материала в зону действия электрического дугового разряда, воздействием плазмы магнетронного разряда и т. д. Независимо от способа подвода энергии образуется среда, содержащая нейтральные атомы и молекулы (парогазовая смесь) и заряженные (достаточно высокоионизованная плазма), некоторое время находящиеся в состоянии равновесия. В это время инициируется процесс образования заряженных кластеров на ионах. В развитие этого процесса заряженные кластеры слипаются между собой с образованием микрочастицы и взаимной нейтрализацией. Слияние частиц в каплю происходит до тех пор, пока частицы остаются жидкими. Если время нахождения частицы в жидком состоянии примерно 10^{-4} с, то ее радиус будет находиться в пределах 10...30 нм. После охлаждения и перехода в твердую фазу частицы осаждаются как на подложке, так и на стенках камеры. На подложке часть таких кластеров сталкивается и, взаимодействуя по закону диффузионно-ограниченной агрегации, образует фрактальные агрегаты размером до 1 мкм.

Результаты и их анализ. Большинство моделей, имитирующих образование и развитие беспорядочных объектов разной природы, в действительности сводится или к перколяционной модели, или к моделям ограниченной диффузией агрегации (ОДА), ограниченной диффузией кластерной агрегации (ОДКА) или кластер-кластерной агрегации (ККА) [10], сформированным ограниченной диффузией и случайным блужданием без пересечения. Многие реальные физические процессы хорошо описываются ОДА-моделью. Это прежде всего электролиз, кристаллизация жидкости на подложке, осаждение частиц при напылении твердых аэрозолей. В компьютерном моделировании ОДА-процесса на начальном этапе в центре области устанавливается затравочное зерно, затем из удаленного источника на границе области поочередно выпускаются частицы, которые совершают броуновское движение и в конечном итоге прилипают к неподвижному зерну. Таким образом происходит рост ОДА-кластера. При помощи ККА-процесса моделируются гелеобразование и формирование связанно-дисперсных систем. В этом процессе нет затравочного зерна. Все частицы совершают случайные блуждания и образуют кластеры, которые продолжают диффундировать, формируя кластеры больших размеров. В пределе система может превратиться в один гигантский кластер. Случайное блуждание является математической моделью, имитирующей смещение частицы под действием случайных сил. В данном случае фрактальными кривыми являются траектории частиц. Модели большинства неупорядоченных процессов, базирующиеся на представлениях случайного блуждания и

динамического хаоса, также демонстрируют свойства фракталов. Фактически это означает, что во фрактальных представлениях обнаруживается математическое выражение для общего правила, относящегося к геометрическим свойствам физического мира.

При компьютерном моделировании ОДА-процесса использовался следующий алгоритм: на начальном этапе в центре области устанавливалось затравочное зерно, затем из удаленного источника на границе области поочередно выпускались частицы, которые совершали броуновское движение и в конечном итоге прилипали к неподвижному зерну. В качестве затравки использовалось неравномерное локальное распределение электрического поля над поверхностью подложки или нерегулярность поверхности подложки, сопоставимая с дефектом или дислокационным выходом. Моделировался рост пленки при фиксированном положении затравки и при возможности ее миграции по поверхности подложки, а также при поступлении атомов из одного или нескольких источников и разных алгоритмах их взаимодействия. Предполагается, что зародыш агрегата находится в определенном объеме, а другие частицы впрыскиваются в этот же объем одна после другой, случайно перемещаясь по броуновским траекториям. Частицы, которые вступают во взаимодействие с зародышем, прилипают к нему, и, таким образом, кластер растет [11]. Авторы усложнили задачу, рассматривая броуновское движение до определенного момента, а далее моделировали движение частицы, как движение в информационном поле воздействия затравки, причем по мере продвижения частицы к затравке характер воздействия менялся. Если при использовании в программе ОДА однородных пикселей блуждающий пиксель фиксировался в момент соприкосновения со структурой растущей затравки, то в данном случае взаимодействие может быть усложнено путем изменения алгоритма взаимодействия. Для описания процесса зарождения тонкопленочного фрактального кластера или агрегата авторами и введен потенциал взаимодействия, описывающий характер взаимодействия частицы и затравки [12].

Моделирующая программа работает по следующему алгоритму: *Создание новой точки. Блуждание точки.* (Важная особенность этой программы: точка всегда достигает периметра). *Присоединение точки к кластеру.* Результатом алгоритма блуждания являются координаты точки на периметре кластера. Происходит увеличение кластера на одну точку в указанных координатах. Естественно, увеличивается и периметр кластера.

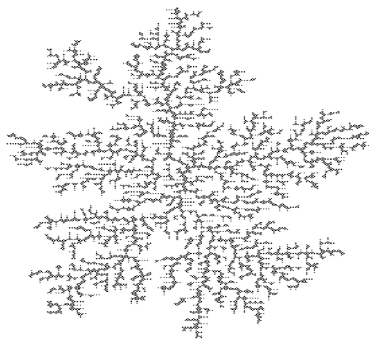


Рис. 1

Проектные решения: 1. Частицы, формирующие кластер, представлены с помощью класса "точка". 2. Кластер представлен с помощью линейного однонаправленного списка. Элементы списка в проблемной части содержат "точку". 3. Периметр никаким образом не фиксируется и не задается (для экономии памяти). Для проверки попадания блуждающей частицы на периметр кластера реализована функция Find Perimeter в классе "кластер". 4. Вероятность передвижения частицы в одном из восьми направлений – $1/8$. Реализация случайного движения основана на генераторе случайных чисел с помощью модуля **time.h**. 5. На каждом шаге частица проверяется на принадлежность к периметру кластера. Если частица находится на периметре, то она

становится частью кластера – добавляется в конец списка. 6. Для оптимизации времени роста кластера частица делает шаг большей величины при большом расстоянии этой частицы до кластера. Под такое решение приведены функции *DToCluster* и *SetStep*, соответственно, функция расчета расстояния (кратчайшего) от текущего местоположения текущей точки до кластера и задание шага в зависимости от этого расстояния. Структура фрактального кластера, смоделированного по предлагаемой методике, показана на рис. 1. Дальнейшее развитие предложенного варианта моделирования представляется следующим образом. Сложная молекула мономера представляется в виде структурного набора пикселей, причем с применением их маркирования. Это означает, что все пиксели не являются однородными, как в ранее использовавшихся программах, а обладают характерными для каждого типа особенностями, которые могут быть выражены через соответствующие алгоритм и потенциал взаимодействия. Затравочную молекулу мономера можно представить в виде композиции из пикселей, например, разного цвета, которые могут запускаться поочередно или по определенному алгоритму. По такому принципу моделируется простейший стохастический процесс.

Первым шагом в построении модели агрегации частиц, как уже отмечалось, может стать математическое моделирование процессов их агрегирования. Создадим некоторый клеточный автомат (алгоритм), в котором первой итерацией будет моделирование процесса агрегации методом блуждающей точки без учета химической природы блуждающей частицы. При компьютерном моделировании будет рассматриваться только хаотическая диффузия частиц (броуновское движение). Принцип модели состоит в том, что на начальном этапе в центре некоторой области заданной протяженности (например, 1000×1000 нм) устанавливается частица (например, группировка $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, все 4 связи которой равноценны). Затем из удаленного источника на границе области поочередно выпускаются частицы $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, совершающие хаотичный дрейф благодаря броуновскому движению. Совершив несколько шагов частица (по приведенной ранее схеме) "прилипает" к неподвижной частице, образуя связи $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$. Следующая частица по такому же алгоритму присоединяется к первым двум. Таким образом происходит рост ассоциата.

На рис. 2 показано распределение некоторых структурных образований, полученное при щелочном гидролизе кремнезема и последующей сушке геля. Хаотичная структура высушенного геля коррелирует с модельной структурой на рис. 1. Результаты получены сотрудниками Института химии силикатов РАН Ефименко Л. П., Кузнецовой Л. А. и Пугачевым К. Э. Авторы выражают им свою глубокую благодарность за любезно предоставленные снимки, полученные методом атомно-силовой микроскопии.

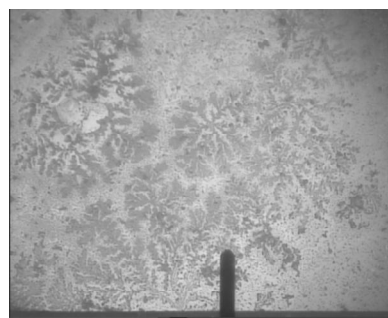


Рис. 2

Рис. 2 показывает наличие неупорядоченной пространственной сетки, ограниченной только размерами выбранной области. Траекторию броуновского движения частицы можно представить как фрактал с определенной фрактальной размерностью. Следовательно, при постоянных внешних условиях (температура, давление), наличии постоянного источника

частиц и при неизменной в процессе структурирования вязкости говорить о том, что начальные стадии процесса определяют образование наночастиц, не приходится. Непрерывная хаотичная вероятностная пространственная сетка образуется всегда, если нет другого химического фактора, кроме образования связей $-O-Si-O-Si-O-$. Поэтому необходимое условие образования ассоциата с определенным количеством частиц – возможность осуществления параллельного химического акта. Если сопоставить рис. 1 и 2, то при внешней их схожести пространственного (масштабного) совпадения нет: на рис. 1 область выбора частиц ограничена размерами 1000×1000 нм (если принять за единицу размерности ковалентный тетраэдрический радиус тетраэдра $[SiO_4]^{-4}$ равным 0,117 нм, то речь идет о 5000 частиц), а на рис. 2 наблюдается пространственное распределение более крупных частиц размером свыше 1000 нм.

Вторым приближением в моделировании процессов агрегации будет придание затравочной точке функции выбора химического взаимодействия. Пусть затравочная частица представляет собой молекулу ортокремниевой кислоты $[Si(OH)_4]$, к которой присоединяется кремнекислородный тетраэдр, одна из связей которого заполнена, например, $[SiO_{3/2}]O^- H^+$ или $[SiO_{3/2}]O^- Na^+$. В этом случае образование $-O-Si-O-Si-O-$ связей возможно только при определенном "прилипании" одной частицы к другой.

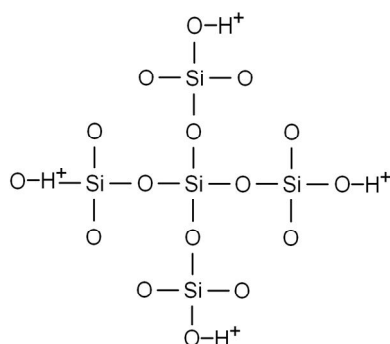


Рис. 3

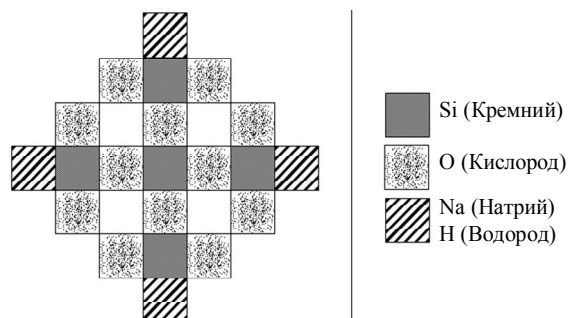


Рис. 4

Тогда число вариантов структур резко сокращается до четырех. Первый вариант предусматривает образование малого ассоциата, состоящего из пяти тетраэдров, причем 4 из них присоединены к зародышу, как это схематически представлено на рис. 3. Представленная схема показывает, что у каждого из четырех периферийных тетраэдров остаются по две вакантные связи. Кроме того, условно записаны немостиковые связи $O-H^+$, хотя возможны и связи $O-Na^+$. Назовем представленные выше ассоциаты "исходными кластерами". Модельное представление такого кластера показано на рис. 4.

Следующий акт взаимодействия между "исходными кластерами" по указанной схеме приведет к образованию ассоциатов, содержащих в своем составе от 10 до 25 исходных кластеров, причем у каждого из образовавшихся ассоциатов составляющие их кремнекислородные группировки будут иметь по одной связи $Si-O-$. Дальнейшая ассоциация по линии образования связей $Si-O-Si$ приведет к образованию "конечного кластера", содержащего до 625 исходных кремнекислородных группировок. Можно предположить, что именно такой "конечный кластер" будет поддаваться "случайному блужданию".

Рис. 5 показывает линейный рост нанообразования. В этом случае рост "конечного кластера" по предложенной выше схеме может протекать только в одном направлении. Можно предположить, что такой тип роста нанокластера вероятен при участии частиц одного сорта, при этом будет образовываться одномерная наноструктура типа нанонити или вискера.

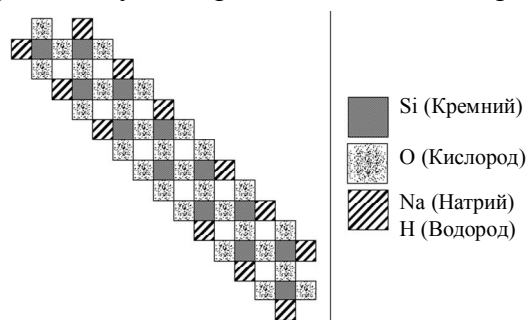


Рис. 5

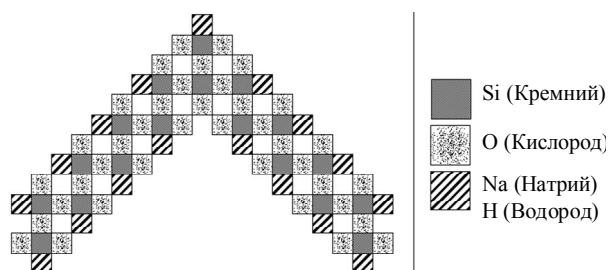


Рис. 6

Рис. 6 показывает вероятность роста нанообразования в виде двух линейных структур, исходящих из одной затравочной ячейки. В этом случае каждое направление цепи может быть обусловлено присоединением разных частиц, например, в одном направлении благодаря частицам $[\text{SiO}_3]_2\text{OH}$, в другом – $[\text{SiO}_3]_2\text{ONa}$. Как и в случае модели с "блуждающей частицей", обратимся к реальным структурам. На рис. 7 приведены микрофотография ассоциатов ограниченных частиц металлического серебра (слева) и нанокристаллиты диоксида циркония, полученного гидротермальным методом (справа) [21], а на рис. 8 показаны структуры, полученные при кристаллизации расплава (расстекловывание аморфной матрицы). Метка 5 мкм [13]. Можно констатировать, что реальные структуры нанообразований значительно богаче и разнообразнее, чем моделированные (пока).

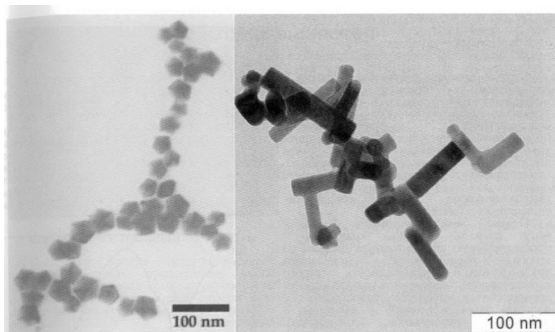


Рис. 7

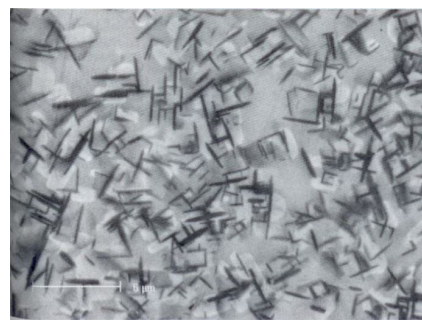


Рис. 8

Дальнейшее развитие описанных исследований предполагается по следующим направлениям:

1. Переход от двумерного моделирования (моделирующего процессы синтеза нанопленок на подложке) к трехмерному (моделирующему процессы синтеза трехмерных наночастиц).
2. Разработка методик, позволяющих применять для моделирования реальные данные по структуре, химическим связям, строению реальных атомов и молекул.
3. Разработка подходов, позволяющих производить моделирование по алгоритму ККА, более приближенному к реальности, как для двумерных, так и для трехмерных систем.

4. Разработка методик, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования процессов синтеза нанопленок и наночастиц по методу молекулярной динамики.

5. Анализ получаемых результатов по методу ККА и молекулярной динамики и совершенствование предложенных подходов на основе экспериментальных результатов.

Описанные исследования выполнялись при частичной поддержке гранта РФФИ 09-08-01111-а – Процессы переноса во фрактальных средах и системах: свойства и размерности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов А. А. Фрактальные элементы и радиосистемы: Физические аспекты. (Библиотека журнала Нелинейный мир: Научная серия Фракталы. Хаос. Вероятность). М.: Радиотехника, 2009.

2. Gianvittorio, J. P., Y. Rahmat-Samii. Fractal geometry in antenna system design: miniaturized-multiband element, phased array and frequency selective surface design // Microwave and Millimeter Wave Technology: Proc. 3rd Intern. Conf., Milan, 17–19 Aug. 2002. P. 508–511.

3. Потапов А. А., Гильмутдинов А. Х., Ушаков П. А. Системные принципы и элементная база фрактальной радиоэлектроники. Ч. II. Методы синтеза, модели и перспективы применения // Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53, № 11. С. 1347–1394.

4. Имитационное моделирование процессов самоорганизации наночастиц / М. В. Алфимов, Р. М. Кадушников, Н. А. Штуркин и др. // Российские нанотехнологии. 2006. Т. 1, № 1–2. С. 127–133.

5. Сороко Э. М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем. 2-е изд. М.: КомКнига, 2006.

6. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. М.: Наука, 1987.

7. Введение в нанотехнологию: Учеб. пособие / В. А. Жабрев, Г. К. Лукьянов, В. И. Марголин и др.; Моск. гос. ин-т электроники и математики (технический университет). М., 2007.

8. Губин С. П. Химия кластеров. М.: Наука, 1987.

9. Золотухин И. В., Соколов Ю. В. Фрактальная структура и некоторые физические свойства углеродного депозита, полученного распылением графита в электрической дуге // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23, № 13. С. 71–75.

10. Смирнов Б. М. Физика фрактальных кластеров. М.: Наука. 1991.

11. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: В 2 т. М.: Мир, 1990.

12. Компьютерное моделирование процессов самоорганизации в нанотехнологии / В. А. Жабрев, В. И. Марголин, С. В. Чуппина, Л. Ю. Аммон // Тез. докл. 1 всерос. конф. «Многомасштабное моделирование процессов и структур в нанотехнологиях», М., 12–14 марта 2008. М.: Изд-во МИФИ, 2008. С. 200–201.

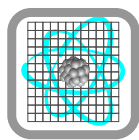
13. Третьяков Ю. Д. Микро- и наноструктурированные материалы. Фоторепортаж из «пятого измерения». М.: ООО «Премимум», 2008.

L. J. Ammon, V. A. Zhabrev, V. I. Margolin

SIMULATION OF THE PROCESSES OF THE SYNTHESIS FRACTAL NANO-DIMENSIONAL FILMS FOR THE FRACTAL ANTENNAS AND THE DEVICES

Nano-radioelectronic are examined the procedures of the simulation of the processes of origin and increase in the fractal clusters in the nano-dimensional films on the algorithm of the aggregation limited by diffusion. Is conducted the comparison of the obtained results with the experimental data on an increase in the films, obtained on the zol-gel technology. Are discussed the prospects for method with the need for a calculation of structure and type of the connections of the atoms forming cluster and molecules. The keywords: fractal, fractal cluster, the limited by diffusion aggregation, the nano-dimensional films

Fractal, fractal cluster, diffusion limited aggregation (DLA), nano-dimensional films



УДК 537.611.2

А. Б. Устинов, Б. А. Калиникос

СОБСТВЕННАЯ МОДУЛЯЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-СПИНОВЫХ ВОЛН В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ФЕРРИТ-СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК

Описываются результаты исследования собственной модуляционной неустойчивости электромагнитно-спиновых волн в планарных волноводах, изготовленных на основе планарных феррит-сегнетоэлектрических слоистых структур. Для проведения экспериментальных исследований в качестве ферритового слоя использовались эпитаксиальные пленки железиттриевого граната, а в качестве сегнетоэлектрического слоя – пластины керамического титаната бария стронция. Численная оценка полученных результатов в рамках модели нелинейного уравнения Шредингера показала хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов.

Электромагнитно-спиновые волны, модуляционная неустойчивость, ферриты, сегнетоэлектрики

Модуляционная неустойчивость является одним из фундаментальных свойств волн различной природы, распространяющихся в нелинейных диспергирующих средах. Общая теория модуляционной неустойчивости нелинейных волн конечной амплитуды обычно строится в рамках модели эволюционного нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) (см., например, [1], [2]). Физически модуляционную неустойчивость можно трактовать как четырехволновой параметрический процесс. Применительно к ферритовым пленкам модуляционная неустойчивость электромагнитно-спиновых волн была обоснована в работе [3].

Экспериментально модуляционная неустойчивость была ранее исследована для различных типов медленных спиновых волн, распространявшихся в тонких пленках железиттриевого граната (ЖИГ) (см., например, [4], [5] и литературу в них). Насколько известно авторам статьи, вплоть до настоящего времени модуляционная неустойчивость электромагнитно-спиновых волн в слоистых планарных «волноводах» феррит-сегнетоэлектрик никем не наблюдалась.

Целью работы, результаты которой представлены настоящей статьей, являлось исследование собственной модуляционной неустойчивости электромагнитно-спиновых волн в слоистых структурах феррит-сегнетоэлектрик. Для проведения исследований был сконструирован экспериментальный макет в виде линии задержки (рис. 1). В макете в качестве ферритового слоя использована пленка железиттриевого граната толщиной 5.7 мкм, эпитаксиально выращенная на подложке гадолиний-галлиевого граната (ГГГ). В качестве

сегнетоэлектрического слоя использована керамическая пластина титаната бария-стронция (БСТ) толщиной 200 мкм. На обе стороны пластины были нанесены хромовые электроды толщиной около 50 нм. Такая толщина электродов много меньше глубины скин-слоя для СВЧ-полей рабочей частоты. Для возбуждения и приема электромагнитно-спиновых волн использованы микрополосковые антенны, выполненные в виде отрезков микрополосковых линий передачи, короткозамкнутых на конце. Пленка ЖИГ была расположена на микрополосковых антеннах. Сегнетоэлектрическая пластина БСТ находилась в контакте с пленкой ЖИГ. В слоистой структуре ЖИГ–БСТ распространялись гибридные электромагнитно-спиновые волны [6]. Экспериментальное исследование основано на измерении амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик макета при различных уровнях входной СВЧ-мощности, а также на изучении частотного спектра прошедшего через макет СВЧ-сигнала.

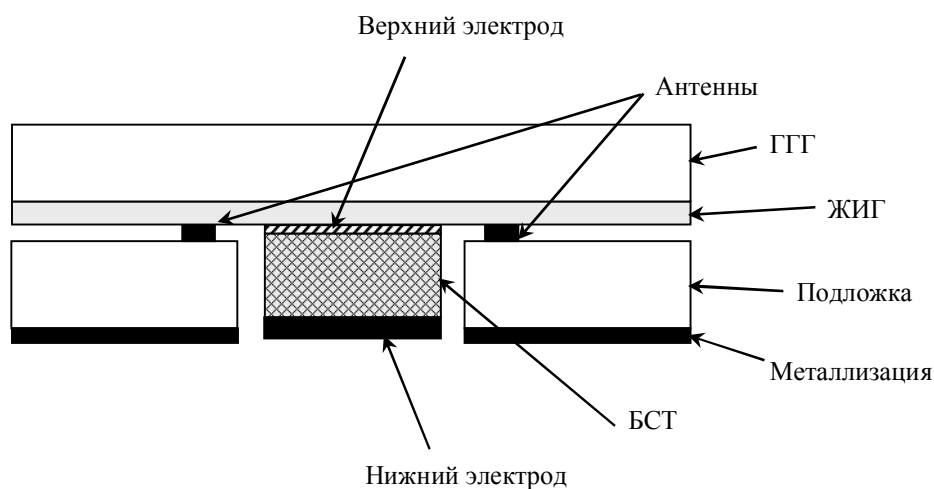


Рис. 1

Измерения проводились на экспериментальной установке, блок-схема которой приведена на рис. 2. В качестве источника СВЧ-сигнала использовался генератор «Agilent 83752A» (1). Непрерывный СВЧ-сигнал от генератора подавался на СВЧ-усилитель «Mini-Circuits ZVE-8G» (2). Усиленный сигнал подавался на вход экспериментального макета (3). Сигнал с выхода экспериментального макета делился делителем мощности (4). Затем разделенные сигналы подавались на анализатор спектра «HP 8563A» (5) и осциллограф «HP54615B» (6). Экспериментальный макет находился в магнитном поле, создаваемом электромагнитом (7).

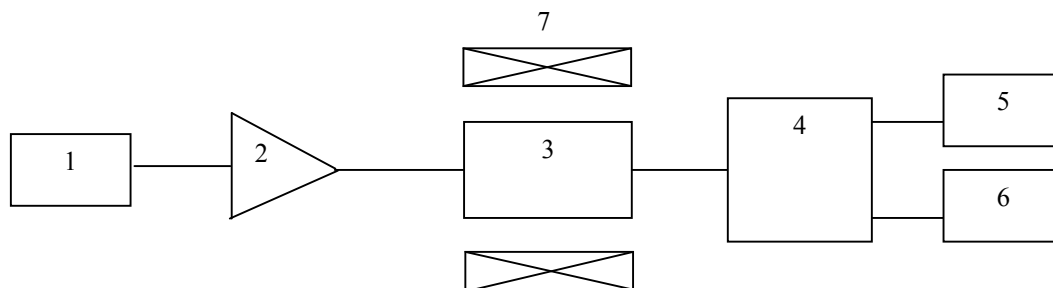


Рис. 2

Измерения проводились при магнитных полях более 1000 Э. При таких полях рабочая частота электромагнитно-спиновых волн оказывается выше 4800 МГц. Подчеркнем, что на

таких частотах распадные параметрические трехволновые процессы запрещены законами сохранения энергии и импульса. Поэтому исследовавшиеся нелинейные эффекты обусловлены четырехволновыми процессами. Входная СВЧ-мощность, подававшаяся на макет, регулировалась в пределах от -20 до $+25$ дБм.

На рис. 3 показана амплитудно-частотная характеристика экспериментального макета, наблюдавшаяся для магнитного поля 1020 Э. Характеристика была измерена при уровне мощности -10 дБм. Как видно из рисунка, диапазон возбуждения электромагнитно-спиновых волн лежал в интервале от 4825 до 5150 МГц. В пределах этого частотного интервала измерялись передаточные характеристики экспериментального макета. Результаты измерений показали, что при увеличении входной СВЧ-мощности от -20 дБм сначала наблюдается линейный рост выходной СВЧ-мощности. Этот участок соответствует линейному режиму распространения электромагнитно-спиновых волн. При достижении значений входной мощности около 0 дБм начинается насыщение выходной СВЧ-мощности. Это объясняется возникновением четырехволнового процесса рассеяния электромагнитно-спиновых волн, выражающегося в их нелинейном затухании. При дальнейшем увеличении входной СВЧ-мощности до значений порядка 20 дБм возникает собственная модуляционная неустойчивость электромагнитно-спиновых волн. Возникновение собственной модуляционной неустойчивости выражается в появлении дополнительных гармоник в частотном спектре прошедшего СВЧ-сигнала. При этом огибающая выходного сигнала становится промодулированной по амплитуде.

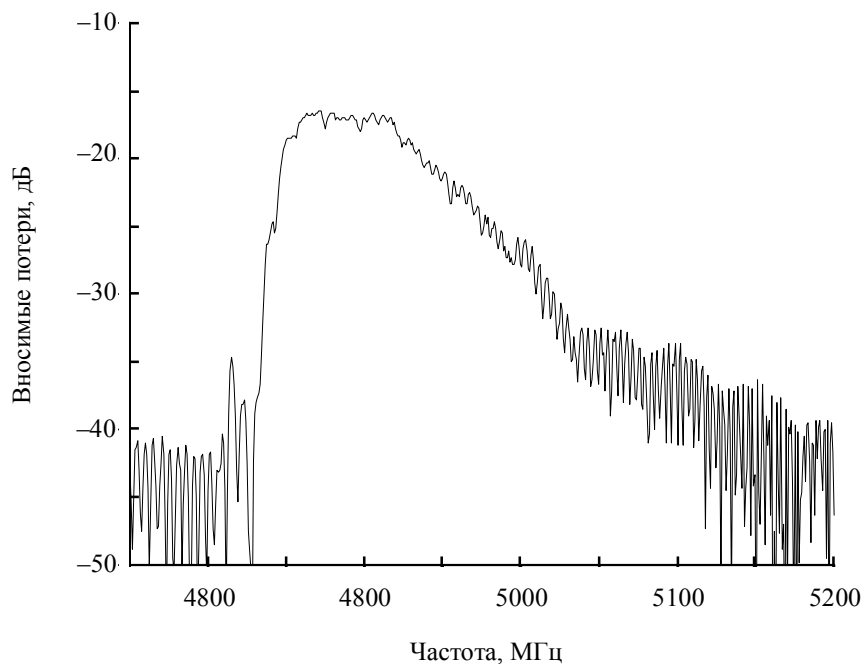


Рис. 3

Необходимо отметить, что модуляционная неустойчивость наблюдалась только в ограниченном диапазоне частот от 4825 до 4890 МГц. В остальном частотном диапазоне собственной модуляционной неустойчивости не наблюдалось. Типичный спектр выходного сигнала, измеренный при мощности 19.2 дБм для частоты входного сигнала 4848 МГц, представлен на рис. 4. Осциллограмма огибающей выходного сигнала показана на рис. 5.

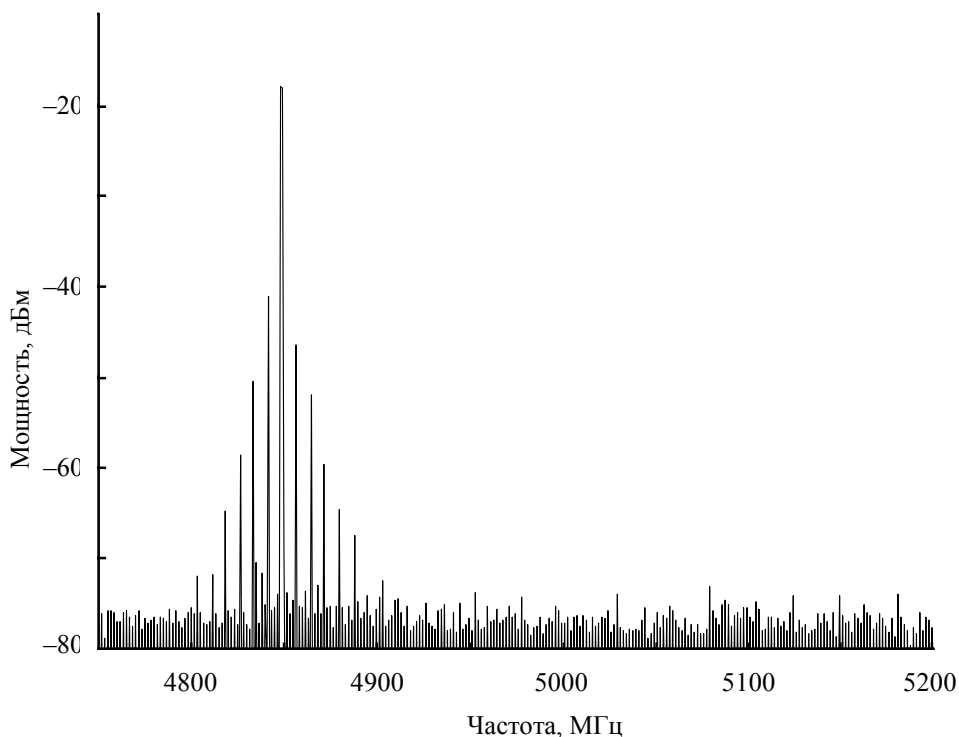


Рис. 4

В нелинейном режиме распространения электромагнитно-спиновых волн, когда возникала и существовала их собственная модуляционная неустойчивость, приложение напряжения к сегнетоэлектрическому слою практически не меняло вид спектра выходного СВЧ-сигнала, а форма огибающей претерпевала весьма слабые изменения.

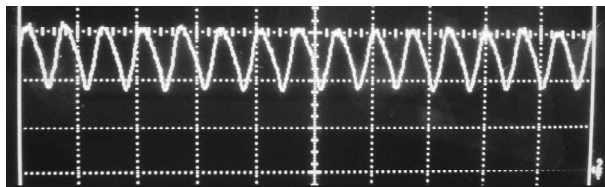


Рис. 5

Частоты дополнительных (нелинейных) гармоник, появившихся в результате развития собственной модуляционной неустойчивости, при приложении напряжения оставались неизменными.

Проведем численную оценку полученных результатов. Для описания нелинейных свойств бегущих волн намагниченности можно пользоваться подходом, описанным в [1]. В рамках этого подхода получается нелинейное эволюционное уравнение типа НУШ, в которое введен диссипативный член:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v_g \frac{\partial u}{\partial z} - i \frac{D}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + iN|u|^2 u = -\omega_r u, \quad (1)$$

где $v_g = \left. \frac{\partial \omega}{\partial k} \right|_{k=k_0, |u|^2=0}$, $D = \left. \frac{\partial^2 \omega}{\partial k^2} \right|_{k=k_0, |u|^2=0}$, $N = \left. \frac{\partial \omega}{\partial |u|^2} \right|_{k=k_0, |u|^2=0}$ – групповая скорость, дисперсионный и

нелинейный коэффициенты соответственно; ω_r – частота релаксации волны.

Уравнение (1) описывает эволюцию огибающей $u(x, t)$ электромагнитно-спиновой волны $\Psi(x, t) = u(x, t) \exp[i(\omega_0 t - k_0 x)]$. В последней формуле введены следующие обозначения: $\Psi(x, t) = m(x, t) / [\sqrt{2}(4\pi M_0)]$ – нормированная амплитуда электромагнитно-спиновой волны (m – переменная намагниченность); ω_0 и k_0 – частота и волновой вектор волны.

Для классического частного случая отсутствия потерь, т. е. для $\omega_r = 0$, решения уравнения (1) хорошо изучены [1], [7]. Наиболее простыми решениями являются стационарные волны огибающей. Они имеют вид

$$u(x, t) = a(\xi) \exp\left(-ia_0^2 \frac{\partial \omega}{\partial |u|^2} t\right),$$

где $a(\xi)$ – вещественная амплитуда огибающей электромагнитно-спиновой волны ($\xi = x - v_g t$, a_0 – постоянная, имеющая смысл средней амплитуды огибающей). Возможны три типа решений для $a(\xi)$: непериодическое решение, соответствующее уединенной волне солитонного типа, и два периодических решения, соответствующих модулированным волнам. Такие решения могут существовать, если выполнено условие неустойчивости волны постоянной амплитуды $a(\xi) = a_0$ относительно продольных возмущений (условие модуляционной неустойчивости или критерий Лайтхилла) $N/D < 0$.

Само модуляция волны конечной амплитуды a_0 в нелинейной среде с дисперсией возникает в результате развития вдоль пути распространения волны параметрической неустойчивости, которая представляет собой четырехволновой процесс вида

$$2\omega_{k_0} = \omega_{k_0 + \kappa} + \omega_{k_0 - \kappa}.$$

Максимальный инкремент неустойчивости β для такой волны составляет

$$\beta = a_0^2 N \text{ при } \kappa_0 = \sqrt{\frac{2|\beta|}{D}}, \quad (2)$$

где κ – волновое число возникающей модуляции.

В реальных средах, где присутствует диссипация, описанный параметрический процесс носит пороговый характер. Условие параметрического порога имеет вид

$$a_0^2 = \frac{\omega_r}{|N|}. \quad (3)$$

Частоту модуляционной неустойчивости, инкремент которой максимален, можно вычислить как

$$f_M = v_g \kappa_0 / 2\pi. \quad (4)$$

Для вычисления частоты модуляционной неустойчивости электромагнитно-спиновых волн были экспериментально определены следующие параметры: групповая скорость $v_g = 5.4 \cdot 10^4$ м/с, дисперсионный коэффициент $D = 115$ м²/с, частота релаксации

$\omega_T = 20.5 \cdot 10^6$ рад/с. Экспериментальное определение параметров было проведено путем обработки результатов измерений амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик макета феррит-сегнетоэлектрического фазовращателя.

Значение частоты модуляционной неустойчивости, рассчитанное по формулам (2)–(4), оказалось равным около 9 МГц. Это значение весьма близко к значению частоты модуляции около 8.5 МГц, наблюдавшемуся экспериментально.

Таким образом, в ходе работы была впервые исследована собственная модуляционная неустойчивость гибридных электромагнитно-спиновых волн в слоистой феррит-сегнетоэлектрической структуре.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 08–02–00959), Федерального агентства по науке и инновациям и Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ–2124.2008.2 и МК–2804.2008.8.) и Федерального агентства по образованию РФ (проект РНП/2.1.1.1617).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпман В. И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.: Наука, 1973.
2. Remoissenet M. Waves Called Solitons: Concepts and Experiments // Springer. Berlin. 1999. Bd. 3.
3. Темирязов А. Г. Модуляционная неустойчивость электромагнитно-спиновых волн в ферритовой пленке // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 50, вып. 4. С. 202–204.
4. Калиникос Б. А., Ковшиков Н. Г., Славин А. Н. Солитоны огибающей и модуляционная неустойчивость дипольно-обменных волн намагниченности в пленках железиттриевого граната // ЖЭТФ. 1998. Т. 94. С. 159–176.
5. Wu M., Kalinikos B. A., Patton C. E. Generation of Dark and Bright SpinWave Envelope Soliton Trains through Self-Modulational Instability in Magnetic Films // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93, № 15. P. 157207–1–4.
6. Demidov V. E., Kalinikos B. A., Edenhofer P. Dipole-exchange theory of hybrid electromagnetic-spin waves in layered film structures // J. Appl. Phys. 2002. Vol. 91, № 12. P. 10007–10016.
7. Теория солитонов: Метод обратной задачи / В. Е. Захаров, С. В. Манаков, С. П. Новиков, Л. П. Питаевский. М.: Наука, 1980.

A. B. Ustinov, B. A. Kalinikos

SELF-MODULATION INSTABILITY OF SPIN-ELECTROMAGNETIC WAVES IN FERRITE-FERROELECTRIC LAYERED STRUCTURES

A self-modulation instability of spin-electromagnetic waves in ferrite-ferroelectric layered structure was studied. For experiments, an yttrium iron garnet film was used as a ferrite layer and a barium strontium titanate slab was used as a ferroelectric layer. A numerical simulation was done with the use of the nonlinear Schrodinger equation. Theoretical and experimental data were in good agreement.

Spin-electromagnetic waves, modulation instability, ferrites, ferroelectrics



УДК 37.014.1

А. В. Горячев, Г. Д. Дмитриевич, З. Касасбех

АРХИТЕКТУРА ПОДСИСТЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В САПР

Рассмотрены проблемы формирования архитектуры подсистемы коллективного взаимодействия в САПР. Предложен вариант архитектуры на основе порталного решения.

САПР, совместная работа, процесс коллективного взаимодействия, ресурсы САПР

Постоянное усложнение проектируемых объектов и возрастающие требования к срокам их внедрения в производство выдвигают задачу совершенствования как средств автоматизации проектирования, так и организации процесса автоматизированного проектирования. Особое значение для организации процесса проектирования имеют вопросы коллективного взаимодействия проектировщиков в процессе работы над проектом [1].

В настоящее время наиболее распространены следующие технологии распределенной коллективной работы:

- электронная почта;
- средства распространения и совместного использования информации (information sharing);
- управление документами (docflow);
- средства календарного планирования и составления расписаний;
- средства управления корпоративными знаниями;
- управление потоками работ (workflow);
- средства организации обсуждений (форумы, Wiki, блоги);
- мгновенный обмен сообщениями (instanse messaging);
- видео- и аудиоконференции в реальном времени (conferencing);
- средства защиты информации;
- средства обеспечения целостности распределенной информационной базы.

При этом некоторые инструменты используются только в закрытых процессах (например, управление документами и потоками работ), а некоторые в большей степени распространены в открытых системах (мгновенные сообщения, электронная почта, конференции).

Одна из главных проблем в использовании этих инструментов состоит в том, что в большинстве случаев весь набор можно получить, применяя только абсолютно разные инструменты, никак не связанные между собой. Альтернатива – применение дорогих и очень сложных в развертывании специализированных инструментов организации

коллективной работы. В любом случае САПР, для успешной работы которой и требуется столь богатый арсенал, оказывается никак не связанной с этими инструментами, т. е. процесс коллективной работы отрывается от процесса проектирования и живет своей жизнью. В результате этого процесс коллективной работы «выпадает» из архитектуры общего процесса проектирования, что однозначно приводит к дезинтеграции системы.

На рис. 1 представлена схема коллективного проектирования изделий РЭА. Хранилищем всех информационных данных организации является общий сервер.

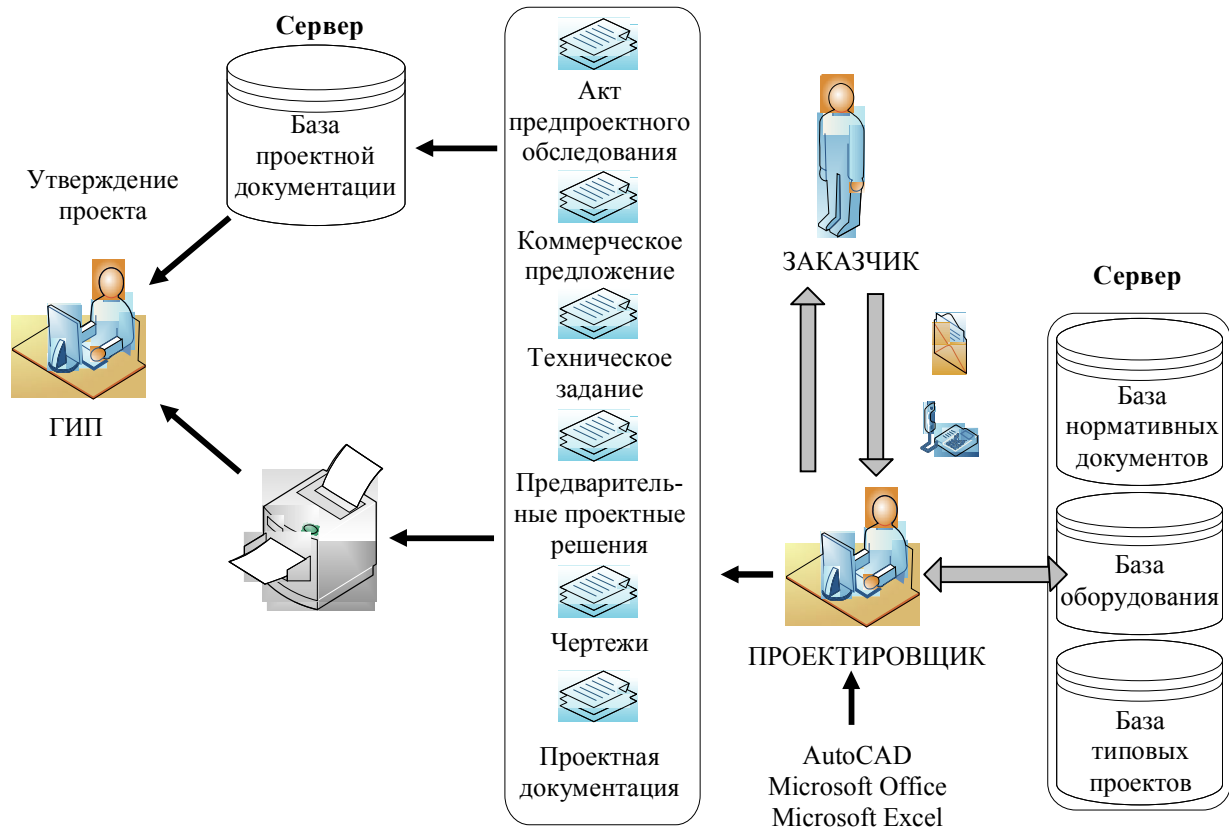


Рис. 1

Для формирования архитектуры подсистемы коллективного взаимодействия САПР необходимо опираться на интегрирующие инструменты, которые должны обладать следующими свойствами:

- иметь возможность использовать большую часть распространенных сегодня технологий коллективной работы;
- предоставлять для использования этих технологий единый интерфейс, желательно такой, чтобы его можно было использовать в глобальной распределенной структуре;
- иметь возможность функционировать в распределенной вычислительной среде;
- иметь все необходимые компоненты для работы как в режиме контакта с системой, так и в режиме временного от нее отключения.

Успех любого дела – правильная организация процесса работы. Знания сотрудников и всей компании в целом становятся все более ценным ресурсом, повышающим конкурентоспособность. Именно совокупность знаний, которые специалисты умеют применять и развивать, и является критерием эффективности развития компании [2]. Для наиболее успешной работы компаниям необходим систематический процесс преобразования индивидуального опыта таким образом, чтобы знания могли быть переведены в услуги, предлагаемые организацией.

Разработчики сложных изделий имеют дело с самыми разнообразными средствами коллективной работы – электронной почтой, телефонами, программами для поддержки конференций через Web, порталами и специализированными приложениями. Освоение этих средств и частое переключение между ними нередко запутывают пользователей, из-за чего их работа становится непродуктивной. В итоге средства коллективной работы фактически препятствуют такой работе. Развертывание, обновление, сопровождение и защита слишком широкого спектра средств отнимают много времени и сил у ИТ-персонала, который помимо этого должен заботиться об управлении доступом к конфиденциальной информации, обеспечении ее безопасности и эффективном распределении ресурсов для поддержки обмена документами и их совместного использования.

Эффективная организация совместной работы достигается за счет инструментов управления задачами и проектами, удобной организации информации и доступа к ней, средств контроля исполнения задач и анализа выполненной работы.

Портальное решение позволяет организовать рабочее место сотрудника, где у него все под рукой: почта, документы, проекты, в разработке которых он принимает участие, необходимая справочная информация, доступ к нужным в работе корпоративным информационным системам и сервисам.

Архитектура подсистемы представлена на рис. 2.

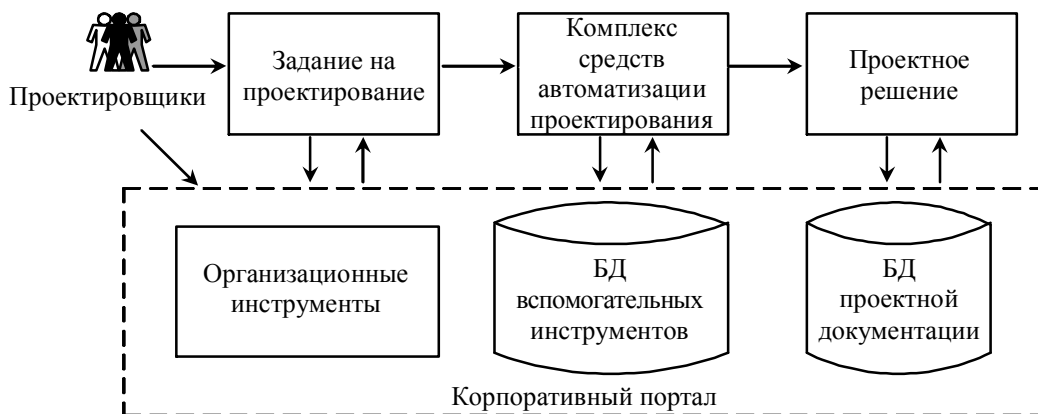


Рис. 2

Для формирования архитектуры подсистемы коллективного взаимодействия САПР разработана система моделирования процессов коллективного взаимодействия в процессе автоматизированного проектирования [3].

К инструментам коллективной работы корпоративного портала относятся: календари событий организации, оповещения, задачи проекта, почта, доски обсуждений и форумы внутри организации и т. д. В библиотеках вспомогательных документов хранятся нормативные документы, типовые проекты, служащие проектировщикам наглядным пособием, документация по оборудованию, а также всевозможные инструкции и руководства и т. д. К КТС относится необходимое для проектирования изделий РЭА программное обеспечение.

Корпоративный портал является инструментом, который позволяет выстраивать коммуникации, доводя до сотрудников информацию руководства, и взаимодействовать сотрудникам из разных подразделений. Корпоративный портал – один из основных рабочих инструментов проектной организации.

В процессе проектирования сложного изделия проектировщикам постоянно требуется оперативно находить множество электронных форм документов и обмениваться ими.

В качестве модели хранения проектной и обслуживающей информации предлагается использовать базу знаний порталных решений [3].

В результате применения корпоративного портала в процессе автоматизированного проектирования достигаются следующие экономические и организационные эффекты:

- *Повышение производительности.* Использование современных технологий позволяет организовать целевую доставку информации и своевременное оповещение ее получателей, обеспечив при этом необходимый уровень конфиденциальности.

- *Улучшение корпоративного взаимодействия.* Портал играет роль центрального информационного ресурса для руководства и сотрудников компании. Оперативный обмен необходимой информацией обеспечивает более тесную связь между всеми группами сотрудников и подразделениями.

- *Управление корпоративными знаниями.* Использование корпоративного портала позволит в полной мере применить технологию управления знаниями (Knowledge Management), которая во всем мире признана наиболее эффективной формой взаимодействия сотрудников. Накопление и сортировка всей информации позволяют создать и использовать "базу знаний" компании, охватывающую большую часть корпоративной информации.

- *Оптимизация процесса управления.* Интеграция корпоративного портала с другими компонентами информационной системы предприятия (финансово-учетные и сбытовые программы, хранилища данных, электронный документооборот и т. п.) открывает новые возможности анализа деловой информации, сегментирования рынка и позиционирования, планирования и прогнозирования, выполнения ряда иных функций.

- *Оптимизация инвестиций в информационные ресурсы.* Использование для визуализации информации "тонкого клиента" (обычного web-браузера) позволяет экономить на обучении персонала и одновременно дает возможность не устанавливать клиентские приложения на множестве компьютеров. Сокращение затрат на приобретение и обслуживание клиентского программного обеспечения и оборудования – один из основных ресурсов снижения издержек при использовании корпоративного портала. Также важно упомянуть о минимизации затрат на аренду интернет-канала за счет того, что наиболее значительная часть информации, необходимой для пользователей портала, размещается в корпоративной сети.

- *Единая платформа для ведения электронного бизнеса.* Внедрение корпоративного портала и обеспечение доступа к нему внешних пользователей способствуют укреплению деловых связей с заказчиками, партнерами, поставщиками и повышают качество обслуживания заказчиков и партнеров за счет предоставления им дополнительных возможностей и услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячев А. В., Гриненко А. С. Структура специализированного программного обеспечения диалоговой САПР на ЕС ЭВМ // Изв. ЛЭТИ. 1990. Вып. 425. С. 12, 13.
2. Горячев А. В., Новакова. Н. Е. Организация порталов знаний: Методические указания к лабораторным работам. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2005.
3. Горячев А. В., Касасбех З. Применение портала знаний для организации процесса автоматизированного проектирования // Сб. докл. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, СПб., 27–29 июня 2006. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2006. Т. 2. С. 91–94.

A. V. Goryachev, G. D. Dmitrevich, Z. Kasasbekh

COLLABORATION CAD SUBSYSTEM ARCHITECTURE

The problems of creation CAD information collaboration subsystem architecture are considered. Creation portal-based method of architecture is offered.

Computer-aided design system, collaboration, information worker, CAD system resources



УДК 681.621

В. В. Федоров

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Посвящается дальнейшему развитию единой теории поля, основанной на уравнениях Максвелла. Дифференциальные уравнения гравитационного поля, подобные уравнениям Максвелла, определены из принципа наименьшего действия.

Гравитация, инертная масса, поле ускорений, напряженность импульсного поля, уравнения Максвелла гравитационного поля, гравитационное напряжение

Теория гравитационного поля зарядов, эквивалентных инертным массам электромагнитного поля, основана на законах и уравнениях механики сплошной среды, а также на их аналогии законам и уравнениям электродинамики [1].

Уравнения для гравитационного поля, подобные уравнениям Максвелла, могут быть получены и из принципа наименьшего действия [2]. Так, действие можно представить в виде интеграла по времени из функции Лагранжа, определяющей энергии движущихся частиц, поля и взаимодействия частиц с полем.

Для движущейся со скоростью \mathbf{v} частицы, обладающей массой m или гравитационным зарядом $q_{\text{гр}}$, в скалярном статическом $U_{\text{ст}}$ и переменном гравитационном поле функция Лагранжа в объеме V равна

$$L = \frac{m\mathbf{v}^2}{2} + m\mathbf{A}_{\text{гр}}\mathbf{v} - mU_{\text{ст}} + \frac{1}{2} \int_V (\mathbf{E}_{\text{гр}}\mathbf{D}_{\text{гр}} + \mathbf{H}_{\text{гр}}\mathbf{B}_{\text{гр}}) dV,$$

где $\mathbf{E}_{\text{гр}}$, $\mathbf{D}_{\text{гр}}$ – векторы напряженности и индукции поля ускорений; $\mathbf{H}_{\text{гр}}$, $\mathbf{B}_{\text{гр}}$ – векторы напряженности и индукции импульсного поля; $\mathbf{A}_{\text{гр}}$ – векторный потенциал импульсного поля.

Определим II и IV уравнения Максвелла для гравитационного поля варьированием в действии траектории частицы в неизменном поле. Для этого производную по времени от частной производной функции Лагранжа по скорости представим в виде частной производной функции Лагранжа от расстояния $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \mathbf{v}} = \frac{\partial L}{\partial \mathbf{r}}$.

Производная по времени от частной производной функции Лагранжа по скорости после подстановки функции Лагранжа и дифференцирования по скорости равна разности производных по времени

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{v}}} = -\frac{d}{dt} (m\mathbf{v} - m\mathbf{A}_{\text{гр}}) = -m \left(\frac{d\mathbf{v}}{dt} - \frac{d}{dt} \mathbf{A}_{\text{гр}} \right),$$

а частная производная функции Лагранжа от расстояния – разности градиентов $\frac{\partial L}{\partial \bar{r}} = m(\text{grad}(\mathbf{A}_{\text{гр}}\mathbf{v}) - \text{grad}U_{\text{ст}})$.

В результате получаем равенство разностей производных по времени и градиентов $\frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} - \frac{d}{dt} \bar{\mathbf{A}}_{\text{гр}} = -\text{grad}(\bar{\mathbf{A}}_{\text{гр}}\bar{\mathbf{v}}) + \text{grad}U_{\text{ст}}$.

С учетом формул основных тождеств векторного анализа

$$\frac{d}{dt} \mathbf{A} = \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla) \mathbf{A}, \quad \text{grad}(\mathbf{A}\mathbf{v}) = (\mathbf{A}\nabla) \mathbf{v} + [\mathbf{A}\text{rot}\mathbf{v}] + (\mathbf{v}\nabla) \mathbf{A} + [\mathbf{v}\text{rot}\mathbf{A}]$$

и помня, что дифференцирование по r производится при постоянной скорости v , находим уравнение движения частицы в гравитационном поле:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{A}_{\text{гр}}}{\partial t} + \text{grad}U_{\text{ст}} - [\mathbf{v}\text{rot}\mathbf{A}_{\text{гр}}] = -\mathbf{E}_{\text{гр}} \dot{I}_{\text{гр}12} = U_{\text{эл}m2} I_{\text{эл}m2} \frac{1}{2c^2} e^{j(2\omega t + \arg \dot{I}_{\text{эл}2})},$$

где $\mathbf{E}_{\text{гр}} = -\frac{\partial \mathbf{A}_{\text{гр}}}{\partial t} - \text{grad}U_{\text{ст}}$, а $\mathbf{B}_{\text{гр}} = \text{rot}\mathbf{A}_{\text{гр}}$.

Применив операции ротации к вектору $\mathbf{E}_{\text{гр}}$ и дивергенции к вектору $\mathbf{B}_{\text{гр}}$, принимая во внимание, что ротор всякого градиента и дивергенция всякого ротора равны нулю, получаем II и IV уравнения Максвелла

$$\text{II. rot}\mathbf{E}_{\text{гр}} = -\frac{\partial \mathbf{B}_{\text{гр}}}{\partial t};$$

$$\text{IV. } E_{r\text{гр}21} = \mu_{\text{гр}} H_{z\text{гр}21} c.$$

Определим III и I уравнения Максвелла для гравитационного поля варьированием в действии при заданном движении частиц.

Варьируем скалярный потенциал

$$\frac{\partial L}{\partial U_{\text{ст}}} = \frac{\partial}{\partial U_{\text{ст}}} \left[0,5m v^2 + m\mathbf{A}_{\text{гр}}\mathbf{v} - mU_{\text{ст}} + 0,5 \int_V (\mathbf{E}_{\text{гр}}\mathbf{D}_{\text{гр}} + \mathbf{H}_{\text{гр}}\mathbf{B}_{\text{гр}}) dV \right]$$

и, приравняв производную к нулю, получаем

$$-m + 0,5 \frac{\partial}{\partial U_{\text{ст}}} \int_V \mathbf{E}_{\text{гр}}\mathbf{D}_{\text{гр}} dV = 0.$$

Представляя заряд частиц в виде объёмного интеграла, а приращение потенциала через напряженность статического гравитационного поля $\partial U_{ст} = -\mathbf{E}_{гр} \partial \mathbf{l}$, находим III уравнение Максвелла

$$-\rho_{гр} - \frac{\partial}{\partial \mathbf{l}} \left(\frac{1}{2} \mathbf{E}_{гр} \mathbf{D}_{гр} \right) = 0,$$

$$\text{III. } \rho_{гр} = -\frac{\partial \mathbf{D}_{гр}}{\partial \mathbf{l}} = -\text{div } \mathbf{D}_{гр}.$$

Варьируем векторный потенциал

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{A}_{гр}} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{A}_{гр}} \left[0,5mv^2 + m\mathbf{A}_{гр} \mathbf{v} - mU_{ст} + 0,5 \int_V (\mathbf{E}_{гр} \mathbf{D}_{гр} + \mathbf{H}_{гр} \mathbf{B}_{гр}) dV \right] = 0$$

и с учетом $\partial \mathbf{A}_{гр} = -\mathbf{E}_{гр} \partial t$, $\rho_{гр} \mathbf{v} - 0,5 \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{E}_{гр} \mathbf{D}_{гр} + \mathbf{H}_{гр} \mathbf{B}_{гр}) = 0$, $\rho_{гр} \mathbf{v} - \frac{\partial \mathbf{D}_{гр}}{\partial t} - \frac{\mathbf{H}_{гр}}{\mathbf{E}_{гр}} \frac{\partial \mathbf{B}_{гр}}{\partial t} = 0$, $\rho_{гр} \mathbf{v} - \frac{\partial \mathbf{D}_{гр}}{\partial t} + \frac{\mathbf{H}_{гр}}{\mathbf{E}_{гр}} \text{rot } \mathbf{E}_{гр} = 0$, принимая во внимание

$$\text{div}[\mathbf{E}_{гр} \times \mathbf{H}_{гр}] = \mathbf{H}_{гр} \text{rot } \mathbf{E}_{гр} - \mathbf{E}_{гр} \text{rot } \mathbf{H}_{гр} = 0, \rho_{гр} \mathbf{v} - \frac{\partial \mathbf{D}_{гр}}{\partial t} + \text{rot } \mathbf{H}_{гр} = 0,$$

находим I уравнение Максвелла:

$$\text{I. rot } \mathbf{H}_{гр} = \frac{\partial \mathbf{D}_{гр}}{\partial t} - \rho_{гр} \mathbf{v}.$$

Так как векторы напряженности поля ускорений и импульсного поля удовлетворяют уравнениям Максвелла, то при решении гравитационных задач могут быть использованы методы решения задач электромагнитного поля.

Связь между импульсным полем и полем ускорений, а также свойства полей могут быть определены из уравнений Максвелла (табл. 1) в интегральной и дифференциальной формах и трех уравнений связи или вещественных уравнений:

$$\mathbf{D}_{гр} = \varepsilon_{гр} \mathbf{E}_{гр}, \mathbf{B}_{гр} = \mu_{гр} \mathbf{H}_{гр}, \mathbf{J}_{гр} = \gamma_{гр} \mathbf{E}_{гр},$$

где $\mathbf{B}_{гр}$ – вектор индукции импульсного поля, $\mu_{гр}$ – импульсная проницаемость, $\gamma_{гр}$ – удельная гравитационная проводимость.

Для эфира, исходя из равенства скоростей электромагнитных и гравитационных волн в нём и величины постоянной тяготения Кавендиша, гравитационные проницаемости равны:

$$\varepsilon_{гр} = 1,19 \cdot 10^9 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^3, \mu_{гр} = 9,35 \cdot 10^{-27} \text{ м/кг}.$$

Таблица 1

Интегральная форма уравнений	Дифференциальная форма уравнений
$\oint_L \mathbf{H}_{\text{гр}} d\mathbf{l} = \int_S \left(\gamma_{\text{гр}} \mathbf{E}_{\text{гр}} + \frac{\partial \mathbf{D}_{\text{гр}}}{\partial t} - \rho_{\text{гр}} \mathbf{v} \right) d\mathbf{S}$	$\text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} = \gamma_{\text{гр}} \mathbf{E}_{\text{гр}} + \frac{d \mathbf{D}_{\text{гр}}}{d t} - \rho_{\text{гр}} \mathbf{v}$
$\oint_L \mathbf{E}_{\text{гр}} d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}_{\text{гр}}}{\partial t} d\mathbf{S}$	$\text{rot } \mathbf{E}_{\text{гр}} = - \frac{d \mathbf{B}_{\text{гр}}}{d t}$
$\oint_S \mathbf{D}_{\text{гр}} d\mathbf{S} = -q_{\text{гр}}$	$\text{div } \mathbf{D}_{\text{гр}} = -\rho_{\text{гр}}$
$\oint_S \mathbf{B}_{\text{гр}} d\mathbf{S} = 0$	$\text{div } \mathbf{B}_{\text{гр}} = 0$

Энергия сторонних гравитационных токов в данном пространстве может накапливаться гравитационным полем, распространяться и преобразовываться в другие виды энергии.

Для определения баланса мощностей, как и в случае электромагнитного поля [1], дополним I уравнение Максвелла вектором $\mathbf{J}_{\text{гр. ст}}$ плотности токов сторонних сил и скалярно умножим его на вектор $\mathbf{E}_{\text{гр}}$, а II уравнение умножим на вектор $\mathbf{H}_{\text{гр}}$; из второго произведения вычтем первое. Тогда, с учетом тождества

$$\text{div} [\mathbf{E}_{\text{гр}} \times \mathbf{H}_{\text{гр}}] = \mathbf{H}_{\text{гр}} \text{rot } \mathbf{E}_{\text{гр}} - \mathbf{E}_{\text{гр}} \text{rot } \mathbf{H}_{\text{гр}} = -\text{div } \mathbf{\Pi}_{\text{гр}},$$

получим уравнение Пойнтинга в дифференциальной форме для мгновенных значений векторов гравитационного поля в виде

$$-\text{div } \mathbf{\Pi}_{\text{гр}} + \mathbf{J}_{\text{гр. ст}} \mathbf{E}_{\text{гр}} + \gamma_{\text{гр}} E_{\text{гр}}^2 + \frac{1}{2} \mu_{\text{гр}} \frac{\partial H_{\text{гр}}^2}{\partial t} + \frac{1}{2} \varepsilon_{\text{гр}} \frac{\partial E_{\text{гр}}^2}{\partial t} = 0,$$

где $\mathbf{\Pi}_{\text{гр}} = -[\mathbf{E}_{\text{гр}} \times \mathbf{H}_{\text{гр}}]$ – вектор Пойнтинга представляет поток мощности гравитационного поля, проходящий через 1 м^2 поверхности; $\mathbf{J}_{\text{гр. ст}} \mathbf{E}_{\text{гр}}$ – удельная мощность сторонних

гравитационных сил; $\gamma_{\text{гр}} E_{\text{гр}}^2$ – удельная мощность тепловых потерь; $\frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_{\text{гр}} \frac{H_{\text{гр}}^2}{2} + \varepsilon_{\text{гр}} \frac{E_{\text{гр}}^2}{2} \right)$ –

суммарная удельная мощность, запасенная полем ускорений и импульсным полем.

Проинтегрируем уравнение Пойнтинга по объему. С учётом интеграла Остроградского–Гаусса получаем теорему Пойнтинга в интегральной форме для мгновенных значений векторов гравитационного поля

$$-\oint_S \mathbf{\Pi}_{\text{гр}} d\mathbf{S} + \int_V \mathbf{J}_{\text{гр. ст}} \mathbf{E}_{\text{гр}} dV + \int_V \gamma_{\text{гр}} E_{\text{гр}}^2 dV + \frac{\partial}{\partial t} \int_V \left(\mu_{\text{гр}} \frac{H_{\text{гр}}^2}{2} + \varepsilon_{\text{гр}} \frac{E_{\text{гр}}^2}{2} \right) dV = 0,$$

где первый интеграл суммы – поток вектора плотности мощности гравитационного поля через замкнутую поверхность S , охватывающую объем V ; второй интеграл – мощность источника сторонних токов в объеме V ; третий интеграл – мощность тепловых потерь в объеме V ; последний интеграл – мощность гравитационного поля, сосредоточенная в объеме V .

Сумма мощностей источников сторонних токов, тепловых потерь, поля ускорений и импульсного поля в объеме и потока мощности гравитационного поля, проходящего через поверхность S объема V , равна нулю, что позволяет рассматривать теорему Пойнтинга в качестве уравнений баланса мгновенных мощностей гравитационного поля в пространстве объема V , ограниченном поверхностью S .

Переменные во времени векторы напряженности поля ускорений и импульсного поля удовлетворяют волновым уравнениям, в комплексном виде – уравнению Гельмгольца

$$\nabla^2 \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} + k^2 \dot{\mathbf{E}}_{\text{гр}} = 0; \nabla^2 \dot{\mathbf{H}}_{\text{гр}} + k^2 \dot{\mathbf{H}}_{\text{гр}} = 0,$$

где $k = \omega \sqrt{\mu_{\text{гр}} (\epsilon_{\text{гр}} - j\gamma_{\text{гр}}/\omega)}$ – комплексное волновое число.

Итак, с введением второго векторного поля в гравитации появилась полная аналогия между электрическим полем и полем ускорений, между магнитным и импульсным полями, т. е. аналогия между гравитацией и электромагнетизмом. Гравитационное поле, исходя из данного анализа, подчиняется законам, подобным законам электромагнитного поля, и в эфире распространяется в виде поперечных волн со скоростью света.

Гравитационным полем обладают все тела планеты. В состоянии относительного покоя тело имеет только одно статическое поле ускорений, при его движении вокруг и внутри тела возникает импульсное гравитационное поле; по направлению движения тела начинает распространяться и следовать с ним поток мощности кинетической энергии. Этот поток находится внутри и вне тела. При торможении, в соответствии с законом сохранения энергии, он переходит в тепло.

Сила Лоренца в гравитации – результирующая суммарная сила, действие которой испытывает движущийся гравитационный заряд в гравитационном поле. Траекторию перемещения гравитационного заряда (массой $m = q_{\text{гр}}$) в гравитационном поле, как и в электромагнитном, находят из уравнения движения

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q_{\text{гр}} (\mathbf{E}_{\text{гр}} + [\mathbf{v} \times \mathbf{B}_{\text{гр}}]),$$

связывающего изменение импульса p частицы во времени с силой Лоренца. С учётом равенства $m = q_{\text{гр}}$ уравнение движения частицы не зависит от её массы $\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{E}_{\text{гр}} + [\mathbf{v} \times \mathbf{B}_{\text{гр}}]$,

т. е. все тела вне зависимости от их массы движутся в гравитационном поле одинаковым образом.

Эта особенность гравитационного поля позволила [2] движение тел в нём заменить эквивалентными системами отсчета: равномерно ускоренной при постоянном внешнем гравитационном поле и неравномерно ускоренной при переменном внешнем гравитационном поле.

Вместо понятия гравитации как поля тяготения с введением гравитационных токов проводимости, смещения и конвекции, а также импульсного гравитационного поля фактически появилось новое понятие гравитации, включающее в себя как статическое поле (поле тяготения), так и динамические гравитационные поля. Стало возможным ряд статических и динамических задач механики решать полевыми методами с использованием уравнений Максвелла для гравитационного поля. Покажем это на примере.

Пример. Предположим, что бесконечно длинный цилиндрический стержень радиусом r_0 с объемной плотностью массы $\rho_{гр}$ равномерно движется вдоль оси z со скоростью v (рис. 1).

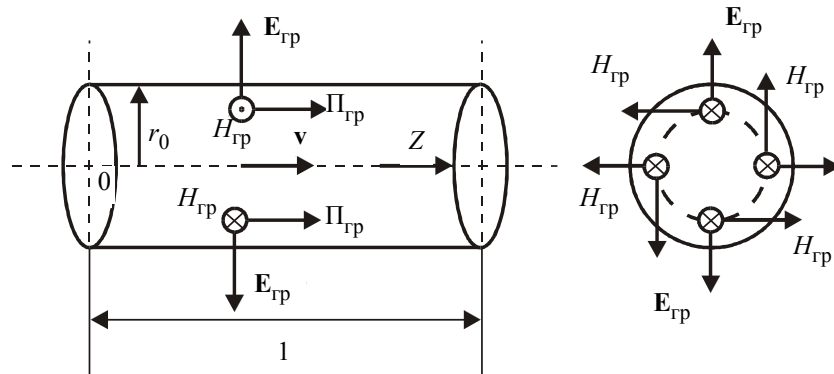


Рис. 1

Из I уравнения Максвелла в цилиндрической системе координат находим при $r \leq r_0$:
 $\text{rot } \mathbf{H}_{гр} = -\rho_{гр} \mathbf{v} = -\rho_{гр} v_z \mathbf{e}_z$, или $\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_{\phi гр}) = -\rho_{гр} v_z$, $H_{\phi гр} = -\frac{1}{2} \rho_{гр} v_z r$.

Следовательно, при продольном движении стержня возникает вихрь импульсного гравитационного поля в плоскости $r\phi$.

Аналогично, из II уравнения Максвелла получаем для напряженности динамического поля ускорений при $r \leq r_0$

$$\text{rot } \mathbf{E}_{гр} = -\mu_{гр} \frac{\partial H_{\phi гр}}{\partial t} \mathbf{e}_{\phi}, \text{ или } \frac{\partial E_{r гр}}{\partial z} = -\mu_{гр} \frac{\partial H_{\phi гр}}{\partial t}, E_{r гр} = -\mu_{гр} v_z H_{\phi гр}.$$

Вектор напряженности поля ускорений $\mathbf{E}_{гр}$ направлен вдоль радиуса стержня, т. е. при движении стержня в нём возникают центробежные ускорения, стремящиеся разорвать его. Поток удельной гравитационной мощности, равный

$$\mathbf{\Pi}_{гр} = -[\mathbf{E}_{гр} \times \mathbf{H}_{гр}] = -E_{r гр} H_{\phi гр} \mathbf{e}_z = \mu_{гр} H_{\phi гр}^2 v_z \mathbf{e}_z,$$

движется внутри вдоль стержня вместе с ним.

Импульсная гравитационная проницаемость стержня, равная обратному значению линейной плотности массы, зависит от радиуса, как $\mu_{гр} = \frac{2\pi}{\tau_{гр}} = \frac{2\pi}{\rho_{гр} \pi r^2} = \frac{2}{\rho_{гр} r^2}$.

Как известно [3], материю следует рассматривать «то как волны, то как корпускулы (тело)». Движущееся тело подобно волнам. Поэтому, используя известное выражение для

определения скорости движения поля (волны) через гравитационные проницаемости поля,

для проницаемости поля ускорений получаем $\epsilon_{\text{гр}} = \frac{1}{\mu_{\text{гр}} v_z^2} = \frac{\rho_{\text{гр}} r^2}{2v_z^2}$.

С учетом найденных зависимостей $\mathbf{E}_{\text{гр}}, \mathbf{H}_{\text{гр}}, \mu_{\text{гр}}$ и $\epsilon_{\text{гр}}$ внутренняя энергия гравитационного поля в стержне длиной l равна

$$W = \int_V \left(\mu_{\text{гр}} \frac{H_{\text{гр}}^2}{2} + \epsilon_{\text{гр}} \frac{E_{\text{гр}}^2}{2} \right) dV = \int_V \mu_{\text{гр}} H_{\text{гр}}^2 dV =$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^{r_0} \mu_{\text{гр}} \rho_{\text{гр}}^2 v_z^2 l \pi r^3 dr = \rho_{\text{гр}} v_z^2 \pi l \int_0^{r_0} r dr = \frac{1}{2} \rho_{\text{гр}} l \pi r_0^2 v_z^2 = \frac{m v_z^2}{2},$$

известному выражению для кинетической энергии тела массой m , движущегося со скоростью v .

Отметим несколько особенностей гравитационного поля:

– импульсная проницаемость тела с однородной удельной объемной массой является

функцией радиуса: $\mu_{\text{гр}} = \frac{2}{\rho_{\text{гр}} r^2}$;

– проницаемость поля ускорений также величина переменная, зависящая от радиуса и

скорости движения тела: $\epsilon_{\text{гр}} = \frac{\rho_{\text{гр}} r^2}{2v_z^2}$;

– удельные энергии импульсного поля и поля ускорений, как и энергии магнитного и

электрического полей плоской электромагнитной волны, равны между собой: $\mu_{\text{гр}} \frac{H_{\text{гр}}^2}{2} =$
 $= \epsilon_{\text{гр}} \frac{E_{\text{гр}}^2}{2}$;

– внутренняя энергия гравитационного поля движущегося тела равна его известной в механике кинетической энергии $W = \frac{m v_z^2}{2}$.

Следовательно, кинетическая энергия движущегося тела представляет собой суммарную внутреннюю энергию поля ускорений и импульсного поля. Кроме внутреннего поля вокруг тела при его движении возникает внешнее гравитационное поле ускорений и импульсов. Так, исходя из граничных условий равенств радиальных составляющих индукции поля ускорений и касательных составляющих векторов напряженности импульсного поля, т. е. $\epsilon_{\text{гр}1} E_{r1\text{гр}} = \epsilon_{\text{гр}2} E_{r2\text{гр}}$ и $H_{\phi1\text{гр}} = H_{\phi2\text{гр}}$ при $r = r_0$, энергия внешнего гравитационного поля мала по сравнению с энергией внутреннего поля. Очевидно, поэтому в механике энергию внешнего гравитационного поля просто не учитывают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров В. В. Единая теория поля. 8-е изд., доп. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1967.
3. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. М.: Изд-во тех.-теор. лит-ры, 1956.

V. V. Fedorov

MAXWELLS EQUATIONS GRAVITATION FIELD

Dedicated to the development of the Unified Field Theory based on Maxwell equations. Differential equations gravitation field, analogies differential Maxwells equations, to determine based principle minimum action.

Gravitation, inert mass, field acceleration, pulse field strength, Maxwells equations gravitation field, gravitation stress

УДК 621.372.8

И. В. Позняк, А. Ю. Печенков, А. Н. Шатунов

УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАСПЛАВА СИСТЕМЫ $UO_2 - ZRO_2 - ZR$

Описывается принцип и техническая реализация метода бесконтактного измерения удельной электропроводности расплава системы $UO_2 - ZrO_2 - Zr$ (кориума) в атмосфере аргона и на воздухе. Определена методическая погрешность измерения удельной электропроводности расплава. Приводятся экспериментальные данные по удельной электропроводности расплавов кориума с различным составом в интервале температур 1870...3000 К.

Электропроводность, расплав кориума, индукционная плавка в холодном тигле, бесконтактное измерение, обратная задача

Повышение безопасности ядерных энергетических установок является приоритетной задачей, решение которой во многом определяет перспективы развития атомной энергетики. В рамках этой общей задачи проводятся интенсивные стендовые исследования тяжелых аварий на АЭС с плавлением активной зоны реактора. В большинстве экспериментальных установок, предназначенных для изучения физико-химических процессов, протекающих с участием расплава активной зоны (кориума), используются методы прямого резистивного или индукционного нагрева расплава. Это позволяет моделировать энерговыделение в расплаве активной зоны от продуктов деления источниками тепла в расплаве кориума, возникающими при протекании электрического тока. Индукционная плавка в холодном тигле (ИПХТ) [1]–[3] имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами получения расплава кориума. В частности, она обеспечивает бесконтактный ввод энергии в расплав, чистоту расплава на уровне чистоты исходных компонентов, отсутствие взаимодействия расплава с материалом тигля, перегрев расплава над температурой ликвидус до 1000 К, возможность работы на воздухе, в защитной или инертной среде.

Вне зависимости от конкретных целей экспериментов обязательной процедурой является получение и удержание заданной температуры в ванне расплава кориума с заданным объемом, что требует правильного выбора частоты и мощности источника питания индукционной печи. Для реализации этой задачи необходимо знать температурную зависимость удельной электропроводности расплава кориума, которая может сильно зависеть от его состава. Кроме того, для интерпретации результатов экспериментов по

исследованию взаимодействия расплава со сталью корпуса реактора, материалами бетонной шахты, ловушки, по изучению выхода продуктов деления из расплава и некоторых других процессов важно определять температурное поле в ванне расплава, которое при ИПХТ является функцией в том числе и удельной электропроводности кориума.

Высокая химическая активность расплава кориума (особенно окисленного), его высокая температура (выше 2100 К), а иногда и сама постановка эксперимента не позволяют использовать контактные методы для измерения температуры в объеме ванны. Единственным выходом остаются пирометрические измерения поверхностной температуры в совокупности с математическим моделированием плавки и верификацией результатов расчета по выбранным интегральным параметрам плавки. Однако точность таких расчетов ограничена отсутствием достоверных данных о температурных зависимостях электрических и теплофизических свойств кориума. Поэтому весьма актуальной задачей является изучение свойств высокотемпературных расплавов и, в частности, их удельной электропроводности.

Для исследования удельной электропроводности кориума использовался бесконтактный метод, основанный на получении и удержании расплава в индукционной печи с холодным тиглем; измерения тепловых потерь в элементах индукционной печи, тока индуктора, напряжения на индукторе и решении обратной задачи электромагнитного поля относительно удельной электропроводности расплава.

Экспериментальная установка. На экспериментальной ячейке (рис. 1) установки “Расплав-2” измеряется ток в индукторе, напряжение на индукторе, частота тока. Путем калориметрирования определяется суммарная мощность электрических потерь в шинах конденсаторной батареи и индукторе, а также мощность электрических и тепловых потерь в секциях тигля, крышке тигля и других водоохлаждаемых элементах системы, показанных на эскизе электромагнитной системы индукционной печи с холодным тиглем (рис. 2).

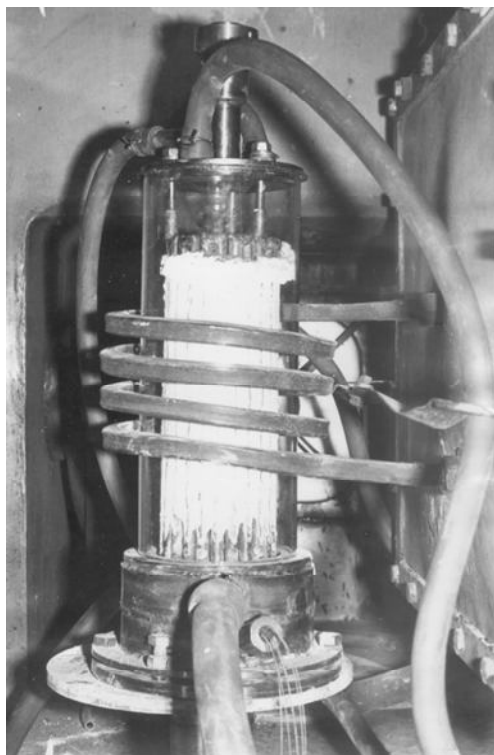


Рис. 1

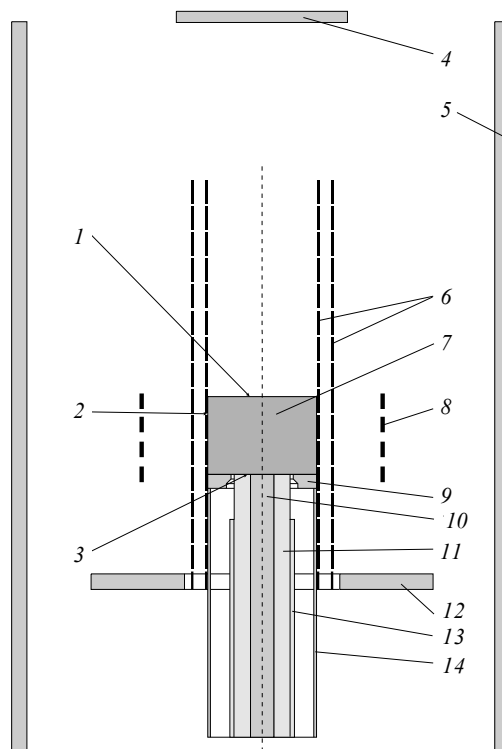


Рис. 2

1 – свободная поверхность расплава кориума; 2, 3 – поверхности кориума, соприкасающиеся с водоохлаждаемыми элементами конструкции; 4 – крышка (сталь 12X18H10T); 5 – стенка бокса (сталь 12X18H10T); 6 – трубки проводящего тигля (медь); 7 – расплав кориума; 8 – витки индуктора (медь); 9 – водоохлаждаемое кольцо (сталь 12X18H10T); 10, 11 – исследуемый образец корпусной стали (сталь 15X2НМФА); 12 – верхняя часть коллектора тигля (сталь 12X18H10T); 13 – калориметры (сталь 12X18H10T); 14 – электромагнитный экран (сталь 12X18H10T).

Постановка обратной задачи. Обратная задача основана на решении системы уравнений электромагнитного поля и условия, обеспечивающем её решение при неизвестном удельном сопротивлении расплава [4]–[6]. Наиболее подходящими параметрами печи стали суммарная мощность индукционной системы и импеданс индуктора. Определение активной мощности в индукционной печи производится калориметрированием. Импеданс индуктора рассчитывается как $|\dot{Z}_{\text{инд}}| = \frac{|\dot{U}_{\text{инд}}|}{|\dot{I}_{\text{инд}}|}$. Поэтому предлагаются две постановки обратной задачи: на основе баланса мощностей и на основе баланса импедансов. Системы уравнений при этом имеют вид:

$$\begin{cases} P_{\text{Э. дно}} + P_{\text{Э. тиг}} + P_{\text{Э. кр}} + P_{\text{Э. загр}} = P_{\text{Т. дно}} + P_{\text{Т. тиг}} + P_{\text{Т. кр}}; \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \dot{A}}{\partial R} + \frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial z^2} - \frac{\dot{A}}{R^2} \right) - j\omega\sigma\dot{A} = \dot{J}_{\Omega_1} + \dot{J}_{\Omega_2}; \\ \dot{J}_{\Omega_2} = -j\omega\sigma\dot{A}; \\ \text{div}(\dot{J}_{\Omega_2}) = 0; \end{array} \right. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} |\dot{Z}_{\text{инд}}| = \frac{|\dot{U}_{\text{инд}}|}{|\dot{I}_{\text{инд}}|}; \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \dot{A}}{\partial R} + \frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial z^2} - \frac{\dot{A}}{R^2} \right) - j\omega\sigma\dot{A} = \dot{J}_{\Omega_1} + \dot{J}_{\Omega_2}; \\ \dot{J}_{\Omega_2} = -j\omega\sigma\dot{A}; \\ \text{div}(\dot{J}_{\Omega_2}) = 0, \end{array} \right. \end{cases} \quad (2)$$

где $P_{\text{Э. дно}}, P_{\text{Э. тиг}}, P_{\text{Э. кр}}, P_{\text{Э. загр}}, P_{\text{Э. инд}}$ – электрические потери в дне разрезного водоохлаждаемого тигля, секциях тигля, крышке тигля, расплаве и индукторе (рис. 3 – электрические и тепловые потери в индукционной системе); $P_{\text{Т. дно}}, P_{\text{Т. тиг}}, P_{\text{Т. кр}}$ – суммарные мощности, отводимые от дна, секций и крышки тигля, включающие собственные электрические потери и тепловые потери от расплава; \dot{J}_{Ω_1} – плотность тока в индукторе; \dot{J}_{Ω_2} – плотность тока в трубке тигля; $|\dot{U}_{\text{инд}}|, |\dot{I}_{\text{инд}}|$ – напряжение и ток индуктора.

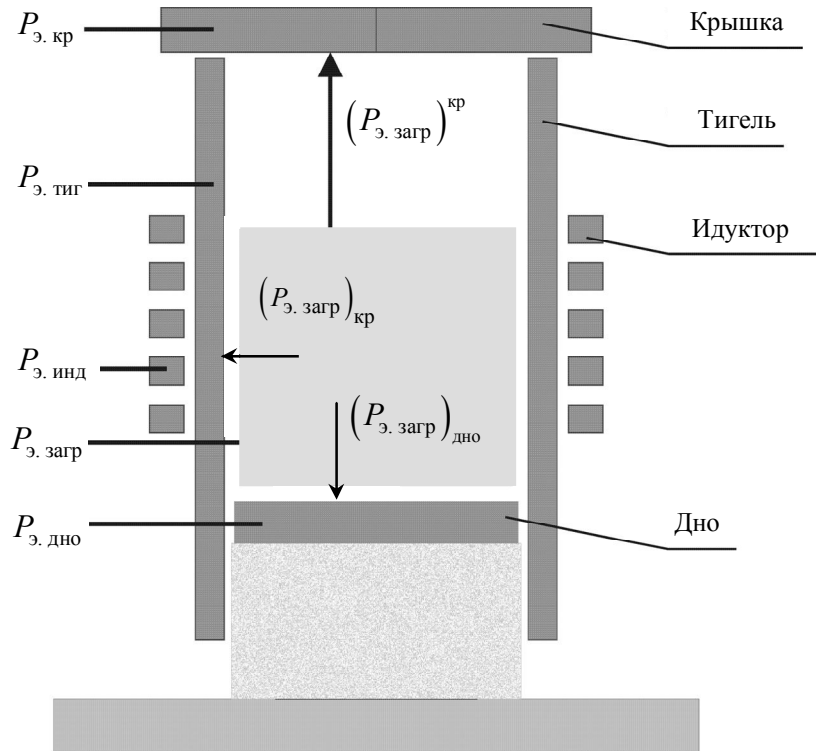


Рис. 3

Решение обратных задач на основе предложенных постановок иллюстрируется на рис. 4. Для обеспечения однозначности решения в постановке на основе баланса мощностей (1)–(2) (т. 1 или 2 на рис. 4) используется дополнительное условие, основанное на измерении и расчёте напряжения на индукторе. В постановке на основе баланса импедансов (6) решение единственное и дополнительных условий не требуется (рис. 5).

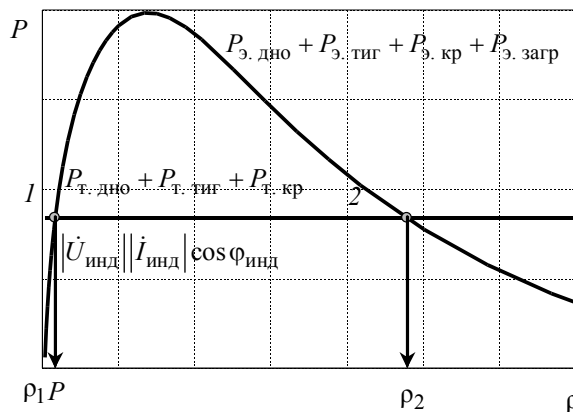


Рис. 4

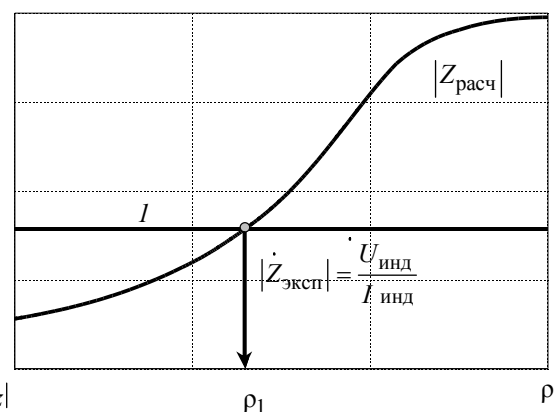


Рис. 5

Погрешность метода. При решении обратных задач связь между изменением входной и выходной величин нелинейно меняется в зависимости от отношения $R_{\text{загр}} / \Delta_{\text{загр}}$ и требуется исследовать чувствительность обратной задачи к отклонению входных данных. Зависимость чувствительности рассматривается как функция связи $\Phi_{0,3}$ между входом и выходом обратной задачи. Погрешность удельного сопротивления как решения обратной задачи $\delta_{0,3}$ связана с погрешностями входных данных следующим образом:

$$\delta_{0.3} = (2\delta_k + \delta_\Gamma)\Phi_{0.3} \text{ или } \delta_{0.3} = (2\delta_{эл} + \delta_\Gamma)\Phi_{0.3},$$

где δ_k – погрешность калориметрирования; δ_Γ – погрешность измерения геометрии ванны расплава; $\delta_{эл}$ – погрешность измерения тока напряжения и коэффициента мощности.

Функция обратной задачи зависит от параметров индукционной системы и погрешности измерения:

$$\Phi_{0.3} = f\left(\left\{\frac{R_{загр}}{\Delta_{загр}}, \frac{H_{загр}}{H_{инд}}\right\}, \delta_\Gamma\right),$$

где $R_{загр}$ – радиус ванны расплава, $\Delta_{загр}$ – глубина проникновения ЭМП в расплав, $H_{загр}$ – глубина ванны расплава, $H_{инд}$ – высота индуктора.

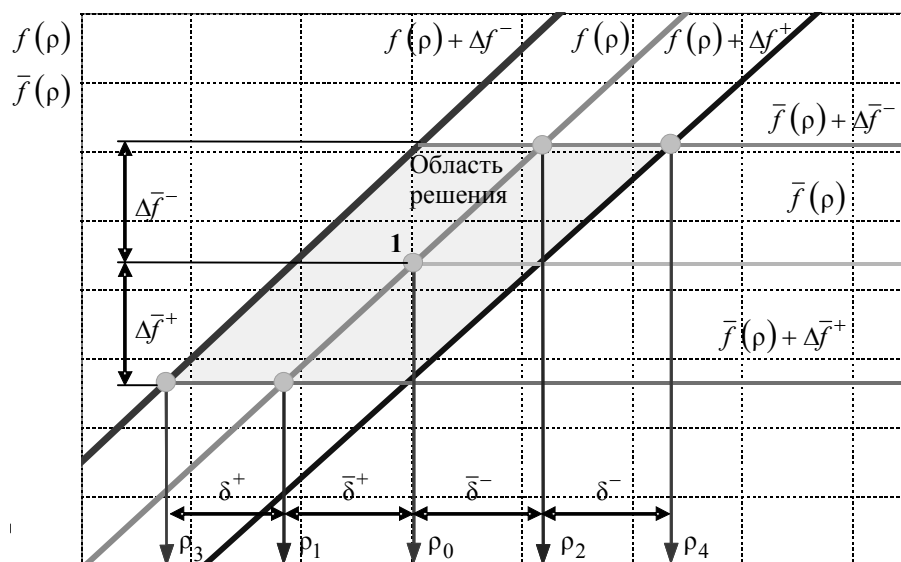
Чтобы определить погрешность решения обратной задачи, проведем качественный анализ связи между отклонением входных данных и отклонением результата. Для этого воспользуемся рис. 6, где укрупненно рассматривается область решения вокруг точки I (рис. 4). При отсутствии погрешностей входных данных решением является точка пересечения расчётной $f(\rho)$ и экспериментальной $\bar{f}(\rho)$ зависимостей (т. I на рис. 6). Область решения образуется из-за наличия погрешностей измерения. Её ширина определяет относительное отклонение решения обратной задачи $\left(\delta_{0.3}^- = \frac{\rho_4}{\rho_0} - 1 \text{ и } \delta_{0.3}^+ = 1 - \frac{\rho_3}{\rho_0}\right)$. Для анализа они разделяются на составляющие ($\bar{\delta}^-(\rho)$ и $\bar{\delta}^+(\rho)$); ($\delta^-(\rho)$ и $\delta^+(\rho)$), вызванные соответственно экспериментальной и расчётной погрешностями, и рассчитываются как

$$\begin{cases} \bar{\delta}^-(\rho) = \frac{\Delta\bar{f}^-}{\rho_0 f'(\rho_0)} \\ \bar{\delta}^+(\rho) = \frac{\Delta\bar{f}^+}{\rho_0 f'(\rho_0)} \end{cases} \text{ и } \begin{cases} \delta^-(\rho) = \frac{\Delta f^+(\rho_2)}{\rho_2 (f^+(\rho_2))'} \\ \delta^+(\rho) = \frac{\Delta f^-(\rho_1)}{\rho_1 (f^-(\rho_1))'} \end{cases}, \quad (3)$$

где $\Delta\bar{f}^- = \bar{f}(\rho_2) - \bar{f}(\rho_0)$, $\Delta\bar{f}^+ = \bar{f}(\rho_1) - \bar{f}(\rho_0)$ – экспериментальная погрешность; $\Delta f^+(\rho_2)$,

$\Delta f^-(\rho_2)$ – расчётная погрешность; $f^+(\rho_2) = f(\rho_2) + \Delta f^+(\rho_2)$, $f^-(\rho_1) = f(\rho_1) + \Delta f^-(\rho_1)$ – значение расчётной функции с учетом расчётной погрешности.

Найденные зависимости являются обобщённым инструментом для анализа погрешности метода определения удельного сопротивления в различных постановках.



Удельное сопротивление
Рис. 6

Рассмотрим функции связи погрешности входных данных и результатов: зависимости функции обратной задачи $\Phi_{0.3}$ от степени выраженности поверхностного эффекта в расплаве для постановок на основе баланса мощностей и импедансов представлены на рис. 7. Оценка методических погрешностей, вносимых аппаратными средствами, проведена для контрольно-измерительного оборудования, которым оснащена экспериментальная платформа «Расплав»*, состоящая из установок «Расплав-2», «Расплав-3» и «Расплав-4» [7], [8]. Величины методических погрешностей, а также неучтенные потери, представлены в табл. 1. Для вычисления погрешностей $\delta_{0.3}$, вызванных указанными погрешностями исходных данных, используются формулы (3). Ход зависимостей $\delta_{0.3} (R_{\text{загр}} / \Delta_{\text{загр}})$ соответствует функции обратной задачи $\Phi_{0.3}$.

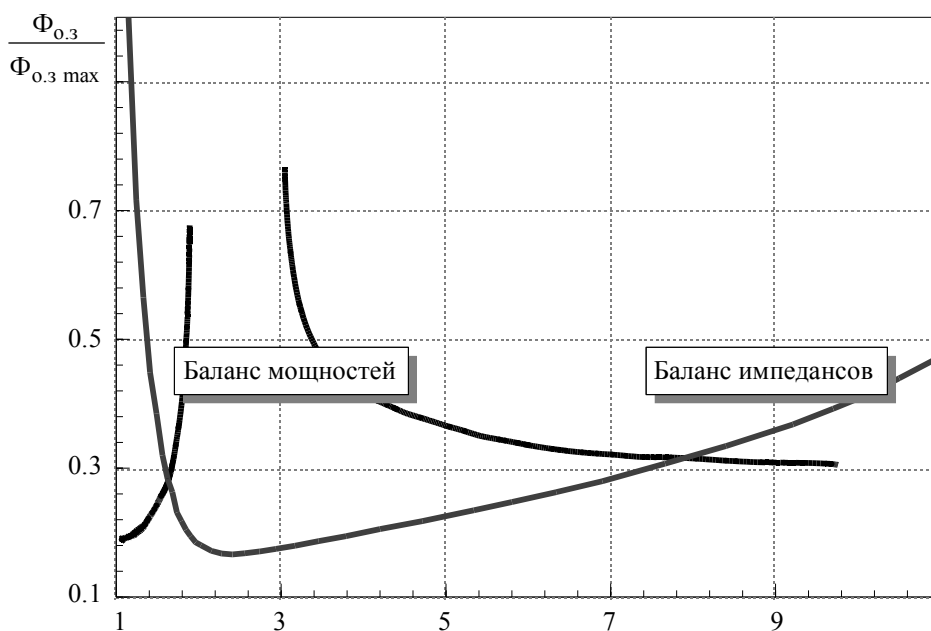


Рис. 7

* Установка «Расплав». Рабочий проект. ВНИПИЭТ, Инв. № 90-09188, Л., 1990.

Зависимость «баланс мощностей» (рис. 7) показывает, что для минимизации погрешности исследование удельного сопротивления следует проводить при $R_{\text{загр}} / \Delta_{\text{загр}} < 1.5$ или $R_{\text{загр}} / \Delta_{\text{загр}} > 7$. На участке с $R_{\text{загр}} / \Delta_{\text{загр}} = 2 \dots 3$, погрешность входных данных приводит к образованию области с отсутствием решения. Для постановки на основе баланса модулей импеданса индуктора (зависимость «баланс импедансов» на рис. 7) отклонение минимально на участке с $R_{\text{загр}} / \Delta_{\text{загр}} = 2 \dots 4$.

Рассмотренные постановки дополняют друг друга, что позволяет минимизировать погрешность решения.

Таблица 1

Составляющая ошибки	Обозн.	Погрешность, %
Расходомеры	–	0.5
Термоэлектрические преобразователи	–	0.3
Аналого-цифровые преобразователи	–	0.1
Неучтённые потери в элементах индукционной системы	–	1.2
Суммарная погрешность калориметрирования	$\delta_{\text{к}}$	2.1
Погрешность измерения напряжения	–	1.5
Погрешность измерения тока	–	1.5
Суммарная погрешность измерения импеданса	$\delta_{\text{имп}}$	2.1
Погрешность измерения высоты расплава	$\delta_{\text{геом}}$	2.5
Погрешность решения обратной задачи	$\delta_{\text{о.з}}$	$\pm(10 \div 35)$
Погрешность численной математической модели ЭМП	$\delta_{\text{мат}}$	$\pm(5 \div 10)$
Суммарная погрешность метода	$\delta_{\text{сум}}$	$\pm(15 \div 45)$

Для определения полной погрешности метода к найденной погрешности $\delta_{\text{о.з}}$ прибавляется погрешность численной математической модели ЭМП $\delta_{\text{мат}}$:

$$\delta_{\text{сум}} = \delta_{\text{о.з}} + \delta_{\text{мат}}.$$

Результаты. Для определения удельной проводимости расплава кориума различного состава на платформе «Расплав» была проведена серия плавки в различных индукционных системах. Каждая плавка сопровождалась следующими экспериментальными и расчетными операциями:

1. Формирование ванны расплава кориума.
2. Измерение тепловых и электрических параметров плавки.
3. Определение геометрии индукционной системы.
4. Решение обратной задачи электромагнитного поля относительно удельной электропроводности расплава кориума.

Результаты решения обратной задачи электромагнитного поля, полученные на основе экспериментальных данных по плавкам кориума различного состава, приведены в табл. 2. На рис. 8 нанесен логарифм удельной электропроводности расплава кориума, что графически иллюстрирует полученные результаты. Для сравнения на этом же рисунке приведены данные, опубликованные в [9]. Отметим, что значения удельной электропроводности, полученные данным методом, представляют собой усредненные значения для объема ванны расплава и относятся к температуре поверхности расплава T_p .

Высокое значение $\delta_{\text{сум}}$ для эксперимента № 4 в сравнении с остальными экспериментами объясняется тем, что соотношение $R_{\text{загр}}/\Delta_{\text{загр}}$ данной индукционной системы попало в зону с максимальными погрешностями решения обратной задачи, см. рис. 7.

Таблица 2

Степень окисленности кориума, %	T_p, K	Среда	$\sigma, (\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$	$\frac{R_{\text{загр}}}{\Delta_{\text{загр}}}$	$\delta_{\text{сум}}, \pm\%$
32	2673	Аргон	1123.6	8.26	22.47
	2673		1562.5	9.44	21.95
	2673		1123.6	8.40	22.25
70	1873 (корка)	Аргон	113.6	2.48	51.24
100	2733 (корка)	Воздух	33.33	1.60	25.82
	2963		41.67	1.52	17.30
	2983		43.48	1.51	17.10
	3003		37.04	1.44	16.53
	2993		43.48	1.51	17.10
	2621 (корка)	Пар	33.33	5.23	25.82
	2420 (корка)		31.25	4.95	27.16

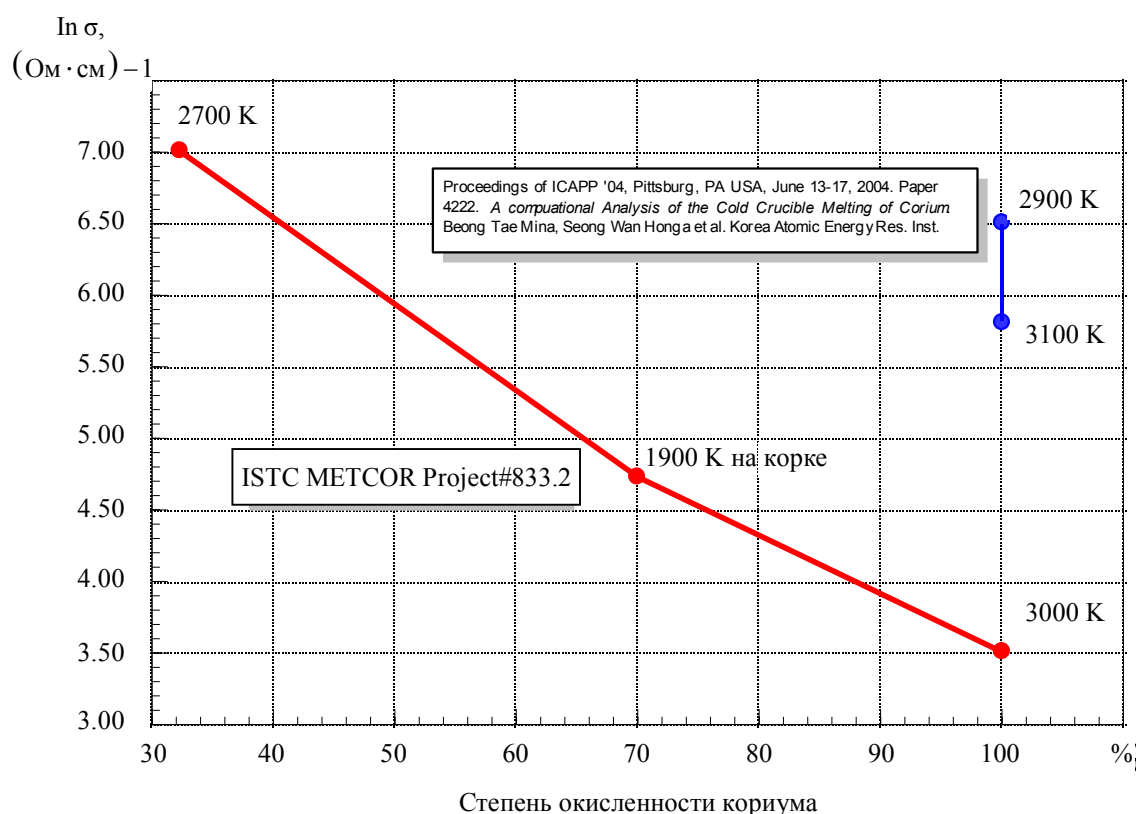


Рис. 8

В заключение можно сказать следующее. С использованием бесконтактного метода определения электропроводности расплавов, основанного на индукционной плавке в холодном тигле и решении обратной задачи электромагнитного поля, получены данные по удельной электропроводности расплава кориума. Точность полученных значений в диапазоне

температур 1900...3000 К лежит в пределах 16...26 %, что соответствует погрешностям большинства известных методов определения удельной электропроводности для существенно меньших температур расплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

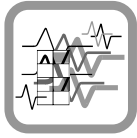
1. Петров Ю. Б., Ратников Д. Г. Холодные тигли. М.: Metallurgy, 1972.
2. Петров Ю. Б. Индукционная плавка окислов. М.: Metallurgy, 1983.
3. Петров Ю. Б., Канаев И. А. Индукционные печи для плавки оксидов Л.: Политехника, 1991.
4. Pozniak I., Pechenkov A., Shatunov A. Electrical conductivity measurement of oxides melts // Proc. of the 4th Int. Colloq. "Modelling for material processing" / Riga, Latvia, June 2006. P. 155–160.
5. Pozniak I. V., Pechenkov A. Yu., Shatunov A. N. Induction Furnace with Cold Crucible as a Tool for Investigation of High Temperature Melts // 9th Korean-Russian Intern. symposium on Science & Technology: KORUS 2005, June 26 ~ July 2, 2005. Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.
6. Inverse techniques for analyzing and control of cold crucible induction melting / I. V. Pozniak, A. Yu. Pechenkov, A. N. Shatunov, Yu. I. Blinov // Proc. of the Int. Colloq. Actual problems of the induction heating (theory&applications) АПИИ-05. St. Petersburg, 24–26 May, 2005.
7. Water boiling on the corium melt surface under VVER severe accident conditions / S. V. Bechta, S. A. Vitol, E. V. Krushinov et al. // Nuclear Engineering and Design. 2000. № 195. P. 45–56.
8. Experimental Study of Interactions Between Suboxidized Corium and Reactor Vessel Steel / S. V. Bechta, V. B. Khabensky, V. S. Granovsky et al. // Proc. of ICAPP '06, Reno, NV USA, June 4–8, 2006. Paper 6054.
9. A computational Analysis of the Cold Crucible Melting of Corium / Beong Tae Mina, Seong Wan Honga et al. // Proc. of ICAPP '04, Pittsburgh, PA USA, June 13–17, 2004. Paper 4222. Korea Atomic Energy Res. Inst.

V. Poznyak, A. Y. Pechenkov, A. N. Shatunov

ELECTRIC CONDUCTIVITY OF HIGH TEMPERATURE $UO_2 - ZRO_2 - ZR$ MELT

The principle and technical realization of contactless method for electric conductivity measurements in corium melts is described. The method is based on measurement of thermal and electric parameters of induction melting in cold crucible and on an inverse electromagnetic problem solution. Analysis of the method accuracy with reference to input data errors is presented. The conductivity of corium melts for temperatures up to 3003 K is also considered.

Electric conductivity, induction skull melting, inverse electromagnetic problem, corium melt, cold crucible



УДК 681.883.67.001.24

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СИГНАЛА, ИЗЛУЧАЕМОГО В ВОДУ ТОНКОСТЕННЫМ ПЬЕЗОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С ВНУТРЕННИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ

Рассмотрен тонкостенный пьезоцилиндр с внутренним жидкостным заполнением, нагруженный на воду. Излучатель возбуждается электрическим сигналом в виде полупериода синусоиды на частоте радиального резонанса цилиндра. Расчетным путем исследован импульсный режим работы данного излучателя. Для различных материалов заполнения получены оценки амплитуд и длительностей излучаемых сигналов.

Акустический импульс, пьезокерамический цилиндр, материал заполнения

В настоящее время импульсные режимы работы пьезопреобразователей используются достаточно широко. Вместе с тем следует отметить, что в научно-технической литературе довольно скудно представлены данные, касающиеся конкретных оценок длительностей и амплитуд сигналов, а также их зависимостей от различных конструктивных параметров преобразователей. Стремление же разработчиков к совершенствованию аппаратуры приема-излучения акустических сигналов свидетельствует об актуальности проведения данных исследований и в наши дни. Действительно, применение нестационарных режимов работы, т. е. использование весьма коротких (длиной всего лишь несколько полупериодов колебаний) сигналов, позволяет при ультразвуковом контроле уменьшать мертвую зону и улучшать разрешающую способность дефектоскопов, а в гидроакустике – добиваться повышения точности определения координат объектов и повышения разрешающей способности гидроакустических станций.

В некоторых предшествующих работах авторов, например в [1], рассматривались задачи, связанные с исследованием влияния корректирующих электрических цепей на длительность и амплитуду излучаемых сигналов в применении к задачам неразрушающего ультразвукового контроля. Вопросы, актуальные для целей гидроакустики, были рассмотрены в [2], [3], где исследовалась форма акустических сигналов, излучаемых

воздухозаполненным пьезоцилиндром [2], с корректирующей RL -цепью на электрическом входе, а также цилиндром без корректирующей электрической цепи, но заполненным различными жидкостями с целью повышения механической прочности излучателя при повышенном гидростатическом давлении [3].

Продолжение исследований, описанных в [2], [3], может представлять интерес с точки зрения исследования возможности получения минимальной длительности излучаемого сигнала при использовании корректирующей RL -цепи, подключаемой к электрическому входу излучателя в виде тонкостенного пьезокерамического цилиндра с заполнением различными жидкостями.

Графически постановка задачи (рис. 1) совпадает с представленной в работе [2], однако существенное отличие от нее состоит в том, что здесь рассматривается цилиндр, внутренняя полость которого заполнена жидкостью.

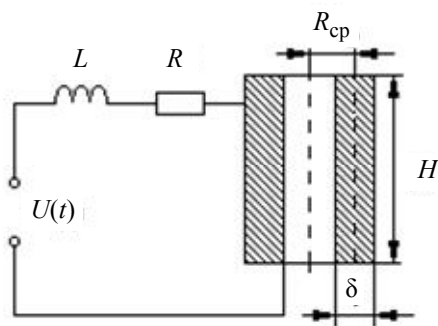


Рис. 1

Будем считать рассматриваемый излучатель тонкостенным цилиндром, активный материал – пьезокерамикой ЦТСНВ-1. Возбуждающий импульс электрического напряжения обозначим $U(t)$. Акустической нагрузкой выберем воду. В принятых обозначениях R_{cp} и H являются средним радиусом и высотой цилиндра соответственно, а δ – толщиной стенки. Введем параметр $\alpha = \delta/R_{cp}$, с помощью которого можно характеризовать относительную толщину стенки излучателя.

В настоящей статье, как и в [3], примем модель “бесконечно длинного” цилиндра. Практически для этого достаточно, чтобы выполнялось условие $H/2R_{cp} > 3$. Обозначим величины, относящиеся к внутреннему заполнению, индексом 1, а величины, относящиеся к внешней среде, – индексом 2. На основании формул, приведенных в [4], и используя зависимость от времени $e^{j\omega t}$, для удельного импеданса излучения $z_S^{(1)}$ внутрь цилиндра можно написать выражение

$$z_S^{(1)} = -j\rho_1 c_1 J_0(k_1 R_{cp}) / J_1(k_1 R_{cp}),$$

а для удельного импеданса излучения $z_S^{(2)}$ во внешнюю среду – выражение

$$z_S^{(2)} = j\rho_2 c_2 H_0^{(2)}(k_2 R_{cp}) / H_1^{(2)}(k_2 R_{cp}).$$

Здесь $J_0(k_1 R_{cp})$ и $J_1(k_1 R_{cp})$ – функции Бесселя нулевого и первого порядков от волнового аргумента $(k_1 R_{cp})$, а $H_0^{(2)}(k_2 R_{cp})$ и $H_1^{(2)}(k_2 R_{cp})$ – функции Ганкеля второго рода, нулевого и первого порядков от волнового аргумента $(k_2 R_{cp})$.

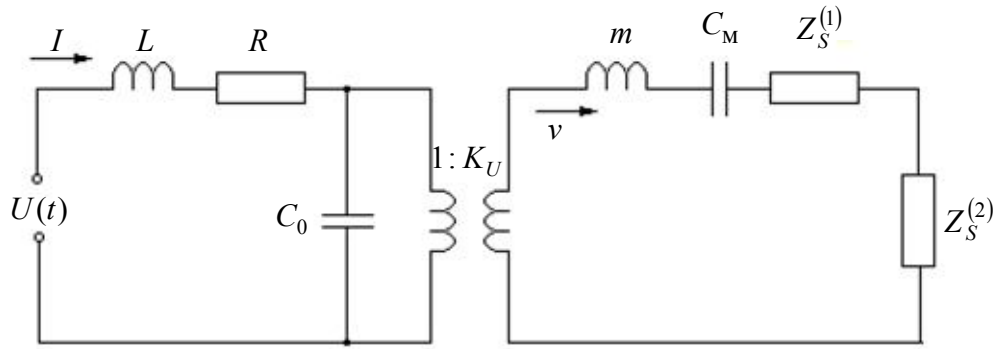


Рис. 2

Для тонкостенного цилиндра ($\alpha \ll 1$) можно построить электрическую схему-аналог с сосредоточенными параметрами, хорошо известную в литературе. Эквивалентная схема преобразователя представлена на рис. 2. В механический контур этой схемы последовательно друг с другом и с элементами механического импеданса преобразователя включены импедансы излучения $Z_S^{(1)}$ и $Z_S^{(2)}$.

Параметры схемы-аналога:

- масса пьезокерамики $m = \rho_k S_{\text{бок}} \delta$, где ρ_k – плотность пьезокерамики; $S_{\text{бок}}$ – площадь боковой поверхности цилиндра;

- механическая гибкость преобразователя при радиальных колебаниях $C_M = \frac{s_{11}^E R_{\text{ср}}}{2\pi H \delta}$, где s_{11}^E – элемент матрицы гибкостей пьезокерамики при постоянной напряженности E электрического поля;

- электрическая емкость C_0 механически заторможенного преобразователя $C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{33}^{u_1} S_{\text{бок}}}{R_{\text{ср}} \alpha}$, где ϵ_0 – электрическая постоянная; $\epsilon_{33}^{u_1} = \epsilon_{33}^{\sigma} (1 - k_{31}^2)$; ϵ_{33}^{σ} – диэлектрическая проницаемость пьезокерамики при постоянном упругом напряжении; k_{31} – коэффициент электромеханической связи пьезоматериала;

- коэффициент электромеханической трансформации при радиальной поляризации $K_U = \left(\frac{2\pi d_{31}}{s_{11}^E} \right) H$, где d_{31} – пьезомодуль;

- резонансная частота радиальных колебаний преобразователя, определяемая выражением $\omega_0 = \frac{c_{1к}}{R_{\text{ср}}}$, где $c_{1к} = \frac{1}{\sqrt{\rho_k s_{11}^E}}$.

Для решения задачи в общем виде введем безразмерную (относительную) частоту $\gamma = \omega / \omega_0$. Обозначим через b_1 и b_2 отношения скоростей звуковых волн: $b_1 = c_{1к} / c_{\text{зап}}$, $b_2 = c_{1к} / c_{\text{в}}$, где $c_{\text{в}}$ и $c_{\text{зап}}$ – скорость звука в воде и в материале заполнения соответственно. С учетом введенных обозначений можно записать волновые аргументы следующим образом:

$$k_k R_{\text{ср}} = \gamma; \quad k_1 R_{\text{ср}} = \gamma b_1; \quad k_2 R_{\text{ср}} = \gamma b_2,$$

где k_k – волновое число для пьезокерамики.

В новых переменных выражения для импедансов излучения примут вид:

$$Z_S^{(1)}(\gamma) = z_K S_{\text{бок}} \left(-j \frac{z_{\text{зап}}}{z_K} \frac{J_0(b_1 \gamma)}{J_1(b_1 \gamma)} \right);$$

$$Z_S^{(2)}(\gamma) = z_K S_{\text{бок}} \left(j \frac{z_B}{z_K} \frac{H_0^{(2)}(b_2 \gamma)}{H_1^{(2)}(b_2 \gamma)} \right),$$

где z_K , $z_{\text{зап}}$ и z_B – удельные акустические сопротивления пьезокерамики, материала заполнения и воды соответственно.

Суммарный импеданс излучения $Z_S(\gamma) = Z_S^{(1)}(\gamma) + Z_S^{(2)}(\gamma)$. Механический импеданс пьезокерамического цилиндра $Z_{\text{цил}}(\gamma) = jz_K S \alpha \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right)$.

Полное механическое сопротивление цилиндра с учетом сопротивлений излучения

$$Z_M(\gamma) = Z_{\text{цил}}(\gamma) + Z_S(\gamma).$$

Рассмотрим теперь электрическую сторону схемы-аналога. Индуктивность L может быть охарактеризована резонансной частотой $\omega_{\text{эл}}$ контура, который образован элементом L и собственной емкостью C_0 излучателя:

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

Сопротивление R можно охарактеризовать параметром Q , имеющим смысл добротности:

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

Введем параметр $n = \omega_{\text{эл}}/\omega_0$, характеризующий настройку электрического контура.

Для импедансов электрической корректирующей цепи можно получить выражения:

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

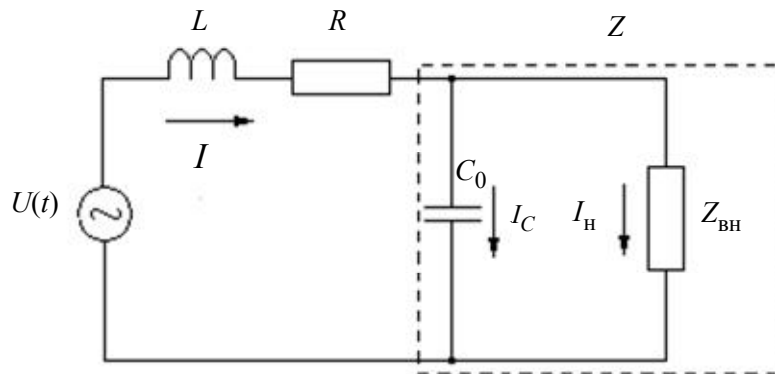


Рис. 3

Далее схему-аналог, представленную на рис. 2, приведем к электрической стороне, как это показано на рис. 3. При этом механический импеданс “вносится” в электрическую сторону по формуле: $Z_{\text{вн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{K_U^2}$. Обозначим через Z параллельное соединение емкости C_0 и внесенного импеданса $Z_{\text{вн}}$. Тогда получим

$$Z = \frac{Z_{\text{вн}}}{1 + j\omega C_0 Z_{\text{вн}}}.$$

Входной электрический импеданс пьезопреобразователя с корректирующей электрической цепью

$$Z_{\text{вх}} = R + j\omega L + Z = \frac{1}{\omega_0 C_0} \left(\frac{1}{nQ} + j \frac{\gamma}{n^2} + \frac{\omega_0 C_0 Z_{\text{вн}}}{1 + j\omega C_0 Z_{\text{вн}}} \right).$$

Полный ток, протекающий через преобразователь:

$$I = \frac{U}{Z_{\text{вх}}} = \frac{U \omega_0 C_0}{\frac{1}{nQ} + j \frac{\gamma}{n^2} + \frac{Z_{\text{вн}} \omega_0 C_0}{1 + j\omega C_0 Z_{\text{вн}}}}.$$

Ток I состоит из суммы токов: I_C – тока, текущего через емкость C_0 , и тока $I_{\text{н}}$, протекающего через импеданс $Z_{\text{вн}}$, обусловленного механической стороной преобразователя. Нужно определить ток $I_{\text{н}}$. Для этого используем коэффициент передачи

$$K = \frac{I_{\text{н}}}{I} = \frac{Z_C}{Z_C + Z_{\text{вн}}},$$

где Z_C – сопротивление емкости C_0 .

Для дальнейшего используем также следующий результат:

$$\frac{K_U^2}{\omega_0 C_0} = k_{31}^2 \alpha Z_{\text{к}},$$

где $Z_{\text{к}} = z_{\text{к}} S_{\text{бок}}$.

Используя приведенные ранее выражения для I , K и записывая в развернутом виде Z_C и $Z_{\text{вн}}$, получим

$$I_{\text{н}} = U \frac{K_U^2}{A(\gamma) k_{31}^2 \alpha Z_{\text{к}} + B(\gamma) Z_{\text{м}}},$$

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

Теперь можно найти колебательную скорость на поверхности цилиндра:

$$v = \frac{I_{\text{н}}}{K_U} = \left(\frac{U K_U}{Z_{\text{к}}} \right) \frac{1}{A(\gamma) \alpha k_{31}^2 + B(\gamma) z'_{\text{м}}},$$

где $z'_M = \frac{Z_M}{Z_K}$.

Для расчета формы импульса используем обратное преобразование Фурье. Кроме безразмерной частоты γ введем также безразмерное время $T = \frac{t}{(T_0/2)}$, где t – обычное время, а T_0 – период колебаний преобразователя на собственной частоте ω_0 . Тогда, с точностью до постоянного множителя, можно получить выражение зависимости колебательной скорости от времени:

$$v(T) = \operatorname{Re} \int_0^{\infty} U(\gamma) v(\gamma) e^{j\gamma\pi T} d\gamma,$$

где $U(\gamma)$ – спектральная плотность возбуждающего электрического импульса.

В данной статье рассматривается импульс электрического напряжения в виде полупериода синусоиды на частоте ω_0 :

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

Выполняя прямое преобразование Фурье для $U(t)$ и переходя к безразмерным переменным, получаем спектральную плотность

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

При $\gamma = 1$, т. е. на частоте резонанса ω_0 , для модуля $U(\gamma)$ получаем неопределенность вида $\frac{0}{0}$, после раскрытия которой находим $\left|U(\gamma)\right|_{\gamma=1} = \frac{\pi}{4}$.

Перейдем к рассмотрению результатов расчета. При проведении исследования в качестве материалов заполнения использовались пентан, вода, глицерин и бензин. Физические параметры, характеризующие названные вещества, представлены в [3]. Для каждого из названных материалов заполнения при различных значениях параметра α методом последовательного перебора определялись пары значений n и Q , соответствующие минимальным длительностям излучаемых цилиндром импульсов колебательной скорости. В дальнейшем эти значения n и Q принимались в качестве оптимальных. На рис. 4 представлен вид излучаемых водозаполненным цилиндром сигналов. По осям абсцисс отложено безразмерное время T , а по осям ординат – нормированные значения колебательной скорости в импульсе v/v_{\max} . При этом рис. 4, *a* и *в* соответствуют случаю отсутствия корректирующей цепи, а рис. 4, *б* и *г* – случаю применения цепей с оптимально подобранными параметрами n и Q . Значение параметра $\alpha = 0,01$ относится к рис. 4, *a* и *б*, а $\alpha = 0,2$ соответствует случаям, представленным на рис. 4, *в* и *г*. Оптимальные значения параметров n и Q составили: для случая, соответствующего рис. 4, *б* – $n = 1,5$ и $Q = 1,1$, а для случая, представленного на рис. 4, *г* – $n = 1$ и $Q = 2,2$. Из представленных графиков видно, что при малых значениях относительной толщины стенки излучателя (рис. 4, *a* и *б*) корректирующая цепь практически не уменьшает

длительность импульса. Действительно, длительности импульсов на рис. 4, *а* и *б* очень близки и составляют примерно $\tau_{и} = 2,5 \dots 3$ полупериода колебаний на собственной частоте преобразователя. Однако применение корректирующей цепи позволяет улучшить форму импульса, придать ей “правильную” форму (рис. 4, *б*). Для больших значений параметра α эффект от применения корректирующей цепи для водозаполненного излучателя весьма заметен. Это хорошо видно из сравнения двух импульсов, представленных на рис. 4, *в* и *г*. Длительность импульса удается уменьшить от $\tau_{и} = 10$ до $\tau_{и} = 6$, т. е. на 4 полупериода. При этом значительно улучшается заключительная (“хвостовая”) часть импульса, уменьшаются искажения, импульс принимает “правильную” форму.

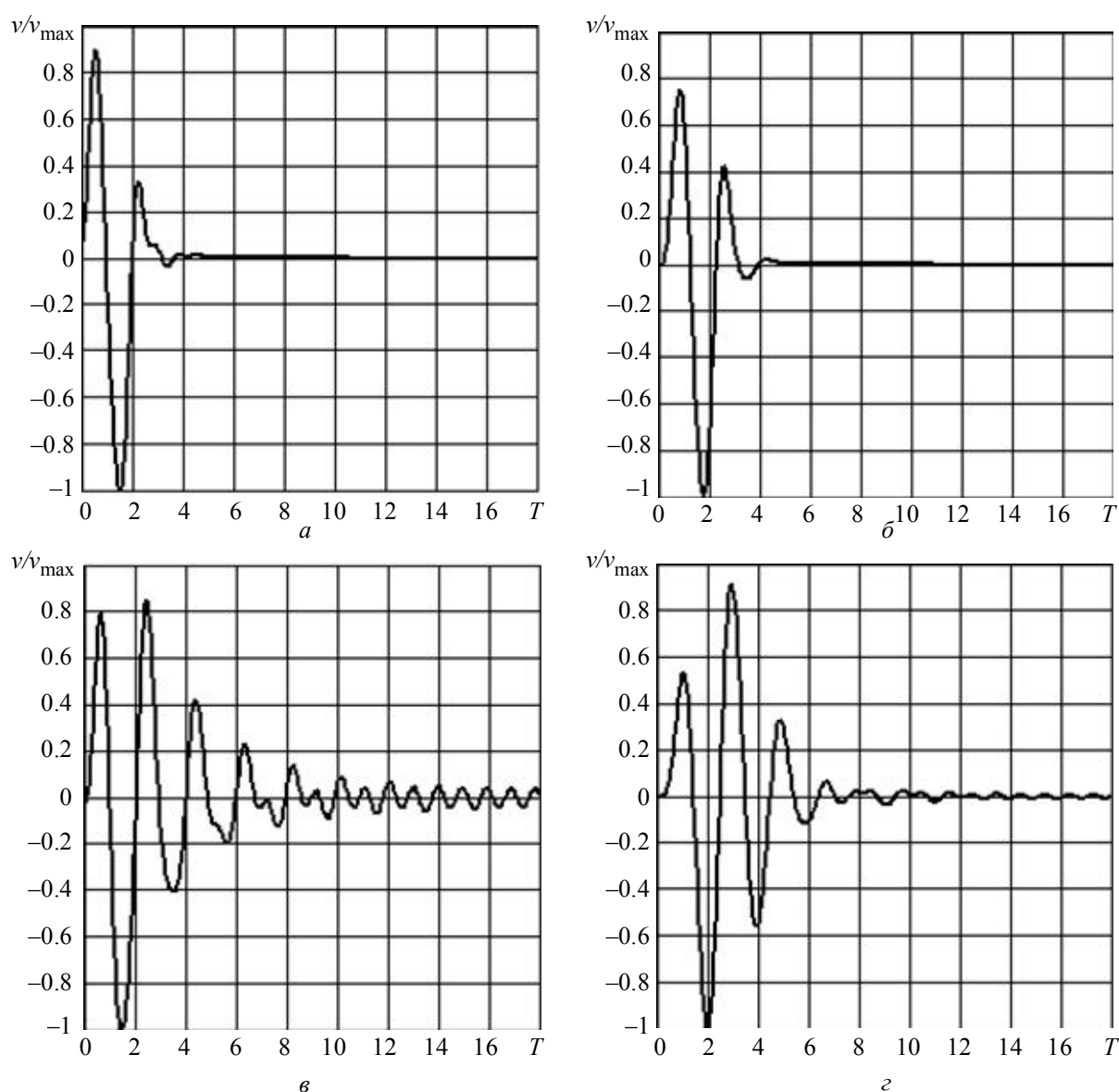


Рис. 4

В табл. 1 представлены результаты расчета длительностей сигналов, излучаемых пьезоцилиндром с различными материалами, используемыми в качестве заполнения. Результаты приведены в зависимости от относительной толщины стенки излучателя (от параметра α).

Таблица 1

Материал заполнения		Длительность излучаемых акустических импульсов $\tau_{и}$					
		Значения параметра α					
		0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
Вода	Без цепи	2,5	3,6	4	6	7,5	10
	С цепью	3	3,8	3,8	4,3	5	6
Глицерин	Без цепи	2,8	3,4	3,7	4,6	5,8	7,25
	С цепью	3	3	3,1	4,4	5,5	6,2
Бензин	Без цепи	3,9	4,4	5	8,1	9	12,1
	С цепью	3,5	3,5	4,6	4	6	7,3
Пентан	Без цепи	7,7	7,8	8,4	8,8	10,8	11,5
	С цепью	6,8	5,2	5,8	8,8	10,8	11,7

Представленные результаты показывают, что с увеличением относительной толщины стенки (параметра α) для трех из рассмотренных материалов заполнения (вода, глицерин, бензин) наблюдается заметно выраженный эффект от применения корректирующих цепей с оптимально подобранными параметрами. Действительно, для $\alpha = 0,05$ длительности импульсов при отсутствии электрической нагрузки составляют: в случае водного заполнения – 4 полупериода, для глицеринового заполнения – 3,7 полупериода, а для заполнения бензином – 5. Применение корректирующих цепей позволяет снизить их до значений 3,8; 3,1 и 4,6 полупериода для воды, глицерина и бензина соответственно. При относительной толщине стенки $\alpha = 0,2$ снижение длительности сигнала выражено значительно ярче: для воды – 10 полупериодов (без цепи) и 6 полупериодов с правильно подобранной электрической нагрузкой; для глицерина – 7,25 и 6,2, а для бензина – 12,1 и 7,3 полупериода соответственно. Несколько иная картина наблюдается при использовании в качестве материала заполнения пентана. Здесь эффект снижения длительности сигнала выражен для малых значений параметра α . Так, при $\alpha = 0,01$ длительность излучаемого акустического импульса составляет при отсутствии электрической коррекции 7,7 полупериода, а при наличии RL -цепи – 6,8 полупериода. Для $\alpha = 0,05$ длительности сигнала составляют 8,4 и 5,8 полупериода соответственно. При дальнейшем увеличении α положительный эффект от применения электрических корректирующих нагрузок выявлен не был. Вместе с тем стоит отметить, что применение электрической коррекции в данном случае, хотя и не снижает длительности импульса, но способствует улучшению его формы, делая сигнал более “регулярным”. Иллюстрацией данного положения может служить рис. 5, на котором представлены импульсы, излучаемые пьезоцилиндром, заполненным пентаном. При этом рис. 5, а соответствует случаю отсутствия электрической цепи, а рис. 5, б – применению RL -цепи с оптимальными параметрами ($n = 0,5$ и $Q = 1,3$). Оба представленных сигнала относятся к варианту, при котором $\alpha = 0,15$. Можно видеть, что длительности обоих сигналов равны и составляют $\tau_{и} = 10,8$ полупериода, т. е. применение цепи не позволило уменьшить длительность сигнала. Вместе с тем можно утверждать, что форма сигнала при использовании электрической нагрузки стала существенно более “правильной”.

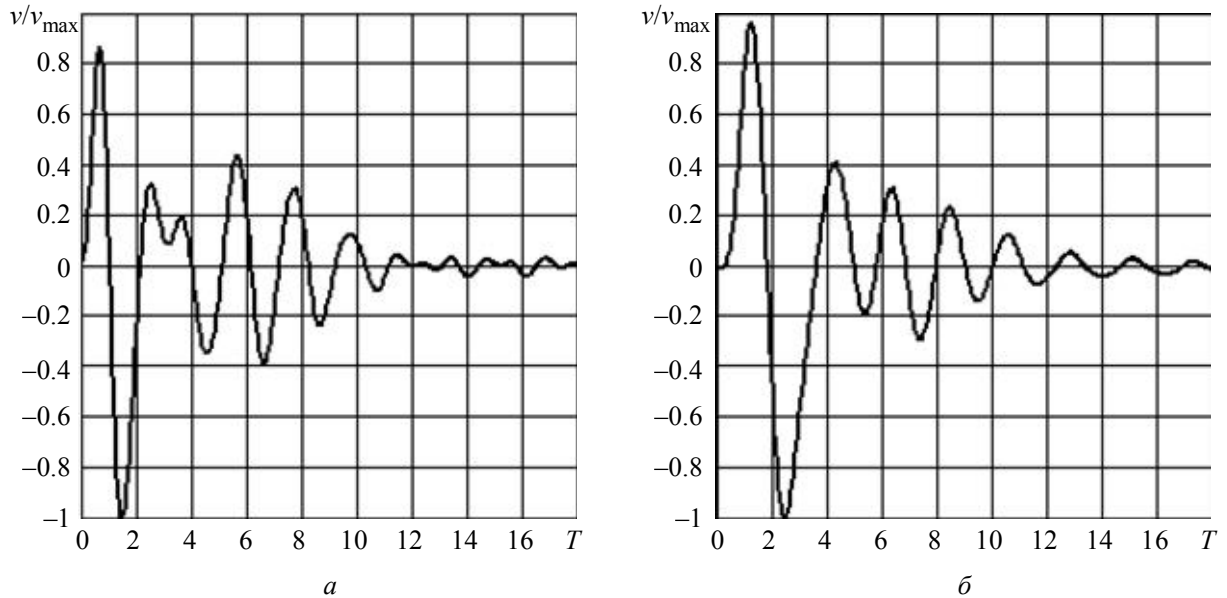


Рис. 5

Характеризуя параметры излучаемых акустических импульсов, нельзя не сказать об их амплитудах. В табл. 2 в условных единицах (у. е.), что объясняется решением задачи с точностью до постоянного множителя, представлены максимальные значения амплитуд излучаемых сигналов.

Таблица 2

Материал заполнения		Амплитуды излучаемых акустических импульсов, у. е.					
		Значения параметра α					
		0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
Вода	Без цепи	0,11	0,31	0,47	0,79	1,0	1,21
	С цепью	0,14	0,37	0,39	0,63	0,95	1,69
Глицерин	Без цепи	0,1	0,3	0,47	0,82	1,1	1,3
	С цепью	0,07	0,21	0,3	0,54	0,53	0,9
Бензин	Без цепи	0,13	0,34	0,5	0,76	1	1,2
	С цепью	0,14	0,33	0,35	0,56	0,32	0,44
Пентан	Без цепи	0,17	0,43	0,6	0,86	1,14	1,35
	С цепью	0,12	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51

Из представленных данных видно, что для различных материалов заполнения излучателя амплитуды акустических сигналов при использовании электрической коррекции могут различаться довольно значительно. Так, например, при $\alpha = 0,01$ максимальная амплитуда составляет 0,14 у. е. (для заполнения водой или бензином), а минимальная – 0,07 у. е. (при использовании в качестве заполнителя глицерина). В области значений α , находящихся в диапазоне от 0,03 до 0,10, разброс амплитуд несколько снижается, но уже при $\alpha = 0,15$ он становится значительным.

В заключение в табл. 3 приведем оптимальные значения параметров n и Q , при которых были получены минимальные длительности излучаемых сигналов.

Используя приведенные табличные значения параметров n и Q в качестве справочного материала, можно определять форму излучаемого импульса.

Материал	Оптимизируемые параметры	Значение параметра α					
		0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
Вода	n	1,5	1,5	0,8	0,8	0,95	1
	Q	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2
Глицерин	n	0,9	0,9	0,85	0,85	0,7	0,85
	Q	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Бензин	n	1,2	1,2	0,6	0,65	0,45	0,5
	Q	1,35	1,1	1,25	1,2	1	1
Пентан	n	0,7	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5
	Q	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Таким образом, на основании расчетно-теоретического исследования изучен импульсный режим работы преобразователя в виде пьезоцилиндра с внутренним заполнением при нагрузке на водную среду. Определены конкретные значения параметров электрической нагрузки, при которых возможно получение наиболее короткого акустического импульса, и получены оценки амплитуд и длительностей излучаемых сигналов при различной относительной толщине стенки излучателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Сокращение длительности импульса пьезоизлучателя при различных вариантах включения компенсирующих RL -цепей // Дефектоскопия. 2008. № 5. С. 79–87.
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. Импульсный режим работы тонкостенного пьезоцилиндра с внутренним заполнением // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 4. С. 40–46.
4. Шендеров Е. Л. Волновые задачи акустики. Л.: Судостроение, 1972.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko

EFFECT OF ELECTRIC CIRCUIT ON DURATION OF A SIGNAL RADIATED INTO WATER BY A THIN-WALLED PIEZOCERAMIC CYLINDER FILLED WITH A LIQUID MATERIAL

A thin-walled cylinder made of piezoceramics, filled with a liquid material inside and loaded on water outside, is considered. The transducer is excited by electric voltage in the form of one-half period of sinusoid at the frequency of radial resonance. Pulsed mode of operation of the transducer is investigated by means of computational method. The specific estimates of durations and amplitudes for various filling materials are obtained.

Acoustic pulse, piezoceramic cylinder, filling material

УДК 681.2.08

Е. А. Барина, П. А. Павлов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ГОНИОМЕТРА

Приведена оценка неисключенной систематической погрешности лазерного гониометра, вызванной нестабильностью скорости вращения кольцевого лазера. Представлены результаты экспериментальных исследований лазерного гониометра.

Лазерный гониометр, кольцевой лазер, угловые измерения, систематическая погрешность

Лазерная динамическая гониометрия сформировалась в самостоятельное научное направление, которое привело к созданию эталонов единицы плоского угла при угловом перемещении твердого тела [1] и единицы показателя преломления [2], [3], а также целого класса

углоизмерительных приборов нового поколения [4]. Измерение угла в лазерной гониометрии основано на физическом принципе работы кольцевого лазера (КЛ), заключающемся в расщеплении частот двух электромагнитных волн, распространяющихся внутри резонатора КЛ в противоположных направлениях, в результате углового движения плоскости резонатора [5]. Основой лазерной динамической гониометрии является лазерный динамический гониометр (ЛДГ).

Анализ влияния технических флуктуаций на случайную погрешность измерений ЛДГ, проведенный в [6], основывался на фазовом методе измерений и рассматривал нестабильность скорости вращения как случайный процесс. При этом влияние флуктуаций на систематическую погрешность не рассматривалось. Данный вопрос освещался в [7], где было показано, что в реальном приборе при имеющейся нестабильности скорости вращения возникает систематическая составляющая погрешности измерения угла. При этом основной вклад в погрешность измерения угла вносит слагаемое, пропорциональное вертикальной составляющей скорости суточного вращения Земли. Вследствие того, что скорость вращения Земли на широте места известна с высокой точностью, систематическая погрешность измерений ЛДГ может быть уменьшена алгоритмически.

Для уменьшения погрешности результата измерений был предложен фазовременной метод измерений, заключающийся в том, что наряду с измерением фазы выходного сигнала КЛ измеряются интервалы времени, сформированные выходными сигналами датчиков угла. При этом возможно 2 варианта использования метода. Первый позволяет скомпенсировать дополнительные периоды выходного сигнала КЛ, вызванные скоростью вращения Земли. Второй, наряду с влиянием из-за вращения Земли, компенсирует дополнительные периоды сигнала КЛ, вызванные сдвигом нуля его выходной характеристики (так называемый обобщенный сдвиг нуля (ОСН)):

$$F = \frac{1}{2\pi} (K_0 + K_1 \Omega_E^*),$$

где K_0 – коэффициент, характеризующий сдвиг нуля выходной характеристики КЛ; K_1 – масштабный множитель КЛ; Ω_E^* – вертикальная составляющая скорости суточного вращения Земли. Было показано [7], что использование алгоритма компенсации ОСН позволяет устранить влияние технических флуктуаций, связанных с нестабильностью скорости вращения КЛ, и тем самым уменьшить систематическую и случайную компоненты погрешности ЛДГ.

Однако при использовании любого алгоритма измерений всегда будет наблюдаться неисключенная систематическая погрешность измерения угла. Цель исследований – оценить неисключенную систематическую погрешность при использовании фазовременного метода измерений угла в лазерной гониометрии.

Воспользуемся выражением для систематической составляющей погрешности измерения угла [7]:

$$\Delta\varphi_i = \tilde{\varphi}_i - \varphi_i = \varphi_i \frac{K_0 + K_1 \Omega_E^*}{K_1} \frac{(\varpi_T - \varpi_i)}{\varpi_i \varpi_T} + \frac{1}{\omega_0} \frac{K_{-1}}{K_1} \left[\varphi_i \frac{(\varpi_T - \varpi_i)}{\varpi_i \varpi_T} + \frac{1}{\omega_0} \left(\delta J_i - \frac{\varphi_i}{2\pi} \delta J_T \right) \right], \quad (1)$$

где $\varphi_i = \varpi_i t_i$ – угол поворота КЛ за время измерения t_i ; $\tilde{\varphi}_i$ – угол поворота КЛ за время измерения t_i при наличии нестабильности скорости вращения; K_{-1} – коэффициент, характеризующий нелинейность выходной характеристики КЛ; ω_0 – постоянная составляющая скорости вращения КЛ с учетом вертикальной составляющей скорости вращения Земли; ϖ_T – средняя скорость вращения КЛ за время оборота T ; ϖ_i – средняя скорость вращения КЛ за время измерения t_i ; $\delta J_{i,T} = \int_0^{t_i, T} \delta\omega(t) dt$ ($\delta\omega(t)$ – нестабильность скорости вращения).

Согласно выражению (1) неисключенная систематическая погрешность измерения угла при компенсации вертикальной составляющей скорости вращения Земли будет иметь вид

$$\Delta\varphi_i^* = \tilde{\varphi}_i^* - \varphi_i = \varphi_i \frac{K_0}{K_1} \left(\frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right) + \frac{1}{\omega_0} \frac{K_{-1}}{K_1} \left[\varphi_i \left(\frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right) + \frac{1}{\omega_0} \left(\delta J_i - \delta J_T \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) \right].$$

Как видно из полученного выражения, погрешность будет определяться сдвигом нуля и нелинейностью выходной характеристики КЛ.

Принимая $\varpi_T \approx \varpi_i = \omega_0$, $\varpi_T - \varpi_i = \delta\omega$, оценим составляющую, обусловленную сдвигом нуля выходной характеристики КЛ. Для этого на основании ранее проведенных экспериментов примем $K_1 = 10^6$, $K_0 = 2 \text{ с}^{-1}$, $\varphi_i = \pi$. Значения относительной внутриоборотной нестабильности скорости вращения $\delta\omega / \omega_0$ возьмем равными 0,1; 1 и 5 %. Полученный график зависимости погрешности, обусловленной сдвигом нуля выходной характеристики КЛ, от скорости вращения изображен на рис. 1.

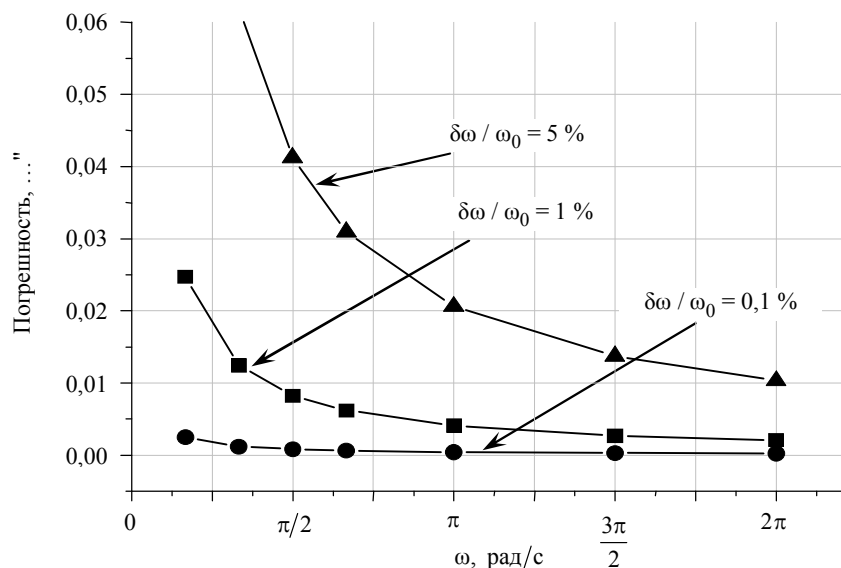


Рис. 1

Зависимость систематической погрешности из-за нелинейности выходной характеристики КЛ от скорости его вращения при $K_{-1} = 0,13 \text{ с}^{-2}$, $K_1 = 10^6$, $\varphi_i = \pi$ изображена на рис. 2.

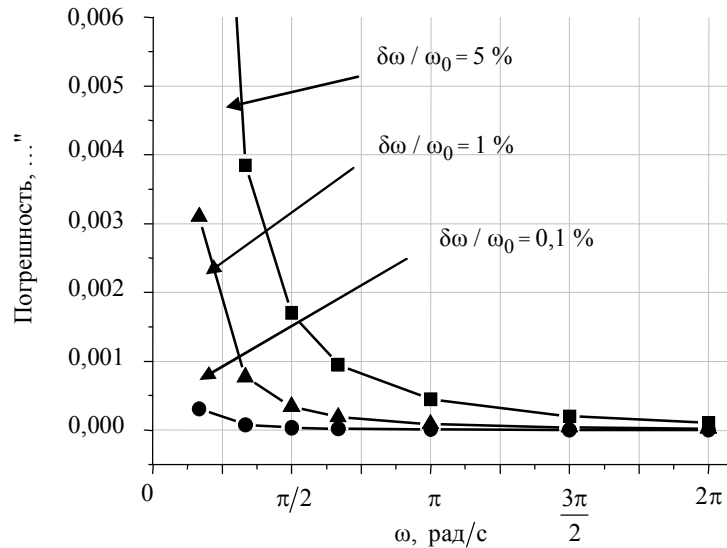


Рис. 2

Как видно из построенных зависимостей, основным источником неисключенной систематической погрешности измерения угла при компенсации вертикальной составляющей скорости вращения Земли является нестабильность скорости вращения, проявляющаяся из-за сдвига нуля выходной характеристики КЛ.

При создании высокоточных углоизмерительных систем на базе КЛ необходимо, чтобы рассматриваемая погрешность не превышала нескольких тысячных угловых секунд. Поэтому для повышения точности измерений нужно либо уменьшать влияние нестабильности скорости вращения до уровня 0,1%, ограничивать диапазон вращения либо использовать алгоритм компенсации ОСН.

При использовании последнего возникает дополнительная погрешность, обусловленная неточностью определения F . Оценим неисключенную систематическую погрешность измерения угла в случае использования этого алгоритма. Уравнение измерений может быть записано в виде

$$\varphi_i^{**} = \left[\varphi_i + \frac{K_0 + K_1 \Omega_E^*}{K_1} \frac{(\varpi_T - \varpi_i)}{\varpi_T \varpi_i} \varphi_i + \frac{K_{-1}}{K_1} (J_i - J_T) \frac{\varphi_i}{2\pi} \right] \left(1 - \frac{2\pi}{K_1} F \frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right).$$

Пусть $F = F_0 + \delta F$, где δF – погрешность определения ОСН. После соответствующих преобразований можно записать:

$$\begin{aligned} \varphi_i^{**} = & \varphi_i + \frac{K_{-1}}{K_1} (J_i - J_T) \frac{\varphi_i}{2\pi} - 2\pi \frac{K_{-1}}{K_1^2} \frac{(\varpi_T - \varpi_i)}{\varpi_T \varpi_i} (J_i - J_T) \frac{\varphi_i}{2\pi} F_0 - \left(\frac{2\pi}{K_1} \right)^2 \times \\ & \times \left(\frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right)^2 F_0^2 \varphi_i - \frac{2\pi}{K_1} \frac{(\varpi_T - \varpi_i)}{\varpi_T \varpi_i} \left[\frac{K_{-1}}{K_1} \left(J_i - J_T) \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) + \frac{4\pi}{K_1} \varphi_i \left(\frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right) F_0 \right] \delta F. \end{aligned}$$

Окончательное выражение для неисключенной систематической погрешности измерений при компенсации ОСН примет вид

$$\Delta\varphi_i^{**} = \frac{1}{\omega_0} \frac{K_{-1}}{K_1} \left[\varphi_i \left(\frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right) + \frac{1}{\omega_0} \left(\delta J_i - \delta J_T \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) \right] + \frac{2\pi (\varpi_T - \varpi_i)}{K_1 \varpi_T \varpi_i} \times$$

$$\times \left[\frac{K_{-1}}{K_1} \left(J_i - J_T \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) + \frac{4\pi}{K_1} \varphi_i \left(\frac{\varpi_T - \varpi_i}{\varpi_i \varpi_T} \right) F_0 \right] \delta F. \quad (2)$$

Полученное выражение также представляет собой сумму двух составляющих: погрешности из-за нелинейности выходной характеристики и погрешности из-за неточности определения ОСН. Зависимость погрешности из-за нелинейности выходной характеристики КЛ от скорости его вращения будет аналогична изображенной на рис. 2.

На рис. 3 изображена зависимость погрешности, обусловленной неточностью определения ОСН, от скорости вращения при двух значениях ее нестабильности.

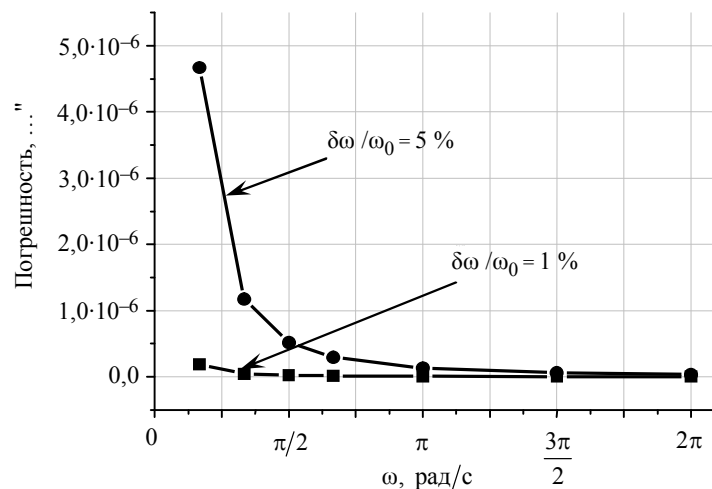


Рис. 3

Из графиков, построенных для оценки каждого из слагаемых, входящих в выражение (2), видно, что неисключенная систематическая погрешность измерений угла при компенсации ОСН будет определяться главным образом погрешностью из-за нелинейности выходной характеристики КЛ. При этом в случае относительной внутриоборотной нестабильности скорости вращения на уровне 1 % значение неисключенной систематической погрешности будет находиться на уровне 0,003 ".

Результаты экспериментальных исследований лазерного гониометра.

Проводились экспериментальные исследования ЛДГ с целью определения нестабильности обобщенного сдвига нуля КЛ. Для этого осуществлялись непрерывные измерения 12-гранной призмы в течение 1000 оборотов КЛ. Для определения ОСН строилась зависимость числа периодов выходного сигнала КЛ от времени оборота (рис. 4), после чего осуществлялась линейная аппроксимация полученных данных методом наименьших квадратов. Рис. 4 также иллюстрирует скачкообразное изменение числа импульсов КЛ, которое обусловлено модовыми переходами в резонаторе КЛ, оборудованного системами регулировки частоты и периметра. В течение времени измерения, составившего порядка 50 мин, наблюдалось 2 значительных скачка импульсов КЛ, которые в дальнейшем были исключены из результатов измерений.

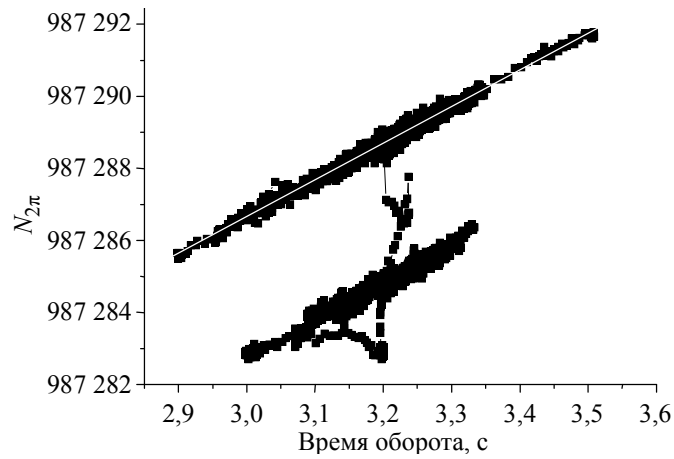


Рис. 4

На рис. 5 представлена зависимость ОСН от времени, полученная по результатам проделанных измерений, где постоянная составляющая на уровне 10 имп./с обусловлена скоростью вращения Земли, а отклонения от этого уровня – сдвигом нуля КЛ. Далее по полученным данным оценивалась погрешность, обусловленная сдвигом нуля выходной характеристики КЛ. Были выбраны измерения с разницей обобщенного сдвига нуля, равной 2 c^{-1} , при этом значение внутриоборотной относительной нестабильности скорости вращения составило порядка 1 %. После соответствующей обработки данных было найдено значение погрешности, обусловленной сдвигом нуля КЛ, составившее порядка $0,01''$. Полученное значение согласуется с аналитической зависимостью, изображенной на рис.1.

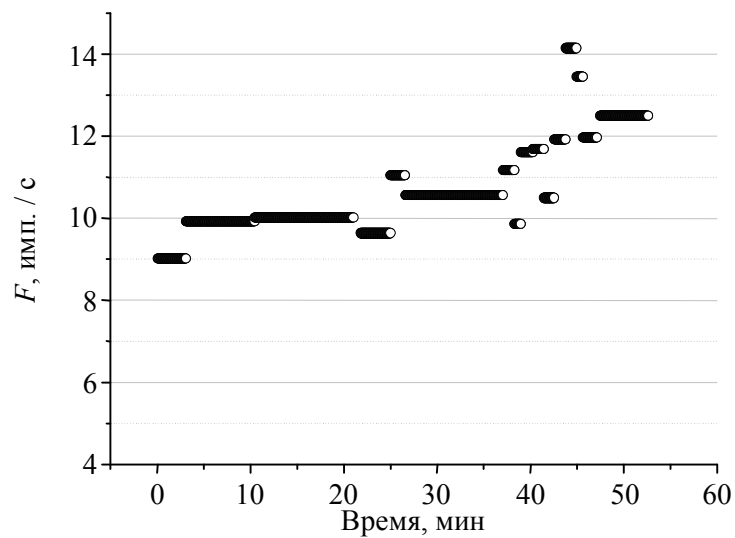


Рис. 5

Таким образом, оценка погрешностей фазовременного метода измерения углов показала, что неисключенная систематическая погрешность измерения угла при компенсации вертикальной составляющей суточного вращения Земли будет определяться главным образом сдвигом нуля выходной характеристики КЛ и составит тысячные доли угловой секунды при относительной нестабильности скорости вращения на уровне 0,1 %. Неисключенная систематическая погрешность измерения угла при компенсации ОСН будет определяться главным образом нелинейностью выходной характеристики КЛ и не превысит $0,003''$ при относительной нестабильности скорости вращения на уровне 1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.577–2002. Государственная поверочная схема для средств измерений линейных ускорений и плоского угла при угловом перемещении твердого тела. М.: Изд-во стандартов, 2002.
2. Измерение показателя преломления на гониометре в динамическом режиме / Г. Н. Вишняков, Г. Г. Левин, С. В. Корнышева и др. // Оптик. журн. 2005. Т.72, № 12. С. 53.
3. Вишняков Г. Н., Левин Г. Г., Корнышева С. В. Государственный первичный эталон единицы показателя преломления // Измерительная техника. 2004. № 11. С. 3.
4. Развитие методов и средств лазерной динамической гониометрии / М. Н. Бурнашев, Д. П. Лукьянов, П. А. Павлов, Ю. В. Филатов // Квант. электроника. 2000. Т.30, № 2. С. 141–146.
5. Precision angle measurement in a diffractive spectrometer by means of a ring laser / M. Bournachev, Yu. Filatov, K. Kirianov et al. // Measur. Sci. Technol. 1998. № 9. P. 1067.
6. Dynamic ring laser goniometer / Yu. V. Filatov, D. P. Loukianov, P. A. Pavlov et al. // Optical gyros and their application, RTO AGARDograph 339 (RTO-AG-339). 1999. P. 12-1.
7. Павлов П. А. Анализ алгоритмов измерений лазерным динамическим гониометром // Измерительная техника. 2008. № 1. С.17–20.

E. A. Barinova, P. A. Pavlov

CHARACTERIZATION OF LASER GONIOMETER

The error estimation of non-excluded systematic error of laser goniometer due to the ring laser speed instability is presented. The experimental investigation results of laser goniometer are reported.

Laser goniometer, ring laser, angle measurements, systematic error

УДК 53.084.6

***В. А. Гриненко, С. Л. Рябчиков,
А. М. Селихов, С. В. Попков***

АППАРАТУРНАЯ ЧАСТЬ ТРАКТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ОТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Рассматриваются варианты построения трактов предварительного усиления и передачи сигналов, реализующих различные методы передачи сигнала от первичных пьезоэлектрических преобразователей по кабельной линии связи. Приводятся технические характеристики разработанного комплекта аппаратуры, обеспечивающего передачу сигналов методом модуляции напряжения.

Пьезоэффект, преобразователь, предварительный усилитель, частотный диапазон, динамический диапазон, коэффициент передачи

Достижение низких уровней шума и вибрации, удовлетворяющих предъявляемым требованиям, является актуальной задачей, направленной на улучшение условий труда и отдыха человека. Выявление источников колебаний и основных путей распространения колебаний от источников в присоединенные конструкции, а также выбор эффективных методов снижения шума и вибрации требует проведения точных и достоверных измерений параметров колебаний.

Любая измерительная система представляет собой совокупность средств измерений (первичных, передающих, вторичных, масштабных преобразователей и измерительных приборов) и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, и предназначена для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для смысловой обработки. В настоящее время виброакустические измерения осуществляются в основном с помощью многоточечных многоканальных измерительных систем, включающих

в себя первичные преобразователи, предварительные усилители и измерительно-анализирующую аппаратуру. В качестве первичных преобразователей используются пьезоэлектрические вибропреобразователи и гидрофоны, в которых электрический сигнал измерительной информации каждого измерительного канала передается по двухпроводной линии связи, обеспечиваемой электрическим соединительным кабелем. При этом точность и достоверность полученных результатов измерений определяются как качеством используемых первичных преобразователей, так и качеством передачи сигналов измерительной информации по кабельным линиям связи.

Традиционный измерительный тракт. В традиционном измерительном тракте, обеспечивающем передачу аналогового сигнала, вырабатываемого пассивным пьезоэлектрическим преобразователем, в качестве предварительного усилителя используется усилитель заряда (УЗ) или усилитель напряжения, включаемый на выходе первичного преобразователя. Выходной сигнал усилителя заряда в форме электрического напряжения переменного тока подается на стандартную измерительную, регистрирующую или анализирующую аппаратуру.

Использование предварительного усилителя (ПУ) обеспечивает практически идеальное согласование высокоимпедансного пьезоэлектрического преобразователя с низкоимпедансным входом измерительной аппаратуры. Являясь по сути инвертирующим усилителем напряжения с емкостной отрицательной обратной связью (ООС), предварительный УЗ как тип согласующего усилителя вырабатывает выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, прямо пропорциональное электрическому заряду q на его входе, причем коэффициент преобразования не зависит от емкости входного соединительного кабеля в рабочем диапазоне частот. Данное свойство УЗ вытекает из решения системы дифференциальных уравнений для его эквивалентной схемы с входным источником заряда (рис. 1).

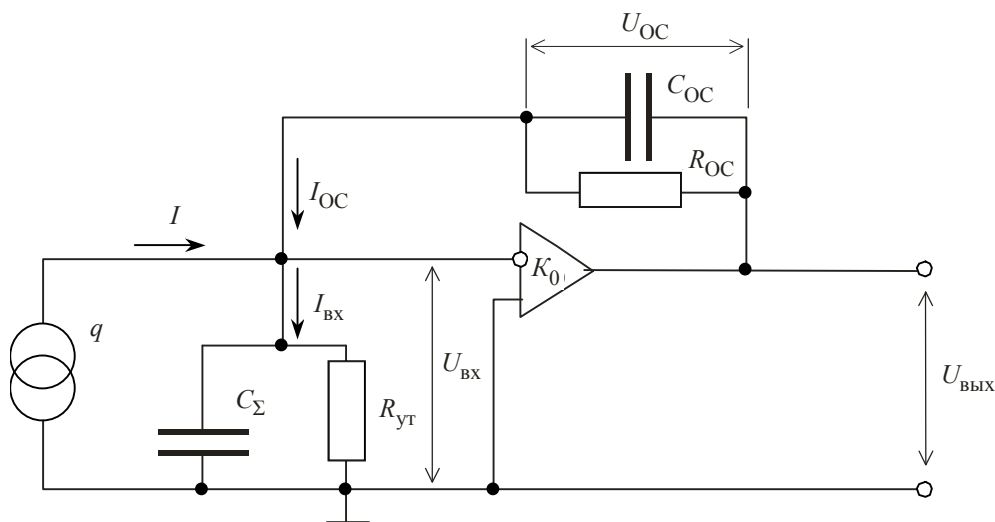


Рис. 1

На эквивалентной электрической схеме показаны источник входного заряда q с параллельно подключенными к нему суммарной емкостью C_{Σ} (параллельное соединение емкости пьезоэлектрического преобразователя и кабельной линии связи) и сопротивлением утечки $R_{\text{ут}}$ (параллельное соединение сопротивлений изоляции первичного

преобразователя и соединительного кабеля), а также инвертирующий операционный усилитель (ОУ) с собственным коэффициентом усиления K_0 , охваченный ООС через конденсатор обратной связи C_{OC} и резистор обратной связи R_{OC} и имеющий высокое входное дифференциальное сопротивление. На схеме также обозначены: сила тока I , обусловленная электрическим зарядом q , сила тока I_{OC} в цепи ООС, сила тока $I_{вх}$ и напряжение $U_{вх}$ в подключенной к входу кабельной RC -цепи и падение напряжения U_{OC} в цепи ООС.

Передаточная функция (функция преобразования) УЗ в операторной форме, полученная в результате решения системы уравнений для цепи ООС, имеет вид

$$H(p) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(p)}{q(p)} = -\frac{1}{C_{OC}} \left(\frac{p\tau_{OC}}{1+p\tau_{OC}} \right) \left[1 + \frac{1}{K_0} \left(1 + \frac{R_{OC}}{R_{УТ}} \frac{1+p\tau_{вх}}{1+p\tau_{OC}} \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где p – оператор Лапласа; $\tau_{OC} = C_{OC}R_{OC}$ – постоянная времени цепи ООС; $\tau_{вх} = C_{OC}R_{УТ}$ – постоянная времени параллельной входной цепи.

Анализ выражения (1) показывает, что при условии $\tau_{вх} \gg \tau_{OC}$, практически всегда выполняемом ввиду больших значений сопротивлений изоляции и применения ОУ с полевыми транзисторами на входе, нижняя частота среза УЗ определяется только постоянной времени τ_{OC} и не зависит от параметров входной цепи, что является его несомненным достоинством.

Если частота изменения входного заряда f_q такова, что $\tau_{OC} \gg 1/f_q$, то передаточная функция упрощается и имеет вид

$$H(p) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{q} = -\frac{1}{C_{OC}} \left[1 + \frac{1}{K_0} \left(1 + \frac{C_{\Sigma}}{C_{OC}} \right) \right]^{-1}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) следует, что емкость соединительной линии и емкость источника заряда незначительно влияют на выходное напряжение УЗ, причем тем меньше, чем выше коэффициент усиления ОУ. При условии достаточно большого значения K_0 во всем рабочем диапазоне частот УЗ его коэффициент преобразования определяется простым выражением

$$K_{УЗ} = -1/C_{OC}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что использование УЗ в качестве согласующего усилителя для пьезоэлектрического преобразователя позволяет существенно уменьшить погрешности измерения, обусловленные нестабильностью емкости первичного преобразователя и кабельной линии связи. Именно это качество усилителя заряда привело к его массовому использованию в виброизмерительной аппаратуре как в виде самостоятельных устройств (предварительных усилителей, усилителей-формирователей сигнала), так и в виде входных модулей для выходных измерительных усилителей или блоков сбора данных.

Несмотря на перечисленные достоинства, область применения УЗ в качестве предварительного усилителя ограничивается из-за влияния электрической емкости входной цепи на ряд его технических характеристик (снижение верхней частоты среза полосы

пропускания в связи с уменьшением глубины ООС вследствие частотной зависимости собственного коэффициента усиления ОУ, ухудшение отношения сигнал/шум в связи с увеличением эквивалентного входного шумового заряда $q_{ш}$, обусловленного собственным шумом используемого ОУ). Данные вопросы подробно рассмотрены в брошюре «Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers» фирмы Brüel & Kjær, 1987 г.

Другим обстоятельством, ограничивающим область применения УЗ при больших длинах кабеля связи с пассивным пьезоэлектрическим преобразователем, является повышенная чувствительность к помехам трибоэлектрического происхождения, а также электромагнитным помехам нормального и общего вида, что обусловлено высоким импедансом входной измерительной цепи и большим значением дифференциального входного сопротивления. Для решения данной проблемы приходится применять специальные антивибрационные экранированные коаксиальные кабели или кабели с двойным экраном, а также принимать меры к устранению замкнутого контура заземления первичного преобразователя и выходной аппаратуры, что приводит к экономическим потерям при построении многоканальных измерительных систем.

Из приведенного анализа следует, что для достижения максимального частотного и амплитудного диапазонов измерения необходимо размещать УЗ, используемый в качестве предварительного (согласующего) усилителя, в непосредственной близости от первичного преобразователя или использовать его в качестве встроенного предварительного усилителя. В противном случае следует стремиться к максимально возможному сокращению длины соединительного кабеля и использовать кабели с малой погонной емкостью.

Постоянно идущий процесс микроминиатюризации радиоэлектронных средств и их элементной базы, а также переход к поверхностному монтажу электронных компонентов (SMD-технология) позволяют сегодня размещать встроенную электронику в малогабаритных корпусах первичных преобразователей различного применения. Поскольку УЗ идеально согласуется с чувствительным пьезоэлектрическим элементом, в большинстве случаев именно он используется в качестве входного каскада встроенного согласующего усилителя, дополняемого выходным каскадом, который выполняет функцию передающего преобразователя. В этом случае первичный преобразователь становится активным, так как для выработки выходного сигнала помимо входной механической энергии требует дополнительного постороннего источника электрической энергии для питания встроенного усилителя.

В технически обоснованных случаях, не позволяющих устанавливать активный первичный преобразователь в исследуемую точку объекта измерений, используется пассивный первичный преобразователь с внешним передающим преобразователем, размещаемым на некотором расстоянии от точки измерения. Предварительный усилитель в этом случае обеспечивает питание передающего преобразователя и формирование электрического сигнала (преобразование, масштабирование, фильтрация и т. п.).

Следует отметить, что классический вариант усилителя заряда с двухполярным питанием, используемого в качестве внешнего передающего преобразователя с выходом по напряжению, находит применение только при работе на небольшие длины выходного соединительного кабеля (до 5...10 м), что связано с влиянием реактивной нагрузки на его

динамические характеристики, в частности, с сокращением полосы передачи максимальной мощности и области устойчивости. С другой стороны, для подачи на УЗ напряжения питания требуются дополнительные проводники соединительного кабеля.

Поиск оптимальных путей решения обозначенной проблемы привел разработчиков ведущих зарубежных фирм в области виброакустических измерений к созданию нетрадиционных измерительных трактов, в которых электрическая энергия постороннего источника питания, требуемая для работы передающего преобразователя, и его выходной электрический сигнал передаются по одному и тому же проводнику двухпроводного или коаксиального кабеля. В таких системах передача сигнала обеспечивается либо методом модуляции тока потребления передающего преобразователя при его питании стабилизированным напряжением постоянного тока, либо методом модуляции напряжения на его шине питания при питании от внешнего генератора стабильного тока. Первый тип линии передачи, предложенный датской фирмой «Брюль и Кьер», получил наименование CVLD (Constant Voltage Line Drive), второй, предложенный американской фирмой PCB, – ICP или CCLD (Constant Current Line Drive). Каждый из перечисленных вариантов построения передающего тракта предполагает применение соответствующих согласующих усилителей для пьезоэлектрических преобразователей и соответствующих вторичных преобразователей с источниками питания линии связи или специальных входных модулей блоков сбора данных или анализирующей аппаратуры.

Применение модуляции тока. На рис. 2 изображена упрощенная функциональная схема передающего усилителя заряда – модулятора тока (УЗМТ), работающего в тракте CVLD.

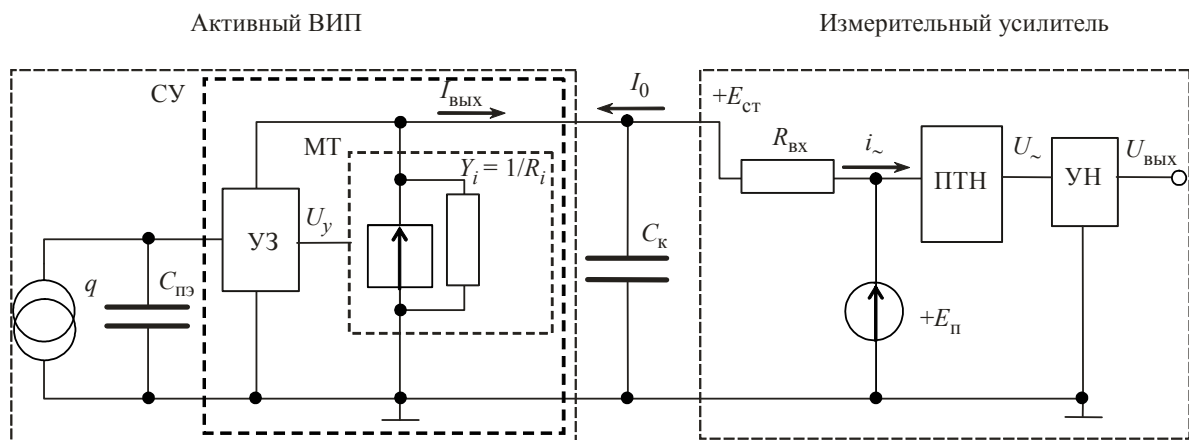


Рис. 2

На схеме показаны источник заряда q с емкостью пьезоэлемента $C_{пз}$, входной каскад УЗ согласующего усилителя СУ и модулятор тока МТ в виде эквивалентного генератора тока I с внутренней проводимостью Y_i , а также обозначены управляющее напряжение U_y и напряжение питания $E_{п}$.

В схеме УЗМТ под воздействием входного электрического заряда q за счет сигнала обратной связи вырабатывается напряжение U_y , управляющее работой модулятора тока МТ. Принцип работы модулятора тока определяется выражением

$$I = E_{п} (Y_i \pm \Delta Y) = I_0 \pm \Delta I, \quad (4)$$

где I_0 – сила тока потребления в режиме покоя, обусловленная внутренней проводимостью Y_i ; ΔI – переменная составляющая тока потребления, обусловленная изменением проводимости ΔY под воздействием управляющего напряжения U_y .

Вторичный преобразователь, включаемый на выходе линии связи с передающим преобразователем УЗМТ, содержит источник питания постоянного тока и каскад преобразования токового сигнала ΔI в напряжение переменного тока с низким входным сопротивлением. Благодаря этому в тракте передачи сигнала реализуется режим эквивалентного генератора тока (в практически используемых схемах типовое значение выходного сопротивления модулятора тока составляет 20 кОм, а нормированное значение входного сопротивления преобразователя тока – 50 Ом), обеспечивающий малую зависимость параметров сигнала от емкости соединительного кабеля и высокую помехозащищенность измерительного тракта.

Коэффициент преобразования УЗМТ измеряется в микроамперах на пикокулон и на среднегеометрической частоте рабочего частотного диапазона определяется по формуле

$$K_{\text{УЗМТ}} = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{q_{\text{ВХ}}} = -\frac{1}{C_{\text{ОС}}R_{\text{М}}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{ОС}}$ – емкость конденсатора цепи обратной связи УЗ; $R_{\text{М}}$ – сопротивление резистивной модулирующей цепи МТ.

Основным достоинством УЗМТ является возможность передачи сигнала по кабелю длиной до 1 км при погонной емкости кабеля 100 пФ/м.

Основываясь на несомненном преимуществе системы CVLD с точки зрения передачи сигнала на большие расстояния, специалистами ФГУП «ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова» на рубеже 80–90-х гг. XX в. была разработана аппаратура, включающая в себя активный низкочастотный вибропреобразователь типа ВП-7У со встроенным модулятором тока, а также многоканальные усилители-формирователи типа УФ-2-10, УФ-5-10, которая была положена в основу создания многоканальных измерительных систем с токовой линией связи типа CVLD. В начале нынешнего столетия разработан комплект аппаратуры для оснащения системы измерений вибрации, обеспечивающий передачу аналогового сигнала методом модуляции тока. В состав аппаратуры входят активные высокочастотные вибропреобразователи типа ВП-15 со встроенным модулятором тока и пассивные высокочастотные вибропреобразователи типа ВП-16 с внешним согласующим усилителем заряда – модулятором тока типа УЗМТ-01, а также многоканальный усилитель тока типа УТМ-2-10, обеспечивающий вторичное преобразование и фильтрацию сигналов. Аппаратура выпускается серийно и широко используется на предприятиях судостроительной отрасли для измерений вибрационных характеристик кораблей, судов, их оборудования и корпусных конструкций.

Применение модуляции напряжения. На рис. 3 представлена упрощенная функциональная схема передающего усилителя заряда – модулятора напряжения (УЗМН), работающего в тракте CCLD. На схеме показаны источник заряда q с емкостью пьезоэлемента $C_{\text{ПЭ}}$, входной каскад УЗ согласующего усилителя СУ и модулятор

напряжения МН в виде эквивалентного генератора напряжения U с внутренним сопротивлением R_i , а также обозначены напряжение обратной связи U_{OC} , управляющее напряжение U_y , опорное напряжение E_0 и ток питания I_{Π} .

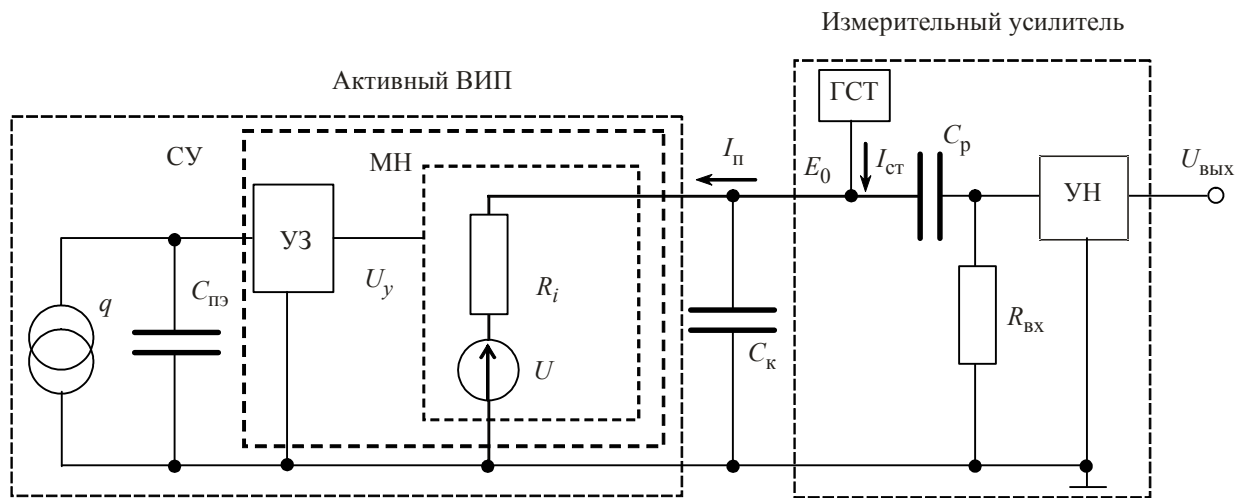


Рис. 3

В схеме УЗМН под воздействием входного электрического заряда q за счет сигнала обратной связи U_{OC} вырабатывается напряжение U_y , управляющее работой модулятора напряжения МН. Принцип работы модулятора напряжения определяется выражением

$$U = I_{\Pi} (R_i \pm \Delta R) = E_0 \pm \Delta U, \quad (6)$$

где E_0 – напряжение постоянного тока на шине питания в режиме покоя, определяемое источником опорного напряжения E_0 и обусловленное внутренним сопротивлением модулятора R_i ; ΔU – переменная составляющая напряжения на шине питания, обусловленная изменением сопротивления ΔR под воздействием управляющего напряжения U_y .

Вторичный преобразователь, включаемый на выходе линии связи с передающим преобразователем УЗМН, содержит источник стабильного тока и разделительную RC -цепь для выделения переменной составляющей напряжения ΔU . Благодаря высокому входному сопротивлению переменному току вторичного преобразователя (около 1 МОм) и низкому выходному сопротивлению УЗМН (от 50 до 150 Ом), в тракте передачи сигнала реализуется режим эквивалентного генератора напряжения, позволяющий передавать сигнал по кабелю длиной до сотни метров при достаточно высокой помехозащищенности измерительного тракта.

Коэффициент преобразования УЗМН измеряется в микровольтах на пикокулон и на среднегеометрической частоте рабочего диапазона частот определяется по формуле (3).

Существующее ограничение по длине соединительного кабеля, связанное с влиянием его емкости на быстродействие и нелинейные искажения в канале передачи сигнала, требует увеличения силы тока питания и является основным недостатком варианта передающего тракта с УЗМН.

Учитывая современные тенденции к широкому внедрению системы передачи типа CCLD, специалистами ФГУП «ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова» разработан комплект аппаратуры для измерения параметров вибрации и гидроакустического шума, реализующей

передачу сигнала методом модуляции напряжения. Измерительный комплект включает в себя пассивные пьезоэлектрические вибропреобразователи и гидрофоны, а также внешние согласующие усилители заряда – модуляторы напряжения типа УЗМН-1-1 и УЗМН-2-10 с коэффициентами преобразования 1,0 и 10 мВ/пКл соответственно. Для сопряжения трактов со стандартной измерительной аппаратурой, имеющей входы по напряжению, было также разработано четырехканальное согласующее устройство СУ-1 с автономным питанием от аккумуляторной батареи. Технические характеристики разработанных изделий соответствуют зарубежным аналогам и позволяют использовать их в комплекте с пассивными пьезоэлектрическими преобразователями с электрической емкостью до 10 нФ (включая емкость соединительного кабеля) в трактах ICP, CCLD и т. п.

Общий вид согласующего усилителя заряда типа УЗМН-1-1 представлен на рис. 4. Изделие УЗМН-2-10 имеет аналогичную конструкцию. Технические характеристики изделий УЗМН-1-1 и УЗМН-2-10 приведены в таблице.

Характеристика	УЗМН-1-1	УЗМН-2-10
Рабочий диапазон частот ($\pm 10\%$), Гц	2...20 000	5...20 000
Диапазон измерений, пКл (пиковый)	0,02...7500	0,02...7500
Коэффициент преобразования, мВ/пКл	$1,0 \pm 1\%$	$10,0 \pm 1\%$
Коэффициент гармоник, % ($U_{\text{пик}} = 7,5 \text{ В}$)	0,1 %	0,2 %
Эквивалентный шумовой заряд, пКл	0,007 (СКЗ)	0,007 (СКЗ)
Выходное сопротивление, Ом	50	50
Максимальная емкость нагрузки, нФ	20	20
Номинальный ток потребления, мА	$5,0 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,4$
Напряжение покоя на шине питания, В	$+ (12,0 \pm 0,5)$	$+ (12,0 \pm 0,5)$
Габаритные размеры, мм	$\varnothing 18 \times 61$	$\varnothing 18 \times 61$
Масса, г	45 (нерж. сталь)	45 (нерж. сталь)

Благодаря более простой схемотехнической реализации линия связи типа CCLD получила в настоящее время широкое распространение в большинстве выпускаемых акустических и виброизмерительных устройств (микрофоны, виброизмерительные преобразователи, измерительные усилители и блоки сбора данных с системами передачи ICP, IEPE, ISOTRON, Delta-Tron, CCLD и т. д.).



Рис. 4

Система передачи типа CVLD находит в настоящее время лишь ограниченное применение в ряде виброизмерительных устройств фирмы «Брюль и Кьер» (отдельные типы

вибропреобразователей, предварительных усилителей, усилителей – формирователей сигнала, а также виброметров и частотных анализаторов, имеющих соответствующие входные модули).

В принципе, как показала практика выполнения измерений, каждый из рассмотренных ранее методов передачи сигнала имеет право на существование, обладая оптимальными качествами в зависимости от конкретных условий применения измерительной аппаратуры, и может использоваться при проведении измерений.

V. A. Grinenko, S. L. Ryabchikov, A. M. Selihov, S. V. Popkov

*THE INSTRUMENT PART OF SIGNAL PREAMPLIFIER AND TRANSMISSION SECTION
FROM PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS*

The options of developing the signal preamplifier and transmission sections, which realize various methods of cable line signal transmission from sensors, are considered. The technical parameters of developed instrument set, which provide the signal transmission by voltage modulation method, are given.

Piezoelectric effect, transducer, preamplifier, frequency range, dynamic range, transfer coefficient



УДК 348.147

А. И. Любименко, М. В. Чигиринова, О. Д. Нечаева

НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТОДОВ И ФОРМ ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Посвящается направлениям модернизации методов и форм обучения в системе высшего экономического образования. Основной упор делается на применение активных методов обучения, и в частности – методов имитационного моделирования, преимущества использования которых в процессе обучения рассматриваются на примере кейс-метода. Следствием внедрения активных методов обучения в систему высшей школы является сокращение разрыва между компетентностными характеристиками выпускников и потребностями реального сектора экономики.

Метод, обучение, активный, имитационный, деловая игра, кейс

В настоящее время учебный процесс требует постоянного совершенствования, так как во всем мире происходит смена приоритетов и социальных ценностей: научно-технический прогресс все больше понимается как средство достижения такого уровня производства, который в наибольшей мере отвечает удовлетворению постоянно растущих потребностей человека, развитию духовного богатства личности. Вследствие этого требуется коренная перестройка стратегии и тактики обучения в вузе специалистов-экономистов.

Ключевыми характеристиками выпускника любого образовательного учреждения становятся его компетентность и мобильность. В этой связи акценты при изучении учебных дисциплин переносятся на сам процесс познания, эффективность которого полностью зависит от познавательной активности самого студента. Успешность достижения этой цели зависит не только от того, какой материал усваивается (содержание обучения), но и от того, как он усваивается: индивидуально или коллективно; в авторитарных или гуманистических условиях; с опорой на внимание, восприятие, память или на весь личностный потенциал человека; с помощью репродуктивных или активных методов обучения.

Под активными методами обучения понимают способы активизации учебно-познавательной деятельности студентов, которые побуждают их к активной мыслительной и практической деятельности в процессе овладения материалом, когда активен не только преподаватель, но и студенты.

Активные методы обучения предполагают использование такой системы методов, которая направлена главным образом не на изложение преподавателем готовых знаний и их воспроизведение, а на самостоятельное овладение знаниями в процессе студенческой активной познавательной деятельности [1].

Направления модернизации методов обучения в сторону активизации роли обучаемого обусловлены не только изменением культурного и психологического уровня студентов, но и смещением акцентов образовательного процесса в сторону конкретизации приобретаемых компетенций. В качестве решающих аргументов при выборе кандидата на замещение вакантной должности экономиста специалисты по подбору персонала приводят способность организовывать работу команды и управлять ею, умение принимать решения и брать ответственность за результаты деятельности.

Разработка и внедрение активных методов обучения представлены в разных областях научного знания и исследованы многими педагогами и психологами, но влияние использования активных методов обучения на профессиональные характеристики выпускников недостаточно изучены, что предопределило актуальность данной статьи.

В дидактике существуют разные подходы к классификации методов обучения. В качестве отличительного признака используется активизация слушателей или характер учебно-познавательной деятельности. Различают классификации, в основу которых положены признаки источников познания, методов логики, типа обучения, уровня проблемности, дидактических целей и функций.

Несмотря на многообразие подходов к классификации методов обучения каждый из них наиболее эффективен при определенных условиях организации учебного процесса и при выполнении определенных дидактических функций.

Рассмотрим классификацию методов активного обучения для вуза, предложенную А. М. Смолкиным. Он выделяет имитационные методы активного обучения, т. е. формы проведения занятий, в которых учебно-познавательная деятельность построена на имитации деятельности профессиональной. Остальные методы относятся к неимитационным – это способы активизации познавательной деятельности на лекционных занятиях.

В свою очередь, имитационные методы подразделяются на игровые и неигровые. К игровым методам относятся проведение деловых игр, игрового проектирования и т. п., а к неигровым – анализ конкретных ситуаций, решение ситуационных задач и другие.

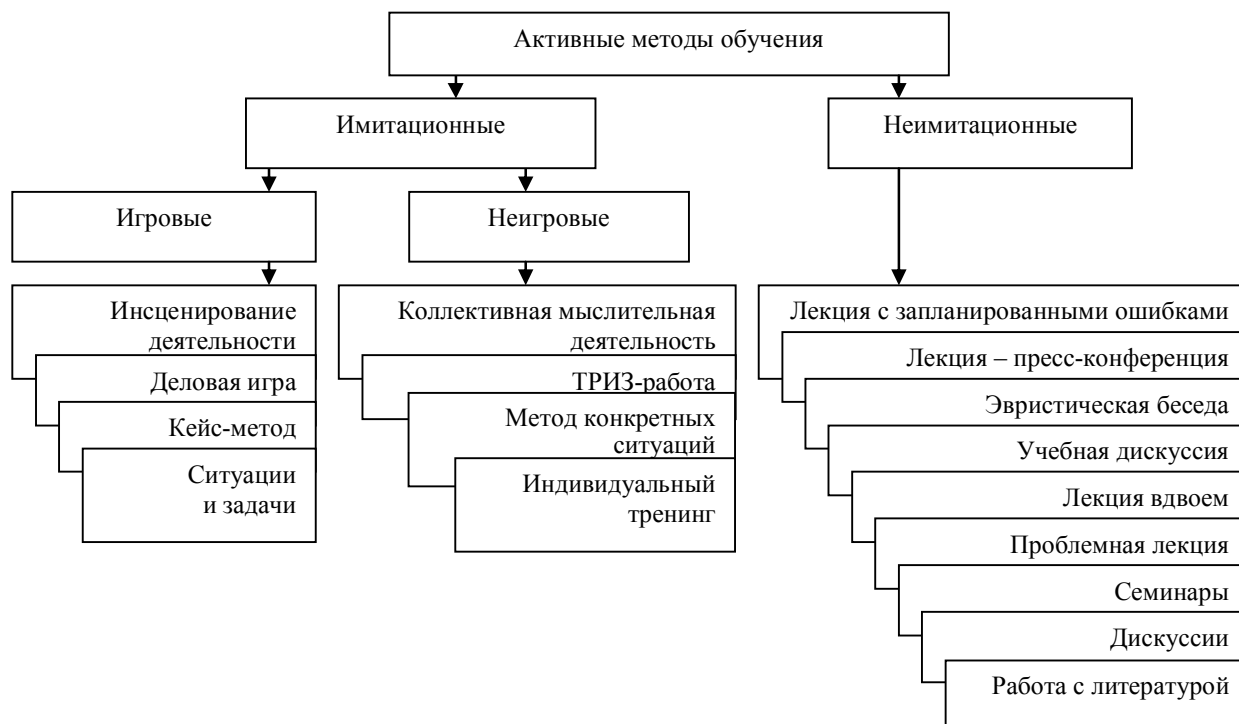
На рисунке показана классификация активных методов обучения, которые могут использоваться на различных этапах учебного процесса:

– на этапе первичного приобретения знаний могут применяться проблемная лекция, эвристическая беседа, учебная дискуссия и др.;

– на этапе контроля (закрепления) знаний могут быть использованы коллективная мыслительная деятельность, тестирование и др.;

– на этапе формирования профессиональных умений и навыков, основанных на знаниях и развитии творческих способностей, возможно использование моделированного обучения, игровые и неигровые методы.

Однако следует помнить, что применение активных методов обучения не является самоцелью, а должно быть оправдано логикой и потребностями учебного процесса.



Наилучшее приобретение профессиональных практических навыков и компетенции обеспечивают различные виды деловых игр.

Впервые деловые игры начали применяться в военных организациях как средство обучения практическому действию. В деловых играх отрабатывались действия командного состава, связанные с предстоящей военной операцией. Концентрация и централизация производства и капитала, массовое производство, массовые армии, возросшая роль различного рода штабов породили новые условия для имитационных игр. Особенно активно командно штабные учения стали проводиться в 20–30-е гг. перед Второй мировой войной. Нарботанный опыт и технологии были перенесены из военной сферы в гражданскую.

Впервые в Советском союзе для народного хозяйства метод имитационных игр, автором которого является М. М. Бирштейн, был применен в 1932 г. в Ленинградском инженерно-техническом институте. Результаты этой игры стали основой проведения экономических экспериментов на ткацкой фабрике и были использованы в деловой практике.

В 1956 г. Американская ассоциация управления впервые организовала деловые игры с применением ЭВМ, а в 1957 г. в подобной игре приняли участие 20 президентов крупнейших фирм США [1].

На 1991 г. в мире использовалось более 2000 деловых игр, из них только в бывшем СССР и США – свыше 1200. В России и на территории СНГ были сформированы несколько научных центров по разработке теории и практики деловых игр – в Москве, Санкт-Петербурге, Киеве, Новосибирске, Одессе, Челябинске.

Большинство деловых игр являются управленческими, социально-экономическими, проектировочными, производственными. Поскольку научить управлению в различных

сферах деятельности чисто инструктивными методами трудно, а иногда и невозможно, деловые игры в этой области являются наиболее конкурентоспособными.

Подготовка деловой игры – чрезвычайно сложная и трудоемкая задача; в основе любой игры лежит модель объекта управления, которая может быть формализована с различной степенью полноты и точности. Современные информационные технологии существенно облегчают эту задачу.

Исследователи установили, что при подаче материала в игровой форме усваивается около 90 % информации. Активность студентов проявляется ярко и носит продолжительный характер.

В настоящее время различают три сферы применения игрового метода:

1. Учебная: игровой метод применяется в учебной программе для обучения, повышения квалификации.

2. Исследовательская: используется для моделирования будущей профессиональной деятельности с целью изучения принятия решений, оценки эффективности организационных структур и т. д.

3. Оперативно-практическая: игровой метод применяется для анализа элементов конкретных систем для разработки различных элементов системы образования.

Методы деловых игр, имитирующих конкретную ситуацию, все чаще используются в процессе обучения студентов вузов разного профиля. Четко определяя ситуацию, эти задачи предполагают разные варианты сценария ее развития в случае принятия студентами разных решений. Разновидностью ситуационных игр является метод кейсов.

Метод кейсов (метод анализа ситуаций) – это метод обучения, суть которого заключается в том, что учащимся предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Как специфический метод обучения кейс-метод применяется для решения свойственных ему образовательных задач. Основными проблемами кейс-метода являются технологизация и оптимизация, методологическое насыщение и применение различных типов и форм.

Будучи интерактивным методом обучения, он завоевывает позитивное отношение со стороны студентов, которые видят в нем игру, обеспечивающую освоение теоретических положений и овладение практическим использованием материала. Кроме того, анализ ситуаций сильно воздействует на профессионализацию студентов, формирует интерес и позитивное отношение к учебе.

Кейс представляет собой некую ролевую систему, где под ролью понимается совокупность требований, предъявляемых к лицам, занимающим определенные социальные позиции. Действия в кейсе либо даются в описании, и тогда требуется осмыслить последствия и определить их эффективность, либо должны быть предложены в качестве способа разрешения проблемы. В любом случае выработка модели практического действия представляется эффективным средством формирования профессиональных качеств студентов [2].

В целом метод кейсов позволяет решать следующие задачи:

– принимать верные решения в условиях неопределенности;

- разрабатывать алгоритм принятия решения;
- овладеть навыками исследования ситуации, отбросив второстепенные факторы;
- разрабатывать план действий, ориентированных на намеченный результат;
- применять полученные теоретические знания, в том числе и при изучении других дисциплин (менеджмент, статистика, экономика и др.), для решения практических задач;
- учитывать точки зрения других специалистов на рассматриваемую проблему при принятии окончательного решения.

Эффективность обучения с помощью кейс-метода убедительно доказана американскими и европейскими учебными и научными школами. Студенту предоставляется возможность проверить теорию на практике и свою способность к творческому мышлению. С другой стороны, практическая ситуация дополнительно вызывает интерес к процессу обучения, так как становится ясно, каких теоретических знаний не хватает для решения проблемы. В качестве инструментов, которыми могут пользоваться студенты при решении поставленных в кейсе вопросов, служат как качественные методы анализа (например, метод сценариев), так и количественные методы анализа (например, методы исчисления цены, конкурентоспособности, выручки, прибыли).

Применение метода кейсов в групповом обучении и принятии решения, способствующих эффективному анализу возникающих ситуаций в кратчайшие сроки, учит студентов работать в команде, защищать свою точку зрения и учитывать мнение и критику других. В этом случае развивается активность учащегося, дух состязательности, может выявиться способность к лидерству.

На процесс формирования кейсов оказывают влияние несколько факторов: дидактика, требования системы образования, изменения, происходящие в жизни, в той системе, которая отражается в кейсе, творческие способности разработчика кейса.

Ситуационное упражнение должно:

- быть написано интересно, простым и доходчивым языком;
- отличаться «драматизмом» и проблемностью;
- показывать как положительные примеры (например, путь к успеху фирмы), так и отрицательные (причины неудач, например уменьшения сегмента рынка);
- выразительно определять «сердцевину» проблемы;
- соответствовать потребностям выбранного контингента студентов, содержать необходимое и достаточное количество информации.

Вместе с тем, текст ситуационного упражнения не может подсказывать ни одного решения поставленной проблемы.

От создателя имитационной задачи требуется четкое структурирование рассматриваемых проблем, определение целей выполнения задания по этапам его выполнения. Для имитирования ситуации неопределенности целесообразно предложить к рассмотрению несколько вариантов развития событий, несколько возможных вариантов принятия решения для выбора наиболее подходящей к условию задачи. Распределение ролей в процессе выполнения задачи (главный управляющий, маркетолог, ответственные за рекламу, за сбыт и др.) позволяет повысить ответственность исполнителей и их интерес к сути задания.

Имитация конкретной ситуации в разных ее аспектах и развитии, огромное количество деталей и вариантов требуют от создателя не только специальной подготовки и знаний, но и

умения адаптировать задания к возможностям и уровню подготовки студентов, а также навыков творческой деятельности.

Процесс выполнения поставленной ситуационной задачи предполагает определенную организацию, контроль и подведение итогов. Автором разрабатываются подходы к распределению ролей, методы поэтапной проверки результатов, методы стимулирования интереса к заданию и требования к форме составления итогового отчета по вариантам.

Роль преподавателя в процессе выполнения студентами задания чрезвычайно важна. На некоторых этапах он может делегировать инициативным студентам роль ведущего (например, ведущего биржевых торгов, потребителя, принимающего решение о покупке и др.), который может менять некоторые условия игры, предлагать новые варианты развития событий, т. е. креативный подход в процессе ведения игры.

В результате такой работы у студента вырабатывается представление о сложности ситуаций, с которыми им придется столкнуться на производстве и в рыночном пространстве, о ситуациях неопределенности и риска. Это позволит им не только принимать правильные решения, но и во всех вопросах проявлять себя как грамотных специалистов, обладающих опытом эффективного решения сложных задач.

Модернизация коснулась не только методов обучения, но и образовательных форм. Развитие современной системы высшего экономического образования происходит в сторону повышения его доступности для людей, не имеющих возможности лично присутствовать на занятиях вследствие территориальной удаленности либо высокой занятости на работе. В связи с этим активно развивается система дистанционного обучения с использованием современных информационных технологий.

Дистанционная форма обучения подразумевает индивидуализированный подход к образованию студентов и требует адаптации существующих обучающих, в том числе и активных, методов.

Дистанционное образование подразумевает минимальное участие преподавателя и максимальную долю самостоятельного обучения студента. При этом студент выбирает удобный для себя режим и график получения знаний и навыков.

Учебные материалы предоставляются студентам в виде интерактивных учебников и ресурсов, размещенных в сети Интернет. Распространение индивидуальных заданий и текущий контроль знаний осуществляются с использованием Интернет-технологий, что позволяет исключить влияние фактора разницы во времени между регионом проживания студента и расположения высшего учебного заведения.

Наиболее сложно в дистанционной форме реализовывать деловые игры в области экономики и менеджмента. Общий производственный, финансовый, административный менеджмент требуют соответствующей методической проработки. Конечно, здесь целесообразно придерживаться единой формальной модели принятия решений, обеспечивающей реализацию необходимых требований к деловым играм. Такая модель должна автоматически создавать игровые ситуации выбора, реализовывать многокритериальность и возможность индивидуального и группового принятия решений.

Для примера формальную модель задачи принятия решений можно описать следующим образом:

для индивидуального ПР: $\langle S_0, T, Q, S, A, B, Y, R, K, Y_{opt} \rangle$;

для группового ОТ: $\langle S_0, T, Q, S, A, B, Y, F(f), L, Y_{opt} \rangle$,

где S_0 – проблемная ситуация; T – время для принятия решения; Q – ресурсы; S – множество альтернативных ситуаций, уточняющих проблемную ситуацию S_0 ; A – множество целей; B – множество ограничений; Y – множество альтернативных вариантов; f – функция предпочтения субъекта управления; K – критерий выбора; $F(f)$ – функция группового предпочтения; L – принцип согласования; Y_{opt} – оптимальное решение [3].

Таким образом, использование активных методов обучения является не только инструментом модернизации образовательного процесса и реализации творческого потенциала преподавателя, но и условием приобретения студентами профессиональных характеристик, востребованных во всех областях деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смолкин А. М. Методы активного обучения. М., 1991.
2. Сурмин Ю. П. Что такое кейс-метод. Взгляд теоретика и практика // Исследовательский семинар «Метод ситуативного анализа в этико-прикладном исследовании и преподавании этики», 2005.
3. Порховник Ю. М. Активные методы в дистанционном обучении // Открытое образование. 1997. № 1.

A. I. Lyubimenko, M. V. Chigirina, O. D. Nechaeva

DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF METHODS AND FORMS OF TRAINING IN SYSTEM OF THE HIGH EDUCATIONS LEVEL

Given clause is devoted to directions of modernization of educational methods and forms in system of the High school. The basic emphasis of clause is necessary on application of active methods of training, and in particular imitating methods. Advantages of use during studying methods of imitating games are considered on an example a case –method which efficiency is proved by long-term practice of the American and European scientific schools. Consequence of introduction of active methods of training in system of the higher school is reduction of break between qualitative characteristics of graduates and needs of real sector of economy.

Method, training, active, imitating, business games, case

УДК 531/539:61

**П. И. Бегун, О. В. Кривохижина,
Е. А. Лебедева, М. Ю. Смирнова**

МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОМЕХАНИКИ

Рассматриваются методологические вопросы моделирования биологических структур: выделение свойств объекта и его взаимодействие с другими объектами; отражение особенностей функционирования при различных внешних воздействиях; логический анализ собранной информации.

Методология, моделирование, биологические структуры

Моделирование органов и структур человеческого организма и протекающих в них физиологических процессов – одна из основных задач и целей при изучении дисциплин «Биомеханика и биоматериалы» и «Моделирование биологических процессов и систем».

Вопросы моделирования входят также в состав 2-й части дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

Математическое моделирование биологических объектов представляет собой математическое описание идеализированных процессов и систем, адекватных реальным. Построив общий алгоритм выполнения организмом или его частью заданных функций, можно определить, каким набором свойств должен обладать выделенный биологический объект, входящий в рассматриваемую систему. Идеальных систем и процессов в природе не существует, однако полученные в результате моделирования результаты в известных пределах можно применить к реальным процессам и системам, так как они имеют общие свойства с идеальными. Математические модели строят либо на основе экспериментальных данных, либо умозрительно, используя гипотезу или известную закономерность какого-либо явления [1].

Чем сложнее исследуемая часть организма, тем менее определенной становится задача разделения ее на обособленные части и тем более неопределенными – требования к характеристикам расчетных схем и математических моделей этих объектов. Поэтому одним из основных условий математического моделирования биологического объекта является возможно более полный анализ и формализация той функции, которую он выполняет в процессе жизнедеятельности организма или его соответствующей части.

Построение математических моделей связано с очень большой и кропотливой работой по выявлению необходимых количественных данных по анатомии, морфологии и физиологии исследуемого объекта и его механических свойств. Биомеханические модели биологических объектов должны удовлетворять следующим требованиям: 1) качественно воспроизводить реальные механические процессы в структурах и органах биологического объекта в физиологических состояниях; 2) описываемые ими процессы должны соответствовать фундаментальным законам функционирования биологической системы. Функционирование таких сложных систем, какими являются биотехнические системы медицинского назначения, возможно только при условии согласования характеристик, определяющих поведение каждого элемента системы. Их анализ должен строиться на единых принципах с учетом медицинских и технических проблем, а сами биологические и технические элементы должны быть биомеханически, биофизически и биохимически совместимыми.

Расчетные схемы и математические модели строят при введении большого числа гипотез. Это необходимо помнить, анализируя результаты исследований и высказывая определенные суждения как о функционировании биологического объекта, так и о диагностике заболеваний органа и системы. В зависимости от поставленной задачи для одной и той же биологической структуры можно построить несколько расчетных схем. Строя расчетную схему, необходимо при минимальном отступлении от реальной биологической структуры и действительной конструкции имплантата максимально приблизить расчетную схему к разрабатываемому эффективному математическому методу.

Статические расчетные схемы строят для исследования напряженно-деформированного состояния неподвижных структур и для подвижных структур в заданном мгновенном состоянии. Нагрузку считают статической, если передаваемая телу кинетическая энергия мала по сравнению с упругой энергией деформированного тела. Если эти энергии соизмеримы, то необходимо строить динамическую расчетную схему [2].

При построении статической расчетной схемы проводятся схематизации по трем основным направлениям: по свойствам материала, нагрузки и геометрической формы.

Предпосылка о сплошности материала не отражает строение биологической структуры, противоречит молекулярному строению вещества и приемлема лишь до тех пор, пока размеры рассматриваемых объектов существенно больше составляющих их биологических элементов. Все структуры человеческого организма состоят из подмножеств разнородных структурных элементов и представляют собой композитный материал сложной конструкции. В свою очередь, структурные элементы также являются композитами. В течение небольшого промежутка времени (десятки часов) биологические структуры могут заметно изменять параметры (размеры, форму, взаиморасположение), оказывающие влияние на свойства композита. Несмотря на такое сложное строение биологических структур при расчете напряженно-деформированного состояния часто вводят допущение об однородности и изотропности их материала. Например, стенка миокарда содержит несколько разнонаправленных слоев с различной ориентацией волокон в них. При выраженных анизотропных свойствах слоев можно рассматривать материал стенки миокарда как состоящий из неориентированных волокон и считать, что он в целом однородный и изотропный.

Часто предполагают, что в материале отсутствуют начальные напряжения. До приложения нагрузки материал считают ненапряженным. Гипотеза об отсутствии начальных напряжений не соответствует реальному состоянию структуры *in vivo*. К ней прибегают, когда неизвестно, каким было состояние структуры до приложения нагрузки. Если же картина начальных напряжений определена, эта гипотеза позволяет проводить независимый расчет напряжений и деформаций тел при заданной нагрузке, а затем суммировать рассчитанные значения напряжений и деформаций с начальными по принципу суперпозиции.

При экспериментальном исследовании биологических структур обнаружено два типа разрушения, которые по их признакам можно отнести к вязкому и хрупкому разрушению композитов. Вязкое разрушение протекает со значительным истончением стенки. На микроскопическом уровне разрушение характеризуется накоплением неразвившихся трещин. От момента зарождения разрушения до его окончания проходит длительное время. Хрупкое разрушение связано с концентраторами напряжений. Оно развивается без существенных остаточных деформаций. В основе хрупкого разрушения лежит рост магистральной трещины. Из-за высокой жесткости волокон и их плотной упаковки концентрация напряжений, возникающая на концах трещины, передается на соседние волокна и способствует их разрыву. Когда одна из трещин достигает критической величины, развивается мгновенное разрушение участка биологической структуры. Механическое состояние материала биологической структуры: упругое, упруго-пластическое или хрупкое, определяется напряжениями, возникающими при внешних воздействиях. Знание состояния материала в окрестности различных точек биологической структуры позволяет сделать заключение о состоянии самой биологической структуры.

При расчете биологической структуры как трехмерного тела имеем дело с неоднородным напряженным состоянием. При оценке предельных состояний биологических

структур, как правило, используют прочно вошедшие в инженерную расчетную практику и представляющие удобства при решении многих задач гипотезу энергии формообразования (при пластических деформациях) и гипотезы внутреннего трения и наибольших нормальных напряжений (при хрупком состоянии материала).

Согласно гипотезе энергоформообразования (критерий Мизеса), пластические деформации возникают тогда, когда удельная энергия формообразования достигает некоторого предела. Эквивалентное напряжение σ в окрестности точки тела рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения.

Гипотезу внутреннего трения (критерий Мора–Кулона) применяют при исследовании хрупкого состояния материала, по-разному сопротивляющегося растяжению и сжатию. Эквивалентное напряжение зависит от первого σ_1 и третьего σ_3 главных напряжений ($\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$). Для исследования хрупкого состояния материала, одинаково сопротивляющегося растяжению и сжатию, применяют гипотезу наибольших нормальных напряжений. Эквивалентное напряжение определяет первое главное напряжение σ_1 .

В биологических структурах необходимо учитывать не только допускаемые напряжения материала структуры, но и предельные напряжения, при которых структура сохраняет свои функции. Так, анализ баллонной дилатации венечных артерий показывает, что при напряжении, превышающем 0,61 МПа, межбололочные пружинные конструкции медиального слоя разрушаются и артерии, сохраняя свою целостность, функционально не соответствуют норме [3].

При решении задач биомеханики для тел сложной формы и неоднородной структуры чаще всего применяют численные сеточные методы – краевая задача для системы дифференциальных уравнений в частных производных сводится к системе алгебраических уравнений. Применяются конечно-разностные формулы для приближенного представления производных в узлах сетки, покрывающей тело, или используют метод конечных элементов. В методе конечных элементов непрерывная функция, определенная в некоторой области, аппроксимируется множеством кусочно-непрерывных функций, заданных на конечном числе подобластей – конечных элементов (КЭ). Аппроксимирующие функции представляются с помощью значений искомой функции в конечном числе узловых точек. Задача построения непрерывной функции сводится к отысканию конечного числа ее значений в узловых точках. В результате дискретизации задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Метод допускает разбиение сложной конструкции на подконструкции (суперэлементы) и построение расчетной модели из комбинации однотипных конечно-элементных представлений.

Основное ограничение наиболее распространенных программ – невозможность существования в одной модели разных типов КЭ. Метод КЭ, точно описывающий поведение стержневых систем, применительно к сплошным средам становится приближенным. Возникает вопрос о точности расчета. Для анализа биологических структур предпочтительно использовать линейные тетраэдральные элементы. Их конфигурация обеспечивает линейное

изменение составляющих перемещений в пределах КЭ и определение их в направлении исходной системы координат. Деформации и напряжения – константы в этих пределах. В параболических тетраэдральных элементах ребра криволинейные. При существенной кривизне ребер точность вычислений уменьшается. Следует учитывать то, что чем больше разница в размерах ребер КЭ, тем ниже точность вычислений и больше вероятность локальной расходимости решений. Погрешность расчета зависит от плотности сетки – размеров КЭ. Сетку необходимо уплотнять в местах существенного изменения геометрических и механических характеристик сопрягаемых элементов биологических структур.

С помощью современной компьютерной техники математические модели структур человеческого организма: 1) создают предпосылки для более глубокого понимания закономерностей функционирования человеческого организма в норме и патологии; 2) позволяют решать сложные многопараметрические задачи диагностики и создавать автоматические диагностические комплексы; 3) выбирать оптимальные пути лечения. Например, при использовании аналитических методов для исследования напряженно-деформированного состояния в структурах миокарда расчетные схемы строили только для левого желудочка [2], при рассмотрении его в виде эллиптического параболоида, параболоида и составной фигуры – части эллипсоида и эллиптического параболоида, а расчетные схемы для исследования концентрации напряжений на границе анатомических образований – сосочковых мышц и на границе зоны инфаркта при допущении, что геометрическая форма левого желудочка – толстостенная сфера либо толстостенный эллипсоид вращения. Введенные в расчетные схемы значительные упрощения формы желудочка и механических свойств материала дают представление только о качественном соответствии распределений напряжений в стенке желудочка. Использование конечно-элементных программ позволяет вводить в расчетные схемы миокарда сложные многослойные структуры стенок обоих желудочков, учитывающие ортотропные свойства каждого слоя, и проводить исследования напряженно-деформированного состояния в структурах сердца как при патологических состояниях, так и при прогнозировании результатов хирургических операций.

Пакеты прикладных программ, такие как COSMOSWorks, NASTRAN, ANSYS, обеспечивают машинному анализу доминирующее положение. При анализе поведения модели варьирование значений параметров дает возможность определить роль каждого из них на проявление синдрома, а следовательно, рассмотреть множество его вариантов и сочетаний с другими симптомами.

Суждение о точности расчета выносят на основании численных экспериментов, сравнения приближенного и точного решения тестовых задач, а также путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных.

Численные методы упругопластических расчетов при использовании деформационной теории пластичности основаны на сведении физически нелинейной задачи расчета деталей при упругопластических деформациях к последовательности линейных задач с переменными параметрами упругости или дополнительными деформациями.

При сравнении моделей оценивают следующие свойства: 1) адекватность; 2) простоту и оптимальность; 3) гибкость; 4) универсальность и проблемную ориентацию; 5) эффективность машинной реализации.

Адекватность (лат. *adaequatus* – правильный, сравнимый, вполне соответствующий). Этим свойством должна обладать модель по отношению к исследуемым свойствам объекта. Для сложных объектов, можно построить модель, отражающую лишь какую-либо его сторону. В этом случае адекватность: отражение только какой-то стороны объекта. Оценка адекватности модели – уровень достижения цели моделирования.

Точность модели зависит от возможностей моделирования в конкретной области знаний, от сложности объекта и от метода моделирования. Мы упрощенно моделируем структуру и функции объекта либо потому, что ещё не имеем соответствующих математических и программных средств, либо потому что не достаточно знакомы с сутью рассматриваемого явления. Самая точная модель – копия. Но в механике и биомеханике это недопустимый предел. Трудно предположить возможность создания точной копии даже клетки, так как сложные органические молекулы, из которых она составлена, не одинаковы.

Простота и оптимальность модели. Если модели имеют примерно одинаковую адекватность, целесообразно реализовать более простую. Если рассматриваемая система состоит из нескольких моделей, то результат моделирования определяется как свойствами каждой модели в отдельности, так и характеристиками их взаимодействия. При этом необходимо помнить, что наилучшее решение находится обычно на пределе возможностей системы и малейшее отклонение ее разрушает. Все оптимальные системы, как правило, крайне неустойчивы.

Гибкость (аддитивность) моделей. Модель должна быть параметрической. Параметрическая модель – описание объекта, которое позволяет вариациями параметров в заданных пределах получить всё множество его состояний.

Универсальность и проблемная ориентация моделей. Модели должны быть специализированы по типу объектов и универсальны по исследуемым функциям.

Эффективность машинной реализации. Использование компьютерных программ, основанных на численных методах, позволяет углубиться в области, которые остаются необслуженными аналитическими методами из-за больших трудностей в реализации. Аналитический метод и метод компьютерного численного анализа взаимодополняющие и дополняющие друг друга методы. При мощном программном обеспечении компьютерный численный анализ занимает доминирующее положение, но возможности компьютера, освобождая от многого, не освобождают от необходимости творчески мыслить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегун П. И. Гибкие элементы медицинских систем. СПб.: Политехника, 2002. 300 с.
2. Бегун П. И., Афонин П. Н. Моделирование в биомеханике. М.: Высш. шк., 2004. 340 с.
3. Бегун П. И., Сухов В. К. Проблемы информационного обеспечения малоинвазивных интервенционных рентгено-хирургических операций на кровеносных сосудах // Информационно-управляющие системы. 2002. № 1. С. 52–56.

P. I. Begun, O. V. Krivohizhina, E. A. Lebedeva, M. Yu. Smirnova

METHODOLOGY OF MATHEMATICAL MODELLING OF THE CONDITION OF STRUCTURES OF THE HUMAN BODY AT STUDYING THE BIOMECHANICS

Methodological questions of modelling of biological structures were considered: allocation of properties of object and its interaction with other objects; reflection of features of functioning at various external influences; the logic analysis of the collected information.

Methodology, modelling, biological structures



УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 658.562

В. В. Азарьева, С. А. Степанов

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ СИСТЕМ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Рассматриваются концепция оценки систем качества образовательных учреждений на основе стандартов и рекомендаций ENQA и технологии зрелости процессов, структура и методические документы системы аттестации систем качества образовательных учреждений.

Система качества образовательного учреждения, система аттестации систем качества образовательных учреждений, структура системы аттестации, стандарты и рекомендации ENQA

В настоящее время система качества образовательного учреждения (СКОУ) как один из важнейших механизмов внутренних гарантий качества образования входит в число показателей государственной аккредитации образовательных учреждений. Таким образом, перед экспертами по качеству стоит задача оценки наличия и эффективности системы качества в обследуемом образовательном учреждении. Однако сами критерии наличия и эффективности системы качества в настоящее время четко не определены, что существенно затрудняет проведение внешней экспертизы образовательных учреждений. Для решения данной задачи в рамках выполнения проектов Федеральной целевой программы развития образования на 2006–2010 гг. были разработаны документы типовой модели системы качества образовательного учреждения [1]–[3], в том числе, методика оценки систем качества образовательных учреждений [4], которая прошла апробацию в пяти ведущих вузах РФ. В соответствии с решением Совета по координации управления качеством профессионального образования Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки документы типовой модели рекомендованы к использованию в вузах и ссузах РФ.

В основу концепции оценки СК ОУ положена проверка степени соответствия СК ОУ требованиям стандартов и рекомендаций для гарантии качества высшего образования в европейском пространстве, разработанных Европейской ассоциацией гарантии качества в высшем образовании (ENQA) (далее стандарты и рекомендации ENQA), а также проверка уровня зрелости СК ОУ, который определяется уровнем зрелости процессов СК [5]. Стандарты и рекомендации ENQA определяют основные аспекты внутренних гарантий качества образования, а также служат основой для процедур деятельности европейских агентств

по аккредитации образовательных программ и ОУ, включая оценку качества образования [6]. При аттестации СК ОУ проводится проверка уровня зрелости СК. При этом аттестация может быть полной или частичной, когда аттестуются отдельные виды деятельности ОУ. Шкала зрелости СК ОУ имеет пять уровней:

- «Неопределенность СК ОУ» (нулевой уровень);
- «Определенность СК ОУ» (I уровень);
- «Воспроизводимость СК ОУ» (II уровень);
- «Способность СК ОУ» (III уровень);
- «Эффективность СК ОУ» (IV уровень).

При этом каждый последующий уровень зрелости, за исключением первого уровня, включает признаки зрелости всех предыдущих уровней. Поэтому при экспертизе СК ОУ должны рассматриваться последовательно все уровни и выход на следующий, более высокий уровень допускается при документальном подтверждении ОУ выполнения требований всех предыдущих уровней.

В соответствии с концепцией оценки СК ОУ, положенной в основу методики оценки [4], СК ОУ может быть аттестована, если эксперты-аудиторы подтверждают, что СК находится на уровне зрелости «Воспроизводимость» и выше.

Наличие СК ОУ на уровне «Воспроизводимость» означает следующее:

1. Требования потребителя, формализованные на предыдущем уровне зрелости «Определенность», трансформированы в выходные характеристики качества процесса, характеризующие тот результат, который получит потребитель процесса.

2. Разработана документация процесса, определяющая порядок сбора и анализа данных о результирующих характеристиках качества процесса.

3. Измерения и анализ выходных характеристик качества процессов введены в постоянную практику ОУ, при этом измеряются характеристики качества реализуемых образовательных программ, научно-технической продукции и других видов услуг. При анализе характеристик качества используются различные методы менеджмента качества, начиная от простейшего анализа трендов характеристик качества, до применения методов оценки стабильности процессов.

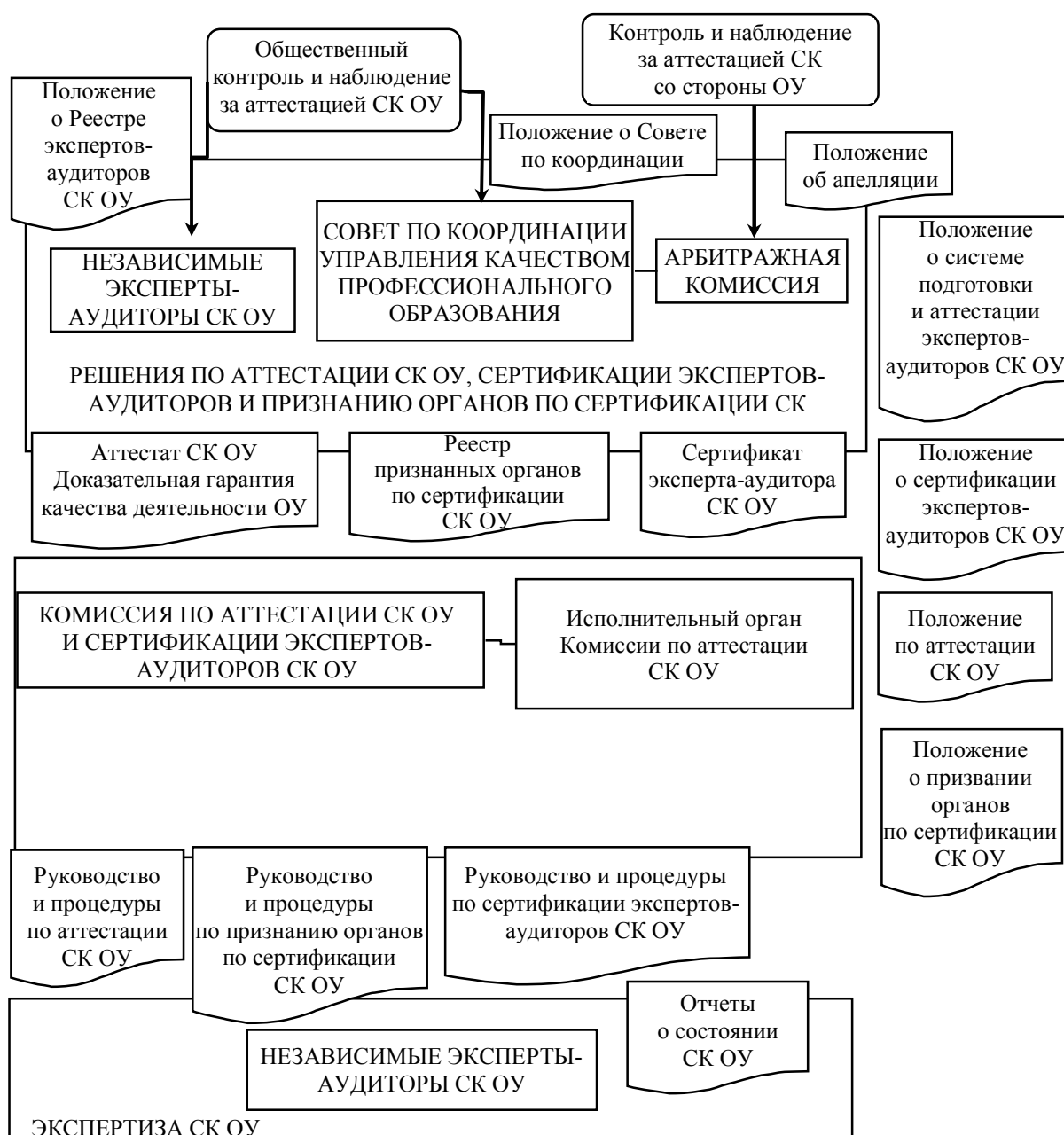
4. Управление процессом, т. е. поддержание выходных характеристик качества процесса в границах требований, осуществляется на основе измерения и анализа выходных характеристик качества процесса и применения по отношению к нему корректирующих действий – устранение причин отклонений процесса. Таким образом, система измерений связана с корректирующими действиями. Для реализации корректирующих действий участники процесса имеют полномочия и ресурсы для поддержания результирующих характеристик качества в границах требований. Поиск причин отклонений процесса от требований носит системный характер с применением различных инструментов менеджмента качества, например «7 основных и 7 новых инструментов» менеджмента качества.

5. На этом уровне у руководителей ОУ существует представление о процессах, но лишь фрагментарное. Процессы можно представить последовательностью «черных ящиков» и фактическое состояние деятельности доступно лишь на промежуточных этапах, т. е. на выходах процессов. Это обусловлено тем, что измерение внутренних и входных характеристик качества процессов на этом уровне осуществляется лишь фрагментарно.

6. Управление процессом производится на основе характеристик качества процессов, имеющих, как правило, долгосрочную природу. Недостатком такой стратегии является применение управляющих воздействий только в случае появления несоответствий характеристик качества.

7. Если корректирующие действия проводятся неформально и в их рамках действительно находятся и устраняются причины отклонений, то выходные характеристики качества процесса находятся в установленных потребителем границах и, таким образом, демонстрируется воспроизводимость процесса, создающего качество для потребителя.

Для развития работ в области аттестации СК ОУ в соответствии с данной концепцией оценки СК необходимо разработать систему аттестации СКОУ и документы, регламентирующие деятельность этой системы. Предлагаемая структура системы аттестации СК ОУ представлена на рисунке.



В рамках формирования национальной системы аттестации СК ОУ и для обеспечения реализации процедур аттестации СК ОУ были разработаны:

1. Документы, устанавливающие структуру документации системы аттестации СК ОУ и определяющие перечень процедур аттестации СК ОУ.

2. Проекты руководящих документов системы подготовки и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ, являющейся составной частью системы аттестации СК ОУ.

При определении структуры документации системы аттестации СК ОУ использовались как стандарты и рекомендации ENQA, документы типовой модели СК ОУ [3], [4], так и различные стандарты Международной организации по стандартизации (ISO – International Organization for Standardization).

Структура системы аттестации СК ОУ, представленная на рисунке, направлена на создание и обеспечение беспристрастности, нейтралитета и независимости всех участников системы аттестации СК ОУ и системы сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ. На рисунке показаны основные документы, входящие в состав документации системы аттестации СК ОУ.

Проведение экспертизы СК ОУ в форме аттестации предполагает:

- а) формирование группы экспертов-аудиторов для экспертизы СК ОУ на месте;
- б) предварительную подготовку экспертизы;
- в) проведение экспертизы СК ОУ на месте;
- г) подготовку и представление отчета по результатам экспертизы СК ОУ на месте.

Непосредственно экспертизу и аттестацию СК ОУ осуществляют эксперты-аудиторы, прошедшие специальную подготовку в области менеджмента качества в образовании и оценки СК, выдержавшие предусмотренные аттестационные испытания, удовлетворяющие квалификационным требованиям и обладающие компетенциями, достаточными для проведения оценки и аттестации СК ОУ [7].

На сегодняшний день разработана и согласована с Рособрнадзором учебная программа подготовки экспертов-аудиторов СК ОУ, которая предусматривает теоретическое и практическое изучение основ оценки СК ОУ в соответствии со стандартами и рекомендациями ENQA и технологий зрелости процессов. Также разработаны следующие нормативно-методические документы:

- а) квалификационные требования к экспертам-аудиторам СК ОУ;
- б) временное положение о выдаче сертификата эксперта-аудитора СК ОУ.

В соответствии с данными методическими документами на базе Межвузовского центра по сопровождению внедрения типовой модели СК ОУ, созданного в 2006 г. в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ», подготовлено 115 человек и выдано 59 сертификатов экспертов-аудиторов СК ОУ, которые могут принимать участие в экспертизе ОУ в части проверки показателя 1.2.3 государственной аккредитации и аттестации СК.

По результатам экспертизы подготавливается отчет, который предоставляется в Комиссию по аттестации СК и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ.

Комиссия по аттестации СК и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ (Комиссия) может быть создана при Совете по координации управления качеством профессионального образования и является независимым общественно-профессиональным органом по вопросам

оценки и аттестации СК ОУ и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ. Комиссия, руководствуясь разработанным «Положением о Комиссии по аттестации СК и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ», а также другими Положениями и Процедурами по аттестации СК и сертификации экспертов-аудиторов (см. рисунок), организует и координирует работы:

- по оценке и аттестации СК ОУ;
- подтверждению компетентности и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ;
- ведению реестров аттестованных СК ОУ и экспертов-аудиторов СК ОУ;
- оценке результативности и эффективности функционирования СК ОУ РФ;
- анализу лучших практик ОУ в области создания, внедрения и развития СК ОУ;
- контролю за деятельностью экспертов-аудиторов СК ОУ;
- признанию органов по сертификации систем управления ОУ со стороны Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки.

Организационное и методическое обеспечение деятельности Комиссии может быть возложено на Исполнительный орган Комиссии.

На основании проекта решения по аттестации СК ОУ, подготовленного Комиссией, Совет по координации управления качеством профессионального образования может осуществлять принятие решений по аттестации СК ОУ, признанию органов по сертификации, сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ, а также общественный контроль и наблюдение за работами по аттестации СК.

Таким образом, предложенная структура системы аттестации СК ОУ позволяет в полной мере организовывать и проводить работы по аттестации СК, что является несомненным приоритетом развития гарантий качества в образовании.

На сегодняшний день разработан ряд нормативно-методических документов по системе аттестации СК ОУ, согласованных с Рособрнадзором:

1. Положение о Комиссии по аттестации СК и сертификации экспертов-аудиторов СК ОУ.
2. Структура документации системы аттестации СК ОУ.
3. Перечень процедур аттестации СК ОУ.
4. Аттестат СК ОУ.
5. Сертификат эксперта-аудитора СК ОУ.
6. Положение о порядке признания органов по сертификации систем управления образовательных учреждений.
7. Положение о системе подготовки и аттестации экспертов-аудиторов СК ОУ.
8. Положение о реестре экспертов-аудиторов СК ОУ.
9. Квалификационные требования к экспертам-аудиторам СК ОУ.
10. Временное положение о выдаче сертификата эксперта-аудитора СК ОУ.

Несмотря на имеющиеся разработки по системе аттестации СК ОУ, необходимо развивать работы в данной области и для полномасштабного внедрения аттестации СК ОУ необходимо разработать методические документы, касающиеся процедур организационно-технического сопровождения экспертизы СК, непосредственного ее проведения, принятия решений, наблюдения и контроля за деятельностью системы аттестации СК ОУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по качеству / В. В. Азарьева, В. И. Круглов, В. С. Соболев и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
2. Методические рекомендации по внедрению типовой модели системы качества образовательного учреждения / В. В. Азарьева, В. И. Круглов, Д. В. Пузанков и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
3. Краткий терминологический словарь в области управления качеством высшего и среднего профессионального образования / В. В. Азарьева, О. А. Горленко, В. М. Григорьев и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
4. Методика оценки систем качества образовательных учреждений / В. В. Азарьева, В. И. Круглов, Д. В. Пузанков и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.
5. Степанов С. А. Управление качеством в технических вузах. СПб.: ООО «Технолит», 2008.
6. Оценка системы качества образовательного учреждения экспертами-аудиторами при проведении комплексной проверки / В. В. Азарьева, Е. Н. Геворкян, В. И. Круглов и др. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Экономика и менеджмент организации. 2007. Вып. 2. С. 3–16.
7. Степанов С. А., Азарьева В. В. Вопросы подготовки и сертификации экспертов-аудиторов систем качества образовательных учреждений // Материалы Восьмой всерос. науч.-практич. конф. «Управление качеством», 10–11 Марта 2009 г. ГОУ ВПО «МАТИ» – РГТУ им. К. Э. Циолковского. М., 2009. С. 42–45.

V. V. Azaryeva, S. A. Stepanov

METHODICAL FUNDAMENTALS FOR DEVELOPING ATTESTATION SYSTEM OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS QUALITY SYSTEMS

Assessment conception of educational institutions quality systems on the base of ENQA standards and guidelines as well as processes maturity technology, structure and methodical documents of attestation system of educational institutions quality systems are considered.

Educational institution quality system, attestation system of educational institutions quality systems, attestation system structure, ENQA standards and guidelines

УДК 336.717

А. Н. Леньков

СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ОБЕСЦЕНЕНИЯ АКТИВОВ ПРИ КРЕДИТОВАНИИ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Рассмотрен один из возможных вариантов расчета обесценения активов по операциям кредитного характера с юридическими лицами.

Юридическое лицо, кредит, обесценение актива, расчет резерва

В современных условиях среда, в которой действуют коммерческие банки, а также взаимодействие таких основополагающих факторов, как состояние финансовых рынков и внутрибанковских технологий, становятся все более сложными. Это требует усиления внимания к превентивному регулированию деятельности банков со стороны надзорных органов Центрального банка России (ЦБР) и максимально более точной прогнозной оценки банком рисков по финансовым инструментам, чтобы своевременно сформировать резервы, т. е. выявить признаки их возможного обесценения (снижения рыночной стоимости) актива.

Переход российских коммерческих банков на международные стандарты финансовой отчетности можно охарактеризовать, как смену идеологии. Одним из ключевых понятий становится вынесение профессионального суждения о качестве активов и адекватной оценки обесценения активов в соответствии с требованиями формирования резервов на основе профессионального суждения. Сближение оценки обесценения актива по российским и международным стандартам является задачей актуальной, так как в этом случае происходит

сближение количественного показателя финансового результата деятельности коммерческого банка.

Коммерческие банки постоянно сталкиваются с проблемой вынесения профессионального суждения по размеру обесценения финансовых инструментов, связанных с денежными требованиями и требованиями, вытекающими из сделок с финансовыми инструментами, которые классифицируются как задолженность по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности.

К таким финансовым инструментам относятся предоставленные банком кредиты (займы), размещенные депозиты, учтенные векселя и т. п., в соответствии с классификацией приложения 1 Положения ЦБР № 254–П [1]. Одной из проблем для коммерческих банков является расчет величины резерва по финансовым инструментам при взаимоотношениях между банками и заемщиками – юридическими лицами. В дальнейшем в целях упрощения изложения будет употребляться термин «ссудная задолженность».

Согласно положению на основе профессионального суждения коммерческие банки обязаны формировать резервы на возможные потери по категориям качества ссудной задолженности по схеме, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

Категория качества	Наименование	Размер расчетного резерва в процентах от суммы основного долга по ссуде
I	Стандартные	0
II	Нестандартные	От 1 до 20
III	Сомнительные	От 21 до 50
IV	Проблемные	От 51 до 100
V	Безнадежные	100

Использование в практике приведенной градации порождает определенную проблему: вероятность противоречия между точкой зрения коммерческого банка и взглядом надзорного органа ЦБР.

В соответствии с [1] при установлении числовых границ значений резервов по категориям качества ссудной задолженности, банкам предоставляется возможность самостоятельно классифицировать факторы риска в соответствующую категорию на основании профессионального суждения. Однако эта самостоятельность имеет существенные ограничения. На основании сформированного суждения необходимо дать стоимостную оценку риска в сумме резерва на обесценение актива, который должен быть создан и отнесен на расходы. С этого момента начинает проявляться ряд ограничений:

– как перевести качественные (экспертные) оценки профессионального суждения, характеризующие обесценения актива, в стоимостное выражение, отражаемое в балансе банка и в его отчетности;

– насколько аргументировано профессиональное суждение и насколько полно учтены факторы возможного риска;

– признание надзорными органами достаточности профессионального суждения и его адекватности стоимостной оценке риска и, соответственно, возможных в связи с этим потерь.

Одним из путей решения данной проблемы можно рассматривать обращение к алгоритмическому подходу, что придает достаточную весомость и убедительность. Следует отметить, что речь идет не только о частном случае из банковской практики, но и о концептуальном подходе в свете перехода российских банков на отчетность по МСФО.

Расчет резерва по каждой ссудной задолженности производится на основе анализа финансового положения заемщика и качества обслуживания заемщиком долга. Размер расчетного резерва определяется исходя из результатов классификации ссуды. Величина расчетного резерва по классифицированным ссудам в соответствии с [1] приведена в табл. 2.

Исходя из приведенной таблицы рассмотрим, как можно на основе количественных и качественных оценок (индексов финансового положения) рассчитать размер резерва, который должен быть сформирован по рассматриваемому финансовому инструменту.

Таблица 2

Финансовое положение	Обслуживание долга		
	Хорошее	Среднее	Плохое
Хорошее	Стандартные (I категория качества)	Нестандартные (II категория качества)	Сомнительные (III категория качества)
Среднее	Нестандартные (II категория качества)	Сомнительные (III категория качества)	Проблемные (IV категория качества)
Плохое	Сомнительные (III категория качества)	Проблемные (IV категория качества)	Безнадежные (V категория качества)

Финансово-хозяйственную деятельность юридического лица на основе его отчетности можно проанализировать в порядке, приведенном в [2], когда в зависимости от динамики каждого исследуемого показателя на отчетные даты ему присваивается соответствующий индекс: плюс единица, ноль или минус единица. Простая алгебраическая сумма индексов динамики параметров даст значение:

- больше нуля – финансовое положение хорошее;
- ноль – финансовое положение среднее;
- меньше нуля – финансовое положение плохое.

При этом все рассматриваемые показатели финансово-хозяйственной деятельности юридического лица целесообразно классифицировать по группам. Например, динамику показателей, непосредственно связанных с финансово-хозяйственной деятельностью, рассматривать относительно эволюции баланса. Тогда динамика валюты баланса, в зависимости от специфики деятельности юридического лица, в пределах $\pm 25\%$ может рассматриваться как «естественная» с присвоением индекса, равного 0.

Динамика других групп показателей может рассматриваться с точки зрения их влияния на результаты и оценку показателей деятельности с использованием критериев и подходов, применяемых при определении уровня их существенности.

Критерии оценки качества обслуживания заемщиком долга достаточно четко сформулированы в указанном положении ЦБР, и тогда, в соответствии с табл. 2, ссудная задолженность классифицируется в соответствующую категорию качества. Таким образом, определена нижняя граница, минимальный размер резерва, который должен быть сформирован по данной ссудной задолженности.

Чем больше положительных факторов (индексов), которые характеризуют деятельность юридического лица, тем меньше факторов риска для банка. И при увеличении числа положительных индексов у коммерческого банка возникают основания для вынесения профессионального суждения об уменьшении факторов риска по конкретной ссудной задолженности.

Для определения величины расчетного резерва воспользуемся следующим соотношением:

$$S_p = INF + (1 - K) D,$$

где S_p – сумма расчетного резерва, %; INF – нижняя граница в процентах по соответствующей категории качества, к которой отнесена ссуда; K – коэффициент финансового положения, равный отношению числа положительных индексов в деятельности юридического лица к общему числу индексов, по которым выносилось профессиональное суждение о результатах финансово-хозяйственной деятельности юридического лица; D – процентный диапазон по категории качества ссудной задолженности.

Например: ссуда нестандартная, качество обслуживания долга хорошее, число рассматриваемых индексов (параметров) – 26, из которых положительные – 9. Тогда при $D = 19$ (от 1 до 20 % по II категории качества ссуды – «нестандартная») получим, что резерв (обесценение актива) должен быть сформирован в размере 13,42 % от фактической суммы задолженности по основному долгу контрагента перед банком.

Приведенный в [2] перечень показателей и их группировка не являются исчерпывающими и неоспариваемыми. Увеличение количества индексов, которые характеризуют финансово-хозяйственную деятельность юридического лица, дает возможность наиболее точно определить в стоимостном выражении обесценение финансового инструмента.

Рассмотренный подход апробирован на практике. Он используется в деятельности одного из коммерческих банков Санкт-Петербурга, начиная с 2006 г. Отметим, что по поводу адекватности оценки кредитного риска и правильности расчета резервов было высказано положительное мнение как аудиторской фирмой, проводящей аудит в банке на ежегодной основе, так и представителями надзорных органов по итогам инспекционных проверок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение ЦБР от 26 марта 2004 г. № 254-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности» // Вест. Банка России. М.: ЗАО «АЭИ "Прайм-ТАСС"», 2004. № 28 (752). С. 31–46.

2. Ленков А. Н. Оценка банком финансового положения заемщика при кредитовании юридических лиц // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Экономика и менеджмент организации. 2007. Вып. 2. С. 59–65.

A. N. Lenkov

THE COST ESTIMATION OF ASSETS DEPRECIATION BY LEGAL PERSONS CREDITING

The article deals with the considering one of the possible variants of assets costs decreasing in the teams of providing credits to the legal persons.

Legal person, credit, depreciation of the asset, calculation of the provision

УДК 338.22.021.1

А. Р. Енгуразов

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Нефтегазовый сектор является стратегической отраслью национальной российской экономики. Рассматриваются основные проблемы и тенденции развития отечественного нефтегазового сектора, а также варианты его будущего реформирования.

Нефтегазовый комплекс, монополизм, инфраструктура, налоговая политика, долги и инвестиции нефтегазовых компаний

Экономическое благополучие России сегодня в значительной степени зависит от состояния топливно-энергетического комплекса в целом и нефтегазового комплекса страны в частности. Мировой экономический кризис, без всякого сомнения, наложит свой отпечаток на глобальный энергетический сектор, а следовательно, и на российскую экономику. Падение темпов роста мировой экономики в ближайшие годы приведет к переоценке динамики спроса на энергоресурсы. В этой связи падение цен на энергоресурсы хоть и неприятно для российского энергетического сектора (еще в июле баррель Brent стоил порядка \$145, а всего через 5 месяцев цена упала ниже порога в \$40 за баррель), но само по себе не критично. Гораздо неприятнее то, что в период неблагоприятных тенденций в мировой ценовой конъюнктуре нефтегазовый комплекс России входит с обострившимися внутренними проблемами системного характера, к которым можно отнести следующие:

- доминирование крупных, преимущественно государственных корпораций в нефтегазовом секторе (а проще говоря, монополизм);
- устаревшая и не отвечающая современным требованиям инфраструктура нефтегазового комплекса;
- отсутствие четкой системы налоговой политики в отношении нефтегазовых компаний;
- обремененность отечественных компаний нефтегазового сектора кредитами и долгами;
- неясность участия иностранного капитала в совместных нефтегазовых проектах.

Монополизм в нефтегазовом секторе. Падение нефтедобычи в последнее время – это во многом результат перераспределения собственности в пользу государственных компаний, при котором происходило отвлечение необходимых ресурсов, которые могли бы быть направлены на инвестиции и развитие новых месторождений. В итоге сложилась ситуация, которую эксперты прогнозировали еще лет пять назад: отсутствие замещающих мощностей на фоне естественного падения добычи. Решить проблему в производстве нефти могли бы малые и средние компании, но, к сожалению, их потенциал используется не в полной мере, что объясняется отсутствием условий для их эффективного развития. Между тем мировой опыт показывает, что при должной заинтересованности государства вклад малых предприятий может быть существенным. К примеру, в Канаде на долю небольших компаний приходится треть объемов добычи. Россия же свой потенциал почти не использует. Как видно из приведенной таблицы, сравнительная характеристика структуры добычи нефти по типам компаний в России и США говорит не в пользу России [1]. Хотя разумная политика, направленная на стимулирование деятельности и снижение рисков независимых производителей, позволила бы повысить не только бюджетные сборы, но и отдачу продуктивных нефтяных пластов. Сегодня в России она крайне низка: 70 % нефти остается в недрах [2]. В большинстве случаев мелкие российские нефтяные компании проявляют себя как эффективные собственники: на их долю приходится около 30 % вводимых в эксплуатацию месторождений, а объемы проходки и эксплуатационного бурения втрое превышают среднероссийские показатели. Кроме того, эти компании пользуются большим уважением в регионах, поскольку выполняют важнейшие социальные функции.

Структура добычи нефти по типам компаний

Страна	Общее количество компаний	Типы компаний		
		ВИНК	Средние (объем добычи более 250 тыс. т)	Малые (объем добычи менее 250 тыс. т)
		Доля в общей добыче, %		
Россия	160	91	7	2
США	Более 8000	43	45	12

В условиях, когда структура нефтегазового комплекса все больше стремится к жесткой монополии, не остается привлекательных ниш для прямых инвестиций. Следовательно, на повестке дня стоит острая проблема – разработка программы демонополизации нефтяной промышленности России и поиск эффективных инструментов контроля за деятельностью вертикально-интегрированных компаний (ВИНК).

Не лучше складывается ситуация и с добычей газа. По итогам января – сентября 2008 года в России зафиксирован небольшой рост (1.5 %) газодобычи. В последние месяцы суточная добыча газа «Газпромом», подросшая в декабре в результате ввода в эксплуатацию Южно-Русского газового месторождения (последнего относительно крупного нового месторождения), расположенного в действующем регионе добычи с развитой инфраструктурой, вновь сравнялась с уровнями предыдущих лет. Чтобы сохранить достигнутый уровень нефтедобычи (9–10 млн баррелей в сутки) и на перспективу увеличить ее, в ближайшее время нефтегазовым компаниям неизбежно придется идти в отдаленные и неосвоенные регионы полуострова Ямал и Штокмановского газового месторождения. По прогнозам специалистов, доля Западной Сибири в разведанных запасах нефти и газа снизится за 20 лет с 80 до 60 %, в то время, как доля Восточной Сибири, Дальнего Востока и шельфа арктических морей увеличится вдвое. Основные нефтегазовые месторождения расположены в труднодоступных районах со слаборазвитой или отсутствующей вовсе инфраструктурой и сложными условиями добычи, которые потребуют для обустройства и эксплуатации увеличение затрат, стоимости добываемой продукции и транспортировки к месту переработки и потребления. К примеру, строительство только одной скважины на новых месторождениях обходится «Газпрому» в \$1 млн. Разработка этих запасов потребует достаточно длительного времени и существенного увеличения капитальных вложений. Если масштабные поставки газа из этих регионов не начнутся раньше 2015 г. (а при сегодняшних темпах освоения есть все основания опасаться этого), из-за истощения действующих газовых месторождений Россия уже в ближайшее время столкнется с падением добычи газа и его дефицитом.

Устаревшая и не отвечающая современным требованиям инфраструктура нефтегазового комплекса. Еще одна серьезная проблема нефтегазового комплекса – это износ основных производственных фондов в отрасли. К 2000 г. более 30 % оборудования отрасли исчерпало свой ресурс, 60 % эксплуатируется более 20 лет, используемые сегодня газоперекачивающие агрегаты имеют низкий КПД – 20–22 %, из-за разного рода аварий и других причин только при транспортировке в газовой отрасли теряется 10–15 млрд м³ газа в год [3]. Износ основных фондов газотранспортной системы составляет в среднем 56 %. Нормативный срок службы выработали 14 % газопроводов, а средний возраст газопроводов близок к 22 годам. В период 1990–2002 гг. финансирование работ по реконструкции объектов газотранспортной инфраструктуры осуществлялось в объеме, не превышающем

29 % от потребности, проще говоря, только самых изношенных. В настоящий момент можно выделить ряд негативных явлений и тенденций, являющихся характерными для инфраструктуры нефтегазового комплекса:

- сохраняется высокая степень износа основных фондов (которая в ТЭК в целом превышает 50 %, а в нефтепереработке более 80 %) [4];

- относительно высокая аварийность оборудования, обусловленная, в том числе, низкой квалификацией персонала и недостатками управления;

- недостаточное соответствие уровня производства в ТЭК мировому научно-техническому уровню: высокая энергоемкость, отсталые технологии и нерациональное, неэкономное использование месторождений, потери, загрязнение окружающей среды;

- снижение воспроизводства минерально-сырьевой базы (в нефтяной отрасли).

Отсутствие четкой системы налоговой политики в отношении нефтегазовых компаний. В настоящее время правительство предпринимает целый ряд мер по масштабному снижению налоговой нагрузки на нефтегазовую отрасль. Нефтяные компании давно уже объявили высокие налоги главной причиной стагнации в добывающем сегменте. Однако фискальные послабления навряд ли приведут к резкому росту инвестиций. Сокращение фискальных сборов может просто увеличить прибыль нефтяных компаний и дивиденды своих акционеров. Пример тому – ситуация, когда государство пошло на сокращение отчислений на восстановление минерально-сырьевой базы для стимулирования нефтегазовых компаний к более активным вложениям в геологоразведочные работы. На практике это привело к нулевому результату. Совершенствование действующей налоговой системы должно идти по пути ее упрощения, повышения ее гибкости и адаптивности, ориентированности на налогообложение прибыли. Налогообложение должно стать проектно-ориентированным и учитывать фазу «естественной динамики», на которой находится тот или иной проект. Основными направлениями, которые требуют соответствующего нормативно-правового обеспечения, является разработка правовой базы, обеспечивающей гибкое (стимулирующее) налогообложение в части:

- эксплуатации истощенных запасов;

- ввода в разработку трудноизвлекаемых запасов с помощью новых технологий;

- ввода в эксплуатацию бездействующих, контрольных скважин и скважин, находящихся в консервации;

- применения методов повышения нефтеотдачи пластов и т. д.

Обремененность отечественных компаний нефтегазового сектора долгами. Долг «Газпрома», еще в конце 2000 г. составлявший \$13.5 млрд, по состоянию на конец 2007 г. достиг \$61.6 млрд или 66 % (две трети) от годовой выручки компании (тогда как для международных нефтегазовых компаний нормой является соотношение долга к годовой выручке на уровне не более 10–15 %). Сегодня долг «Газпрома» составляет \$49.5 млрд. Для сравнения – весь корпоративный долг таких стран, как Индия, Китай и Бразилия, который предстоит выплатить в 2009 г., составляет \$56 млрд. Долг государственной компании «Роснефть», потратившей миллиарды на покупку активов «ЮКОСа», достиг \$18.1 млрд. Сегодня «Роснефть» ведет переговоры о кредитах не только с правительством России, но и с

китайской корпорацией «China National Petroleum Corporation», которая может выделить российской корпорации \$15 млрд под обеспечение будущих поставок нефти в Китай [5].

В свою очередь, огромные выплаты по долгу препятствуют инвестициям в реализацию новых крупных нефтегазовых проектов, прежде всего на шельфе, где у российских компаний и специалистов просто нет достаточного опыта работы и необходимых технологий. Тем не менее, именно эти компании сегодня допущены к важнейшим ресурсам нефти и газа, в том числе крупнейшим новым месторождениям в неосвоенных регионах, на внеконкурентной основе. Ключевая проблема российской нефтегазовой индустрии состоит в увеличении барьеров и повышении рисков для частных инвесторов и отсутствии конкурентной среды в отрасли. Российским госкомпаниям придется сокращать инвестиционные программы как раз в тот момент, когда переход к освоению новых месторождений требует резкого увеличения инвестиций. Некоторые нефтяные компании уже объявили о сокращении своих инвестиционных программ на 2009 г. – например, «ЛУКОЙЛ» до менее чем \$9 млрд против \$11 млрд в этом году¹. Планы «Газпрома» на 2009–2010 гг. предусматривали выделение на капитальные вложения приблизительно \$23–27 млрд ежегодно против \$16 млрд в 2006 г. Однако сейчас неясно, сколько «Газпром» сможет реально инвестировать.

Неясность участия иностранного капитала в совместных нефтегазовых проектах.

Мера и порядок участия в нефтегазовых проектах иностранного капитала – следующий аспект, который до сих пор не прояснен. Новый закон «О порядке осуществления иностранных инвестиций в коммерческие организации, имеющие стратегическое значение для национальной безопасности Российской Федерации», а также принятые поправки к закону «О недрах» вроде бы и определяют законодательные рамки работы нерезидентов в нефтегазовой отрасли, но в реальности они мало что меняют в правилах игры. Пока остается неясным, каково же будет место иностранных компаний в российском энергетическом комплексе в перспективе. Например, какой процент нефти и газа будет добываться на предприятиях, где иностранные компании будут обладать значимыми пакетами акций или какие перспективные месторождения будут разрабатываться с их участием. И наоборот – насколько важной является экспансия российского бизнеса в зарубежный нефтегазовый сектор.

Широко рекламировавшийся несколько лет назад вариант привлечения иностранных компаний в качестве миноритарных партнеров для разработки крупных нефтегазовых месторождений пока не складывается. Желание российских госкомпаний сохранить полный контроль над проектами и не особенно делиться выгодами с партнерами препятствует развитию такой модели сотрудничества. Единственное, чего удалось достичь, – это привлечь германские компании «Wintershall» и «E.ON–Ruhrgas» в относительно легкие проекты разработки газовых месторождений в Западной Сибири. Никаких других примеров успешного сотрудничества российских госкомпаний с иностранцами по разработке новых месторождений просто нет.

¹ <http://www.gazeta.ru/column/milov/2870713.shtml>

В этой связи для изучения был бы полезным опыт нефтегазового комплекса Норвегии. Нефтегазовая политика Норвегии сумела объединить два основополагающих принципа: сделать континентальный шельф интересным для современных компаний мира и привлечь иностранные технологии и иностранный капитал, с одной стороны, а с другой – совместить все это с надзором за деятельностью иностранных и норвежских компаний и защитой национальных интересов. По сей день транснациональные нефтяные компании соревнуются за участие в разработке норвежских запасов углеводородных ресурсов, так как уверены в постоянстве и предсказуемости системы государственного регулирования отрасли. Для иностранных компаний своеобразной страховкой инвестиционных проектов стал тот факт, что с середины 80-х гг. XX в. норвежское правительство несет на себе основную финансовую нагрузку при проведении работ на континентальном шельфе. А капиталовложения государства в разработку месторождений достигали нескольких миллиардов долларов. Положительно влияет на заинтересованность крупных компаний в освоении нефтяных и газовых месторождений Норвегии также близость потребительских рынков Европы и США.

На основании изложенного, можно сделать следующий вывод. Резкое падение нефтяных цен, необходимость наращивания инвестиций в новые месторождения, долговой кризис госкомпаний, изношенность основных фондов – все это проблемы структурного характера, копившиеся не один год и требующие комплексного подхода, который заключается в перестройке и реформе нефтегазового сектора. Вполне очевидно, что без серьезных мер, направленных на оздоровление инвестиционного климата, открытие нефтегазового сектора для частного капитала, и снятие недавно выстроенных барьеров входа на российский энергетический рынок для иностранных компаний нефтегазовый комплекс будет стагнировать. А это, в свою очередь, может привести к стагнации всей национальной экономики в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шафраник Ю. Вопрос энергетической безопасности. Роль и место нефтегазового комплекса в развитии экономики России // Нефть России. 2004. № 4. С. 28–31.
2. Юдина Л. Засиделись в резерве. Малый и средний бизнес готов изменить тенденцию к сокращению добычи нефти // Российская газета. Экономика. 25 июл. 2008. С. 4.
3. Кириллов Н. Дашь стране угля! // Машины и механизмы. 2007. № 12. С. 10.
4. Реус А. Ресурсы – естественное преимущество России // Экономические стратегии. 2005. № 2. С. 7.
5. Kramer A. Gazprom, once mighty, is reeling // The New York Times. 2008. December 29. P. 8.

A. R. Engurazov

PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OIL AND GAS INDUSTRY OF RUSSIA

Russian oil and gas industry is a strategic sector of Russian national economics. In the article there are considered main problems and possible variants of the further reforming of system of oil and gas sector.

Oil and gas industry, monopolism, infrastructure, system of taxation, liabilities and investments



УДК 621(099)

С. В. Иванов

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ О. Д. ХВОЛЬСОНА И А. С. ПОПОВА

Уже семь лет прошло с юбилея – 150-летия со дня рождения профессора физики Санкт-Петербургского университета О. Д. Хвольсона. В этом году отмечается еще один юбилей – 150-летие А. С. Попова. Хочется еще раз напомнить, что деятельность этих двух знаменитых физиков пересеклась на демонстрации изобретенного А. С. Поповым устройства для радиопередачи. В честь этого события в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 11 декабря 2002 г. прошло заседание в музее-квартире А. С. Попова, где в уютной обстановке и атмосфере доброжелательности выступали доцент Л. И. Золотинкина (внучка профессора И. Г. Фреймана) и другие почитатели таланта О. Д. Хвольсона. Приводим вашему вниманию один из прочитанных на заседании докладов.

О. Д. Хвольсон, А. С. Попов, Ф. Ф. Петрушевский, И. И. Боргман, Б. Б. Голицын

Орест Данилович Хвольсон (1852–1934) (рис. 1), старший сын известного академика Данила Абрамовича Хвольсона (крупного ученого востоковеда-сеMITолога), родился 22 ноября (5 декабря) 1852 г. Жили Хвольсоны на Васильевском острове, на 8-й линии, д. 21. У маленького Ореста очень рано проявился большой интерес к занятиям историей, астрономией, а в особенности химией, преподавание которой в гимназии Карла Ивановича Мая было поставлено особенно хорошо (гимназия была открыта 24 августа 1856 г. в надворном флигеле д. 56 по 1-й линии Васильевского острова. В эту гимназию О. Д. Хвольсон поступил вместе с Павлом Иосифовичем Сомовым ((1852–1919), старшим сыном И. И. Сомова, профессора, заведующего кафедрой механики в Петербургском университете) в 1861 г. Павел Сомов обгонял в учебе Ореста и был первым по успеваемости в классе (средний бал 4,38).

Хорошей учебе Ореста поначалу мешали интерес к проведению большого количества опытов, сперва химических, а затем и физических, самостоятельное конструирование различных приборов. Кроме того, очень любил читать стихи. И поэтому ему было тяжело зубрить



Рис. 1

старые толстые книги, хотелось все законы и приборы исследовать или сделать самому. За год до окончания гимназии, когда ему было 15 лет, он серьезно задумался над тем, какой же предмет избрать своей будущей специальностью: ботанику, химию или физику. Несмотря на колебания, он все-таки отдал предпочтение физике. Павел Сомов и Орест Хвольсон закончили гимназию в 1869 г, затем в том же году вместе поступили в университет. О. Д. Хвольсон окончил курс Санкт-Петербургского университета в 1873 г. с золотой медалью за сочинение «О возможных скоростях и условиях равновесия соприкасающихся поверхностей».

С осени 1873 г. по осень 1874 г. О. Д. Хвольсон находится за границей. В городе Лейпциге он слушает цикл лекций профессора Карла Неймана и затем работает в Физическом институте этого города¹. Самым важным событием для будущего профессора было то, что в Лейпциге он становится учеником Карла Неймана, одного из самых блестящих представителей теоретической физики своей эпохи. В дальнейшем, особенно в молодые годы, Орест Данилович любил цитировать слова и мысли своего великого учителя. В Лейпциге произошло еще одно важное для Ореста Даниловича событие, но уже в личной жизни. Он познакомился со своей будущей супругой Матильдой Васильевной. Вскоре О. Д. Хвольсон получает магистерскую степень физика за работу «О механизме магнитной индукции в стали». В Санкт-Петербурге Орест Данилович начинает активную преподавательскую деятельность в должности преподавателя физики в гимназии К. И. Мая, отдавая дань учебному заведению, где провел всю свою юность. Орест Данилович Хвольсон читал здесь лекции в 1874–1877 гг.



Рис. 2

Затем он преподавал физику в женской гимназии Эмилии Павловны Шаффе (1877–1880 гг.), которая располагалась по адресу: Васильевский остров, 5-я линия, д. 16–17 (может быть, здесь по примеру музея-квартиры А. С. Попова вместо школы № 21 в будущем откроется музей этого великого человека). К сожалению, сейчас бывшая гимназия потеряла свой авторитет, и не идет в сравнение со школьными учебными заведениями № 239, № 30,

¹ Щербаков Р. Н. Призвание – учить... К 150-летию со дня рождения О. Д. Хвольсона // Вест. Рос. Акад. Наук. 2003. Т. 73, № 6. С. 538.

№ 57 и т. д. Потому об этой гимназии, когда-то очень популярном и уважаемом заведении, где преподавание разрешалось в основном людям с университетским образованием, а в настоящее время мало кому известном, хочется сказать отдельно. Она была открыта 15 января 1858 г. как частный пансион для девочек. В первые годы преподавание в школе Шаффе носило гуманитарный характер. Здесь учились дочери Д. И. Менделеева (Любовь и Мария), архитектора Бенуа. Основное внимание в ней уделялось преподаванию иностранных языков, истории, литературы. Однако постепенно Эмилия Павловна убеждалась в необходимости преподавания точных наук, и наконец в программу был введен курс физики, который стал вести профессор университета П. Хлебников, а позднее О. Хвольсон. Оба профессора старались привлечь внимание учениц к явлениям природы, рассказывали о влиянии атмосферы и земной поверхности на жизнь и развитие человека. Часто эти занятия посещали сама Эмилия Павловна и ее молодые учительницы. Женская классная частная гимназия Э. П. Шаффе в 1900 г. представляла Россию на всемирной выставке в Париже. На выставке были выставлены фотографии и чертежи физического кабинета, а также краткий очерк постановки учебно-воспитательного дела и постепенного развития заведения¹. К началу 20 века появилась необходимость строить еще одно здание, так как старый дом перестал соответствовать требованиям учебного заведения. Приёмный сын и наследник Э. П. Шаффе инженер-электрик Л. И. Шпергазе заказал архитектору К. К. Шмидту проект здания, который был сделан к декабрю 1906 г. Строительство велось в 1906–1907 гг.² (рис. 2). Гимназия своим лицевым фасадом расположилась на 5-й линии Васильевского острова и представляла собой сложное соединение нескольких домов с огромным количеством чердаков, переходов и выходов. Осенью 1918 г. женская гимназия была объединена с мужской – гимназией Карла Мая.

Параллельно с преподаванием в гимназии Шаффе О. Д. Хвольсон предпринял самую серьезную подготовку к защите докторской диссертации. В 1880 г. он получает степень доктора физики за работу «О магнитных успокоителях». 12 (24) марта 1896 г. присутствует на заседании Российского физико-химического общества, где состоялась демонстрация проф. А. С. Поповым изобретенного прибора. Позже он описал, как радиосигналы, переданные А. С. Поповым, принимал проф. Ф. Ф. Петрушевский (рис. 3) и написал на доске «Генрих Герц». «...Вы интересуетесь подробностями того заседания Физического общества, в котором А. С. Попов впервые демонстрировал беспроводную передачу. Я на этом заседании присутствовал и ясно помню все детали. Станция отправления находилась в Химическом институте университета, приемная станция – в аудитории старого физического кабинета. Расстояние – приблизительно 250 метров... Буквы передавались по алфавиту Морзе, и притом знаки были ясно слышны. У доски стоял проф. Ф. Ф. Петрушевский, имея в руках бумагу с ключом к алфавиту Морзе и кусок мела... Постепенно на доске получались слова «Heinrich Hertz», притом латинскими буквами. Трудно описать восторг

¹ Каталог Русского отдела Всемирной Парижской выставки. СПб., 1900. С. 24.

² Прогулки по Санкт-Петербургу // <http://walkspb.ru/zd/5lin16.html>.

многочисленных присутствующих и овации Попову, когда эти два слова были написаны. Заседание происходило в начале 1896 г., но точной даты я установить не могу»³.



О. Попов

Рис. 3

Ученый А. А. Добиаш в своей статье описал, каких высот достиг многолетним кропотливым трудом О. Д. Хвольсон в умении излагать материал:

«Всякий, кто имел возможность знакомиться с предметом в изложении Ореста Даниловича, конечно, помнит, какими неизгладимыми, четкими, ясными и твердыми линиями залегли в его сознании основы излагаемого.

Художественная завершенность его лекторской практики ставит лекционный метод в его воплощении – вне обычных споров. Отличительная особенность его лекций – их необычайная гармоническая пропорциональность.

Содержание всех частей строго обдуманно и точно разграничено. Удельное значение отдельных звеньев учтено и уравновешено. Громадная эрудиция и вдумчивая беспристрастность обуславливали то, что в изложении Ореста Даниловича сочетается верность исторической перспективы материалов. В его интерпретации излагаемый вопрос выступает во всей своей скульптурности, без загромождения его деталями, но и без принижения основного рельефа. Внешняя форма изложения представляет собою высшую степень лекторского мастерства. Простой и ясный язык не потребляет излишней энергией слушателя» [1].

³ Александр Степанович Попов в характеристиках и воспоминаниях современников. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 212; **Кьяндская-Попова Е. Г., Морозов И. Д.** К вопросу о первой в мире радиограмме // Радиоэлектроника и связь. 1995. № 1 (9).

После поступления в СПбГУ в 1877 г. А. С. Попов особенно увлекался лекциями тогда еще молодых ученых-физиков И. И. Боргмана и О. Д. Хвольсона, пропагандировавших труды Фарадея и Максвелла, что, безусловно, сказалось на мировоззрении способного студента¹. О. Д. Хвольсон с 1886 г. по 1894 г. состоял профессором физики в бывшем Техническом училище почтово-телеграфного ведомства, ныне Электротехническом университете. В физическом кабинете Академии наук О. Д. Хвольсон штатного места долгое время не занимал и только с 1883 г. получил должность лаборанта (в то время эта должность примерно соответствовала функциям заместителя директора). Старые инвентари кабинета написаны полностью его рукой. Деятельность О. Д. Хвольсона в физическом кабинете продолжалась примерно до 1893 г., до времени появления в Академии в качестве адъюнкта Б. Б. Голицына (1862–1916). В 1893 г. адъюнктом Академии, по представлению заведующего физическим кабинетом, академик Г. И. Вильд и ряд других академиков избрали Б. Б. Голицына. Это была достойная замена, поскольку Б. Б. Голицын был одним из талантливых представителей известной экспериментальной страсбургской физической школы¹. Так О. Д. Хвольсону нашлась достойная замена.

Всю дальнейшую жизнь О. Д. Хвольсон посвятил изучению широкого спектра физических проблем – актионометрии, оптики, магнетизма, электричества, метрологии (более 40 исследований); опубликованные результаты этих работ впоследствии принесли ему славу и известность. Главным делом его жизни стал шеститомный «Курс физики», первое издание которого вышло в 1895 г., а затем на протяжении почти 40 лет постоянно им совершенствовалось. «Благодаря этой работе О. Д. Хвольсон стал учителем не только всех советских физиков, но и вообще всех физиков нашего времени», – отмечали в 1934 г. ученые университета.

Наряду с научной работой он постоянно занимался преподавательской деятельностью, страсть к которой в нем пробудилась, как он сам признавал, с 14 лет. Его мастерство изложения труднейших вопросов было непревзойденным. Надо отметить, что формула $\xi_0 = \sqrt{4GMD_d D_{ds} / (c^2 D_s)}$ используется для нахождения радиуса Эйнштейна–Хвольсона. Можно вычислить также угол Эйнштейна–Хвольсона $\theta_0 = \xi_0 / D_d$, где расстояние между источником и наблюдателем – D_s , расстояние между гравитационной линзой и наблюдателем – D_d , расстояние между гравитационной линзой и источником – D_{ds} , масса Солнца $M = 1,989 \times 10^{33}$ г, значение гравитационной постоянной $G = 6,673 \cdot 10^{-8}$ см³/(г·с²), $c = 2,997 \cdot 10^{10}$ см/с².

С 1876 г. он читал лекции по физике и состоял приват-доцентом в университете. В 1885–1886 гг. читал лекции в Кронштадском минном офицерском классе, в 1886–1893 гг. читал лекции в Техническом училище почтово-телеграфного ведомства, а также входил в ученый совет.



Рис. 4

¹ Шнейберг Я. Изобретатель первого в мире радиоприемника // Мир связи. 2005. № 3. С. 126–130.

¹ Вавилов С. И. Успехи физических наук // Физический институт Академии наук за 220 лет. Т. 28, вып. 1. С. 33–34.

² Захаров А. Ф. Гравитационные линзы // Соросовский образовательный журнал. 2001. № 8. С. 75–82.

В 1900 г. А. С. Попов и О. Д. Хвольсон в одной группе представляли экспонаты на всемирной выставке в Париже. (Группа 3-я. Пособия и техника в области литературы, науки и искусства. Класс 15. Точные инструменты, оптические принадлежности, меры, монеты и медали. Группа 7). Попов представлял грозоотметчик, а О. Д. Хвольсон – актинометр³. За представленные экспонаты О. Д. Хвольсон и А. С. Попов были награждены золотыми медалями (рис. 4) на всемирной выставке в Париже¹. В 1908 г. была создана комиссия по вопросу о научном значении работ А. С. Попова под руководством проф. О. Д. Хвольсона².

В 1895 г. Хвольсон становится членом-корреспондентом Императорской Академии наук. Он читает благотворительные лекции об открытии, сделанном В. К. Рентгеном. В его письме Рентгену сказано: «...Вы, наверное, будете очень рады, услышав о трех публичных докладах о Вашем открытии... третий – 600 рублей для летней колонии – это вполне достаточно, чтобы отправить 17 бедных больных детей на лето в Аренсбург на остров Эзем...».

Вот некоторые серьезные научные публикации О. Д. Хвольсона:

Об интерференции не вполне однородного света // ЖФО. 1873.

Об одном случае разветвления тока в плоской пластине // ЖРФ. 1874.

Магнитные колебания при больших размахах // Mem de l'Acad de St-Petersburg. 1879.

Взаимодействие двух магнитов // Mem de l'Acad de St-Petersburg 1883; Repert d. Phys. 1884.

О калибровке реостатов // Annal. d. Phys. 1885.

Фотометрическое исследование внутренней диффузии света // Bull de l'Acad de St-Petersburg; Repert d. Phys. 1886.

О выводе второй теоремы Киргофа // ЖФО. 1888.

О размере единицы потенциала // ЖФО. 1888.

Рентгеновские лучи и теория Бора: Науч. изд. 1920.

К вопросу о структуре атомного ядра // Ztschr. f. Phys. 1921.

Характеристика развития физики за последние 50 лет. М.: Госиздат, 1924.

Принцип относительности: Прил. к «Вестнику знания». 1925.

Квантовая теория света и опыт Комптона // Основные вопросы физики: Статьи и речи. М.: Образование, 1926.

В 1910-х гг. вышла серия сборников «Новые идеи физики» под редакцией заслуженного профессора И. И. Боргмана. В сборнике № 6 «Природа теплоты» в начале публикуется статья О. Д. Хвольсона «Основные положения термодинамики», а затем работа М. Планка «О новых термодинамических теориях (Теорема Нернста и гипотеза кванта)». Самая важная работа в жизни О. Д. Хвольсона это – «Курс физики». Эта книга издавалась в Берлине. Этот курс физики не теряет актуальности до наших дней. Так, в книге «Краткий справочник по физике» (Н. И. Карякин и др., Москва 1962), в списках литературы на 5-м месте стоит книга О. Д. Хвольсона. «Курс физики».

³ Россия на всемирной выставке в Париже в 1900 г. СПб.: Изд-во. А. С. Шустова. С. 11; Каталог Русского отдела Всемирной Парижской выставки СПб., 1900 г. С. 96–97.

¹ Всемирная выставка. Париж. 1900 г., // <http://ru.wikipedia.org>.

² Из истории изобретения и начального периода развития радиосвязи: Сб. док. и материалов / Сост.: Л. И. Золотинкина, Ю. Е. Лавренков, В. М. Пестриков; Под ред. проф. В. Н. Ушакова. СПб, 2008. С. 11–12.

Профессор О. Д. Хвольсон продолжал плодотворно трудиться и в новых политических условиях. В 1918–1919 гг. читал лекции в Географическом институте. С 1919–1921 гг. преподавал в Педагогическом институте при 1 Петроградском университете, 1920–1922 гг. лекции при Педагогическом институте имени Герцена. В 1922–1924 гг. лекции в Университете имени Зиновьева. В 1922 г. лекции по физики на факультете общественных наук. В 1920 г. по предложению А. П. Карпинского, А. Ф. Иоффе и А. Н. Крылова он был избран почетным членом Академии наук, а в 1926 г. ему в числе первых было присвоено звание Героя труда. В связи с 80-летием О. Д. Хвольсона постановлением Народного комиссариата просвещения от 17.01.33 г. его имя было присвоено Большой физической аудитории НИФИ при ЛГУ и введены 3 стипендии его имени для студентов и 2 для аспирантов¹. Он был избран членом-корреспондентом РАН, почетным членом АН СССР.

Естественно, как любой уважающий себя ученый, О. Д. Хвольсон писал научно-популярные статьи. Вот часть из них:

Отчего *perpetuum mobile* невозможен. 1883.

О формуле $p = mg$ // Вестник оптической физики и элементарной математики. 1888.

Он писал даже научно-фантастические статьи:

Позитивная философия и физика // Мир Божий. 1898.

Об одной формулировке двух начал термодинамики // Ежегодник (Московский). 1900.

О несуществующих тепловых и химических лучах // Природа. 1915.

Эволюция учения о теплоемкости. 1920.

Лучистая энергия. Различные виды ее возникновения. 1920.

Как произошел мир. 1921.

Принцип относительности. 1922.

Строение атома и лучи Рентгена. 1923.

Наука чистая и прикладная. Научный работник Москва 1926 г., № 1.

О. Д. Хвольсон редактировал следующие книги:

Майкельсон А. Световые волны и их применение. СПб., 1912.

Гельмгольц. Г. Популярные лекции / Под ред. О. Д. Хвольсона и др.

Всю свою жизнь профессор прожил на Васильевском острове. В последние годы профессор жил на Университетской набережной, д. 7, где и умер. Похоронен он на Смоленском кладбище Васильевского острова (рис. 5). Его именем назван кратер на Луне – кратер Хвольсона (англ. *Khvol'son crater*).² О самом О. Д. Хвольсоне было написано несколько статей:

1. Добиаш А. А. Хвольсон Орест Данилович. К полувековому юбилею его научной работы // ЖРФО, 1926. Т. 58. С. 87–104.

2. Баумгарт К. К. О. Д. Хвольсон. К 50-летию его научной и педагогической деятельности // Электричество. 1926. № 5. С. 227–230.



Рис. 5

¹ Грищенко А. Е., Холмогоров В. Е. Имена на все времена // Санкт-Петербургский университет. 1998. № 16–17

² Andersson L. E. Whitaker, E. A. NASA Catalogue of Lunar Nomenclature. NASA RP-1097. 1982.

3. Благово Н. В. «Майские жуки» в университете // Тр. 1-й междунар. конф. «Рериховское наследие». СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та. 2002. С. 194–217.

4. Баумгарт К. К. Выдающийся физик-профессор О. Д. Хвольсон. К 100-летию со дня рождения // Электричество. 1953. № 1. С. 62–64.

5. Томас В. К. Три письма русских физиков В. К. Рентгену январь–февраль 1886 г. // Успехи физических наук. 1966. Т. 90. С. 541–544.

Коротенькие упоминания о знаменитом профессоре можно найти в журналах, газетах и книгах:

Весь Петербург. 1914 г; Козырева М. Гимназия Шаффе в Петербурге // История и современность. 1995. № 4, 5–6; Алексеев О. В. и др. ЛЭТИ – 100 лет. 1986. г. С. 213 и т. д.

S. V. Ivanov

SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL ACTIVITIES OF O. D. KHVOLSON AND A. S. POPOV

Seven years have past since jubilee 150-years from the birthday of famous professor of physics of Saint-Petersburg University O. D. Hvolson. In this year we have another jubilee of 150 years A. S. Popov. The activity of these famous physicists coincided during the demonstration of device for radio-transmission. This article is prepared from the materials reported 11th of December 2002th year in museum of A. S. Popov at SPbSEU "LETI".

O. D. Khvolson, A. S. Popov, F. F. Petrushevsky, I. I. Borgman, B. B. Galitzine

Сведения об авторах

Азарьева Вера Владимировна

Директор центра менеджмента качества в образовании СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 234-11-64. E-mail: VVAzarieva@mail.eltech.ru.

Аммон Людвиг Юрьевич

Студент гр. 4351 СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

E-mail: luds-a@yandex.ru.

Баринова Евгения Анатольевна

Аспирант кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7 (911) 254-78-21. E-mail: bachish@mail.ru.

Бегун Петр Иосифович

Профессор кафедры прикладной механики и инженерной графики СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.

Тел.: (812) 346-29-17. E-mail: begun@fromru.com.

Горячев Александр Вадимович

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 939-40-16. E-mail: avgoryachev@gmail.com.

Гриненко Валерий Алексеевич

Начальник стенда ФГУП «ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова».

Тел.: (812) 723-69-75.

Дмитревич Геннадий Данилович

Профессор кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.

Тел.: (812) 234-36-75. E-mail: GDDmitrevich@eltech.mail.ru.

Енгуразов Амир Равильевич

Инспектор районного отделения Управления Федерального казначейства, ассистент кафедры экономической теории СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. экон. наук.

Тел.: (812) 234-23-08. E-mail: enamra@yandex.ru.

Жабрев Валентин Александрович

Заместитель директора по научной работе Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН, д-р хим. наук, профессор, чл.-кор. РАН.

Тел. (812) 328-15-97. E-mail: zhabrev@isc.nw.ru.

Иванов Сергей Владимирович

Преподаватель кафедры физического воспитания и спорта СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7 (921) 579-61-73. E-mail: yivanov1@rambler.ru.

Калиникос Борис Антонович

Заведующий кафедрой физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
д-р физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-99-83. E-mail: spinlab@eltech.ru.

Касасбех Заид

Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: +7 (911) 274-37-89.

Коновалов Сергей Ильич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

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

Кривохижина Оксана Владимировна

Доцент кафедры механики Санкт-Петербургского государственного университета
авиаприборостроения, канд. техн. наук.

E-mail: krivohizhinaov@mail.ru

Кузьменко Андрей Григорьевич

Доцент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

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

Лебедева Елена Александровна

Доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
канд. техн. наук.

Тел.: (812) 346-29-17. E-mail: lenlea@pisem.net.

Леньков Анатолий Николаевич

Старший преподаватель кафедры прикладной экономики СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 346-29-20. E-mail: kafedrape@mail.ru.

Любименко Анна Игоревна

Старший преподаватель кафедры менеджмента Санкт-Петербургского
государственного университета технологии и дизайна.

Тел.: (812) 315-11-74. E-mail: chernysh@list.ru.

Марголин Владимир Игоревич

Профессор кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры, д-р техн.
наук.

Тел.: (812) 234-33-20. E-mail: v.margolin@mail.ru.

Нечаева Ольга Дмитриевна

Доцент кафедры менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета
технологии и дизайна, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 310-35-66. E-mail: olga_netchaeva@mail.ru.

Павлов Петр Алексеевич

Ведущий научный сотрудник кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.

Тел.: +7 (911) 934-64-82. E-mail: pavl-petr@yandex.ru.

Печенков Андрей Юрьевич

Доцент кафедры электротехнологической и преобразовательной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 346-47-78. E-mail: aуречenkov@mail.eltech.ru.

Позняк Игорь Владимирович

Доцент кафедры электротехнологической и преобразовательной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 275-26-35, E-mail: ivpozniak@mail.eltech.ru.

Попков Сергей Владимирович

Профессор кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», начальник лаборатории ФГУП «ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова», д-р техн. наук.

Тел.: (812) 723-60-72. E-mail: svpopkov@gmail.com.

Рябчиков Сергей Лазаревич

Ведущий инженер ФГУП «ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова».

Тел.: (812) 723-69-75.

Селихов Александр Михайлович

Начальник отдела ЗАО «Виброприбор», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 369-00-90.

Смирнова Маргарита Юрьевна

Аспирант кафедры прикладной механики и инженерной графики СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Тел.: (812) 346-29-17. E-mail: smu_r@mail.ru.

Степанов Сергей Анатольевич

Заведующий кафедрой менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 346-47-86, E-mail: SStepanov@mail.eltech.ru.

Устинов Алексей Борисович

Ассистент кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. физ.-мат. наук.

Тел.: (812) 234-99-83, +7 (950) 030-07-34. E-mail: spinlab@eltech.ru.

Федоров Виктор Викторович

Профессор кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.

Тел.: (812) 346-17-96.

Чигиринова Марина Владимировна

Доцент кафедры менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета
технологии и дизайна, канд. техн. наук.

Тел.: (812) 310-35-66. E-mail: chiginova61@mail.ru.

Шатунов Алексей Николаевич

Инженер кафедры электротехнологической и преобразовательной техники СПбГЭТУ
«ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812) 498-89-15. E-mail: an@shatunov.org.

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