

10' 2008

**ИЗВЕСТИЯ
СПБГЭТУ "ЛЭТИ"**

Ежемесячный журнал



Содержание

Редакционный совет:

Пузанков Д. В.
(председатель)
Кутузов В. М.
(заместитель председателя)
Мейев В. А.
(ответственный секретарь)
Мальшиев В. Н.
("Радиоэлектроника
и телекоммуникации")
Соломонов А. В.
("Физика твердого тела
и электроника")
Герасимов И. В.
("Информатика, управление
и компьютерные технологии")
Путлов В. В.
("Автоматизация
и управление")
Прокофьев Г. И.
("Электротехника")
Филатов Ю. В.
("Приборостроение
и информационные
технологии")
Попечителей Е. П.
("Биотехнические системы
в медицине и экологии")
Степанов С. А.
("Экономика и менеджмент")
Маркова О. Ю.
("Гуманитарные науки")
Вендик О. Г.
("История науки,
образования и техники")
Лысенко Н. В.
("Современные технологии
в образовании")

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Барченко В. Т., Задера А. В. Экспериментальное исследование
прианодной плазмы в дуоплазматроне 3
Устинов А. Б. Нелинейный спин-волновой фазовращатель 8
Пинаев В. В., Шаповалов В. И. Пленки оксинитридов
переходных металлов: применение, свойства 11
Завьялов А. В., Комлев А. Е., Шаповалов В. И. Гидрофильность
пленок оксида титана 16

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Малов А. В. Современные IMS-услуги и домашние
мультимедиа-сети 21
Колодяжный А. Н., Постников Е. В., Курушкин С. М.
Оценивание систематических погрешностей траекторных
измерений с использованием ортогональных полиномов 26

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Воскобович В. Ю., Калявин В. П., Чьен Нгуен Ван.
Влияние дефектов на работоспособность гребной
электрической установки 33

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Позняк И. В., Шатунов А. Н., Печенков А. Ю.
Измерение электропроводности расплава кориума 39
Ружников В. А., Силина М. В., Чернышев Э. П. К проверке
устойчивости автоколебаний в гистерезисной релейной системе
с интегратором в цепи обратной связи 46

БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Захаров И. С., Васильев В. И. Алгоритмические подходы
к моделированию биотестовых реакций на основе
локомоций микроорганизмов 51

* * *

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
СПБГЭТУ "ЛЭТИ"
тел.: 346-28-57

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

- Жукова О. С., Михайлов М. Н.* Создание эффективной системы управления дебиторской задолженностью 57
- Степанов П. В., Щербаков А. Ю.* Современные тенденции развития интегрированных систем менеджмента 62
- Михайлов М. Н., Чигирь М. В., Яремчук В. В.* Возможные пути развития энергетических ресурсов мира на основании альтернативных источников энергии 67

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

- Статья А. С. Попова "Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний" 77

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

П.И.№ ФС2-8390
от 04.12.2006 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,
Н. В. Рощина, И. Г. Скачек*
Комп. верстка:
*Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, Л. П. Смолянчук*

Подписано в печать 10.12.08 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 11,0

Тираж 300 экз. Заказ 106.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

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

Уважаемые авторы!

При подготовке материалов к изданию пользуйтесь требованиями, предъявляемыми к оригиналам работ, публикуемых в Издательстве СПбГЭТУ "ЛЭТИ".

С требованиями вы можете ознакомиться в Издательстве СПбГЭТУ "ЛЭТИ", а также на сайте www.eltech.ru/information/publishers/index.htm файл Требования НТЛ.doc

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России



УДК 621.38

В. Т. Барченко, А. В. Задера

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИАНОДНОЙ ПЛАЗМЫ В ДУОПЛАЗМОТРОНЕ

Рассматриваются результаты экспериментального исследования плазмы в области между сжимающим электродом и анодом в дуоплазматроне. Приводятся экспериментально полученные функции распределения электронов по скоростям и распределения потенциала в промежутке между сжимающим электродом и анодом. Обсуждаются меры по повышению эффективности извлечения ионов через анодное отверстие.

Дуоплазматрон, функция распределения электронов, плазма, метод второй гармоники

Исследование источника на основе дуоплазматрона, используемого для получения ионов веществ, атомы которых поглощаются стенками прианодной камеры, показало, что особое значение приобретают процессы, протекающие в прианодной плазме. Прежде всего, представляет интерес информация об энергии электронов. Функция распределения электронов (ФРЭ) по энергиям позволяет определить скорости ионизации атомов, а также кратности заряда, до которых могут быть эффективно ионизованы атомы рабочего вещества, что важно при определении компонентного состава ионного пучка.

При получении ионов веществ, конденсирующихся на поверхности стенок прианодной камеры, отличительной чертой источника рассматриваемого типа является то, что, вследствие малой концентрации атомов нужного сорта в непосредственной близости от анодного отверстия, их сколько-нибудь значительный выход можно получить лишь в том случае, если обеспечить условия для дрейфа ионов по длине положительного столба в направлении анодного отверстия. Поэтому важно знать распределение потенциала в прианодной плазме, а также выявить условия, влияющие на его формирование.

Исследование плазмы положительного столба проводилось на установке, состоящей из вакуумной системы, системы напуска газа в ГРК, источников питания разряда дуоплазматрона и измерительной аппаратуры.

Максимальный ток разряда в экспериментах лежал в диапазоне 200...600 мА.

Выбор методики исследования определялся следующими обстоятельствами: методика должна позволять исследовать ФРЭ по энергиям, обеспечивать измерение распределения потенциала по длине положительного столба и быть достаточно простой в реализации. Учитывая это, было решено использовать зондовую методику диагностики плазмы [Лит.].

В основе метода лежит соотношение, определяющее плотность электронного тока на зонд. Показано [Лит.], что если поверхность зонда выпуклая, то плотность электронного тока на зонд определяется выражением

$$j_e = \frac{2\pi en_e}{m_e^2} \int_{eU}^{\infty} (\varepsilon - eU) f_0(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (1)$$

где e , m_e – заряд и масса электрона; U – потенциал зонда; $\varepsilon = \frac{m_e v_e^2}{2}$ – энергия электронов; $f_0(\varepsilon)$ – симметричная часть функции распределения. Двойное дифференцирование (1) приводит к выражению

$$\frac{d^2 j_e}{dU^2} = \frac{2\pi e^2}{m_e^2} n_e f_0(eU). \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что для определения ФРЭ достаточно вычислить вторую производную зондового тока по энергии. В работе [Лит.] показано, что вторая производная зондового тока может быть получена методами электрического дифференцирования. В частности, показано, что если амплитуда переменного сигнала, модулирующего напряжение смещения зонда, мала, то амплитуда второй гармоники зондового тока с высокой степенью точности имеет вид

$$j_{2\omega} = \frac{U_0^2}{4} j''(U) \cos(2\omega t), \quad (3)$$

где U_0 – амплитуда модулирующего сигнала; $j''(U) = \frac{d^2 j_e}{dU^2}$ – вторая производная зондового тока по энергии; ω – циклическая частота модулирующего сигнала; t – время.

Формулы (2) и (3) устанавливают связь между ФРЭ и амплитудой второй гармоники зондового тока и лежат в основе метода исследования ФРЭ при помощи второй гармоники зондового тока.

В качестве зондов использовались тонкие металлические диски (толщиной 0,2 мм) с отверстиями, выполненными в центре диска. Диаметр отверстия в диске выбирался примерно равным диаметру положительного столба в исследуемом плазменном источнике ионов (ИИП). При этом введение зондов в разрядную систему ИИП не должно было сильно искажать процессы в прианодной плазме, в частности, распределение потенциала.

Результаты измерений представлены в виде графиков на рис. 1 и 2 [сплошная линия – эксперимент, штриховая – распределение Максвелла (рис. 1) и Дрюйвестейна (рис. 2)]. По полученным ФРЭ вычислялась средняя энергия плазменных электронов, которая для исследованных условий лежала в диапазоне 2...4 эВ. С учетом полученной информации

были построены кривые максвелловского и дрюйвестейновского закона распределения электронов по энергиям, соответствующие средней энергии электронов, полученной экспериментально.

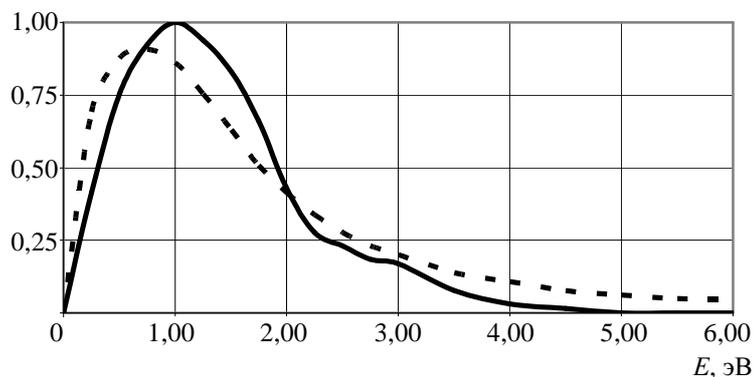


Рис. 1

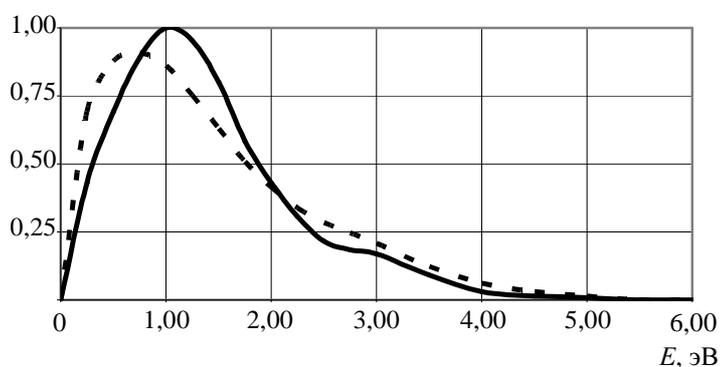


Рис. 2

Сравнение экспериментальных кривых с соответствующими аналитическими зависимостями показало, что в измеренных ФРЭ высокоэнергетичная часть распределения лучше описывается дрюйвестейновским законом распределения. Данная аналитическая зависимость была использована при определении средних сечений ионизации.

При помощи зондов, размещенных в прианодной камере ИИП, было исследовано распределение потенциала в прианодной плазме. Использовался макет ИИП, в котором диаметр отверстия в дополнительном электроде был равен диаметру анодного отверстия. Было установлено, что для ИИП типа дуоплазматрон режим работы с отрицательным анодным падением реализуется не всегда. Примеры экспериментальных зависимостей распределения потенциала в прианодной плазме дуоплазматрона приведены на рис. 3 (расход аргона $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3 \cdot \text{Па/с}$; ток разряда: 1 – 50 мА; 2 – 100 мА; 3 – 150 мА) и рис. 4 (расход аргона $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3 \cdot \text{Па/с}$, ток разряда 100 мА).

Показанные зависимости позволяют вычислить величину продольного электрического поля в прианодной плазме ИИП. Из приведенных зависимостей следует, что на значительной части положительного столба электрическое поле направлено таким образом, что ионы ускоряются в направлении анодного отверстия. Однако из приведенных зависимостей видно, что плазма имеет значительный отрицательный потенциал относительно анода. Это может стать серьезной причиной, препятствующей выходу через анодное отверстие ионов, образовавшихся в средней части положительного столба. Исследование при помощи зондов распределения электрического поля непосредственно в районе эмиссионного отверстия затруднено тем, что зонд сильно возмущает плазму. Косвенные дан-

ные, полученные при исследовании эмиссии ионов металла из дуоплазмотрона, позволяют заключить, что отрицательный потенциал плазмы относительно анода препятствует выходу ионов металла в формируемый пучок ионов.

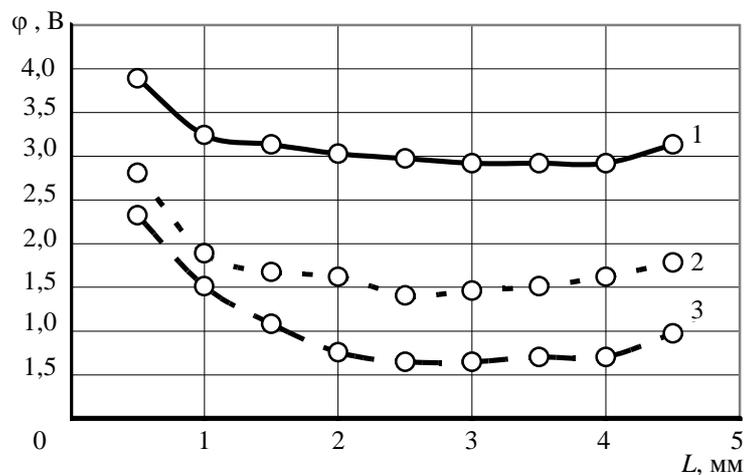


Рис. 3

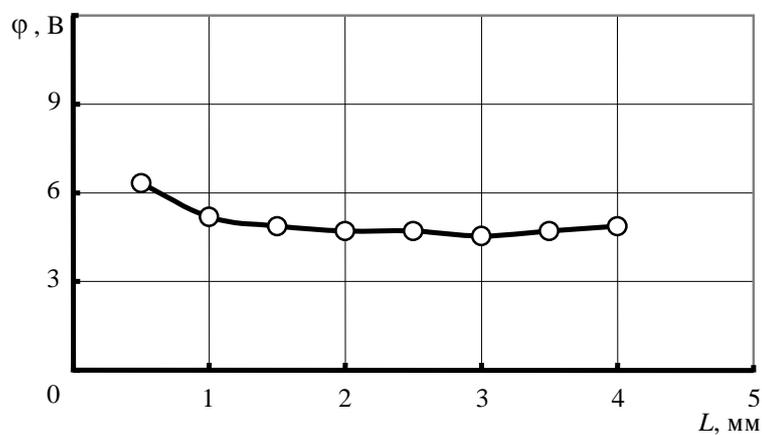


Рис. 4

Эффект экранирования выходного отверстия пространственным зарядом не может быть использован для объяснения наблюдаемого явления. При существующих концентрациях заряженных частиц в прианодной плазме слой пространственного заряда при дебаевском экранировании чрезвычайно тонок. По этой причине не может произойти смыкание оболочки в районе эмиссионного отверстия.

Наблюдаемое явление может быть объяснено следующим процессом. Для образования отрицательного анодного падения необходимо, чтобы хаотический ток из плазмы на анод был больше тока, протекающего во внешней цепи. Если хаотический ток на анод меньше тока, протекающего во внешней цепи, то вокруг анода возникает область положительного анодного падения. Эта область будет расти до тех пор, пока хаотический ток через ее поверхность не окажется равным анодному току.

Плазму положительного столба, находящуюся в продольном магнитном поле, в первом приближении можно рассматривать как проводник с анизотропной проводимостью, в котором продольный и поперечный компоненты проводимости не равны между собой. В результате того, что магнитное поле сказывается на перемещении электронов в радиальном направлении, увеличивая частоту их столкновений с атомами газа, радиальная составляющая проводимости оказывается существенно меньше продольной проводимости. Это усиливает рост области положительного анодного падения.

Данный процесс может привести к тому, что значительная часть сечения эмиссионного отверстия будет занята областью положительного анодного падения. Распределение потенциала в области положительного анодного падения таково, что движение положительных ионов из плазмы через данную область связано с преодолением потенциального барьера. Количество ионов, способных преодолеть образовавшийся потенциальный барьер, практически равно нулю. По этой причине выход ионов, образовавшихся в глубине положительного столба, через часть сечения эмиссионного отверстия, занятую положительным анодным падением, невозможен. Так как скорость образования ионов металла в приэлектродных областях плазмы мала из-за низкой концентрации распыленных атомов у поверхности электродов, то эффективная эмиссия ионов металла возможна лишь в том случае, если обеспечены условия дрейфа ионов вдоль положительного столба в направлении анодного отверстия. По вышеизложенным причинам область положительного анодного падения препятствует дрейфу ионов в сторону анодного отверстия.

Рассмотренный процесс приводит к уменьшению сечения эмиссионного отверстия, через которое осуществляется эмиссия ионов металла. При распространении области положительного анодного падения на все сечение отверстия в аноде, эмиссия ионов металла из ИИП практически прекращается.

Следовательно, при использовании ИИП типа дуоплазматрон для получения ионов металла необходима реализация режимов работы источника, при которых существует отрицательное анодное падение.

Это может быть достигнуто увеличением диаметра положительного столба. Увеличивая диаметр положительного столба, можно добиться того, чтобы хаотический ток из плазмы на анод превосходил ток, протекающий во внешней цепи. В этом случае около анода образуется область отрицательного анодного падения и ионы, движущиеся из глубины прианодной плазмы под действием градиента потенциала, могут беспрепятственно эмитироваться в вакуум практически через все сечение эмиссионного отверстия.

Для проверки этого положения было проведено экспериментальное исследование варианта конструкции дуоплазматрона с диаметром отверстия в дополнительном электроде, в несколько раз превышавшим диаметр отверстия в аноде. В этом случае диаметр положительного столба, который практически определяется диаметром отверстия в дополнительном электроде, значительно превосходил диаметр анодного отверстия, и в ИИП наблюдался режим с отрицательным анодным падением.

Исследование эмиссионных характеристик генераторов плазмы показало, что при использовании данного варианта конструкции ИИП, в отличие от первого, рассмотренного ранее, наблюдалась устойчивая эмиссия ионов металла при сравнительно небольших токах распыляемого электрода (токах вспомогательного разряда в 10...15 мА). В первом же случае эмиссия ионов металла практически не наблюдалась даже при больших токах в цепи распыляемого электрода (ток достигал 50...60 мА).

Следовательно, при получении ионов веществ, атомы которых оседают на стенках и не возвращаются обратно в область разряда, эффективное извлечение ионов нужного сорта из дуоплазматрона возможно лишь при условии, что диаметр положительного столба превышает диаметр выходного отверстия в аноде ИИП. В этом случае исчезает тормозящее электрическое поле, препятствующее эмиссии положительных ионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Козлов О. В. Электрический зонд в плазме. М.: Атомиздат, 1974. 292 с.

V. T. Barchenko, A. V. Zadera

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ANOD PLASMA IN DUOPLASMATRON

Experimental investigation of plasma into gap between contracting electrode and anode are considered. Electron velocity distribution and potential distribution into the gap between contracting electrode and anode are presented accordingly to experimental results. Intensification of ions extraction via anode aperture are treated in this paper.

Duoplasmatron, velocity distribution function of electron, two harmonics method

УДК 537.611.2

А. Б. Устинов

НЕЛИНЕЙНЫЙ СПИН-ВОЛНОВОЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ

Описывается нелинейный спин-волновой фазовращатель, изготовленный на основе монокристаллической пленки железоиттриевого граната. Нелинейный фазовый сдвиг интенсивных спиновых волн является ключевым явлением, лежащим в основе работы устройства. Приведена его теоретическая модель.

Спиновые волны, нелинейный фазовращатель

Нелинейные спиновые волны (СВ) являются объектом исследований в течение нескольких последних десятилетий (см., например, [1]–[3]). В последние годы наблюдается сравнительно большой интерес к изучению таких спин-волновых явлений, как солитоны огибающей, модуляционная неустойчивость и динамических хаос [4]–[6]. Меньшее внимание уделялось таким явлениям, как нелинейное затухание и нелинейный фазовый набег интенсивных спиновых волн [7], [8]. Вместе с тем, последние явления могут быть использованы для разработки новых нелинейных спин-волновых приборов, таких как нелинейный интерферометр и нелинейный направленный ответвитель [8], [9]. Эти явления также могут играть важную роль в работе линейных спин-волновых приборов, и поэтому их необходимо учитывать при расчетах характеристик таких приборов.

Целью настоящей статьи является исследование рабочих характеристик основного элемента нелинейных спин-волновых приборов – нелинейного фазовращателя, а также разработка его теоретической модели.

Экспериментальный макет нелинейного фазовращателя имел вид, показанный на рис. 1. Возбуждение и прием спиновых волн осуществлялись микрополосковыми антеннами 1 длиной 2 мм и шириной 50 мкм, сформированными на подложке из поликора 2 толщиной 0,5 мм, металлизированной с обратной стороны 3. Расстояние между антеннами СВ составляло 6 мм. Подвод СВЧ-мощности к антеннам осуществлялся при помощи микрополосковых линий 4 с волновым сопротивлением 50 Ом. Ферромагнитная пленка помещалась на антенны спиновых волн и фиксировалась. Макет фазовращателя помещался в постоянное магнитное поле, направленное по касательной к плоскости пленки параллельно антеннам. Такая взаимная ориентация поля и пленки обеспечивала возбуждение поверхностных спиновых волн. Напряженность внешнего магнитного поля составляла 1431 Э.

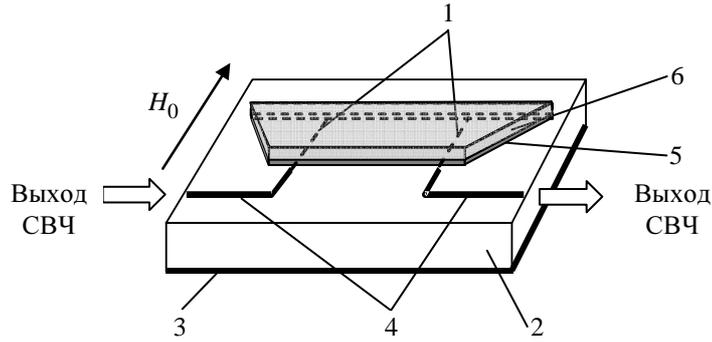


Рис. 1

В фазовращателе использовалась монокристаллическая пленка железиттриевого граната (ЖИГ) 5 толщиной $L = 13.6$ мкм и шириной 2 мм, выращенная методом жидкофазной эпитаксии на подложке галлий-гадолиниевого граната 6. Намагниченность насыщения пленки составляла 1950 Гс. Пленка имела свободные поверхностные спины.

Рассмотрим теоретическую модель нелинейного пленочного фазовращателя. Передаточная функция прибора по мощности H_0 может быть определена исходя из процесса передачи мощности сигнала от входной антенны к выходной и представлена в виде трех составляющих:

$$H_p = H_{\text{вх}} H_{\text{ф.п}} H_{\text{вых}},$$

где $H_{\text{вх}}$ и $H_{\text{вых}}$ – коэффициенты передачи входной и выходной антенн соответственно; $H_{\text{ф.п}}$ – коэффициент передачи пленки.

Найдем вначале $H_{\text{вх}}$. Обозначив через $P_{\text{вх}}$ мощность, подаваемую на вход устройства, вычислим мощность, поступившую во входную антенну:

$$P_a = (1 - |\Gamma|^2) P_{\text{вх}},$$

где $|\Gamma|$ – коэффициент отражения от антенны, который определяется как $|\Gamma|^2 = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$. Будем считать, что мощность, поступающая во входную антенну, расходуется на «излучение» спиновых волн и потери в антенне, то есть

$$P_a = P_+ + P_- + P_0, \quad (1)$$

где P_+ и P_- соответствуют волнам, излученным в положительном и отрицательном направлениях оси ζ ; P_0 – мощность потерь. Ясно, что «полезной» является мощность, излученная в сторону выходной антенны, т. е. P_+ . Таким образом, выражая P_+ , P_- и P_0 через соответствующие сопротивления излучения и учитывая (1), находим

$$H_{\text{вх}} = \frac{P_+}{P_{\text{вх}}} = (1 - |\Gamma|^2) \frac{R^+}{R^+ + R^- + R_0}.$$

Аналогичное выражение получается для выходной антенны.

Коэффициент передачи пленки определяется расстоянием между антеннами d и затуханием СВ:

$$H_{\text{ф.п}} = \frac{P_{\text{СВ}}}{P_+}. \quad (2)$$

Коэффициент передачи в (2) рассчитывается с помощью формул, полученных в [8].

При известной передаточной функции устройства по мощности его коэффициент передачи по напряжению может быть записан в виде

$$\dot{H}(\omega) = \sqrt{H_p(\omega)} e^{i\varphi(\omega)},$$

где $\varphi(\omega)$ – фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами, т. е. ФЧХ устройства.

Очевидно, что

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{вх}}(\omega) + \varphi_{\text{ф.п}}(\omega) - \varphi_{\text{вых}}(\omega),$$

где $\varphi_{\text{вх}}$ и $\varphi_{\text{вых}}$ – фазовые сдвиги, вносимые входной и выходной антеннами; $\varphi_{\text{ф.п}}$ – набег фазы спиновой волны.

S-параметры нелинейного фазовращателя, выраженные в децибелах, можно рассчитать как

$$S_{11} = 10 \log(|\Gamma|^2),$$

$$S_{21} = 10 \log(H_p).$$

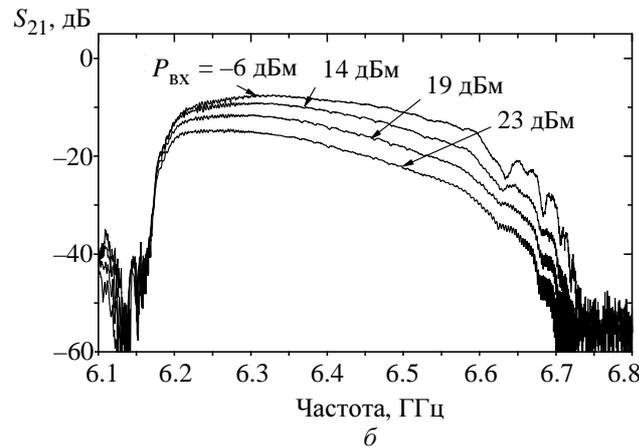
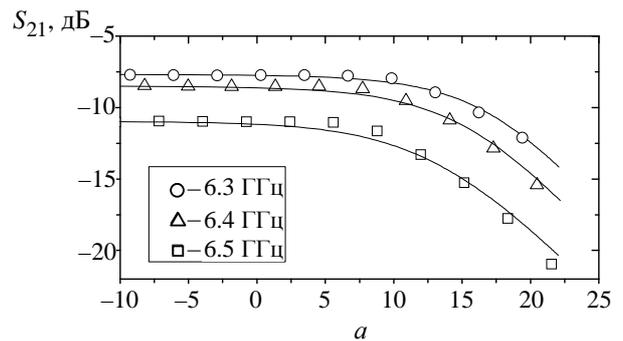
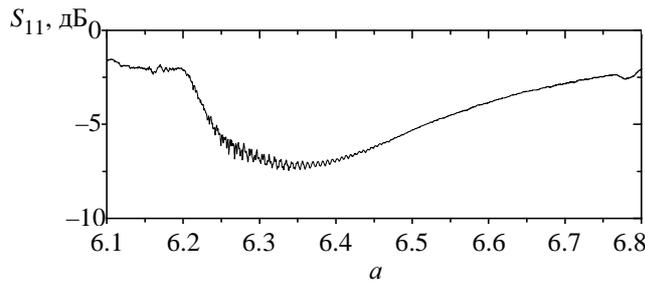


Рис. 2

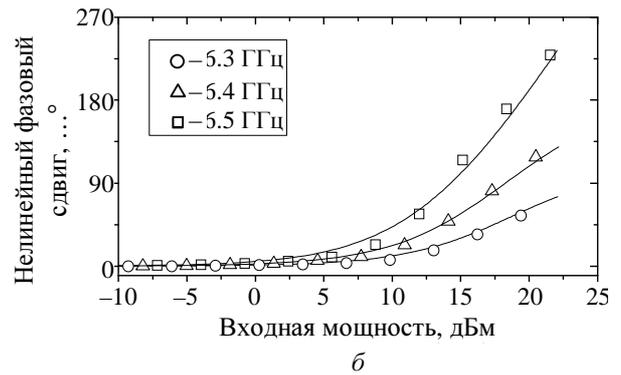


Рис. 3

На рис. 2 и 3 приведены теоретические и экспериментальные характеристики нелинейного фазовращателя. На рис. 2 представлены коэффициент отражения $S_{11}(a)$ и вносимые потери $S_{21}(b)$ нелинейного фазовращателя, измеренные для различных уровней входной мощности. На рис. 3 изображены зависимости вносимых потерь (a) и нелинейного сдвига фазы СВЧ-сигнала (b) от его мощности. Значками показаны экспериментальные значения, а линиями изображены результаты численного расчета. Из графиков видно, что теоретические и экспериментальные результаты находятся в хорошем соответствии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич А. Г., Мелков Г. А. Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994.
2. Львов В. С. Нелинейные спиновые волны. М.: Наука, 1987.
3. Моносов Я. А. Нелинейный ферромагнитный резонанс. М.: Наука, 1971.
4. Кокин А. В., Никитов С. А. Влияние непрерывной накачки на распространение солитонов огибающей магнитостатических спиновых волн // ФТТ. 2001. Т. 43, вып. 5. С. 851–854.
5. Kalinikos B. A., Kovshikov N. G., Slavin A. N. Envelope solitons and modulation instability of dipole-exchange magnetization waves in yttrium iron garnet films // Sov. Phys. JETP. 1988. Vol. 67(2). P. 303–312.
6. Кондрашов А. В., Устинов А. Б., Калиникос Б. А. Автогенерация хаотического СВЧ-сигнала в активных кольцах на основе ферромагнитных пленок // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34, вып. 11. С. 81–87.
7. Nonlinear damping of magnetostatic spin waves in yttrium iron garnet films / M. M. Scott, M. P. Kostylev, B. A. Kalinikos, C. E. Patton // J. Appl. Phys. 2004. Vol. 95. P. 6294.
8. Ustinov A. B., Kalinikos B. A. The power-dependent switching of microwave signals in a ferrite-film nonlinear directional coupler // Appl. Phys. Lett. 2006. Vol. 89. P. 172511.
9. Устинов А. Б., Калиникос Б. А. Амплитудно-частотная характеристика нелинейного-спин-волнового интерферометра в квазинелинейном режиме работы // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32, вып. 8. С. 60–70.

A. B. Ustinov

NONLINEAR SPIN-WAVE PHASE SHIFTER

A nonlinear spin-wave phase shifter based on single-crystal yttrium iron garnet film is described. A nonlinear phase shift of the spin waves is the key phenomenon in the device operation. A theoretical model of the device is discussed.

Magnetostatic spin waves, nonlinear phase shifter

УДК 621.3:621.37

В. В. Пинаев, В. И. Шаповалов

ПЛЕНКИ ОКСИНИТРИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ: ПРИМЕНЕНИЕ, СВОЙСТВА

Выполнен краткий обзор результатов исследований по управлению оптическими и электрическими свойствами пленок оксинитридов переходных металлов.

Переходные металлы, оксинитрид, массовый расход

В настоящее время пленки оксидов переходных металлов нашли широкое применение благодаря своим электрическим, оптическим и фотокаталитическим свойствам [1]–[5]. Изменение состава оксидных пленок путем введения азота позволяет эффективно управлять их спектральным коэффициентом поглощения, дисперсией оптических констант, диэлектрической проницаемостью и другими свойствами. Расширяются области применения пленок. Так, например, пленки с составом:

- TiO_xN_y перспективны для создания фотоприемников, фотокатализаторов [6], [7];
- NbO_xN_y используют для изготовления оптических волноводов [8];
- ZrO_xN_y применяют в качестве изолятора или прозрачных электродов для солнечных батарей [9], [10];
- WO_xN_y служат элементом сенсоров или покрытий зеркал с переменным коэффициентом отражения [11];
- TaO_xN_y осаждают в качестве антиотражающих покрытий или подзатворного диэлектрика в МДП-структурах [12]–[14].

Такие пленки в литературе называются *пленки, легированные азотом* (N-doped films), или *оксинитридные пленки* (oxynitride films).

Для получения оксинитридных пленок широко используется метод реактивного магнетронного распыления на постоянном токе – в этом случае мишень распыляют в смеси аргона, кислорода и азота [15]–[21], в смеси аргона и атмосферного воздуха [22]. Распыление мишени выполняют и в ВЧ-разряде [23] или с помощью магнетронного источника, работающего в импульсном режиме [8]. В некоторых случаях при магнетронном распылении применяют импульсную подачу кислорода и/или азота [24]–[26].

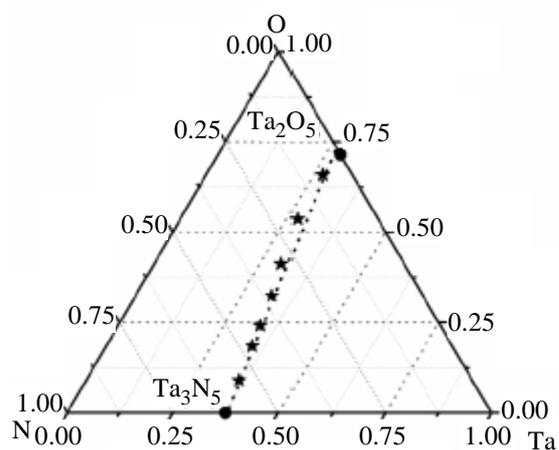


Рис. 1

Опубликованы результаты по осаждению оксинитридных пленок методом реактивного дугового испарения [27] и путем отжига оксидных пленок в среде азота [28], [29]. На рис. 1 приведена типичная фазовая диаграмма системы Ta–O–N. Звездочками на рис. 1 отмечены экспериментально полученные образцы пленок TaO_xN_y [11]. Как видно из рис. 1, существует возможность создания непрерывного ряда твердых растворов.

Пленки TiO_2 известны своими фотокаталитическими свойствами. При облучении ультрафиолетовым (УФ) излучением они выступают в качестве катализаторов химических реакций, в частности, обеспечивают на своей поверхности деструкцию органических соединений на простые компоненты [30]. Поскольку в составе естественного солнечного света содержится порядка 3–4 % УФ-излучения, то для повышения эффективности гетерогенного фотокатализа одной из важных задач является сдвиг края фундаментального поглощения пленки в видимую область спектра. Разработаны способы решения этой задачи для пленок TiO_2 , основанные на легировании переходными металлами (Cr, Fe, Ni, V). Однако такое легирование увеличивает количество рекомбинационных центров, что негативно сказывается на фотокаталитической эффективности пленок во времени. Введение же атомов азота в качестве атомов замещения для кислорода при малой концентрации создает донорные уровни в энергетической щели пленки TiO_2 , а при значительной концентрации приводит к сужению этой щели, увеличивая фотокаталитическую активность [29].

На рис. 2 приведено изменение интенсивности линий N 1s (396.6 эВ) и O 1s (530.0 эВ) в спектрах рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии при разных температурах отжига пленки TiN в среде кислорода и при разном парциальном давлении кислорода в среде ($1 \text{ L} = 0.133 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$) [20]. Необходимо отметить, что энергия связи 396.6 эВ соответствует связи Ti–N в пленке TiO_xN_y , а энергия 530.0 эВ – связи Ti–O. Видно, что при высокой температуре происходит замещение атомов азота атомами кислорода. В работе [29] показано, что в пленке при отжиге в среде кислорода происходит увеличение концентрации носителей заряда.

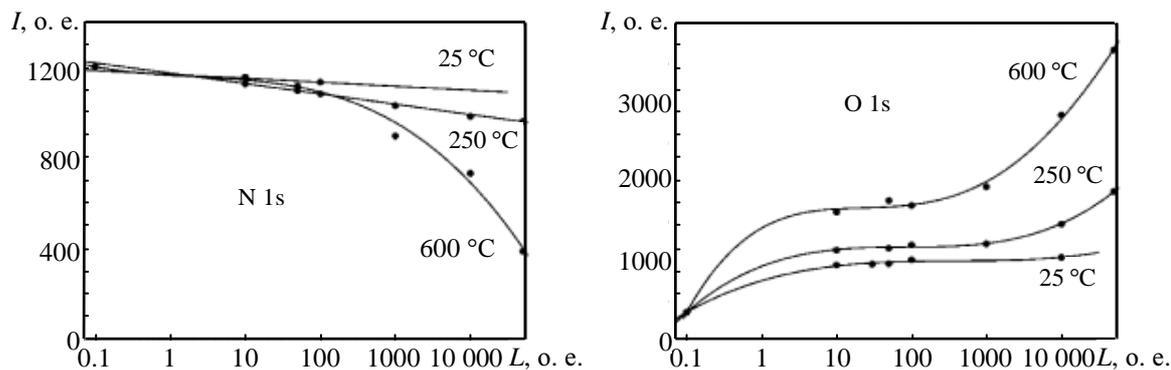


Рис. 2

При увеличении концентрации азота в пленках оксинитридов наблюдается изменение кристаллической структуры. Так, при осаждении пленки оксинитрида TiO_xN_y методом магнетронного распыления на постоянном токе при разных массовых расходах азота были получены пленки с разной степенью кристалличности [31]. На рис. 3 приведены рентгеновские дифрактограммы пленок, полученных при массовом расходе азота в $(\text{см}^3 \cdot \text{Па})/\text{с}$: *a* – 0; *b* – 1; *в* – 2; *г* – 3; *д* – 5. Первоначальное увеличение потока азота повышает долю фазы анатаза (кривые *a*, *b*), при дальнейшем увеличении доля анатаза в пленке уменьшается.

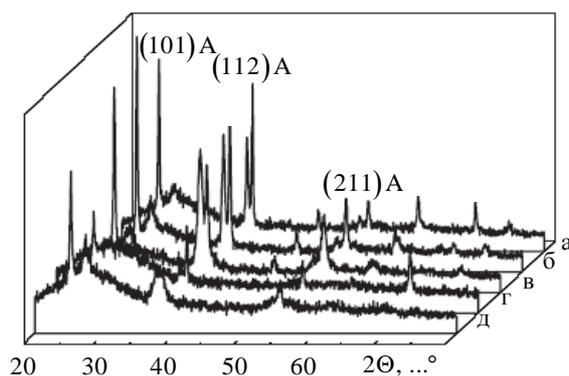


Рис. 3

Изменение состава и структуры пленки приводит к изменению оптических свойств. В частности, добавление азота приводит к желаемому сдвигу края поглощения в видимую область спектра [13]. На рис. 4 приведены спектры пропускания пленок TaO_xN_y , полученных магнетронным распылением при различной пропорции азота и кислорода в вакуумной камере. У пленок, полученных при отсутствии азота, т. е. у пленок Ta_2O_5 , край фундаментального поглощения составляет 4.3 эВ, и по мере увеличения содержания азота в камере он сдвигается.

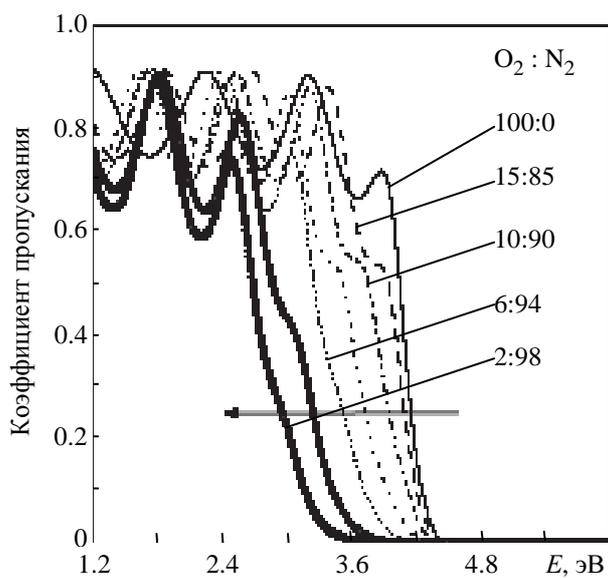


Рис. 4

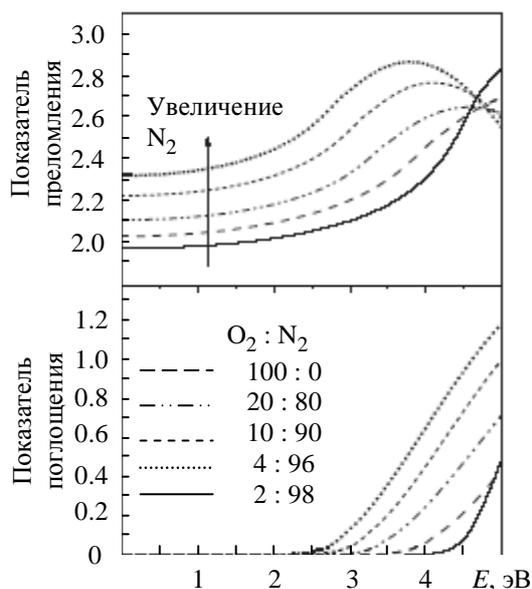


Рис. 5

гается в сторону меньших энергий фотонов (больших длин волн). Одновременно с изменением коэффициента пропускания при увеличении содержания азота в камере изменяется дисперсия оптических констант (рис. 5).

Изменение концентрации в пленках азота влияет как на их оптические, так и электрические свойства. Так, в работе [12] были созданы МДП-структуры Al/TaO_xN_y/Si и для них измерены вольт-фарадные характеристики (рис. 6) и определен потенциал плоских зон $U_{пл}$. На рис. 7 показано изменение вольт-фарадных характеристик такой структуры при её отжиге в среде азота при 723 К в течение 30 мин.

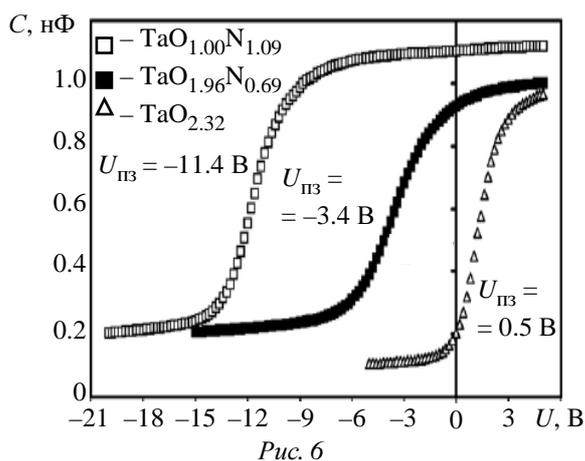


Рис. 6

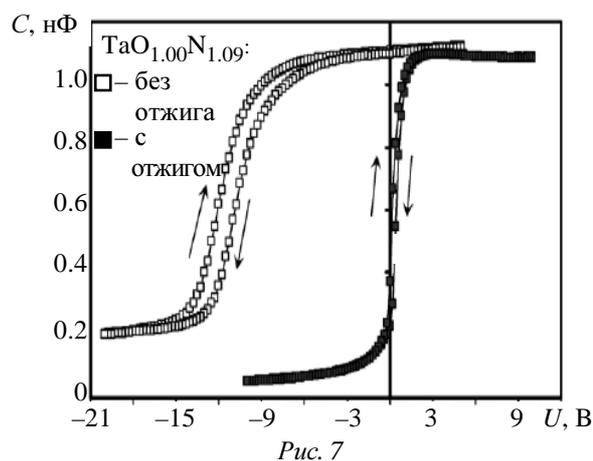


Рис. 7

Таким образом, пленки оксинитридов переходных металлов представляют собой новый материал, оптическими и электрическими свойствами которого можно гибко управлять путем изменения их состава в широком диапазоне концентраций азота и/или кислорода.

Исследования проводятся при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 07-03-00543-а и 08-03-90015-Бел_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rama Rao N., Chandramani R., Mohan Rao G. Tantalum oxide films prepared by unbalanced reactive magnetron sputtering // *J. Mater. Sci. Lett.* 1999. Vol. 18, № 23. P. 1949–1951.
2. Zeman P., Takabayashi S. Self-cleaning and antifogging effects of TiO₂ films prepared by radio frequency magnetron sputtering // *J. Vac. Sci. Technol. A.* 2002. Vol. 20, № 2. P. 388–393.
3. Characterization of niobium oxide films prepared by reactive dc magnetron sputtering / S. Venkataraj, R. Drese, O. Kappertz et al. // *Phys. Stat. Sol. (a)* 2001. Vol. 188, № 3. P. 1047–1058.
4. Minghua Z., Jianguo Y., Bei C. Preparation and photocatalytic activity of Fe-doped mesoporous titanium dioxide nanocrystalline photocatalysts // *Mater. Chem. Phys.* 2005. Vol. 93, № 1. P. 159–163.
5. Cheng-Chia H., Jenn-chen T., Wei-Han T. Optical properties of tungsten and titanium oxide thin films prepared by plasma sputter deposition // *Solar Energy Mater. Sol. Cells.* 2004. Vol. 83, № 1. P. 156.
6. Optical constants and film density of TiN_xO_y solar selective absorbers / M. Lazarov, P. Raths, H. Metzger, W. Spirkl // *J. Appl. Phys.* 1995. Vol. 77. P. 2133–2137.
7. Towards understanding the superior properties of transition metal oxynitrides prepared by reactive DC magnetron sputtering / S. Venkataraj, D. Severin, S. H. Mohamed et al. // *Thin Solid Films.* 2006. Vol. 502. P. 228–234.
8. Investigation of Niobium oxynitride thin films deposited by reactive magnetron sputtering / M. Fenker, H. Kappl, O. Banakh et al. // *Sur. Coat. Technol.* 2006. Vol. 201. P. 4152–4157.
9. Increased electrical conductivity of LiPON glasses produced by ammonolysis / F. Munoz, A. Durán, L. Pascual et al. // *Solid State Ionics.* 2008. Vol. 179. P. 574–579.
10. Laurikaitis M., Dudonis J., Milcius D. Deposition of zirconium oxynitride films by reactive cathodic arc evaporation and investigation of physical properties // *Thin Solid Films.* 2008. Vol. 516. P. 1549–1552.
11. Sodky H., Andre A. Structural, optical, and electrical properties of WO_x(N_y) films deposited by reactive dual magnetron sputtering // *Sur. Coat. Technol.* 2006. Vol. 201. P. 2977–2983.

12. Optical, electrical and mechanical properties of the tantalum oxynitride thin films deposited by pulsing reactive gas sputtering / H. Le Dreo, O. Banakh, H. Keppner, P.-A. Steinmann // *Thin Solid Films*. 2006. Vol. 515. P. 952–956.
13. Multi-technique characterization of tantalum oxynitride films prepared by reactive direct current magnetron sputtering / S. Venkataraj, H. Kittur, R. Drese, M. Wuttig // *Thin Solid Films*. 2006. Vol. 514. P. 1–9.
14. Evaluation of adhesion and tribological behaviour of tantalum oxynitride thin films deposited by reactive magnetron sputtering onto steel substrates / O. Banakh, C. Csefalvay, P.-A. Steinmann et al. // *Sur. Coat. Technol.* 2006. Vol. 200. P. 6500–6504.
15. Banakh O., Steinmann P.-A., Dumitrescu-Buform L. Optical and mechanical properties of tantalum oxynitride thin films deposited by reactive magnetron sputtering // *Thin Solid Films*. 2006. Vol. 513. P. 136–141.
16. Effect of thermal treatments on the structure of MoN_xO_y thin films / L. Cunha, L. Rebouta, F. Vaz et al. // *Vacuum*. 2008. Vol. 82. P. 1428–1432.
17. Raman spectra and structural analysis in ZrO_xN_y thin films / C. Moura, P. Carvalho, F. Vaz et al. // *Thin Solid Films*. 2006. Vol. 515. P. 1132–1137.
18. Chemical environment of iron atoms in iron oxynitride films synthesized by reactive magnetron sputtering / M. Grafoute, C. Petitjean, C. Rousselot et al. // *Scripta Materialia*. 2007. Vol. 56. P. 153–156.
19. Effect of nitrogen content on the properties of $\text{CrN}_x\text{O}_y\text{C}_z$ coating prepared by DC reactive magnetron sputtering / Y. Shi, S. Long, L. Fang et al. // *Appl. Sur. Sci.* 2008. Vol. 254. P. 5861–5867.
20. Oxidation of vanadium nitride and titanium nitride coatings / A. Glaser, S. Surnev, F. Netzer et al. // *Surface Science*. 2007. Vol. 601. P. 1153–1159.
21. Mechanical evaluation of unbiased W–O–N coatings deposited by d.c. reactive magnetron sputtering / N. Parreira, N. Carvalho, F. Vaz, A. Cavaleiro // *Sur. Coat. Technol.* 2006. Vol. 200. P. 6511–6516.
22. Chan M., Lu F.-H. Preparation of titanium oxynitride thin films by reactive sputtering using air/Ar mixtures // *Sur. Coat. Technol.* 2008. (in press)
23. Characterization of zirconium oxynitride films obtained by radio frequency magnetron reactive sputtering / M. Signore, A. Rizzo, L. Mirengi et al. // *Thin Solid Films*. 2007. Vol. 515. P. 6798–6804.
24. Fenker M., Kappl H., Sandu C. Precise control of multilayered structures of Nb–O–N thin films by the use of reactive gas pulsing process in DC magnetron sputtering // *Sur. Coat. Technol.* 2008. Vol. 202. P. 2358–2362.
25. Influence of air oxidation on the properties of decorative NbO_xN_y coatings prepared by reactive gas pulsing / J. Chappe, P. Carvalho, S. Lanceros-Mendez et al. // *Sur. Coat. Technol.* 2008. Vol. 202. P. 2363–2367.
26. Reactive gas pulsing process: A method to extend the composition range in sputtered iron oxynitride films / C. Petitjean, M. Grafoute, C. Rousselot, J. Pierson // *Sur. Coat. Technol.* 2008. Vol. 202. P. 4825–4829.
27. The impact of nitrogen mobility on the activity of zirconium oxynitride catalysts for ammonia decomposition / H. Soerijanto, C. Rodel, U. Wild et al. // *J. Catal.* 2007. Vol. 250. P. 19–24.
28. Mishima T., Matsuda M., Miyake M. Visible-light photocatalytic properties and electronic structure of Zr-based oxynitride, Zr_2ON_2 , derived from nitridation of ZrO_2 // *Applied Catalysis A: General*. 2007. Vol. 324. P. 77–82.
29. Deep-level optical spectroscopy investigation of N-doped TiO_2 films / Y. Nakano, T. Morikawa, T. Ohwaki, Y. Taga // *Appl. Phys. Lett.* 2005. Vol. 86. P. 132–104.
30. Fabrication of multifunctional coating which combines low-e property and visible-light-responsive photocatalytic activity / M. Okada, Y. Yamada, P. Jin et al. // *Thin Solid Films*. 2003. Vol. 442. P. 217–221.
31. Visible light-active nitrogen-doped TiO_2 thin films prepared by DC magnetron sputtering used as a photocatalyst / K. Prabakar, T. Takahashi, T. Nezuka, K. Takahashi // *Renewable Energy*. 2008. Vol. 33. P. 277–281.

V. V. Pinaev, V. I. Shapovalov

THE OXYNITRIDES FILMS OF TRANSITION METALS: APPLICATIONS AND PROPERTIES

Brief overview of the results of investigations on optical and electrical properties of transition metal oxynitrides films was fulfilled.

Transition metals, oxynitride, mass flow

ГИДРОФИЛЬНОСТЬ ПЛЕНОК ОКСИДА ТИТАНА

Исследованы гидрофильные свойства аморфных пленок оксида титана TiO_2 , осажденных на кварцевое стекло методом реактивного магнетронного распыления. Уменьшение контактного угла смачивания капли воды на поверхности пленки наблюдается при ультрафиолетовом облучении. Более высокими гидрофильными свойствами обладает двухслойная оксидная пленочная структура TiO_2/WO_3 .

Оксид титана, пленка, гидрофильность, оксидная пленочная гетероструктура

С тех пор как в 1972 году Фуджишима [1] обнаружил диссоциацию воды на электродах из объемного оксида титана TiO_2 при воздействии на них ультрафиолетового излучения (УФИ), в мире возник огромный интерес к полупроводниковому фотохимическому катализу. В основе этого процесса лежит фотогенерация пар носителей заряда в поверхностном слое полупроводникового материала, захват носителей молекулами адсорбированного слоя и формирование на поверхности сверхактивной окислительной среды, которая, в частности, способствует деструкции органических соединений, составляющих промышленные и бытовые отходы.

Значительное внимание исследователи уделили изучению фотокаталитических свойств оксидных пленок (TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 и др.). Было установлено, что пленки TiO_2 с кристаллической структурой анатаза наиболее эффективны в этих задачах. Для повышения фотокаталитических свойств пленок TiO_2 следует решить две основные проблемы: увеличить квантовый выход при освещении пленки естественным солнечным светом и обеспечить разделение зарядов для торможения процесса объемной рекомбинации фотосгенерированных пар носителей заряда. Красный сдвиг края фундаментального поглощения пленки, составляющего суть первой проблемы, достигается легированием пленок TiO_2 атомами переходных металлов [2]. Вторая проблема может быть решена созданием оксидной пленочной гетероструктуры [3].

В дополнение к способности разложения при УФ-облучении органических соединений было обнаружено [4], что поверхность TiO_2 обладает супергидрофильностью (угол смачивания близок к нулю), которая поддерживается УФИ. На рис. 1 показаны зависимости контактного угла смачивания капли воды θ от времени воздействия УФИ для пиролитических пленок разных оксидов [5]. Супергидрофильность демонстрируют пленки TiO_2 , осажденные различными методами. Среди них выделим реактивное распыление, обладающее широкими возможностями по осаждению поликристаллических пленок TiO_2 не только с заданной структурой, но и легированных необходимым металлом. Кроме этого реактивное распыление в одном вакуумном цикле позволяет формировать оксидные пленочные гетероструктуры. В то же время, реактивное распыление не позволяет получать кристаллизованные оксидные пленки на подложках большой площади, когда в качестве подложки используют стекло. В этом случае с высокой скоростью возникают аморфные пленки, гидрофильные свойства которых пока мало исследованы.

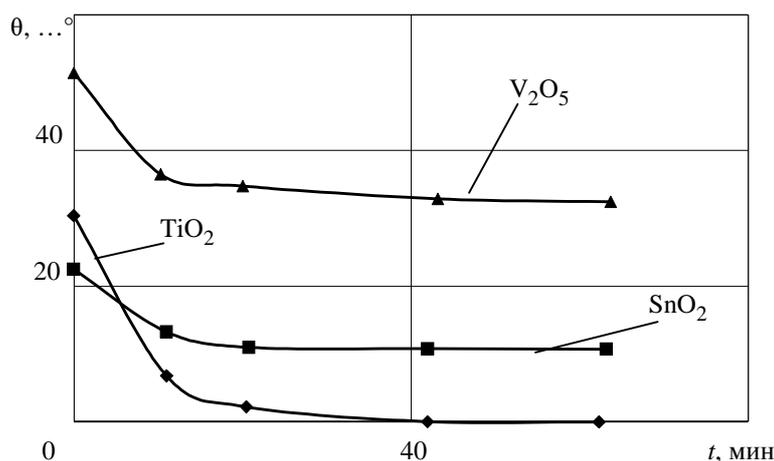


Рис. 1

Целью данной статьи является изучение гидрофильности пленок TiO_2 , осажденных на подложку из кварцевого стекла методом реактивного магнетронного распыления на постоянном токе. В качестве источника УФ-излучения использована ртутная лампа ДРБ-8, спектр излучения которой совместно с типичным спектром пропускания одного из образцов исследуемых пленок TiO_2 приведен на рис. 2.

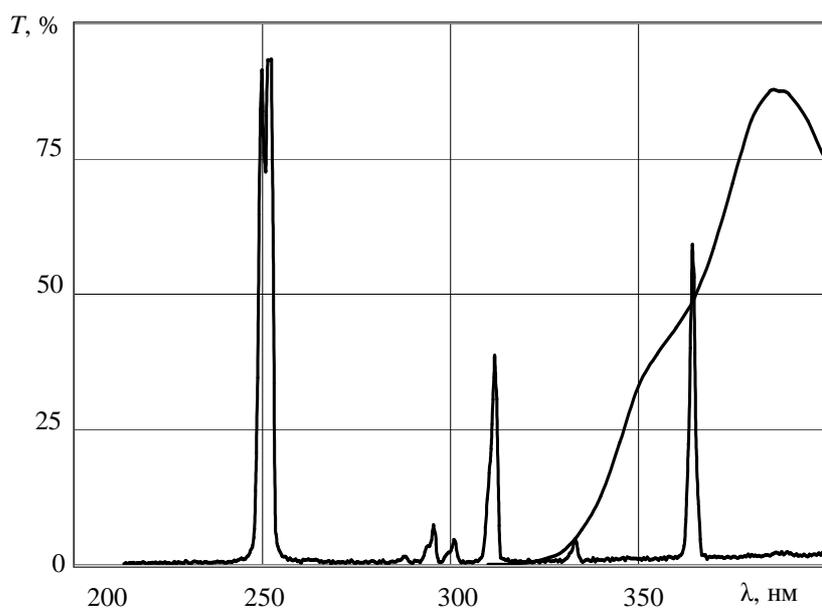


Рис. 2

На рис. 3 представлена типичная кривая изменения угла смачивания θ капли воды от времени облучения УФ-излучением. Из рис. 3 видно, что за 180 мин величина θ уменьшается более чем в три раза. На врезке рис. 3 приведены фотографии капель воды для моментов времени $t = 0$ и $t = 180$ мин. В темновом режиме величина θ в течение 180 мин увеличивается до начального значения (рис. 4). Из рис. 2 видно, что гидрофильность аморфных пленок возбуждается линиями излучения лампы, лежащими при $\lambda < 350$ нм. Излучение с большими длинами волн слабо поглощается пленкой.

В отличие от фотокатализа, механизм которого в настоящее время в достаточной мере определен, природа супергидрофильности пленок TiO_2 остается до конца не выясненной. Возможно, что в решетке возникает захват фотоиндуцированных дырок, которые

шунтируют атомы кислорода вблизи или на поверхности пленки. Эти носители ослабляют связь между атомами титана и кислорода в решетке, позволяя кислороду освобождаться. В результате возникает кислородная вакансия.

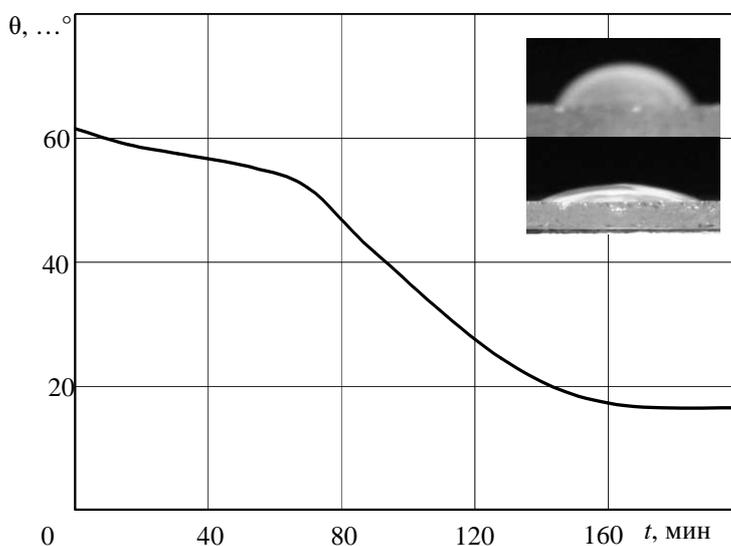


Рис. 3

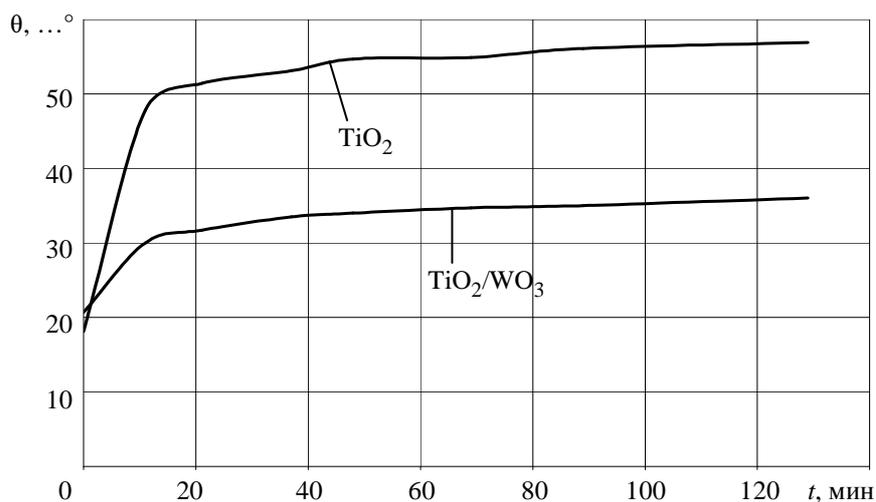
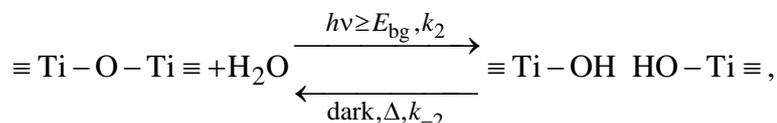


Рис. 4

Последовательная диссоциативная адсорбция воды на поверхности пленки приводит к захвату гидроксильных групп, в результате происходит фотогенерация гидрофильных доменов с размером обычно порядка 10 нм [6]. Фотовозбужденные в зону проводимости электроны захватываются ионами четырехвалентного титана Ti^{4+} , при этом возникают ионы Ti^{3+} , которые впоследствии окисляются кислородом. Такая поверхность неустойчива, и в темновом режиме в течение некоторого времени фотосгенерированные связанные гидроксильные группы реактивно десорбируют, что возвращает поверхность к начальному состоянию с большей гидрофобностью. Полностью процесс описывает следующее уравнение [4]:



где k_2 и k_{-2} – константы скорости гидрофильного преобразования для прямого и обратного протекания процесса. Другая гипотеза связывает гидрофильные свойства пленок с фотокатализом, при котором происходит деструкция гидрофобного органического слоя на поверхности пленки [7].

Торможение процесса объемной рекомбинации фотосгенерированных пар носителей заряда, как указано ранее, может быть достигнуто созданием оксидной пленочной гетероструктуры. В данной работе на кварцевом стекле была сформирована структура TiO_2/WO_3 . В пределах ошибки эксперимента скорость уменьшения и конечное значение краевого угла при облучении структуры TiO_2/WO_3 УФИ не изменились

и соответствуют кривой, показанной на рис. 3. Но значительно уменьшились скорость нарастания и конечное значение величины θ в темновом режиме (рис. 4). Этот результат обусловлен разделением заряда, которое поясняет рис. 5.

Под действием УФИ электроны валентной зоны пленки TiO_2 возбуждаются в зону проводимости. Фотовозбужденный электрон из зоны проводимости пленки TiO_2 переходит в зону проводимости пленки WO_3 , при этом возбужденная дырка остается в валентной зоне пленки TiO_2 . С другой

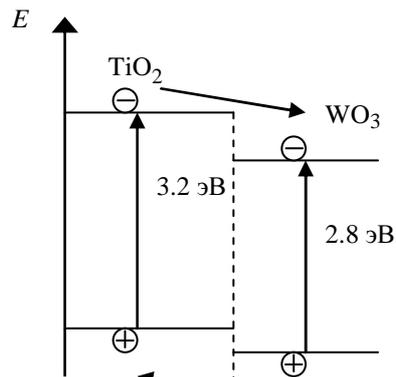


Рис. 5

другой стороны, излучение видимого диапазона, которое слабо поглощается пленкой TiO_2 , обеспечивает переброс электронов из валентной зоны в зону проводимости в пленке WO_3 . Дырка, произведенная в валентной зоне пленки WO_3 фотовозбуждением, переходит в валентную зону пленки TiO_2 , возбужденный электрон остается в зоне проводимости пленки WO_3 .

Таким образом, аморфные пленки TiO_2 , осажденные методом реактивного магнетронного распыления, под действием УФИ проявляют гидрофильные свойства. Контактный угол смачивания капли воды таких пленок в течение 180 мин облучения уменьшается от 60° до 18° . В двухслойной оксидной гетероструктуре TiO_2/WO_3 возникает разделение зарядов, препятствующее их рекомбинации. При этом угол смачивания в темновом режиме увеличивается только до значения 35° .

Исследования проводятся при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 07-03-00543-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fujishima A., Honda K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode // Nature. 1972. Vol. 238. P. 37–39.
2. Structural, optical and photoelectrochemical properties of Mn^{2+} - TiO_2 model thin film / F. Gracia, J. P. Holgado, A. Caballero, A. R. Gonzalez-Eliphe // J. Phys. Chem. B. 2004. Vol. 108, № 45. P. 17466–16476.
3. Photocatalytic properties of TiO_2/WO_3 bilayers deposited by reactive sputtering / T. Takahashi, H. Nakabayashi, N. Yamada, J. Tanabe // J. Vac. Sci. Technol. A. 2003. Vol. 21, № 4. P. 1409–1413.
4. Light-induced amphiphilic surfaces / R. Wang, K. Hashimoto, A. Fujishima // Nature. 1997. Vol. 388. P. 431–432;
5. Photocatalysis and photoinduced hydrophilicity of various metal oxide thin films / M. Miyauchi, A. Nakajima, T. Watanabe, K. Hashimoto // Chem. Mater. 2002. Vol. 14. P. 2812–2816.

6. Thick titanium dioxide films for semiconductor photocatalysis / A. Mills, G. Hill, S. Bhopal et al. // J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 2003. Vol. 160. P. 185–194.

7. Ultraviolet Light-Induced Hydrophilicity Effect on $\text{TiO}_2(110)(1 \times 1)$. Dominant Role of the Photooxidation of Adsorbed Hydrocarbons Causing Wetting by Water Droplets / T. Zubkov, D. Stahl, T. L. Thompson et al. // J. Phys. Chem. B. 2005. Vol. 109. P. 15454–15462.

A. V. Zavyalov, A. E. Komlev, V. I. Shapovalov

HYDROPHILICITY OF TITANIUM DIOXIDE FILMS

Hydrophilic properties of the amorphous titanium dioxide films deposited on the quartz glass using reactive magnetron sputtering, were investigated. Decreasing of water contact angle of the film surface under UV irradiation was observed. Two-layer oxide film structure has better hydrophilic properties.

Titanium oxide, film, hydrophilicity, oxide film heterostructure



УДК 004.77

А. В. Малов

СОВРЕМЕННЫЕ IMS-УСЛУГИ И ДОМАШНИЕ МУЛЬТИМЕДИА-СЕТИ

Рассматривается архитектура сети Internet Protocol (IP) Multimedia Subsystem (IMS) и ее преимущества. Описывается структура и организация актуальных на сегодняшний день домашних мультимедиа-сетей, позволяющих использовать современные IMS-услуги.

IMS-сети, IP-телефония, протокол SIP

Система IMS является новой ступенью в эволюции сетей связи, реализует принцип доступности всего спектра услуг как для мобильных абонентов, так и для абонентов фиксированной сети доступа. Платформа IMS представляет собой экономичное решение, которое позволяет с минимальными издержками внедрить огромный спектр новых услуг для абонентов, в том числе с учетом их индивидуальных потребностей.

В основе концепции IMS лежит его способность передавать сигнальный и мультимедиа-трафик через IP-сеть, а также выполнять функции маршрутизатора или механизма управления сессиями абонентов с использованием информации об их состоянии. Архитектура IMS включает в себя блок интерфейсов, Session Initiation Protocol (SIP) прокси-серверов и обычных серверов, а также медиашлюзов (для подсоединения к сетям с отличными от IP протоколами). Уровень услуг состоит из серверов приложений и контент-серверов для предоставления абонентам дополнительных услуг. Базовые средства предоставления услуг, как это определено стандартом IMS (например, управление присутствием или управление списками групп), реализованы в качестве услуг на сервере SIP-приложений.

Каждая IMS-сеть содержит один или более серверов пользовательских баз данных Home Subscriber Server (HSS). По сути, HSS представляет собой централизованное хранилище информации об абонентах и услугах. В HSS хранится вся информация, которая может понадобиться при установлении сеанса: информация о местонахождении пользователя, информация для обеспечения безопасности (аутентификация и авторизация), информация о пользовательских профилях и др. [см. лит.].

Уровень управления включает в себя серверы управления сетью для обработки установления, изменения или отмены вызова или сеанса. Наиболее важной функцией в данном случае является Call Session Control Function (CSCF). Данный уровень также включает полный набор функций поддержки некоторых других услуг, например тарификации. Общая схема IMS-сети приведена на рис. 1.

Функция управления сессиями вызовов, или Proxy-CSCF (P-CSCF) – это первая точка взаимодействия (на сигнальном уровне) пользовательского IMS-терминала и IMS-сети. Основным назначением P-CSCF является маршрутизация запросов и ответов SIP между пользовательским терминалом и узлами IMS-сети.

Теперь перейдем к рассмотрению опрашивающей функции, или Interrogating-CSCF (I-CSCF) – еще одного SIP-прокси, расположенного на границе административного операторского домена. Когда SIP-сервер определяет следующую пересылку для некоторого SIP-сообщения, он получает от службы Domain Name System (DNS) адрес I-CSCF соответствующего домена и отправляет на него данное SIP-сообщение. Кроме исполнения функций SIP-прокси I-CSCF взаимодействует с HSS и получает информацию о местонахождении пользователя и об обслуживающей его S-CSCF. Если никакая S-CSCF еще не назначена, I-CSCF производит ее назначение.

Обслуживающая функция Serving-CSCF (S-CSCF) – центральная интеллектуальная функция на сигнальном уровне, т. е. функция SIP-сервера, который управляет сеансом. Помимо этого S-CSCF выполняет функцию регистрирующего сервера сети SIP, т. е. поддерживает привязку местоположения пользователя (например, IP-адреса терминала, с которого пользователь получил доступ в сеть) к его SIP-адресу (Public User Identity). Аналогично I-CSCF, S-CSCF взаимодействует с HSS.

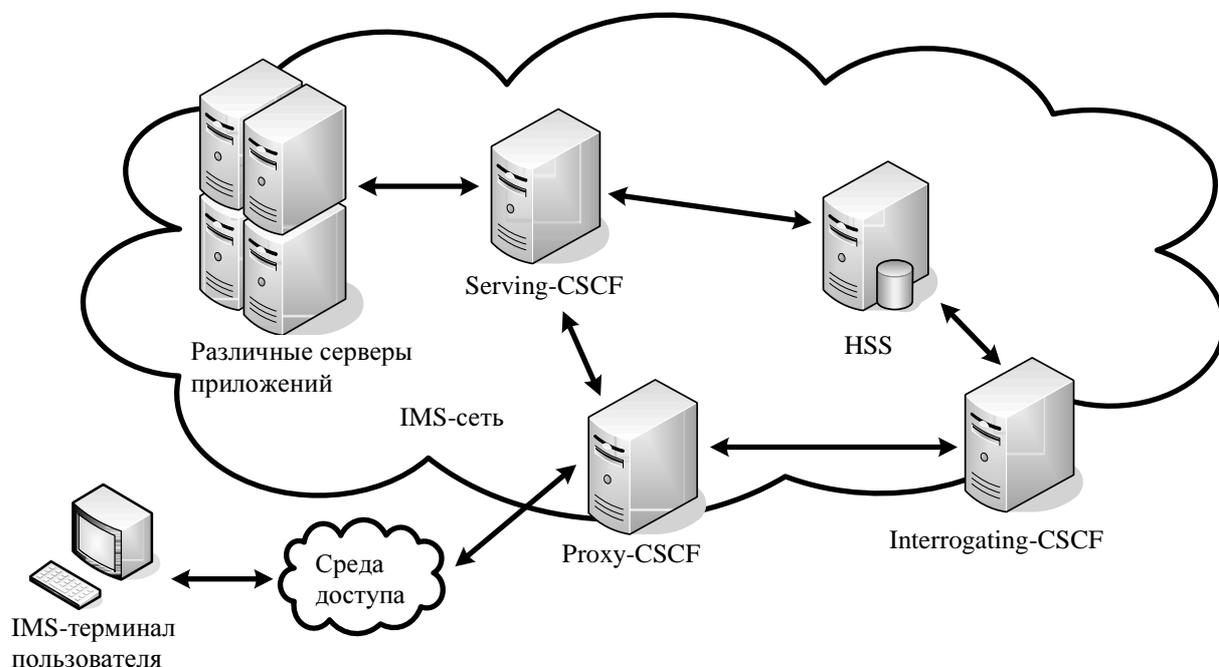


Рис. 1

Архитектура системы IMS позволяет создавать однородную среду предоставления мультимедиа-услуг, объединяет функции тарификации, безопасности и управления. IMS позволяет потребителю получать персонализированные услуги, обмениваться текстовыми

сообщениями с другими абонентами (Instant Messaging), обмениваться сообщениями одновременно с несколькими абонентами (Multi Chat), просматривать выбранные у провайдера фильмы, получаемые по IP-сети, т. е. использовать IMS Internet Protocol Television (IPTV). Также можно использовать систему Presence, показывающую, присутствуют ли в сети абоненты из списка контактов, и если да, то какие устройства они используют: мобильный терминал, персональный компьютер и т. д.

В настоящее время набирают популярность проекты по созданию домашних сетей с целью повышения комфорта жителей, например «умный дом» и др. Ввиду этого логично в дополнение к IMS-услугам с помощью технологий IP-телефонии предоставить пользователям возможность иметь домашнюю телефонную сеть. При этом поступивший вызов будет направляться на несколько телефонных терминалов, которые принадлежат определенному пользователю. Связь установится с тем терминалом, у которого пользователь раньше поднимет трубку. Также пользователь может совершать локальные звонки внутри домашней сети, например из одной части дома в другую. При необходимости, если есть какие-либо устройства, позволяющие получать полезную для пользователя информацию, например холодильник с видеокамерой, имеющий Wireless Fidelity (Wi-Fi) или другой интерфейс, пользователь сможет, позвонив с мобильного IMS-терминала, просмотреть содержимое холодильника (например, чтобы сделать только нужные покупки).

Часто для использования каких-либо услуг необходимо выполнить большое число настроек. Рядовому пользователю сделать это достаточно тяжело. Опыт таких проектов, как Scure, показывает, что задачу пользователя нужно максимально упростить. Например, большинство пользователей имеют телевизор, поэтому неплохо выглядит решение, когда для доступа к основным услугам IMS достаточно его включить, имея специальное оборудование (в виде небольшого устройства). Данный подход позволяет упростить доступ к услугам IMS и таким образом сделать его наиболее массовым и доступным.

Рассмотрим более подробно задачи, которые необходимо решить, чтобы предоставить пользователю такую возможность. Для создания домашней мультимедиа-сети с внутренней телефонной сетью необходимо предусмотреть наличие шлюза, скрывающего домашнюю сеть от IMS-сети, и осуществлять маршрутизацию входящих и исходящих вызовов, а также вызовов внутри домашней сети. Также необходимо устройство, которое, будучи подключено к телевизору, предоставит пользователю с помощью графического интерфейса доступ к услугам IMS-сети. Безусловно, данное устройство должно обладать полноценной операционной системой, также необходимы устройства, позволяющие осуществлять навигацию по пунктам меню и ввод текста. Для подключения к IMS-сети и регистрации в ней, а также для обмена сигнальной информацией в соответствии с SIP-протоколом необходим SIP-демон, который будет получать команды от приложений, желающих использовать IMS-сеть (IMS-приложения), и передавать их далее в IMS-сеть в виде SIP-сообщений. IMS-приложения предоставят пользователям доступ к соответствующим услугам IMS-сети (Instant Messaging, Multi Chat, Presence, IPTV) или некоторые дополнительные услуги, например идентификацию звонящего абонента и вывод информации о нем на телеэкран. Общая схема взаимодействия различных модулей и пользователя представлена на рис. 2.

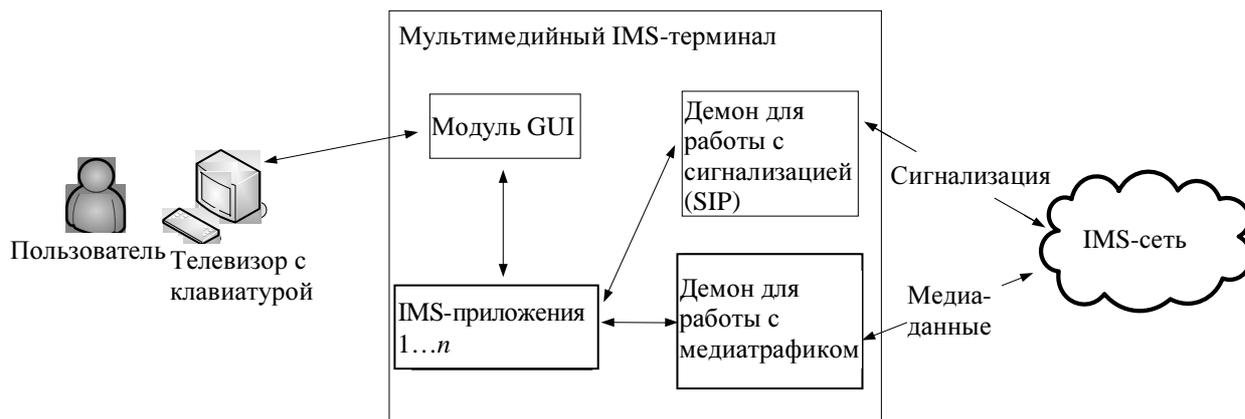


Рис. 2

При этом все домашние IMS-клиенты будут работать с IMS-сетью от лица одного IMS-терминала – шлюза домашней сети. Следовательно, все устройства, желающие иметь доступ к IMS-сети, будут регистрироваться на данном шлюзе, который осуществит их регистрацию в IMS-сети и маршрутизацию входящих и исходящих запросов в соответствии с данными регистрации. Таким образом, данный шлюз будет скрывать домашнюю мультимедиа-сеть от IMS-сети и представлять ее в виде одного IMS-терминала. Следует отметить, что данный шлюз позволит устанавливать связь между домашними терминалами без использования внешней сети.

Таким образом, система домашней подсети включает в себя данный шлюз, несколько телефонов (как аналоговых, так и ISDN (Integrated Services Digital Network) и SIP) и некоторые другие устройства, подключаемые к шлюзу, в том числе по беспроводному Wi-Fi-интерфейсу (рис. 3).

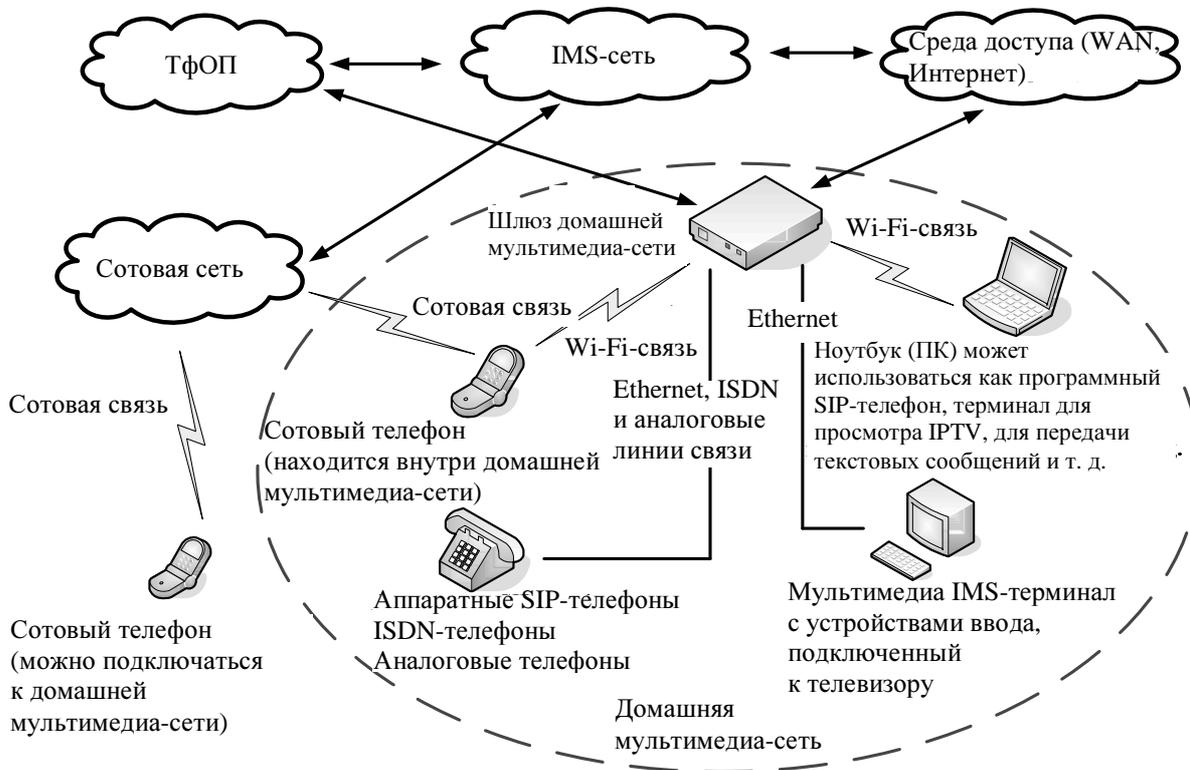


Рис. 3

Рассмотрим более детально организацию некоторых дополнительных услуг, точнее, алгоритм работы IMS-приложений и других подмодулей, предоставляющих данные услуги. Начнем с IMS-приложения, позволяющего выводить на экран телевизора информацию о звонящем абоненте. Возможные варианты работы и взаимодействия модулей, связанных с данной услугой, представлены на рис. 4. Информация о первом вызове никуда не выводится, так как пользователь не зарегистрировался (не выполнил вход) на устройстве и оно не сообщило об этом шлюзу. Таким образом, вызов поступил просто на соответствующий пользователю телефон в домашней сети. Ко времени прихода второго звонка пользователь прошел регистрацию. Шлюз направляет данный вызов мультимедиа-устройству, подключенному к телевизору, его принимает работающий на нем SIP-демон. Далее демон передает его IMS-приложению «Идентификатор звонящего», которое выводит сообщение о входящем вызове на экран. Одновременно с сообщением о вызове может выводиться информация о звонящем абоненте. Далее пользователь может с помощью пульта дистанционного управления как отклонить, так и принять вызов.

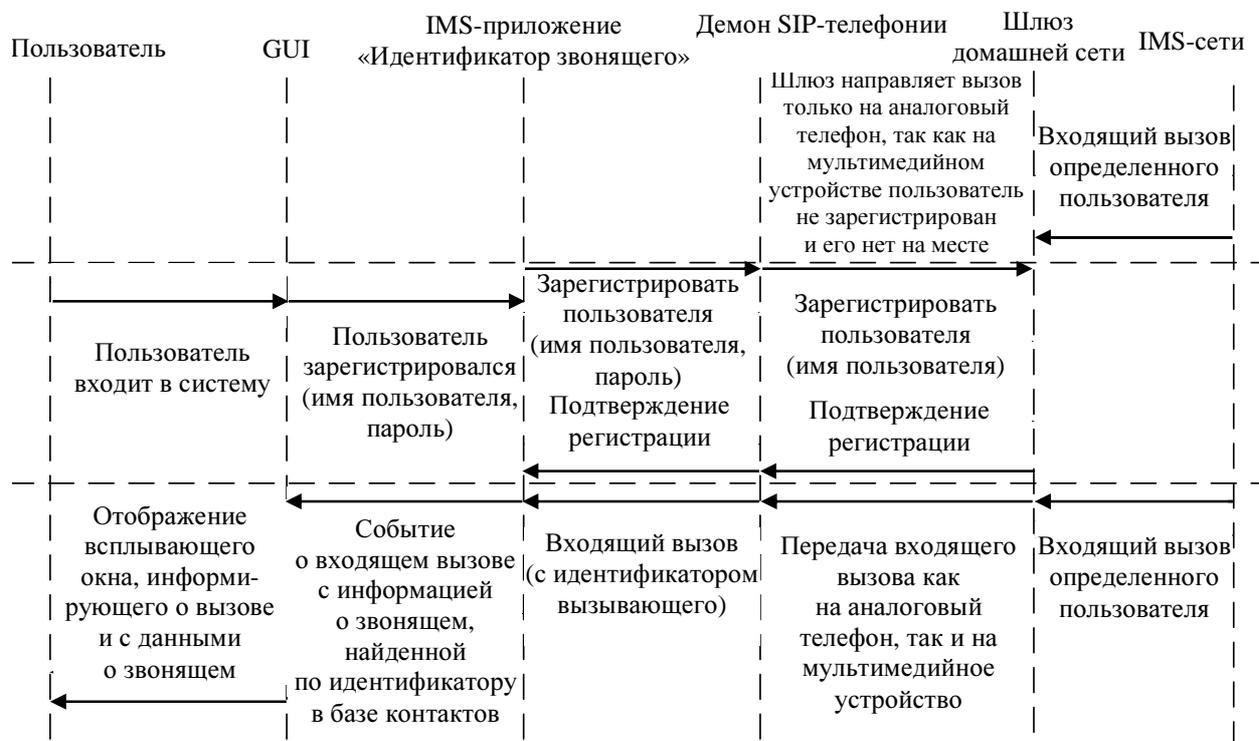


Рис. 4

Аналогично работают приложения, позволяющие обмениваться сообщениями. При каждой регистрации пользователя приложения публикуют информацию о состоянии активности пользователя и о возможностях его IMS-терминала на специальном сервере (Presence). Данная информация становится доступной другим пользователям, так как соответствующие приложения подписываются у Presence-сервера на изменение состояний других пользователей, находящихся в списке контактов пользователя.

Приложения, позволяющие использовать IMS IPTV, должны подключаться к серверу определенного провайдера, чтобы пользователь мог выбрать из списка интересующий его фильм (телепередачу) и заказать его просмотр. При этом тарификацию логично вводить

исходя из времени просмотра, а не количества передаваемой информации. При поступлении звонка на телефон пользователя мультимедиа-устройство, подключенное к телевизору, должно приостановить показ фильма и дожидаться, пока пользователь окончит разговор либо отклонит вызов. При этом оно должно либо сообщить серверу о временной приостановке показа, чтобы за время разговора не начислялась плата за просмотр, либо записать поступившие данные на жесткий диск и после окончания разговора показывать пользователю содержимое жесткого диска, одновременно записывая поступающую мультимедиа-информацию для отложенного воспроизведения.

Следует отметить, что в настоящее время наблюдается рост популярности IMS-сетей, а также рост интереса к предоставляемым ими услугам со стороны пользователей. Таким образом, потенциальное число объектов для внедрения подобных домашних мультимедиа-сетей составляет миллионы. Изучив соответствующие публикации можно заметить, что в настоящее время отсутствуют какие-либо конкретные методики построения удобных, простых и надежных в использовании домашних мультимедиа-сетей, а также критерии оценки их надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б. С. SOFTSWITCH. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006.

A. V. Malov

MODERN IMS SERVICES AND HOME MULTIMEDIA NETWORKS

Architecture of the Internet Protocol (IP) Multimedia Subsystem (IMS) network and its advantages are observed. Structure and organization of the home multimedia networks having actual nowadays are observed.

IMS networks, IP-telephony, protocol SIP

УДК 519.6

А. Н. Колодяжный, Е. В. Постников, С. М. Курушкин

ОЦЕНИВАНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПОЛИНОМОВ

Приводится численно устойчивый метод оценивания систематических погрешностей траекторных измерений, использующий для описания медленно меняющейся составляющей измерительной погрешности линейные комбинации ортогональных полиномов. Метод основан на использовании алгоритма рекуррентной статистической фильтрации с декомпозицией по вектору мешающих параметров.

Оценивание, статистическая фильтрация, систематические погрешности, ортогональные полиномы

При наблюдении за движением летательных аппаратов (ЛА) траекторными измерительными средствами (ИС) в их измерениях возможно появление медленно меняющихся во времени погрешностей, называемых систематическими погрешностями (СП). СП обусловлены различными причинами и случайным образом меняются от сеанса к сеансу.

Оценивание СП по результатам измерений позволяет не только повысить точность определения параметров движения наблюдаемого ЛА, но и получить представление о качестве и стабильности работы ИС.

СП в измерениях одного параметра в пределах одного сеанса можно, как правило, описать полиномом времени невысокого порядка. Неопределенность временной функциональной зависимости СП всегда можно свести к вектору неизвестных постоянных коэффициентов разложением исходного параметра в комбинацию базисных функций времени. При этом структурная неопределенность модели временной зависимости параметра заменяется параметрической неопределенностью – коэффициентами линейной комбинации базисных функций. Таким образом, задача оценивания СП сводится к оцениванию вектора постоянных параметров. Так как задача оценивания СП должна решаться совместно с задачей определения параметров движения наблюдаемого ЛА, то векторы коэффициентов линейных комбинаций в представлении СП выступают в качестве «мешающих параметров» (МП) [1].

Наиболее привлекательным представляется использование для описания СП ортогональных полиномов времени (ОП). Помимо известных вычислительных преимуществ [2] ОП дают удобный инструмент для анализа поведения СП, особенно важный при априори неизвестном характере поведения СП.

Задачу совместного оценивания параметров движения ЛА и СП измерений проще всего решить построив расширенный вектор состояния (ВС) фильтра Калмана, состоящий из шести фазовых переменных объекта наблюдения и векторов МП, и используя алгоритм рекуррентной статистической фильтрации для получения оценок ВС, оптимальных по квадратичному критерию качества. Однако такой путь приводит к высокой размерности ВС фильтра и, как правило, численной неустойчивости процесса оценивания при размерности ВС более 10–12. Решить эту проблему можно декомпозицией ВС на вектор фазовых переменных и вектор МП и применением методов регуляризации и рациональной организацией вычислительных процедур [1], [3].

Численно устойчивый метод рекуррентной фильтрации с декомпозицией по вектору мешающих параметров с использованием ОП. Пусть модель системы имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(x, t), \\ x(t_0) = x_0, \\ \mathbf{z}(t_k) = h(x(t_k)) + \Delta(t_k) + v(t_k), \end{cases}$$

где \mathbf{x} – ВС размерности n ; \mathbf{f} – заданная n -вектор-функция; \mathbf{z} – вектор измерения размерности m ; t – время; h – функция измерений; Δ – СП; v – нормальный регулярный шум измерений с математическим ожиданием $E(v) = 0$ и ковариацией $\text{cov } v = R_k$.

Тогда $E\{x_0\} = \bar{x}_0$, $\text{cov}((x_0)) = E\{(x_0 - \bar{x}_0)(x_0 - \bar{x}_0)^T\} = P_0$.

Воспользуемся результатами [1] и применим их для случая, когда СП скалярных измеряемых параметров представляют собой комбинацию ОП вида

$$\Delta_j(t) = \sum_{i=0}^{N_j} a_{ij} \varphi_i(t),$$

где $\varphi_i(t)$ – ОП порядка i ; a_{ij} – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению; N_j – порядок идентификационной модели СП j -го ИС, $j = \overline{1, p}$ (p – общее количество оцениваемых СП).

Оценивать СП будем одновременно с построением траектории ЛА, используя фильтр Калмана с декомпозицией [4].

Коэффициенты всех полиномов, описывающих СП, составляют вектор МП $\hat{\xi}$ размерности N $\left(N = \sum_{j=1}^p N_j \right)$, который оценивается одновременно с ВС \mathbf{x} .

Перед началом оценивания задается порядок $N_j = 0$ аппроксимирующих СП полиномов и формируется начальное значение вектора МП $\hat{\xi}_0$, который состоит из коэффициентов полиномов всех оцениваемых СП (значения этих коэффициентов могли быть оценены ранее или заданы априорно; если о них ничего не известно, их считают нулевыми).

При оценивании СП траектория строится за несколько проходов для всех ИС по всем временным сечениям t_k ($k = \overline{0, n}$) массива синхронизированных измерений.

Перед каждым проходом ($k = 0$) устанавливается начальное значение M_0 ковариационной матрицы оценок МП и P_0 – для начальной оценки ВС. Кроме того, задается нулевой вектор текущих (добавляемых впоследствии к начальным) оценок МП $\hat{\xi}_0^*$, нулевая матрица частных производных ВС по вектору МП V_0 , нулевая вспомогательная матрица L_0^T – верхняя треугольная матрица – корень квадратный по Холецкому из информационной матрицы $T_0 = L_0 L_0^T = M_0^{-1}$ и нулевой вспомогательный вектор $\bar{\delta}_0$.

При переходе к очередному моменту времени $k + 1$ вместе с экстраполяцией ВС $\bar{\mathbf{x}}_k$ и его ковариационной матрицы P_k осуществляется экстраполяция матрицы частных производных ВС по вектору МП:

$$V_{k+1} = F_k \cdot V_k,$$

где матрица $F_k = I + \Delta t J_k$; I – единичная матрица; J_k – матрица Якоби функций $f(x, t_k)$ производных ВС на текущее время.

После коррекции оценки ВС по измерению для оценивания СП производятся следующие вычисления:

вычисляется вектор

$$\bar{\mathbf{S}}_k = \mathbf{V}_k^T \nabla g + \bar{\mathbf{B}}_k,$$

где \mathbf{V}_k – текущая матрица частных производных ВС по вектору МП; $\bar{\mathbf{B}}_k$ – вектор частных производных текущего измерения по вектору МП (этот вектор имеет ненулевые компоненты вида $\varphi_i(t_k)$ только на местах, соответствующих коэффициентам полинома оцениваемой СП).

Матрица \mathbf{V}_k корректируется по формуле

$$\mathbf{V}_{k \text{ кор}} = \mathbf{V}_k - \overline{K \mathbf{S}_k^T}.$$

Коррекция матрицы \mathbf{L}_k^T и вектора $\bar{\delta}_k$ осуществляется приведением к треугольному виду с помощью преобразования Хаусгольдера матрицы

$$\begin{bmatrix} \mathbf{L}_{k \text{ кор}}^T & : & \bar{\delta}_{k \text{ кор}} \\ 0 & : & * \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} \mathbf{L}_k^T & : & \bar{\delta}_k \\ \frac{1}{\sqrt{D(\Delta z)}} \bar{\mathbf{S}}_k^T & : & \frac{1}{\sqrt{D(\Delta z)}} \Delta z \end{bmatrix},$$

где $\Delta z = z - h(\bar{x})$ – отклонение измерения z от его оценки; $D(\Delta z)$ – дисперсия этого отклонения.

Далее вычисляется матрица $(\mathbf{L}_k^T)^{-1}$, с помощью которой пересчитываются вектор МП

$$\hat{\xi}_k^* = (\mathbf{L}_{k \text{ кор}}^T)^{-1} \cdot \bar{\delta}_{k \text{ кор}}$$

и его ковариационная матрица

$$\mathbf{M}_k = (\mathbf{L}_{k \text{ кор}}^T)^{-1} \cdot \left((\mathbf{L}_{k \text{ кор}}^T)^{-1} \right)^T.$$

ВС и его ковариационная матрица корректируются по текущей оценке МП по формулам:

$$\bar{\mathbf{x}}_{k \text{ кор}} = \bar{\mathbf{x}}_k + \mathbf{V}_k \cdot \hat{\xi}_k^*,$$

$$\mathbf{P}_{k \text{ кор}} = \mathbf{P}_k + \mathbf{V}_k \cdot \mathbf{M}_k \cdot \mathbf{V}_k^T.$$

После завершения каждого прохода по траектории проверяется значимость всех текущих оценок, т. е. добавок к ранее полученным оценкам МП. Оценка считается значимой, если ее абсолютная величина больше соответствующего среднеквадратического отклонения (СКО). Если все оценки незначимы, то проходы прекращаются. После каждого прохода оцененный вектор МП $\hat{\xi}_k^*$ добавляется к начальной оценке $\hat{\xi}_0$ ($\hat{\xi} = \hat{\xi}_0 + \hat{\xi}_k^*$), а в измерения вносятся поправки в соответствии с новыми оценками СП.

При увеличении порядка полинома $N_j + 1$, аппроксимирующего СП, алгоритм расчета повторяется, но в качестве начального значения вектора МП $\hat{\xi}_0$ используются уже полученные значения с предыдущего шага алгоритма для полинома порядка N_j .

Примерное число операций при увеличении размерности задачи N_j на 1 в случае использования ОП составит:

$$R_{\text{ОП}} = (N_j + 1)^3 + 4(N_j + 1)^2 + N_j^2 + (N_j + 1),$$

тогда как для степенных полиномов оценка числа операций:

$$R_{\text{СП}} = 4(N_j + 1)^3 + (N_j + 1)^2.$$

Таким образом, использование ОП позволяет уменьшить сложность вычислительных процедур примерно в 4 раза по сравнению с обычными степенными полиномами.

В рассматриваемой вычислительной процедуре использование ОП для определения СП, в отличие от случая использования степенных полиномов, позволяет довольно просто оценить дальнейшую целесообразность увеличения порядка аппроксимации N_j . Критерием прекращения повышения порядка аппроксимации может быть условие превышения расчетного СКО измерений σ абсолютным значением произведения полинома и его коэффициента $|a_{N_j} \varphi_{N_j}(t)|$.

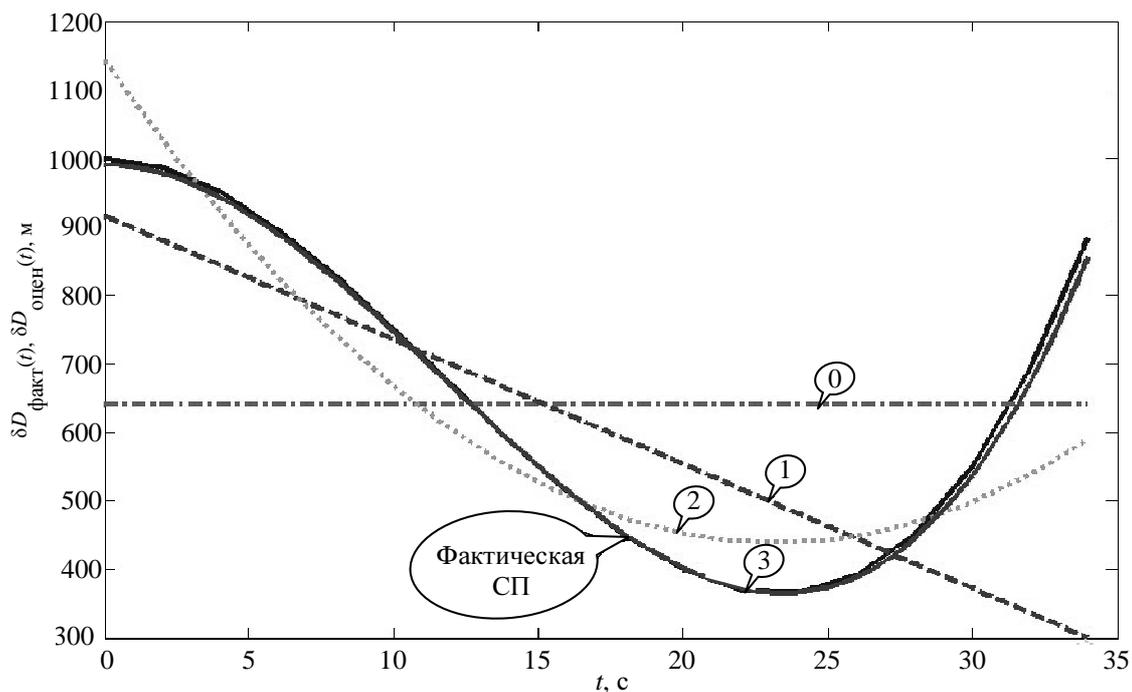
В качестве ортогональных полиномов $\varphi_i(t)$, $i = \overline{0, N_j}$, можно использовать полиномы Чебышева [2].

Результаты моделирования. Предлагаемый алгоритм был реализован с использованием пакета Matlab 6. 5.

Исходные измерения моделировались на пассивном участке траектории движения ЛА для четырех ИС по модели движения, описанной в [2], с дискретностью 2 с. Для одного из ИС в измерения дальности вносились СП $\delta D_{\text{факт}}$ в виде полиномов разного порядка. Измерения производились с шагом 3 с.

Моделирование подтвердило работоспособность алгоритма. В качестве примера на рисунке приведены график вносимой в измерения СП (сплошная линия), задаваемой полиномом третьего порядка, а также графики последовательно определяемых оценок СП, представляемых комбинацией ОП нулевого, первого, второго (пунктиром) и третьего (сплошная линия) порядков соответственно.

Из рисунка видно, что увеличение порядка определяемой СП приводит к последовательному приближению оценки к вносимой СП.



Критерием оценки качества полученных результатов по отношению к алгоритму, не учитывающему СП, служили отношения функционалов, равных средним значениям фактических ошибок по всей траектории координатных $\delta R_{\text{факт}_i}$ и скоростных $\delta v_{\text{факт}_i}$ параметров:

$$S_R = \sum_{i=1}^N \delta R_{\text{факт}_i} / N,$$

$$S_v = \sum_{i=1}^N \delta v_{\text{факт}_i} / N.$$

Как показали результаты моделирования, улучшение качества оценки состояния для алгоритма, оценивающего СП, составляет до 30 % и пропорционально значению СП.

Анализируя результаты использования ОП в представлении СП по сравнению со степенными полиномами, можно утверждать, что применение ОП повышает качество анализа СП и обработки измерений, а также сокращает общее количество вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский С. А., Постников Е. В. Устойчивый метод обработки измерений при наличии мешающих параметров // Сб. докл. Междунар. конф. SCM'2001 по мягким вычислениям и измерениям, СПб., июнь 2001. Т. 2. С. 23–26.
2. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М.: Сов. радио, 1978.
3. Лоусон Ч., Хэнсон Р. Численное решение задач методом наименьших квадратов. М.: Наука, 1988.
4. Малютин Ю. М., Экало А. В. Применение ЭВМ для решения задач идентификации объектов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988.

A. N. Kolodjazhnyj, E. V. Postnikov, S. M. Kurushkin

ESTIMATION OF REGULAR ERRORS OF A TRAJECTORY OF MEASUREMENTS WITH USE OF ORTHOGONAL POLYNOMS

Numerically steady method of an estimation of regular errors of a trajectory of the measurements, using for the description of slowly varying making measuring error linear combinations of orthogonal polynoms is resulted. The method is based on use of algorithm of a recurrent statistical filtration with decomposition on a vector of preventing parameters.

An estimation, a statistical filtration, regular errors, orthogonal polynoms



УДК 681.518.54:629.12.066

В. Ю. Воскобович, В. П. Калявин, Нгуен Ван Чьен

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Исследовано влияние дефектов оборудования на работоспособность гребной электрической установки с использованием системы автоматизированного проектирования Orcad при разработке диагностической модели гребной электрической установки.

Схема гребной электрической установки, диагностическая модель гребной электрической установки, дефект, условие работоспособности

Гребные электрические установки (ГЭУ) могут работать в двух режимах:

- режим стабилизации частоты вращения гребного винта (ГВ) (ход судна в свободной воде);
- режим постоянства мощности ГЭУ (ход судна в тяжелых условиях плавания).

В статье рассматривается режим стабилизации частоты вращения гребного винта.

Для разработки диагностического обеспечения гребной электрической установки переменного тока с управляемым выпрямителем (УВ), представленной на рис. 1, построена диагностическая модель на основе программы Orcad (рис. 2) [1].

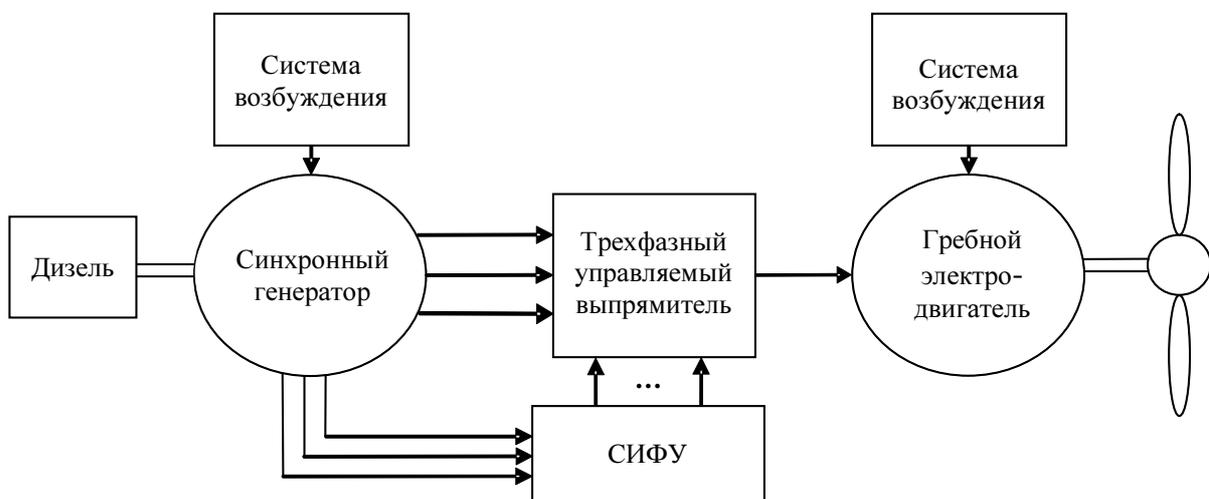


Рис. 1

Для исследования изменения состояния ГЭУ необходимо определить границы значений N , характеризующие область работоспособности ГЭУ. В работоспособном состоянии ГЭУ принимаются значения частоты вращения N на валу гребного винта в диапазоне [130; 170] об/мин. В номинальном режиме $N = 150$ об/мин.

Для иллюстрации подхода к использованию системы САПР Orcad при решении задач технической диагностики рассматриваются дефекты:

- приводящие к выходу напряжения за допустимые пределы (вверх-вниз);
- типа короткого замыкания в цепи (КЗ) тиристоров;
- типа обрыва в цепи тиристоров.

Диагностическая модель [2]–[4], приведенная на рис. 2, позволяет исследовать влияние многочисленных дефектов на работоспособность ГЭУ [5].

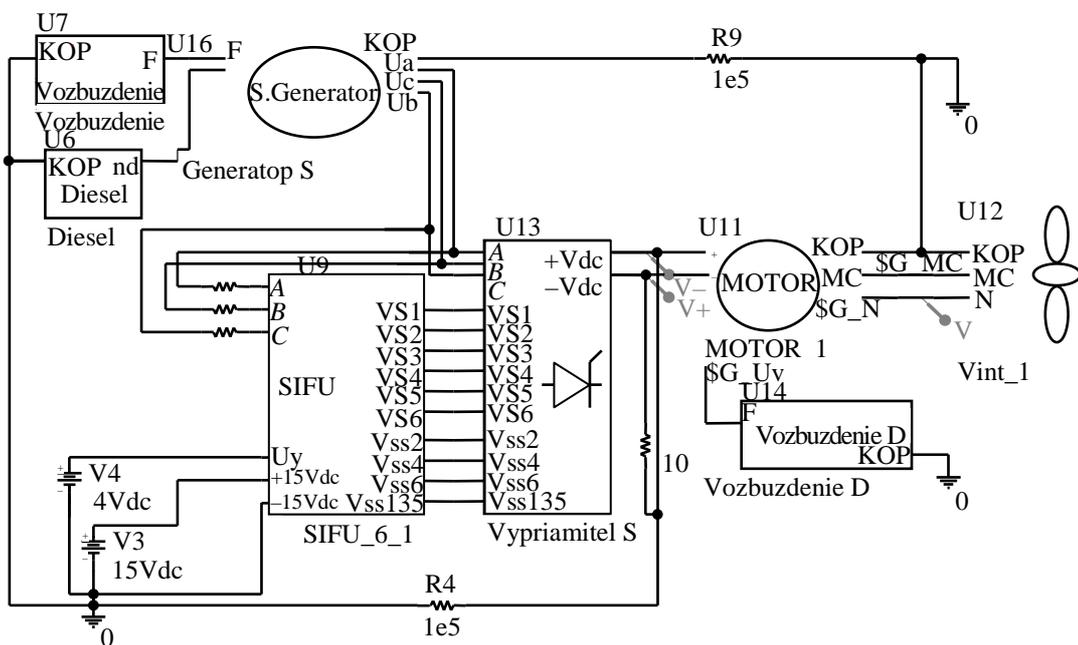


Рис. 2

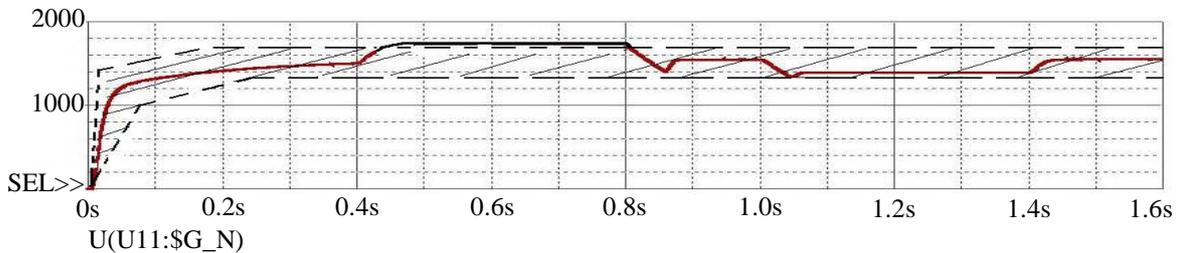
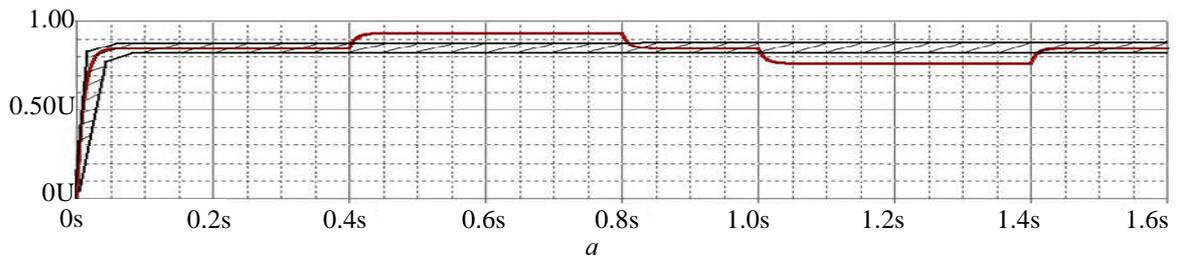
Влияние дефектов дизель-генератора. Рассматриваются дефекты:

- приводящие к выходу частоты вращения дизеля за допустимые пределы (вверх-вниз);
- приводящие к выходу за допустимые пределы напряжения синхронного генератора (СГ) за счет изменения напряжения возбуждения.

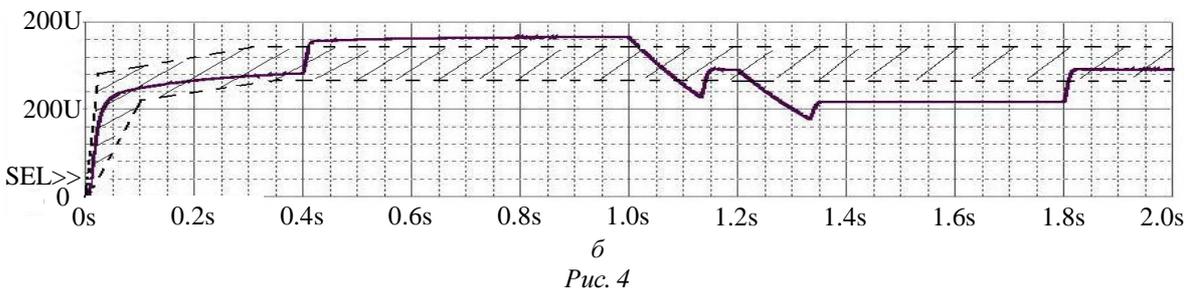
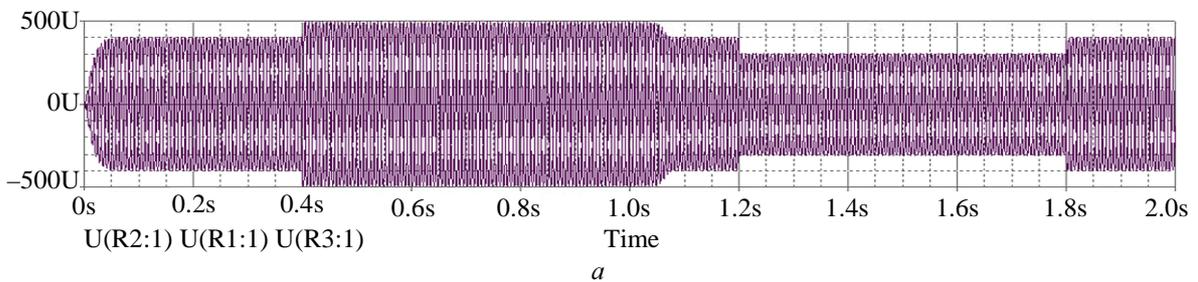
Изменение частоты вращения nd дизеля при увеличении на 10 % от номинального значения (интервал 0.4–0.8 с) и уменьшении на 10 % от номинального значения (интервал 1.0–1.4 с) показано на рис. 3, а, а изменение частоты вращения N вала ГВ – на рис. 3, б.

Из рис. 3 видно, что увеличение частоты вращения на 10 % приводит к незначительному превышению допустимого значения частоты вращения ГВ, а уменьшение на 10 % не приводит к отказу.

Рассмотрено влияние повышенного и пониженного напряжения СГ. Характер изменения частоты вращения N вала ГВ при выходе напряжения СГ за допустимые (верхний и нижний) пределы на 25 % от номинального (рис. 8, а) представлен на рис. 4, б.



б
Рис. 3



б
Рис. 4

Влияние дефектов управляемого выпрямителя. Причиной отказов УВ могут быть следующие дефекты:

- КЗ одного или двух тиристоров в одном или в разных каналах,
- обрыв одного или двух тиристоров в одном или в разных каналах.

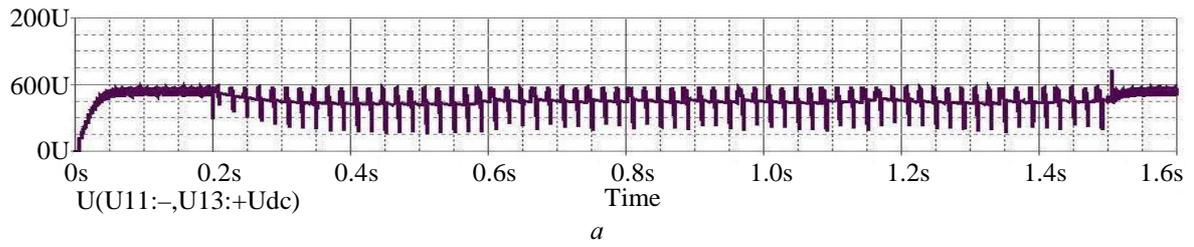
При КЗ одного тиристора (VS1) изменение напряжения на выходе УВ показано на рис. 5, а, а изменение частоты вращения N вала ГВ – на рис. 5, б.

В этом случае наблюдается незначительное уменьшение (с выходом за допустимые пределы) частоты вращения вала ГВ, который функционирует нештатно.

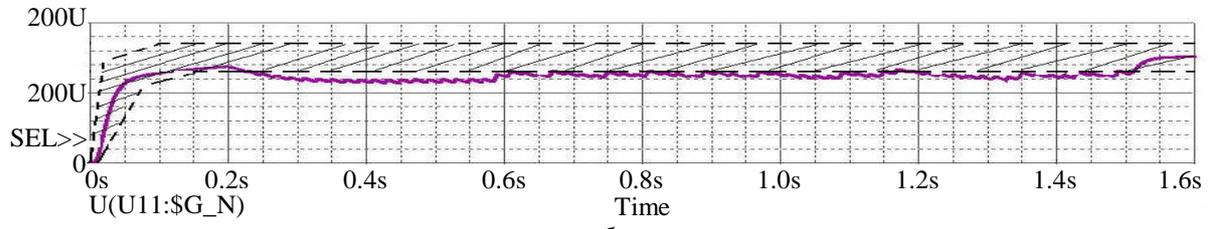
При КЗ двух тиристоров в разных каналах (VS1, VS4) изменение напряжения на выходе УВ показано на рис. 6, а (интервал 0.2–1.5 с), а изменение частоты вращения N вала ГВ – на рис. 6, б.

В этом случае напряжение УВ равно нулю, происходит полный отказ ГЭУ, гребной винт останавливается, судно теряет ход.

При обрыве цепи одного тиристора изменение напряжения на выходе УВ показано на рис. 7, а (интервал 0.2–1.5 с), а изменение частоты вращения вала ГВ – на рис. 7, б.

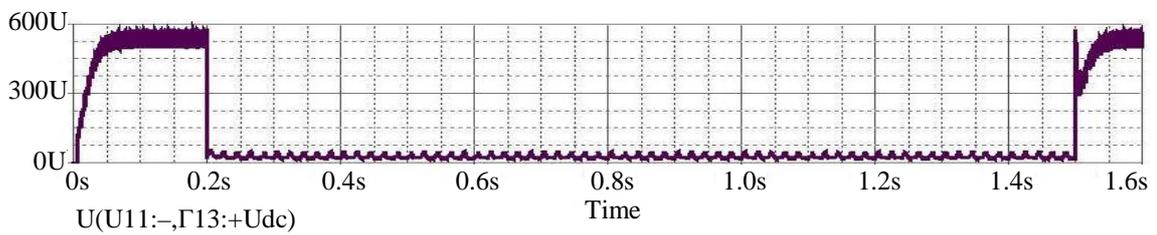


a

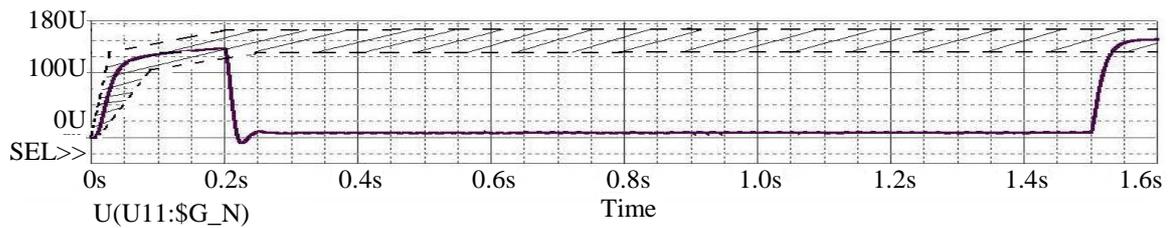


б

Рис. 5

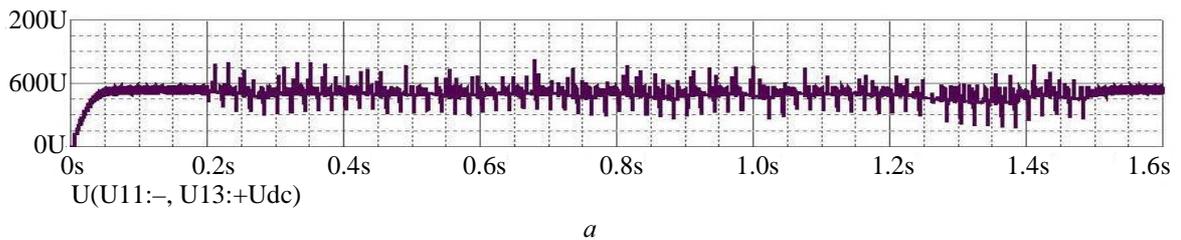


a

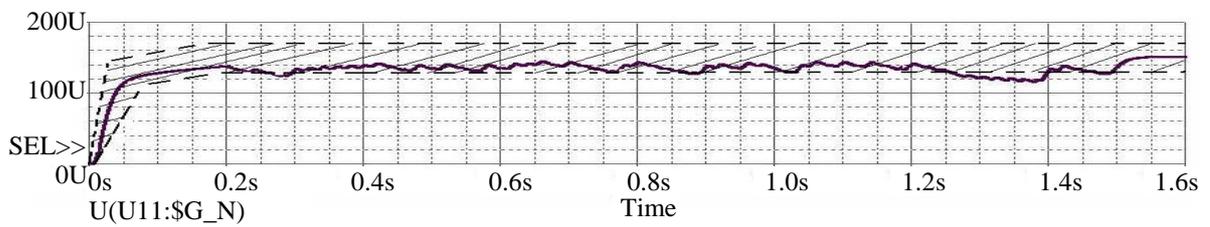


б

Рис. 6



a

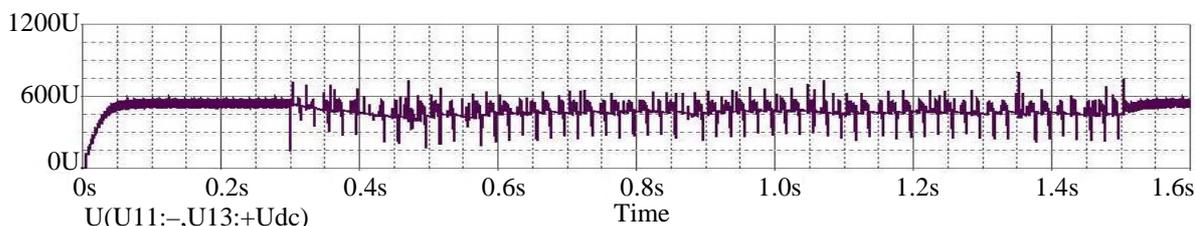


б

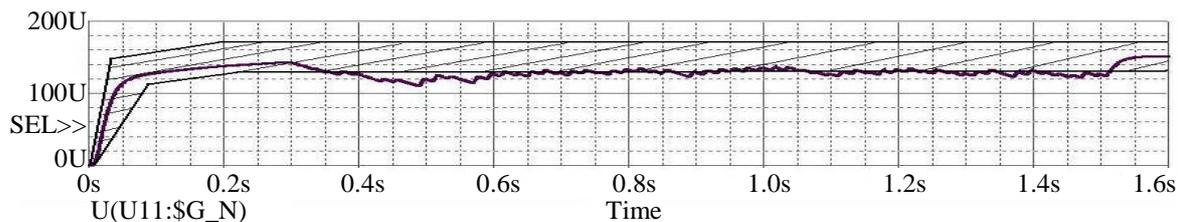
Рис. 7

Наблюдается снижение скорости вращения вала ГВ в области работоспособности (интервал 0.2–1.3 с) и незначительный выход этого параметра за допустимые пределы (интервал 1.3–1.45 с). Судно в основном идет с заданной скоростью хода.

При обрыве цепи двух тиристоров в одном канале (VS1, VS3) изменение напряжения на выходе УВ показано на рис. 8, а (интервал 0.3–1.5 с), а изменение частоты вращения N на валу ГВ – на рис. 8, б.



а



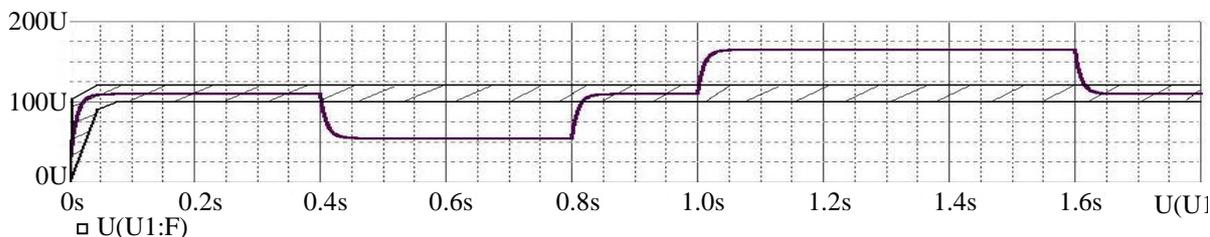
б

Рис. 8

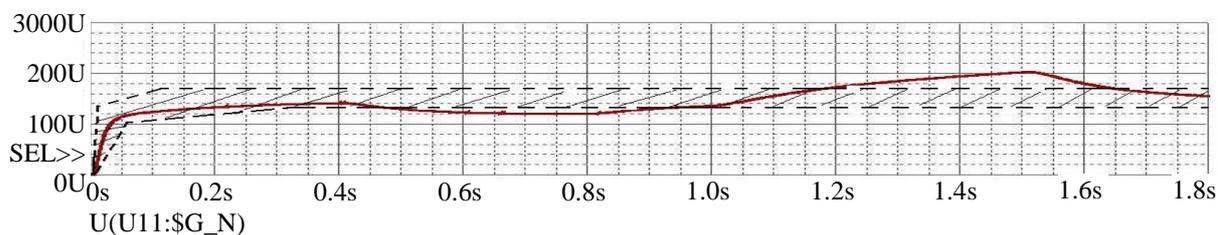
В интервале 0.3–1.5 с скорость вращения N находится вне области работоспособности ГВ, но выход за допустимые пределы незначителен. ГЭУ функционирует нештатно. Судно идет с пониженной скоростью хода.

Влияние дефектов ГЭД. Рассматриваются дефекты гребного электродвигателя (ГЭД), проводящие к выходу напряжения возбуждения за допустимые пределы (вверх-вниз).

Характер изменения напряжения возбуждения ГЭД при наличии отказа в обмотке возбуждения в виде изменения на $\pm 50\%$ от номинального представлены на рис. 9, а.



а



б

Рис. 9

Изменение частоты вращения N вала ГВ при изменении напряжения возбуждения ГЭД на $\pm 50\%$ от номинального значения в интервале 0.4–1.6 с приведено на рис. 9, б.

Как в том, так и в другом случае частота вращения ГВ выходит за допустимые пределы. ГЭУ отказывает, а судно продолжает движение с неустановленной скоростью.

С учетом достоинства системы САПР Orcad при диагностике ГЭУ предложенная диагностическая модель позволяет исследовать влияние различных дефектов, приводящих к

отказу ГЭУ. При этом глубина поиска дефектов может быть увеличена за счет детализации структуры ГЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскобович В. Ю. Моделирование гребных электрических установок переменного тока с использованием системы Orcad: Методич. указания к практ. занятиям по дисц. «Гребные электрические установки». 2006.
2. Воскобович В. Ю., Калявин В. П., Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель дизель-генератора гребной электрической установки. Сб. научн. статей. Вып. XXV / Мар. гос. ун-т. Йошкар-Ола, 2008.
3. Воскобович В. Ю., Калявин В. П., Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель исполнительного устройства гребной электрической установки. Сб. научн. статей. Вып. XXV / Мар. гос. ун-т. Йошкар-Ола, 2008.
4. Воскобович В. Ю., Калявин В. П., Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель управляемого выпрямителя гребной электрической установки. Сб. научн. статей. Вып. XXV / Мар. гос. ун-т. Йошкар-Ола, 2008.
5. Калявин В. П. Основы теории надежности и диагностики: Учебник. СПб.: Элмор, 1998.

V. Y. Voskobovich, V. P. Kalyavin, Nguyen Van Chien

RESEARCH OF DEFECTS ON WORKING CAPACITY OF ROWING ELECTRIC STATION

An influence of defects on working capacity of rowing electric station is examined with use of the computer-aided design system Orcad and diagnostic model of rowing electric station.

Scheme of rowing electric station, diagnostic model of rowing electric station, defect, condition of working capacity



УДК 621.372.8

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

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСПЛАВА КОРИУМА

Описывается принцип и техническая реализация метода бесконтактного измерения удельной электропроводности расплава кориума. Метод основан на измерении тепловых и электрических параметров индукционной плавки кориума в холодном тигле и на решении обратной задачи электромагнитного поля. Определена методическая погрешность измерения удельной электропроводности расплава. Приводятся экспериментальные данные по удельной электропроводности расплава кориума различного состава.

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 проблемы 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 ванны расплава кориума заданного объема с заданной температурой, что требует правильного выбора частоты и мощности источника питания индукционной печи. Для реализации этой задачи необходимо знать температурную зависи-

мость 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 (зачастую 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 расплавов используются, как правило, контактные методы [4]–[7]. Однако в окислительной среде они ограничены температурой 1900–2100 К, выше которой начинается активное взаимодействие расплава с материалом тигля и измерительными электродами. Инертная среда позволяет поднять температуру исследований до 3350 К [7].

Для изучения удельной электропроводности расплавов разработаны и бесконтактные методы, но они предназначены для исследования расплавов металлов [9]–[11]. Одной из первых работ, в которых решается задача оценки электропроводности оксидных расплавов с использованием электрических параметров индукционной плавки в холодном тигле, является работа [2].

Результаты сравнения применимости и точности методов измерения удельной электропроводности расплавов, представлены в табл. 1. Видно, что пригодным на сегодняшний день методом измерения в окислительной атмосфере при температуре расплава выше 1900 К является только бесконтактный метод.

Таблица 1

Метод	Температура, К	Среда	$\delta_{\text{сум}}, \pm \%$
Контактный, 4-электродная измерительная ячейка, анализатор сопротивления (1 Гц – 1 МГц) [6]	до 1470	Воздух	15
Контактный, метод вольтметра-амперметра (5 кГц), мост [7]	до 1900	Воздух	4.5
Контактный, 4 электродная ячейка, метод вольтметра-амперметра [5]	до 3350	Инертная	20
Бесконтактный, подвес и раскручивание в магнитном поле расплава металла и измерение его момента вращения [10]	до 1600	Вакуум	10
Бесконтактный, подвес в магнитном поле расплава металла и измерение входного импеданса индукционной системы [11]	до 1700	Воздух, инертная	8
Бесконтактный, индукционная плавка в холодном тигле и измерение приращения коэффициента мощности индуктора (5 МГц), [2]	до 3500	Воздух	20

Описанный в данной статье метод определения удельной электропроводности основан на получении и удержании расплава в индукционной печи с разрезным холодным тиглем, измерении тепловых и электрических параметров плавки и решении обратной задачи электромагнитного поля.

Постановка обратной задачи. Удельная электропроводность расплава находится из решения системы уравнений электромагнитного поля и баланса мощностей в индукционной системе (ее эскиз представлен на рис. 1) [12]–[14]:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{дно}}^{\text{э}} + P_{\text{тиг}}^{\text{э}} + P_{\text{загр}}^{\text{э}} + P_{\text{кр}}^{\text{э}} + P_{\text{шах}}^{\text{э}} = P_{\text{дно}}^{\text{т}} + P_{\text{тиг}}^{\text{т}} + P_{\text{кр}}^{\text{т}} + P_{\text{шах}}^{\text{т}}, \\ \left\{ \begin{array}{l} 2\pi R_i \dot{E}_i + j\omega \int_{S_1} \sigma_j \dot{E}_j M_{ij} dS + j\omega \int_{S_2} \sigma_k \dot{E}_k (M_{ik} - M_{il}) dS = U_{\text{инд}}, \\ \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \dot{A}}{\partial R} + \frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial z^2} - \frac{\dot{A}}{R^2} \right) - j\omega (\bar{\sigma}_{\text{загр}})_1 \dot{A} = 0, \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (1)$$

где, $P_{\text{дно}}^{\text{т}}$, $P_{\text{тиг}}^{\text{т}}$, $P_{\text{кр}}^{\text{т}}$, $P_{\text{шах}}^{\text{т}}$ – суммарные мощности, отводимые от дна, секций, крышки тигля и шахты; $P_{\text{дно}}^{\text{э}}$, $P_{\text{тиг}}^{\text{э}}$, $P_{\text{кр}}^{\text{э}}$, $P_{\text{шах}}^{\text{э}}$ – электрические потери в дне, секциях, крышке тигля и шахте; $P_{\text{загр}}^{\text{э}}$ – мощность в расплаве, рис. 1; $U_{\text{инд}}$ – напряжение на индукторе; $\bar{\sigma}_{\text{загр}}$ – удельная электропроводность загрузки (расплава); остальные обозначения общепринятые.

В данном случае математическая модель записана в 2D-интегродифференциальной постановке [15], достаточно адекватно описывающей рассматриваемый процесс.

Рисунок 2 иллюстрирует поиск решения системы уравнений (1). Поскольку данная система имеет два решения (точки 1 и 2 на рис. 2), то для обеспечения однозначности в качестве дополнительного условия используется величина тепловых потерь в индукторе.

Погрешность метода. Суммарная погрешность метода определения электропроводности складывается из погрешностей решения обратной задачи $\delta_{\text{оз}}$ и математической модели $\delta_{\text{мат}}$:

$$\delta_{\text{сум}} = \delta_{\text{оз}} + \delta_{\text{мат}}. \quad (2)$$

Погрешность решения обратной задачи определяется следующим образом:

$$\delta_{\text{оз}} = (2\delta_{\text{к}} + \delta_{\text{геом}}) W_{\text{оз}}, \quad (3)$$

где $\delta_{\text{к}}$ – полная погрешность калориметрирования; $\delta_{\text{геом}}$ – погрешность измерения размеров индукционной системы и $W_{\text{оз}}$ – передаточная функция решения обратной задачи, зависящая также и от параметров индукционной системы

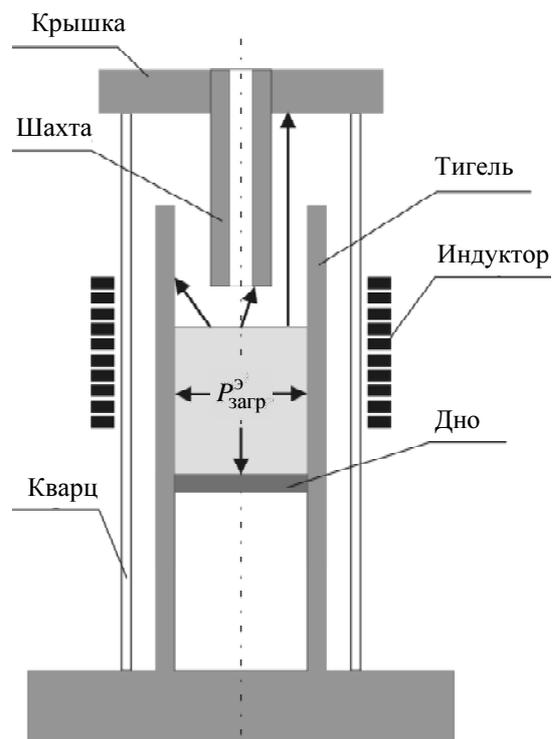


Рис. 1

$$W_{\text{оз}} = f \left(\left\{ \frac{R_{\text{загр}}}{\Delta_{\text{загр}}}, \frac{H_{\text{загр}}}{H_{\text{инд}}} \right\}, \delta_{\text{к}}, \delta_{\text{эл}}, \delta_{\text{геом}} \right), \quad (4)$$

где $R_{\text{загр}}$ – радиус ванны расплава; $\Delta_{\text{загр}}$ – глубина проникновения электромагнитного поля в расплав; $H_{\text{загр}}$ – глубина ванны расплава; $H_{\text{инд}}$ – высота индуктора; $\delta_{\text{загр}}$ – погрешность измерения напряжения на индукторе.

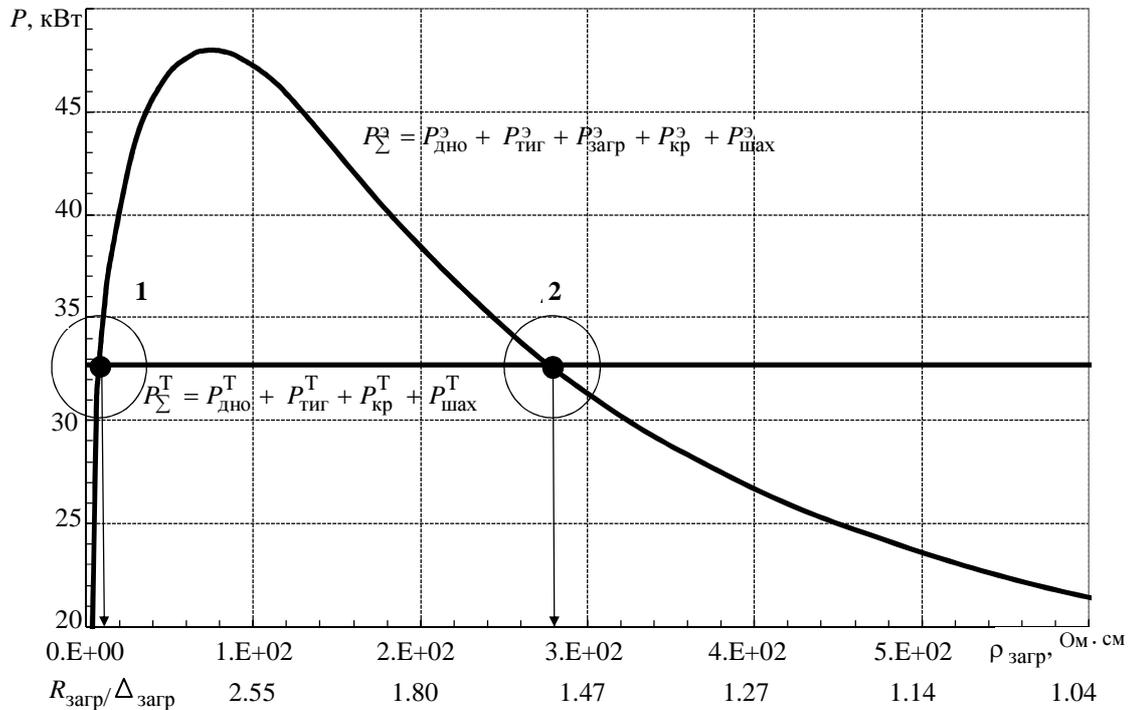


Рис. 2

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»¹ [16]–[17]. Величины методических погрешностей, а также неучтенные потери представлены в табл. 2.

Таблица 2

Погрешности методики

Наименование погрешности	%
Источники погрешности	
Расходомеры	0.5
Термоэлектрические преобразователи	0.3
Аналого-цифровые преобразователи	0.1
Методическая погрешность калориметрирования	0.9
Неучтённые потери в элементах индукционной системы	1.2
Суммарная погрешность калориметрирования, $\delta_{\text{к}}$	2
Ошибка измерения геометрических параметров индукционной системы, $\delta_{\text{геом}}$	2.5
Решение обратной задачи на основе аналитической математической модели ЭМП, $\delta_{\text{оз}}$	10...35
Погрешность численной математической модели ЭМП, $\delta_{\text{мат}}$	5...10
Суммарная погрешность методики, $\delta_{\text{сум}}$	15...45

¹ Установка «Расплав». Рабочий проект – ВНИПИЭТ, Инв. № 90-09188, Ленинград, 1990 г.

На рис. 3 показана область решений системы уравнений (1), существование которой обусловлено наличием методических погрешностей аппаратных средств и ошибки измерения геометрических параметров индукционной системы.

На рис. 4 приведена зависимость погрешности решения обратной задачи от соотношения $R_{\text{загр}}/\Delta_{\text{загр}}$, позволяющего распространить ее на подобные индукционные системы.

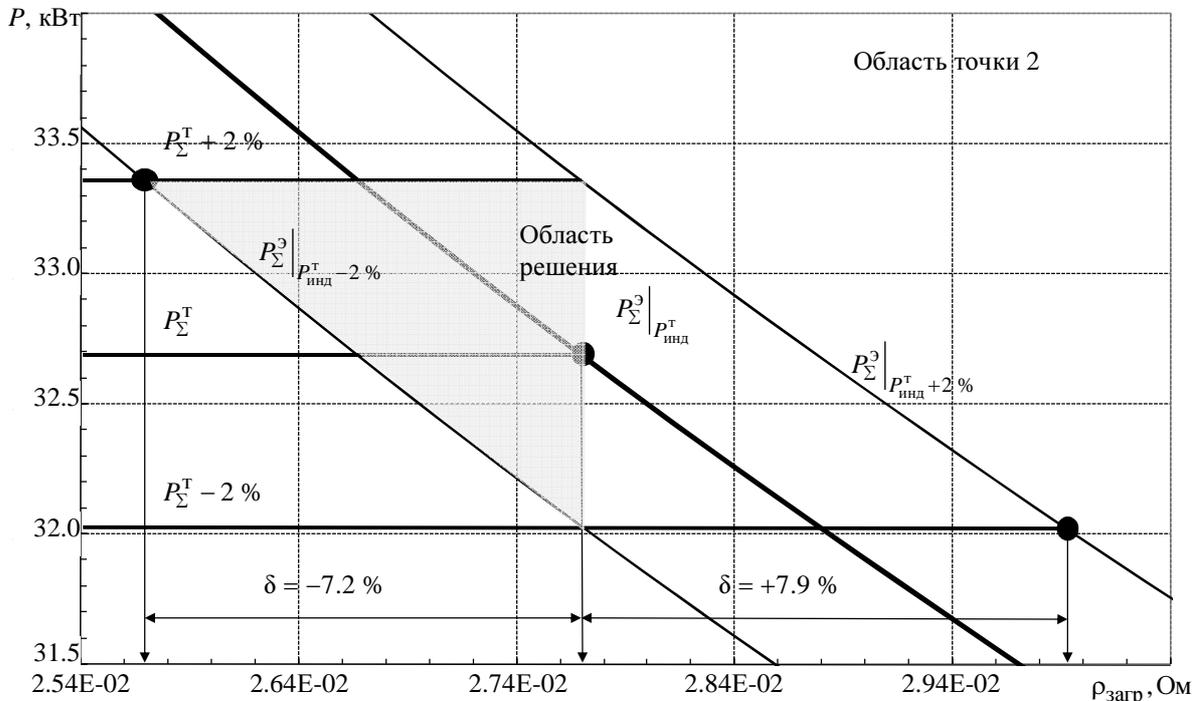


Рис. 3

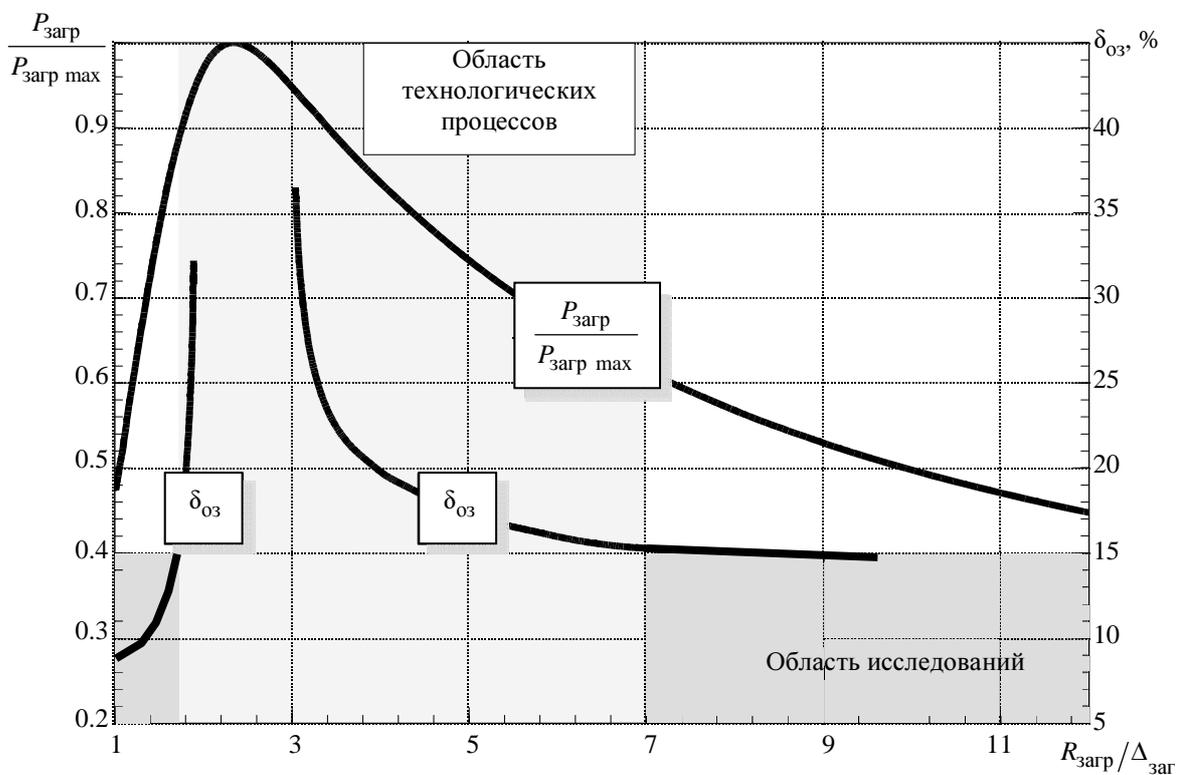


Рис. 4

Результаты. Для определения удельной проводимости расплава кориума различного состава на платформе «Расплав» была проведена серия плавов в различных индукционных печах. 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. 3. Рисунок 5 графически иллюстрирует логарифм удельной электропроводности расплава кориума. Для сравнения, на этом же рисунке приведены данные, опубликованные в [8].

Таблица 3

Удельная электропроводность расплава кориума

Номер эксперимента	Степень окисленности кориума, %	T_p, K	Среда	$\sigma, (\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$	$\frac{R_{\text{загр}}}{\Delta_{\text{загр}}}$	$\delta_{\text{сум}}, \pm \%$
1	32	2673	Аргон	1123.6	8.26	22.47
2		2673		1562.5	9.44	21.95
3		2673		1123.6	8.40	22.25
4	70	1873 (корка)	Аргон	113.6	2.48	51.24
5	100	2733 (корка)	Воздух	33.33	1.60	25.82
6		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	
7	2621 (корка)	Пар	33.33	5.23	25.82	
2420 (корка)	31.25		4.95	27.16		

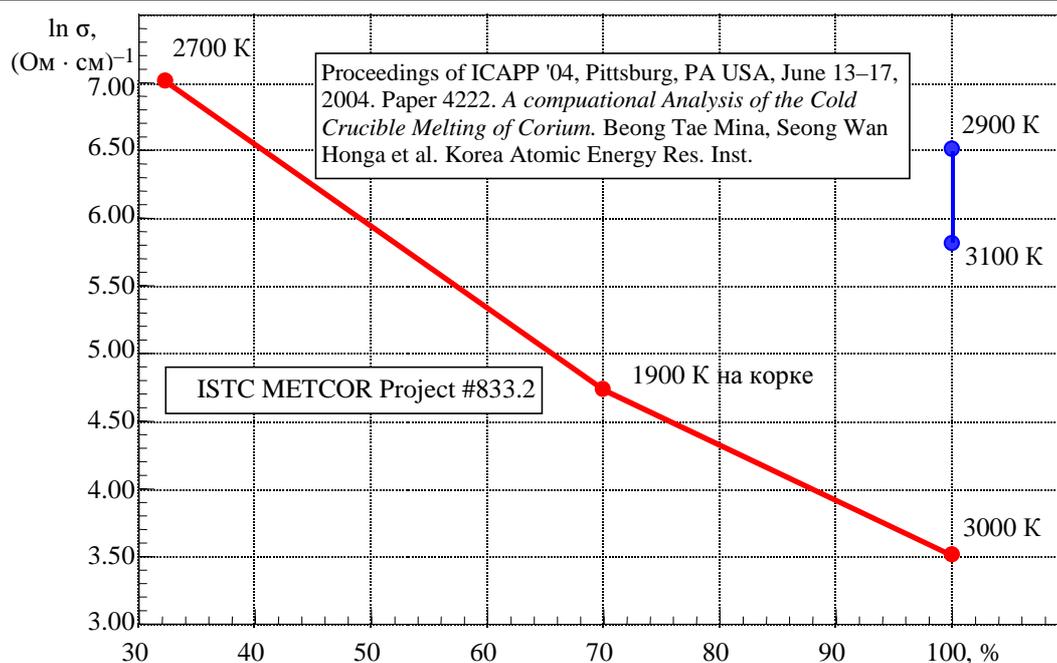


Рис. 5

Отметим, что значения удельной электропроводности, полученные данным методом, представляют собой усредненные значения по объёму 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. 4.

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.: Металлургия, 1972.
2. Петров Ю. Б. Индукционная плавка окислов. М.: Металлургия, 1983.
3. Петров Ю. Б., Канаев И. А. Индукционные печи для плавки оксидов Л.: Политехника, 1991.
4. Properties of some glass-ceramics in molten and solid state / M. Constantinescu, G. Jitianu, M. Brichi et al. // High temperature Material Processes 2002. № 6. P. 75–86.
5. Silnqa A., Haugsdal B. Electrical conductivity measurements of corrosive liquids at high temperatures // Rev. Sci. Instrum. 1993. № 64 (2), February. P. 532–537.
6. Electrical conductivity measurements of oxides from molten state to glassy state / C. Simonnet, J. Phaliprou, M. Malki et al. // Instrum. 2003 Vol. 74, № 5, May. P. 2805–2810.
7. Вязкость и электропроводность расплавов на основе оксида алюминия / С. Г. Бахвалов, А. А. Селиванов, С. А. Истомин и др. // Расплавы. 2003. № 3. С. 40–50.
8. Beong Tae Mina, Seong Wan Honga. A computational analysis of the cold crucible melting of corium. Korea Atomic Energy Res. Inst. // Proc. of ICAPP '04, Pittsburgh, PA USA, June 13–17, 2004. P. 4222.
9. Experimental investigation on monitoring and control of induction heating process for semi-solid alloys using the heating coil as sensor/ Yuu Ono, Cheng-Qing Zheng, Francois G. Hamel et al. // J. Meas. Sci. Technol., 2002. Vol. 13. P. 1359–1365.
10. Rhima W.-K, Ishikawa T. Noncontact electrical resistivity measurement technique for molten metals // Rev. Sci. Instrum. 1998. Vol. 69, № 10, Oct.
11. Georg Lohofer. Electrical resistivity measurement of liquid metals // Meas. Sci. Technol. 2005. № 16. P. 417–425.
12. Pozniak I., Pechenkov A., Shatunov A. Electrical conductivity measurement of oxides melts // Proc. of the 4th Int. Colloq. «Modelling for material proessing» Riga, Latvia, 2006. June. P. 155–160.
13. 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 int. symposium on Science & Technology: KORUS 2005, June 26–July 2, 2005 / Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2005.
14. 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) apih-05. St.Petersburg, 24–26 May, 2005.
15. Mathematical modelling and investigation of induction system with slitted crucible / I. Pozniak, A. Pechenkov, B. Nacke, T. Behrens // Proc. of the Int. Scient. Colloq.:Modelling for Electromagnetic Processing, Hannover, Germany, March 24–26, 2003. Hannover, 2003. P. 151–156.
16. 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. Vol. 195. P. 45–56.
17. 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. P. 6054.

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, corium melt, induction melting in cold crucible, contactless measurement, inverse problem

УДК 621.3.001

В. А. Ружников, М. В. Силина, Э. П. Чернышев

К ПРОВЕРКЕ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ГИСТЕРЕЗИСНОЙ РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЕ С ИНТЕГРАТОРОМ В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Обосновывается правомерность используемых авторами допущений при аналитической оценке устойчивости автоколебаний в релейной системе.

Релейная система, автоколебания, устойчивость

В работах [1]–[3], посвященных разработке общей аналитической методики оценки устойчивости автоколебаний (АК) в релейных системах (РС) путем анализа вариаций переменных с использованием теории дискретных цепей (ДЦ), авторами осуществлен переход от передаточной функции (ПФ) линейной части РС к ПФ ДЦ методом полного соответствия (инвариантности) их импульсных характеристик (ИХ). Однако в частном случае простейшей линейной части (ЛЧ) в виде интегратора пришлось ввести коррекцию ИХ ДЦ на условном первом шаге расчета в интервале $0 < t < \tau = T/2$, где T – период АК, τ – полупериод.

Коррекция первого шага привела к полному соответствию результатов анализа «физической» картине АК, однако сама коррекция все же в чем-то носила «волевой» характер. Поэтому возникла необходимость дополнительной проверки полученных результатов анализа устойчивости АК по Ляпунову, в свою очередь, связанной с допущениями линеаризации уравнений для вариаций в сугубо нелинейной РС с разрывными характеристиками релейного элемента (РЭ) с гистерезисом.

В качестве такой дополнительной проверки в настоящей работе используется прямой расчет исходного «возмущенного» движения РС без использования каких-либо допущений и упрощений исходной модели.

Постановка задачи. Анализу подлежит простая автоколебательная РС с нормированной к единичному уровню гистерезисной характеристикой РЭ

$$y(t) = a[\text{sign } x(t) - d \text{sign } \dot{x}(t-)], \quad (1)$$

где $x(t)$, $y(t)$ – входная и выходная переменные РЭ; t – время; $a=1$ и $d=1$ – нормированные характеристики петли гистерезиса (высота и полуширина); $\dot{x}(t-)$ – скорость изменения входной переменной в момент, непосредственно предшествующий рассматриваемому.

ЛЧ в цепи обратной связи РЭ считаем простейшим интегратором с ПФ

$$H(s) = X(s)/Y(s) = -k/s, \quad (2)$$

где k – постоянный коэффициент; s – аргумент преобразования Лапласа; $X(s), Y(s)$ – изображения $x(t), y(t)$ по Лапласу.

Простота (2) выбранной ПФ обусловлена: 1) не только очевидной методикой расчета АК в этом случае без использования нового метода анализа АК, используемого в [1]–[3]; 2) не только возможной простотой реализации интегратора ЛЧ, например, как двигателя; 3) в первую очередь тем, что она соответствует классу рассмотренных в [2], [3] ПФ (у которых степень числителя только на единицу меньше степени знаменателя), поскольку их ЛЧ (2) у РС этого класса

$$h(t) = -k\delta_1(t)$$

является разрывной функцией, т. е. $h(0-) = 0 \neq h(0+) = -k$ (здесь $\delta_1(t)$ – единичная ступенчатая функция). Именно в этом случае необходимо использовать указанную выше «коррекцию» ПФ соответствующей ДЦ при анализе устойчивости РС.

Данные расчета АК. В отличие от используемой в [1]–[3] общей методики расчета АК, в нашем случае анализ АК очевиден.

Предположим, переключение РЭ с характеристикой (1) с уровня $y(0-) = -1$ к уровню $y(0+) = +1$ происходит при $t = 0$; АК предполагаем симметричными и простыми («одночастотными»):

$$y(t) = -y(t \pm \tau); x(t) = -x(t \pm \tau). \quad (3)$$

Тогда описание АК в интервале условно первого полупериода $0 < t < \tau = T/2$ будет с учетом (1), (2):

$$\begin{cases} y(t) = \delta_1(t) = 1; \\ x(t) = 1 - kt; x(0+) = 1; x(\tau-) = 1 - k\tau = -1, \end{cases} \quad (4)$$

откуда полупериод АК

$$\tau = 2/k. \quad (5)$$

Описание АК в предшествующий полупериод, т. е. при $-\tau < t < 0$, с учетом (3)–(5):

$$\begin{cases} y(t) = -1; \\ x(t) = -1 + k(t + \tau) = 1 + kt; x(-\tau) = -1; x(0-) = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Соответственно, описание АК в последующий полупериод, т. е. при $\tau < t < 2\tau = T$:

$$\begin{cases} y(t) = -1; \\ x(t) = -1 + k(t - \tau) = -3 + kt; x(\tau) = -1; x(2\tau) = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Расчет «возмущенного» движения. Внешнее входное возмущение $f_{\text{вх}}$ считаем, как это принято в [1]–[3], «исчезающим» воздействием вида дельта-функции

$$f_{\text{вх}}(t) = \beta \delta(t), \quad (8)$$

где β – бесконечно малая, что в целом соответствует подходу к описанию устойчивости по Ляпунову:

$$x_{\xi}(0) < \beta \Rightarrow x_{\xi}(t) < \varepsilon(\beta), \quad (9)$$

где ε – бесконечно малая, зависящая от β ;

$$x_{\xi} = \tilde{x} - x \quad (10)$$

это вариация рассматриваемой переменной; x – невозмущенное (исходное, расчетное) движение РС, т. е. описание АК (4), (6), (7); \tilde{x} – «возмущенное» движение РС, возникшее из-за «исчезающего» воздействия (8), в результате чего, например, появляется начальная вариация $x_{\xi}(0)$, как указано в (9), (10).

Допустим, «исчезающее» воздействие привело к преждевременному срабатыванию РЭ в момент $t = -\Delta t$, где Δt – бесконечно малая. Тогда в отличие от (4) на условно первом рассматриваемом интервале $-\Delta t < t$ будет существовать «возмущенное» движение вида:

$$\begin{cases} \tilde{y}(t) = \delta_1(t + \Delta t) : \tilde{Y}(s) = \frac{1}{s} e^{s\Delta t}; \\ \tilde{X}(s) = \frac{\tilde{x}(-\Delta t)}{s} + H(s)\tilde{Y}(s) = \frac{\tilde{x}(-\Delta t)}{s} - \frac{k}{s^2} e^{s\Delta t} : \tilde{x}(t) = \\ = \tilde{x}(-\Delta t) - k(t + \Delta t). \end{cases} \quad (11)$$

До этого интервала при $-\tau < t < -\Delta t$ было в (6):

$$x(t) = -1 + k(t + \tau)_{\infty}, \quad (12)$$

причем $x(-\tau) = -1$. Однако, в момент переключения $x(-\Delta t) = -1 + k(\tau - \Delta t)$, что с учетом (5) $k\tau = 2$ дает:

$$x(-\Delta t) = 1 - k\Delta t. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11), получим для интервала $(-\Delta t < t)$:

$$\tilde{x}(t) = (1 - k\Delta t) - k(t + \Delta t) = 1 - kt - 2k\Delta t. \quad (15)$$

Используя (15), определим t_1 – момент следующего переключения РЭ при достижении «возмущенным» движением уровня «-1»:

$$\tilde{x}(t_1) = -1 = 1 - kt_1 - 2k\Delta t,$$

откуда с учетом (5)

$$t_1 = (2 - 2k\Delta t)k = \tau - 2\Delta t, \quad (16)$$

т. е. согласно (16) следующее переключение произойдет раньше «невозмущенного переключения» на $2\Delta t$, а не на Δt , как было в (11).

На следующем интервале «возмущенного» движения при $t_1 = \tau - 2\Delta t < t < t_2$ (где t_2 – искомый момент следующего переключения) получим с учетом (3), (5), (16):

$$\tilde{x}(t) = -1 + k(t - t_1) = -1 + k(t - \tau + 2\Delta t) = -3 + k(t + 2\Delta t). \quad (17)$$

На основании (17) определяем момент t_2 следующего переключения РЭ при «возмущенном» движении, когда

$$\tilde{x}(t_2) = 1 = -3 + k(t_2 + 2\Delta t),$$

откуда $kt_2 = 4 - 2k\Delta t$; следовательно, с учетом (5)

$$t_2 = \frac{4}{k} - 2\Delta t = 2\tau - 2\Delta t = T - 2\Delta t,$$

и т. д. с упреждением на $2\Delta t$ относительно «невозмущенного» движения, причем форма АК, естественно, сохраняется.

1. Как и следовало ожидать, «возмущенное» движение полностью сохраняет форму «невозмущенных» АК, которые, однако, «идут» с упреждением на $2\Delta t$.

2. Высказанное в [1]–[3] утверждение о сохранении периодичности (3) АК оправданно несмотря на действие возмущающего воздействия и выбранного класса ПФ ЛЧ (2).

3. Высказанное в [1]–[3] утверждение о возможной устойчивости АК по Ляпунову также справедливо, однако не будет асимптотической устойчивости, которая следует из (9) при $x_\xi(t) \rightarrow 0$, если $t \rightarrow \infty$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ружников В. А., Силина М. В., Чернышев Э. П. Особенности проектирования устойчивых моделей автоколебательных радиоэлектронных и электротехнических систем / 5-й Междунар. симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: Сб. науч. докл. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. С. 250–253.

2. Новый подход к проектированию устойчивых радиоэлектронных и электротехнических релейных автоколебательных систем с интегратором в цепи обратной связи / В. А. Прохорова, В. А. Ружников, М. В. Силина, Э. П. Чернышев // Изв. вузов «Радиоэлектроника», 2006. № 2. С. 10–15.

3. Ружников В. А., Силина М. В., Чернышев Э. П. Оценка устойчивости моделей релейных автоколебательных систем / 7-й Междунар. симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Сб. науч. докл. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. С. 242–244.

V. A. Ruzhnikov, M. V. Silina, E. P. Chernishev

TO CHECK OF STABILITY IN RELAY SELF-OSCILLATIONS SYSTEM WITH THE INTEGRATOR IN A CIRCUIT OF A FEEDBACK

Legitimacy of assumptions used by authors proves at an analytical estimation of stability of self-oscillations in relay system.

Relay system, self-oscillations, stability



УДК 57.084.1

И. С. Захаров, В. И. Васильев

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ БИОТЕСТОВЫХ РЕАКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЛОКОМОЦИЙ МИКРООРГАНИЗМОВ

Разработаны и исследованы алгоритмы моделирования подвижных клеток на базе клеточного автомата.

Локомоции, алгоритм, клеточный автомат, программа, случайный поток

Локомоции – перемещение целостного организма – отражают функционирование важнейших физиологических систем живого. Поэтому виды локомоций – таксисы (направленные перемещения популяций под воздействием различных физико-химических факторов) – используются в биотестировании и токсикологии для оценки воздействия вредных факторов на живое. Например, в работе [1] было предложено устройство для измерения концентрации микроорганизмов за счет их собственного движения через контролируемый объем турбидиметрического измерительного преобразователя (ИП). Развитие этого подхода требует понимания закономерностей локомоций микроорганизмов.

Исследование локомоций представляет очень сложную экспериментальную задачу. Такие работы проводятся с помощью телевизионных систем, отслеживающих движение единственной клетки¹. Выявить закономерности движения клетки в эксперименте весьма сложно еще из-за малой скорости перемещения клеток, поэтому трудно набрать достоверную статистическую информацию. Без теоретической модели экспериментальное наблюдение за движением клеток не имеет научной направленности. Математические и биофизические модели локомоций микроорганизмов различны и основаны на представлении локомоций прямолинейными скачками под случайным углом [3], но они не позволяют решать прикладных задач проектирования биотехнических систем.

Для решения данной проблемы перспективно дополнить экспериментальное исследование локомоций и математическое описание компьютерным моделированием. Оно по-

¹ Ogawa N., Hashimoto K., Ishikawa M. Microrobotic Control of Paramecium Cells using Galvanotaxis, http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/members/naoko./PAPERS/ogawa_robio05.pdf.

звolyет широко варьировать виды движения объекта, а за счет высокого быстродействия – получать большие статистически достоверные выборки данных.

Настоящая статья посвящена разработке алгоритмов моделирования локомоций и исследования статистических характеристик случайного потока пересечения движущимися объектами.

В 1980-е гг. появилась новая разновидность моделей, основанных на возможностях компьютерных технологий – *клеточные автоматы* [3], [4]. В них предлагалось представлять среды в виде множества клеток, свойства которых меняются через определенный интервал времени, что позволяло ввести понятие дискретного процесса развития.

Представление среды с организмами в виде клеток, меняющих свои свойства (в самом простом случае за счет перемещения организмов из одной ячейки в другую), позволяет моделировать процессы движения популяций. В работе [5] было предложено описание моделью клеточного автомата процесса гальванотаксиса микроорганизмов.

В настоящей статье модель клеточного автомата предлагается распространить на описание процесса перемещения организмов через фотометрический ИП при различном характере их локомоций, представляя их в виде дискретных перемещений из одной ячейки в другую, скорость которых определяется длительностью такта генератора импульсов.

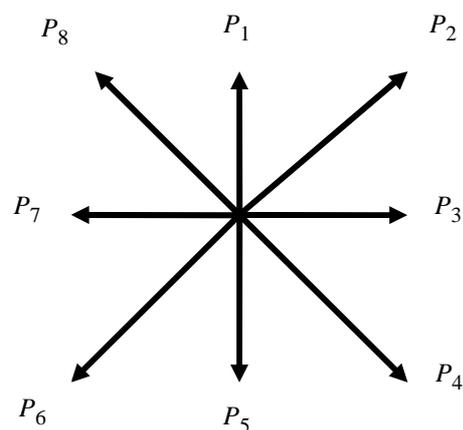


Рис. 1

Среда моделируется в виде клеток со значением «0» (ячейками), а организм – клеткой со значением «1». Среди ячеек выделяется сигнальная область (строка), при попадании в которую фиксируется момент времени t_i от начала отсчета. Переход клетки в другую ячейку определяется матрицей вероятностей (рис. 1).

При равенстве вероятностей $P_1 \dots P_8$ ($\sum P_i = 1$) клетка-автомат перемещается случайно в разных направлениях, при неравенстве – движется с трендом. Конечность области среды учитывается условием «отражения» клетки в другую полуплоскость под случайным углом.

При множестве попаданий клетки в «сигнальную» строку формируется случайный поток событий $R(t_i)$.

Устанавливаются следующие правила для событий:

- когда клетка-автомат попадает из среды на границу сигнальной строки или выходит из нее в среду – $R(t) = 1$;
- когда клетка-автомат движется в зоне сигнальной строки или в среде – $R(t) = 0$.

Фиксируется заданное число событий K , после чего производится остановка программы и формирование файлов, содержащих массивы случайного потока событий, моментов времени, соответствующих событиям «1».

Реализацией описанной модели стала программа AUTO-CELL-2D, разработанная в среде Visual Basic с применением 2D-графики.

Программа AUTO-CELL моделирует движение 1...5 клеток.

Вид экрана программы с представлен на рис. 2. На нем генерируется поле из ячеек 20×20 с сигнальной строкой 1×20 (темный ряд клеток посередине). На рисунке показана версия, в которой 5 клеток движутся с равновероятностным характером смены направле-

ний. Начальное расположение клеток случайное. Оно соответствует шагу 0. Когда клетка попадает из области ячеек среды в сигнальную строку, раздается звуковой сигнал и фиксируется импульс 0–1. При выходе из сигнальной строки в область ячеек среды снова возникает звуковой сигнал и фиксируется импульс 1–0. В таблице событий справа регистрируется тип события и шаг, на котором оно произошло. В данной версии вход (или выход) нескольких клеток фиксируется как один импульс. Внизу под полем выводится количество шагов (STEP = 102), за которые получено заданное число импульсов (IMPULSE = 10).

В нижней части экрана указана кодировка изменения длительности шага перемещения всех клеток (Key). Ее можно уменьшать до 0 («-») или увеличивать («+») до 0.5 с.

Данный интерфейс пользователя дает возможность визуально проверять работу программы в режиме демоверсии.

Алгоритм движения клетки-автомата приведен на рис. 3.

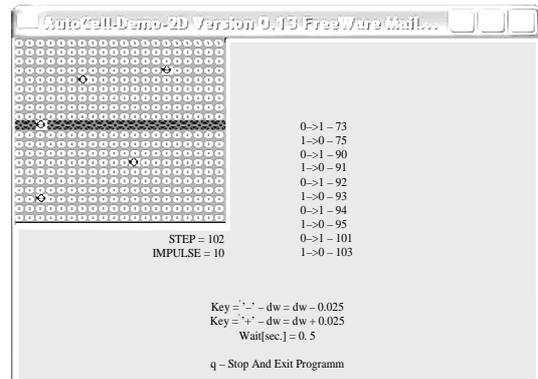


Рис. 2

Для моделирования первоначально был выбран вид движения, который можно описать теоретически с помощью аппарата геометрических вероятностей.

При равновероятном попадании клетки в любую ячейку вероятность однократного пересечения клеткой сигнальной строки упрощенно определяется формулой:

$$P = 2(P_M P_{MS}), \quad (1)$$

где P_M – вероятность попадания клетки в строку граничащих с сигнальной строкой ячеек; P_{MS} – перехода клетки в сигнальную строку.

Исходя из правил расчета геометрических вероятностей $P_M = 2/H$, где H – количество строк в области движения клетки-автомата. Вероятность перехода, исходя из модели равновероятного выбора направлений, определяется, как $P_{MS} = 3/8 \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)$,

$$P = (4/H) P_{MS}. \quad (2)$$

Количество пересечений границ сигнальной строки (интенсивность случайного потока событий) за N отсчетов будет стремиться к

$$K_{\text{теор}} = NxP, \quad (3)$$

где x – количество независимо движущихся клеток в области.

При большом числе тактов движения клетки-автомата количество пересечений границ сигнальной строки тоже должно *линейно зависеть* от числа клеток.

Рабочая версия программы моделирует за 15 с свыше 10 000 тактов движения клетки и производит останов при достижении 1 000 благоприятных событий. После этого формируется файл с подсчитанным отношением числа импульсов к общему числу шагов – Кэксп.

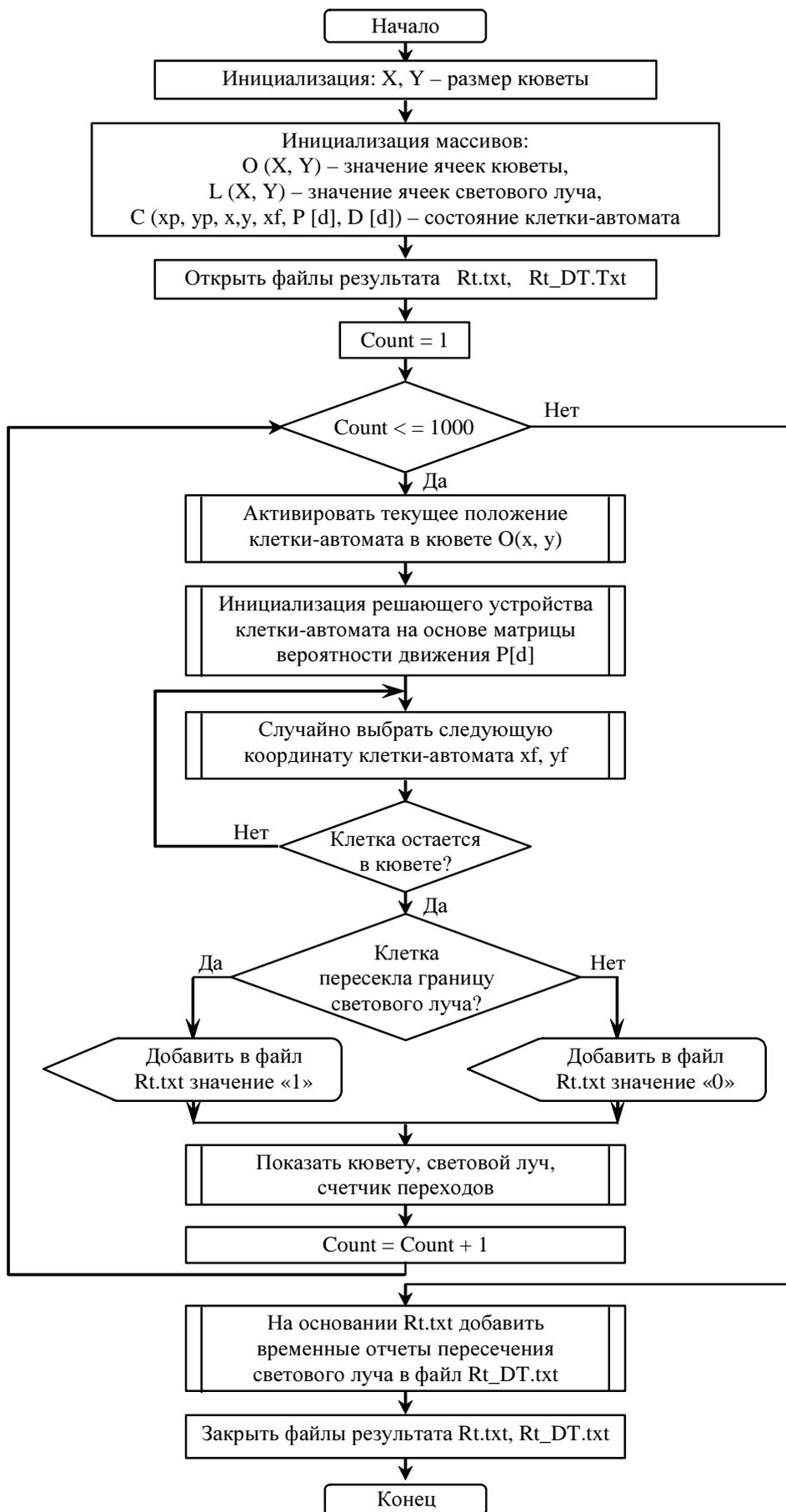


Рис. 3

При заданных параметрах области движения и контроля для одной клетки

$$K_{\text{теор}} = 0.075 Nx.$$

Значения $K_{\text{эксп}}$ зависят от траекторий клеток, по которым они могут двигаться к сигнальной строке. Поэтому число шагов для получения 1 000 событий будет варьировать.

Для серий из 10 опытов ($N > 100\,000$) получены следующие результаты:

$$x = 1, K_{\text{эксп}} = 0.075 \pm 0.007;$$

$$x = 2, K_{\text{эксп}} = 0.16 \pm 0.01;$$

$$x = 3, K_{\text{эксп}} = 0.23 \pm 0.02;$$

$$x = 4, K_{\text{эксп}} = 0.30 \pm 0.03;$$

$$x = 5, K_{\text{эксп}} = 0.40 \pm 0.05.$$

Регрессионная зависимость доли импульсов от количества клеток изображена на рис. 4. Она характеризуется высокой линейностью $R^2 = 0.995$ и высокой достоверностью наклона $F = 598$, $p\text{-Value} = 0.00015$.

Проведенные модельные эксперименты позволили выявить расхождения в процессах движения клеток реальных и модельных.

При равновероятном движении клетка-автомат может долго мигрировать внутри небольшой приграничной области, в то время как реальные организмы движутся по пустому объему, пересекая его почти прямолинейно, но разработанный алгоритм позволяет корректировать модель движения клетки.

Подытоживая, можно сказать следующее. В статье предложен метод моделирования движения клеток на основе модели клеточного автомата; описан алгоритм и программы, реализующие равновероятное движение организма в поле 20×20 клеток и подсчитывающие интенсивность случайного потока событий, состоящих в переходе клетки через границу «луча».

Зависимость среднего $K_{\text{эксп}}$ от количества движущихся клеток

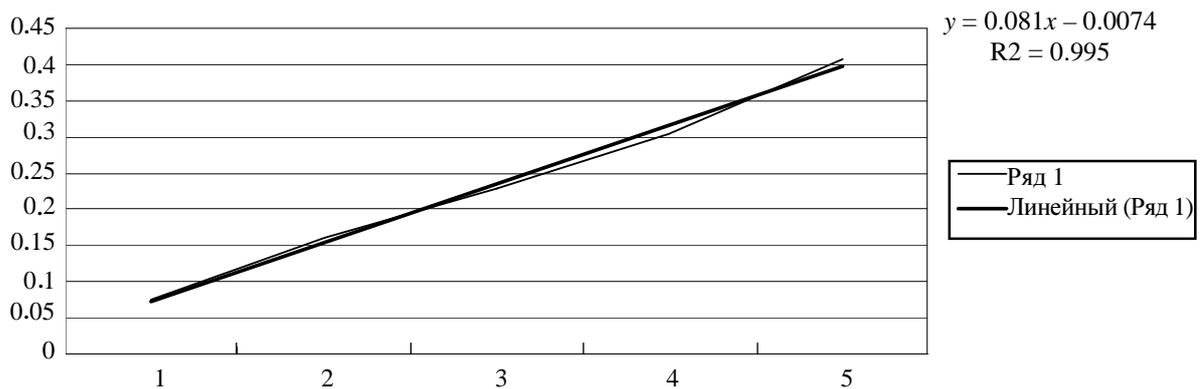


Рис. 4

Описаны версия и демоверсия, разработанной программы Auto-Cell, дающие возможность наблюдать фазы движения и пересечения 1...5 клетками «сигнальной» строки.

Получена линейная зависимость между количеством импульсов при пересечении клеткой сигнальной строки при равновероятном направлении движения от количества клеток.

Полученные результаты позволяют в перспективе моделировать биотестовые реакции на основе локомоций микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биотестовый измерительно-вычислительный комплекс / И. С. Захаров, А. В. Пожаров, Н. И. Папутская, А. Ю. Лепахов // Медицинская техника. 1995. № 1. С. 32–36.
2. A. D. Shenderov, M. P. Sheetz. Inversly correlated cycles in speed and turning in an amebae: An oscillatory model of cell locomotion // Biophys. J. 1997. Vol. 72, May. P. 2382–2389.
3. Wolfram S. Cellular automat as model of complexy //Nature. 1984. Vol. 311, № 4, October. P. 419–424.
4. Беркович С. Я. Клеточные автоматы как модель реальности: поиски представлений физических и информационных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1993.
5. Захаров И. С. Модель сигнала гальванотаксиса инфузорий на принципах клеточного автомата // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Биотехнические системы», 2007. № 1. С. 35–37.

I. S. Zakharov, V. I. Vasilyev

ALGORITHMIC APPROACH FOR MODELING OF BIOASSAYS ON THE BASE OF MICROORGANISM'S LOCOMOTOTIOS

Algorithms for locomotion model on the base of cell automat are developed.

Bioassay, algorithm, cell automat, program, random flow



УДК 336.663

О. С. Жукова, М. Н. Михайлов

СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТЬЮ

Рассмотрены некоторые проблемы, связанные с управлением дебиторской задолженностью. Описаны основные этапы создания системы управления дебиторской задолженностью. Выделены основные направления анализа состояния дебиторской задолженности в организации. В качестве альтернативного способа управления дебиторской задолженностью предложено использовать факторинг.

Дебиторская задолженность, анализ дебиторской задолженности, просроченная дебиторская задолженность, факторинг

Дебиторская задолженность – сумма долговых обязательств, причитающихся организации, от юридических или физических лиц в результате хозяйственных взаимоотношений с ними. Дебиторская задолженность относится к оборотным активам, но в отличие от большинства других групп активов представляет собой не материальный объект, находящийся в распоряжении организации, а только права требования, поэтому этот вид активов в большей степени подвержен различного рода рискам. Обычно выделяют текущую (или операционную, нормальную), сомнительную или безнадежную дебиторскую задолженность.

Традиционная классификация дебиторской задолженности предусматривает ее распределение по правовому критерию на срочную или просроченную. К срочной относится дебиторская задолженность, срок погашения которой еще не наступил или составляет меньше одного месяца и которая связана с нормальными сроками расчетов, определенными в соглашениях. Соответственно, просроченная – это задолженность, по которой были нарушены договорные сроки. Она делится на сомнительную, т. е. задолженность, не погашенную в срок и не обеспеченную соответствующими гарантиями и безнадежную. Задолженность переходит в разряд безнадежной, если судом было отказано во взыскании этой задолженности или дебитор был признан неплатежеспособным. По предварительным данным Росстата размер просроченной дебиторской задолженности в России на конец апреля 2008 г. составил 820,2 млрд р. Согласно подведенным итогам 2007 г. основная ее часть приходилась на обрабатывающие производства – 23 %, оптовую торговлю – 20,5 % и добычу полезных ископаемых – 16,9 %.

Наличие просроченной дебиторской задолженности может быть обусловлено как ошибками менеджмента организации, так и внешними факторами, в любом случае работа с дебиторской задолженностью является одним из ключевых моментов в деятельности компании. Как правило, в структуре дебиторской задолженности организации преобладает задолженность покупателей и заказчиков, поэтому далее будут рассмотрены некоторые элементы системы управления, применимые главным образом к данной категории.

Процесс управления дебиторской задолженностью складывается из нескольких этапов: планирования, организации, контроля и анализа ее состояния.

Планирование начинается с целеполагания, руководство организации должно четко представлять, для чего они внедряют систему расчетов с контрагентами, использующую отсрочку платежа. Предполагается, что в условиях жесткой конкуренции на рынке организация, предлагающая отсрочку, при прочих равных условиях имеет преимущество перед конкурентами и способна реализовать большее количество продукции, что в результате воздействия операционного рычага должно приводить к прогрессивному росту прибыли. Однако необходимо учитывать ряд факторов. Как и любой другой актив, дебиторская задолженность финансируется за счет собственных или заемных средств, имеющих определенную стоимость, при этом она не является «работающим» активом. Более того, наличие дебиторской задолженности приводит к появлению расходов на ее содержание, мониторинг и инкассацию, увеличивает длительность операционного цикла и обуславливает потребность в возмещении временно отвлеченных из оборота средств. При значительных периодах отсрочки сказывается также действие инфляции. Так, при уровне инфляции 10 % годовых и отсрочке, равной одному месяцу, организация в результате обесценивания теряет 8 р. с каждой тысячи [1].

Таким образом, руководство организации должно соотносить желаемые результаты с конкретными затратами, необходимыми для их достижения. Многие малые и ряд средних предприятий не могут предоставлять своим клиентам отсрочку платежа в силу ограниченности их финансовых ресурсов.

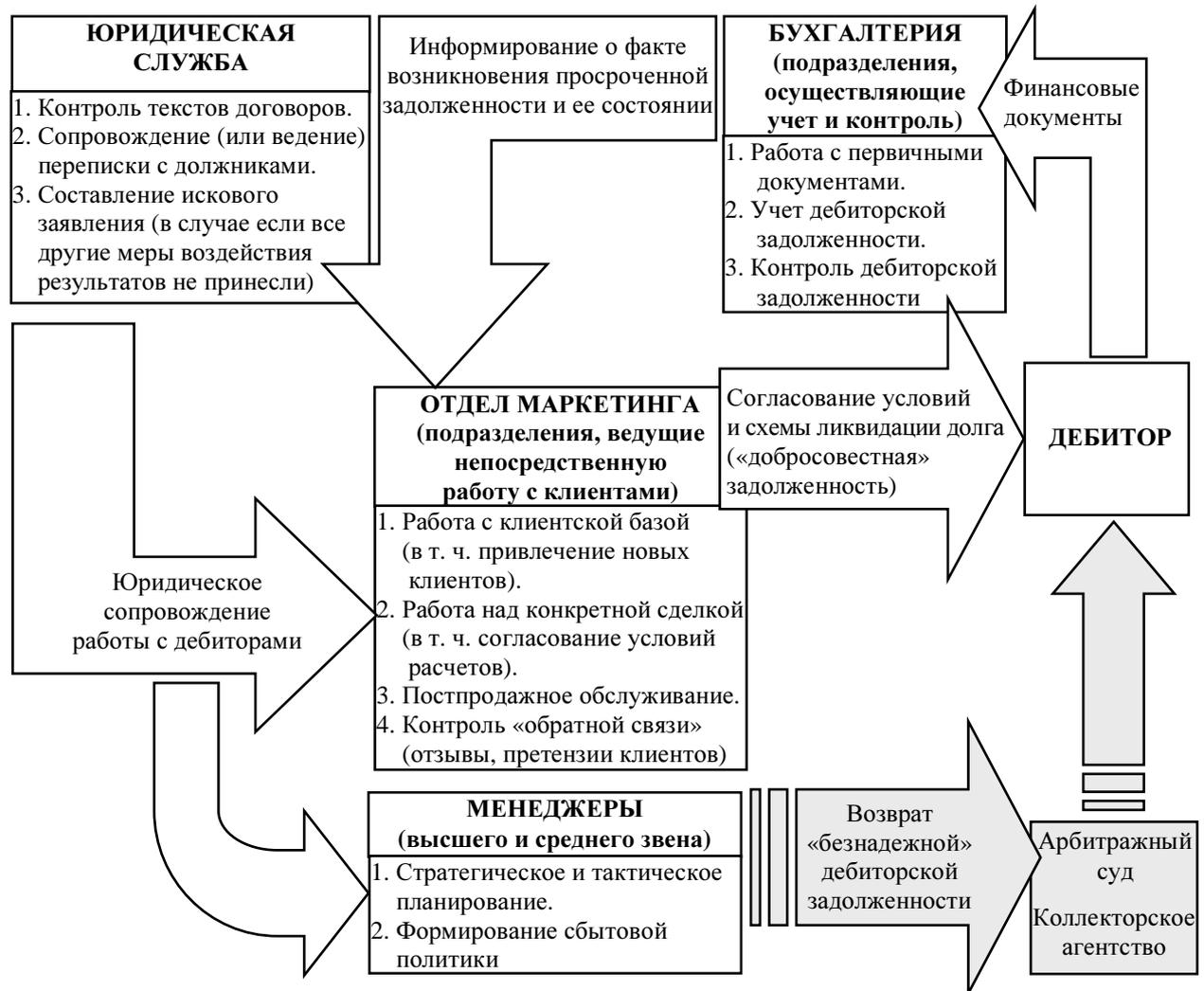
Дебиторская задолженность образуется у всех организаций (даже если они не предоставляют своим клиентам отсрочку платежа) в результате возможного несовпадения во времени движения денежных средств и перемещения товара (оказания услуги, выполнения работ). Поэтому в любой организации должна существовать система управления дебиторской задолженностью, оптимизирующая и синхронизирующая работу всех структурных подразделений компании, в ней задействованных. Должно быть налажено своевременное информирование ответственных лиц о состоянии дел, обеспечено оперативное управление, отработаны алгоритмы действия и взаимодействия при любом развитии событий.

В результате завершения этапа по организации системы управления дебиторской задолженностью должны быть:

1. Определены оптимальные объемы дебиторской задолженности и возможная длительность отсрочки.
2. Сформирована система оценки потенциальных дебиторов с точки зрения их надежности и целесообразности предоставления им отсрочки.

3. Разработана система надбавок и скидок (для мотивации дебиторов).
4. Налажена система мониторинга состояния дебиторской задолженности.
5. Разработана система инкассации задолженности.

Тщательно проработанная система не должна допускать сбоев, т. е. вероятность возникновения просроченной дебиторской задолженности, способной нанести существенный ущерб финансовому состоянию организации, сводится к минимуму. В случае возникновения сомнительной дебиторской задолженности ее ликвидация должна осуществляться на основе скоординированных действий нескольких подразделений. Возможный вариант взаимодействия нескольких отделов организации приведен на схеме.



Взаимодействие подразделений при управлении дебиторской задолженностью

Контроль управления дебиторской задолженности заключается прежде всего в разработке организацией внутренних стандартов, базирующихся на ее финансовом состоянии, особенностях рынка (его емкости, наличия конкурентов и предпочтений клиентов), предлагаемого товара (его характеристик, цены, системы продвижения и распространения). Такие стандарты будут представлять некоторый шаблон, с которым сравнивается и оценивается реальная ситуация. Например, в организации может быть разработана система рейтинговой оценки дебиторов, на основе которой предоставляется отсрочка платежа с заданными параметрами (сумма, длительность, стоимость, иные условия).

Дебиторская задолженность представляет собой отвлеченные, но не отчужденные из оборота средства, поэтому в случае несвоевременной оплаты покупателями их обязательств организация может испытывать дефицит денежных средств, необходимых для расчетов с собственными поставщиками, начала нового операционного цикла или других нужд. Целесообразно устанавливать лимиты на максимальный размер долга по каждому дебитору (в зависимости от его кредитного рейтинга) или на сумму в целом (с учетом имеющихся у организации финансовых ресурсов).

Некоторые авторы предлагают также устанавливать оптимальное соотношение дебиторской и кредиторской задолженностей, так как, например, значительное превышение дебиторской задолженности над кредиторской создает угрозу финансовому состоянию организации, а обратное соотношение приводит к снижению финансовой независимости и устойчивости предприятия. Критерием оптимальности соотношения дебиторской и кредиторской задолженностей выступает следующее условие:

$$\text{ДБЗ} + \text{ДЕЛЬТАОП} \geq \text{ДЕЛЬТАОЗ} + \text{РПС} + \text{КРЗ},$$

где ДБЗ – допустимая дебиторская задолженность; ДЕЛЬТАОП – изменение операционной прибыли, связанной с производством и реализацией продукции; ДЕЛЬТАОЗ – изменение операционных затрат, связанных с производством и реализацией продукции; РПС – размер потерь средств, инвестированных в дебиторскую задолженность, из-за неплатежеспособности покупателей; КРЗ – допустимая кредиторская задолженность [2].

Предельный уровень дебиторской задолженности может быть установлен как в виде абсолютной, так и относительной величины. В первом случае контрольными точками могут служить предельная сумма задолженности одного дебитора или группы связанных заемщиков, предельный размер задолженности на срок свыше определенного периода и т. д. Говоря об относительных показателях, прежде всего следует рассчитать *долю дебиторской задолженности в оборотных активах* (ω) организации [%]:

$$\omega = \frac{\text{ДЗ}}{\text{ОбА}} 100,$$

где ДЗ – сумма дебиторской задолженности организации; ОбА – размер оборотных активов.

Анализируя данный показатель в его динамике, необходимо учитывать влияние инфляции на номинальную величину дебиторской задолженности. При этом оценить рост (уменьшение) доли дебиторской задолженности в структуре оборотных средств как явление положительное или отрицательное без анализа изменения структуры оборотных активов в целом невозможно. Так, уменьшение доли дебиторской задолженности при одновременном росте доли готовой продукции может свидетельствовать о затоваривании, а при увеличении доли денежных средств – о досрочном выполнении обязательств контрагентами.

Важным параметром для оценки дебиторской задолженности является время. Принято выделять долгосрочную (платежи ожидаются более чем через 12 мес.) и краткосрочную дебиторскую задолженность (расчеты должны быть осуществлены в течение 12 мес.). Последнюю целесообразно разбивать на более мелкие группы, например, по ожидаемым срокам инкассации (квартал, месяц, несколько дней и т. д.) и надежности дебиторов. Современные программные средства позволяют проделывать данную операцию с минимальными затратами сил и средств.

Признавая дебиторскую задолженность частью оборотных активов и применяя принцип декомпозиции, по аналогии с показателями оборачиваемости оборотных активов, можно рассчитать следующие коэффициенты: средний период инкассации и коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности.

Средний период инкассации (Т) показывает вклад дебиторской задолженности в операционный цикл организации и рассчитывается по формуле

$$T = \frac{ДЗ_{\text{ср}} \cdot Д}{О},$$

где $ДЗ_{\text{ср}}$ – средние остатки дебиторской задолженности за рассматриваемый период; Д – длительность выбранного периода (в днях); О – полезный оборот за указанный период.

Используя те же исходные данные, можно оценить скорость оборота инвестированных в дебиторскую задолженность средств. *Скорость оборота дебиторской задолженности* (К):

$$K = \frac{О}{ДЗ_{\text{ср}}}.$$

Последний показатель можно применять и для косвенной оценки положительного воздействия от использования отсрочки платежа с целью расширения клиентской базы и увеличения продаж, т. е. считая, что продажи увеличиваются только в результате улучшения условий расчетов для покупателей и заказчиков, при неизменном коэффициенте оборачиваемости, можно утверждать, что объем выручки увеличивается пропорционально росту дебиторской задолженности.

И если последнее утверждение не бесспорно, то увеличение вероятности появления просроченной задолженности по мере роста количества дебиторов и общей суммы дебиторской задолженности очевидно¹.

Значительная доля сомнительной или безнадежной задолженности крайне отрицательно характеризует существующую в организации систему управления дебиторской задолженностью, а также сигнализирует о возможном финансовом кризисе.

По факту наличия просроченной дебиторской задолженности должны проводиться мероприятия, включающие:

- выяснение обстоятельств возникновения просроченного долга;
- коррекция системы, для предотвращения подобных инцидентов (если возможно);
- ведение работы с должниками-дебиторами (вплоть до судебного разбирательства).

Наряду с мерами, направленными на осуществление тщательного и всестороннего контроля текущего состояния дебиторской задолженности, организация должна постоянно совершенствовать систему инкассации. Процедура расчетов должна быть удобна для всех участников сделки. Особенное внимание следует уделить разработке алгоритма работы с просроченной дебиторской задолженностью. Менеджеры должны своевременно и в адекватной форме проводить работу с дебиторами. В зависимости от сложившихся обстоятельств возможно рассмотрение вопросов о продлении отсрочки, осуществлении взаимозачета и других мерах и способах ликвидации долга.

¹ По данным Росстата доля просроченной кредиторской задолженности в общем объеме кредиторской задолженности на конец апреля 2008 г. составила 7,2 %.

Таким образом, увеличение дебиторской задолженности требует:

- дополнительных инвестиций в оборотные средства;
- увеличения затрат на управление и инкассирование задолженности;
- создания резервов по сомнительным долгам;
- снижения платежеспособности и финансовой устойчивости организации;
- увеличения предпринимательских рисков, в том числе создание риска прямых потерь вследствие неисполнения дебиторами принятых на себя обязательств.

Как было отмечено, такое количество условий может быть невыполнимо для организаций, не имеющих эффективной системы управления дебиторской задолженностью. Но сегодня на рынке существует услуга, уравнивающая шансы малого и среднего бизнеса с крупными компаниями – это факторинг – финансовая комиссионная операция, при которой клиент переуступает дебиторскую задолженность факторинговой компании с целью: немедленного получения большей части платежа, гарантии полного погашения задолженности и снижения расходов по ведению счетов. Данный финансовый инструмент приобретает сегодня все большую популярность, так как позволяет организации передать часть функций, связанных с управлением дебиторской задолженностью, на аутсорсинг для их эффективного, качественного и быстрого исполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев В. В. Введение в финансовый менеджмент. М.: Финансы и статистика, 2005.
2. Мездриков Ю. В. Аналитическое обеспечение управления дебиторской задолженностью // Экономический анализ: теория и практика. 2008. № 5.

O. S. Zhukova, M. N. Mikhaylov

AN EFFECTIVE ACCOUNTS RECEIVABLE MANAGEMENT SYSTEM CREATION

A few problems concerned with Accounts Receivable Management System are presented. The main steps of the Accounts Receivable Management System creation are described. Some lines of Account Receivables Analysis are presented. Factoring as an alternative mean for Accounts Receivable Management is called attention.

Account receivables, account receivables analysis, bed debts, factoring

УДК 658.562

П. В. Степанов, А. Ю. Щербаков

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА

Рассматриваются основные аспекты разработки, внедрения и развития интегрированных систем менеджмента. Анализируются принципы, лежащие в основе модели ИСМ. Дается оценка преимуществ, достигаемых за счет внедрения на предприятии ИСМ.

Интегрированная система менеджмента, менеджмент качества, экологический менеджмент, менеджмент профессиональной безопасности и охраны труда, социальный и этический менеджмент, принципы интеграции

В последнее десятилетие пристальное внимание специалистов привлекла возможность создания интегрированных систем менеджмента (ИСМ), отвечающих требованиям нескольких международных стандартов на системы менеджмента. К этим стандартам, как правило, относятся: стандарты ИСО серии 9000 (система менеджмента качества), серии

14 000 (система экологического менеджмента), стандарты OHSAS серии 18 000 (система менеджмента промышленной безопасности и охраны труда), стандарт SA 8000 (система социального и этического менеджмента). К их числу также относят стандарты, разработанные на основе ИСО серии 9000 для применения в конкретных отраслях, а также стандарты на системы управления, базирующиеся на принципах ХАССП (анализ рисков и критические контрольные точки) и на принципах GMP (лучшая производственная практика).

На сегодняшний день большинство организаций находятся на разных стадиях внедрения, сертификации и дальнейшего развития систем менеджмента в соответствии с требованиями вышеуказанных стандартов и/или технических условий и спецификаций. Например, в России и странах СНГ в течение последних 10 лет наблюдается устойчивый рост организаций, которые работают в данном направлении.

Характерной особенностью для значительного числа этих организаций является их стремление внедрить на предприятии сразу или последовательно несколько моделей системы менеджмента. В качестве наиболее типичного примера можно рассматривать практику разработки системы менеджмента качества на базе требований ISO 9001, системы экологического менеджмента на базе требований ISO 14 001 и/или системы менеджмента профессиональной безопасности и охраны труда на базе требований OHSAS 18 001 [1]–[3].

Часто эти системы функционируют как независимые автономные модели. При этом в любой из вышеперечисленных моделей можно выделить общие элементы, которыми целесообразно управлять унифицированным способом, используя интегрированный подход. Это обстоятельство оправдывает желание объединить данные системы в единую интегрированную систему менеджмента с большей или меньшей степенью интеграции. Кумулятивный эффект от интеграции общих требований к системе управления предприятием позволит эксплуатировать эти системы с максимальным эффектом.

Практика показывает, что одновременное функционирование нескольких автономных систем менеджмента, как правило, сопряжено с рядом проблем:

- дублирование отдельных требований порождает внедрение нескольких процедур, одинаковых по целям (например, процедуры управления документацией и записями; процедуры управления внутренними аудитами и др.);

- возникновение противоречий между приоритетностью в требованиях различных систем менеджмента (например, статус и роль представителей руководства по качеству и экологической безопасности, ресурсы на обеспечение качества и реализацию экологических программ и др.);

- отсутствие единого действенного механизма или наличие одновременно нескольких, но плохо сочетающихся между собой, механизмов реагирования на дестабилизирующие факторы внешней и внутренней среды организации.

В то же время философия современного менеджмента выделяет три основных аспекта, которые обеспечивают устойчивое развитие бизнеса любой организации:

- 1) соответствие результатов деятельности (например, таких как продукция, воздействия на внешнюю среду или персонал) требованиям заинтересованных сторон и применимым законодательным и отраслевым требованиям;

2) управление рисками организации при реализации ее стратегии и достижении поставленных целей;

3) интеграция всех процессов, реализуемых в компании, в единую консолидированную систему, представляющую собой целостный механизм управления организацией.

ИСМ обеспечивает большую согласованность действий внутри организации. В целом эффекты от функционирования ИСМ следующие:

- ИСМ минимизирует функциональную разобщенность персонала в организации, возникающую при разработке автономных систем менеджмента;

- создание интегрированной системы, как правило, значительно менее трудоемко, чем нескольких параллельных систем. Затраты на разработку, функционирование и сертификацию интегрированной системы ниже, чем суммарные затраты при нескольких системах менеджмента;

- ИСМ позволяет лучше учитывать баланс интересов внешних сторон организации, чем при наличии параллельно функционирующих систем;

- достижение большей «прозрачности» и управляемости, так как число внутренних и внешних связей в интегрированной системе меньше, чем суммарное число этих связей в нескольких системах;

- объем документов в интегрированной системе значительно сокращается по сравнению с суммарным объемом документов в нескольких параллельных системах. В интегрированной системе достигается более высокая степень вовлеченности персонала в улучшение деятельности организации;

- повышается эффективность объединенной системы менеджмента за счет использования совместных действий в интегрированной системе, таких как определение политики, планирование, подготовка персонала и т. д. Больше внимания уделяется общим целям бизнеса;

- интеграция способствует также уменьшению конфликтности и вероятности возможных противоречий между вопросами, связанными с качеством, экологией и безопасностью и т. д., более целостному подходу к повышению рентабельности, более эффективному использованию ресурсов, улучшению слаженности процесса обмена информацией, исключению дублирования процессов, например: управление документами и записями, управление корректирующими и предупреждающими действиями. Аудиты, как внутренние, так и внешние, становятся более результативными и эффективными.

Для интеграции целесообразно использовать модель структуры системы менеджмента, представленную в Руководстве ИСО 72 (ISO Guide 72:2001 «Guidelines for justification and development of management system standards» – «Руководящие указания по обоснованию и разработке стандартов на системы менеджмента»). В них можно выделить шесть унифицированных общих элементов для интеграции систем менеджмента:

1. Политика.
2. Планирование.
3. Внедрение и функционирование.
4. Оценка показателей деятельности.
5. Улучшение.
6. Анализ со стороны руководства.

Наряду со специфическими требованиями к системе менеджмента, в каждом стандарте содержатся эти шесть элементов. Поэтому именно они в настоящее время рассмат-

риваются в качестве хорошей основы для модели интегрированной системы менеджмента. Эти элементы следует рассматривать через цикл PDCA (цикл Деминга–Шухарта), который используется в качестве методологической модели практически всех современных моделей менеджмента.

В основу модели интегрированной системы менеджмента можно заложить следующие девять принципов ИСМ:

1. *Баланс интересов заинтересованных сторон.* Долгосрочный успех организации зависит от понимания, удовлетворения и предвосхищения текущих и будущих потребностей и ожиданий ее потребителей, а также от понимания и учета потребностей и ожиданий других заинтересованных сторон.

Организация должна стремиться к обеспечению баланса интересов за счет поставки и достижения соответствующих целей, учитывающих требования всех заинтересованных сторон.

2. *Лидерство руководства.* Руководители обеспечивают единство целей и направлений деятельности организации и должны обладать лидерскими качествами и активно демонстрировать свою приверженность ИСМ, ориентированной на достижение общих целей организации.

Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой персонал может быть полностью вовлечен в решение задач и достижение общих целей организации.

3. *Вовлеченность персонала.* Работники всех уровней составляют основу организации, ее главный ресурс и ценность. Непрерывное выявление потребностей в подготовке, развитии компетентности, повышении мотивации и проявление заботы о персонале – главное условие выгодного использования способностей работников выполнять установленные требования и достигать запланированные результаты.

4. *Соответствие законодательным и другим требованиям.* Требования к ИСМ являются дополнительными (а не альтернативными) по отношению к определенным техническим (договорным) условиям на продукцию или услугу законодательным требованиям, а также к другим требованиям, с которыми организация согласилась.

5. *Подход, основанный на управлении рисками.* Любая организация функционирует в условиях, которые характеризуются различными внутренними и внешними факторами влияния на ее деятельность, что оказывает соответствующее воздействие на степень достижения поставленных целей.

Управление рисками позволяет с выгодой использовать положительные возможности и минимизировать вероятность возникновения нежелательных событий.

6. *Процессный подход.* Для эффективного достижения поставленных целей руководство должно основываться на понимании специалистами сути выполняемой работы, определить те виды деятельности, которые приносят дополнительную ценность, обеспечить их соответствующими ресурсами и реализовывать в контролируемых условиях.

7. *Системный подход к менеджменту.* Руководство организации должно использовать интегрированную систему менеджмента как основной инструмент для достижения целей. В свою очередь, интегрированная система менеджмента рассматривается как комплекс взаимосвязанных процессов, менеджмент которых осуществляется во имя постоянного улучшения по методу: «планируй – реализуй – контролируй – анализируй и улучшай».

8. *Принятие решений, основанных на фактах.* Деятельность руководства на различных уровнях организации неразрывно связана с принятием управленческих решений. Эффективность этих решений основывается на понимании сути и конкретики выполняемой работы, а также анализе своевременных, полных и объективных данных и информации о результатах.

9. *Постоянное улучшение.* Постоянное улучшение деятельности организации в целом должно рассматриваться как неизменная цель организации.

Важным этапом развития ИСМ стало появление Технических условий PAS 99 «Технические условия на общие требования к системам менеджмента в структуре их интеграции» (*«Specification of Common Management System Requirements as a Framework for Integration»*), которые предлагают организациям основу для интегрирования действующих стандартов на системы менеджмента в единую эффективную и результативную структуру.

В качестве организационно-методического фундамента для создания интегрированных систем должны служить стандарты ИСО серии 9000, так как базовые понятия и принципы, сформулированные в этих стандартах, в наибольшей мере соответствуют идеологии общего менеджмента [3]. Важным моментом является и то, что введение в действие стандартов ИСО серии 9000 в исторической ретроспективе предшествовало появлению других международных стандартов на системы менеджмента и во многом предопределило методологию их построения.

Таким образом, современные компании, внедряя интегрированные системы менеджмента и применяя перечисленные принципы ИСМ, ожидают получить следующие выгоды для своего бизнеса:

- Улучшение планирования и повышение эффективности деятельности.
- Обеспечение целостного подхода к управлению рисками.
- Меньшая степень конфликтности между системами.
- Уменьшение дублирования и бюрократии.
- Большая результативность и эффективность внутренних и внешних аудитов.
- Использование перспективных возможностей улучшения.
- Экономия ресурсов.
- Улучшение взаимоотношений с заинтересованными сторонами.
- Повышение качества информации для принятия решений.
- Рост деловой репутации и поддержка со стороны учредителей.

Для достижения необходимого успеха требуется выполнение ряда условий [4].

При создании ИСМ главенствующая роль должна принадлежать менеджерам организации и прежде всего – руководителям высшего звена. Создание ИСМ – сложный инновационный проект, направленный на повышение эффективности общего менеджмента организации. Ожидаемая результативность создания ИСМ может быть достигнута лишь в случае грамотного управления этим проектом. Интегрирование различных систем менеджмента, отвечающих требованиям международных стандартов, следует рассматривать как предпосылку для устойчивого развития организации.

Осознанное использование положений Руководства ИСО 72 и Технических условий PAS 99, основанное на опыте создания отдельных систем менеджмента и, в первую очередь систем менеджмента качества, отражает актуальные тенденции развития современных интегрированных систем менеджмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казмировский Е. Л. Интегрированные системы: игра по правилам? // Методы менеджмента качества. 2005. № 5. С. 22–25.
2. Свиткин М. З. Интегрированные системы менеджмента // Стандарты и качество. 2004. № 2. С. 56–61.
3. Иванова Г. Н., Казмировский Е. Л. Интегрированные системы: новый подход к построению и оценке // ММК. 2007. № 4. С. 12–18.
4. Свиткин М. З. Практические аспекты создания интегрированных систем менеджмента // Методы менеджмента качества. 2007. № 5. С. 24–30.

P. V. Stepanov, A. Yu. Shcherbakov

MODERN TENDENCIES IN DEVELOPMENT OF INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS

The paper deals with the key aspects of Integrated Management Systems (IMS) development and improvement. The main principles which form the basis of IMS models are analyzed. Advantages obtained through implementation of the IMS at an enterprise are assessed.

Integrated Management Systems, Quality Management, Management Occupational Health and Safety Assessment Series, Management Social Accountability, principles Integrated

УДК 504.062.2

М. Н. Михайлов, М. В. Чигирь, В. В. Яремчук

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ МИРА НА ОСНОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Рассматриваются различные аспекты повышения эффективности использования углеводородного сырья, стратегические вопросы ценовой и инновационной политик, сценарии реализации мировых концепций обеспечения производственных и социальных потребностей в энергии.

Углеводороды, нефть, газ, уголь, запасы, цены, энергия, возобновляемые ресурсы, биомасса, солнечная, ветровая энергия, атомная энергетика, растительное сырье

В России вопросы, связанные с доступностью энергии, стоимостью энергии и экологическими аспектами, вызывают серьезную озабоченность в обществе. Вместе с тем, энергетика представляет собой очень сложную область, которая является неотъемлемой частью повседневной жизни, включает множество различных технологий и оказывает значительное влияние на многие аспекты внешней политики. Так, на протяжении всей современной истории мира нефть и природный газ играли важную роль в поддержании экономической активности и, по всей вероятности, в сочетании с другими видами энергоносителей будут выполнять эту функцию и в будущем. Для развития мировой экономики в течение последующих десятилетий потребуется увеличить эффективность энергопотребления и использовать все имеющиеся экономичные и экологически чистые источники энергии.

Общие запасы и извлекаемые ресурсы являются фундаментальными концепциями в любых дискуссиях, касающихся поставок ископаемых видов топлива. Общие запасы характеризуют физический объем потенциальных энергоресурсов в природе, который вы-

ражается в баррелях нефти, кубических метрах природного газа и тоннах угля. Общие запасы ископаемых видов топлива фиксированы – они могут быть истощены, но не могут быть восстановлены. Извлекаемые ресурсы представляют собой часть общих запасов, которые могут быть добыты и превращены в топливо и электроэнергию.

В ежегодном обзоре статистики мировой энергетики за 2008 г. «The Statistical Review of World Energy 2008», подготовленном компанией «British Petroleum», мировые запасы ископаемого топлива кажутся огромными, однако имеющиеся технические средства позволяют добыть лишь часть этих объемов. Общий объем изведенных запасов нефти в мире составляет 1 237,8 млрд баррелей (табл. 1), газа – 177,37 трлн м³ (табл. 2) и угля – 846,49 млрд т (табл. 3).

Таблица 1

Распределение запасов нефти в мире

Регион	Объем разведанных запасов, млрд баррелей	Доля от общего объема, %
Северная Америка	69,3	5,6
Южная и Центральная Америка	111,2	9,0
Европа и Евразия	143,7	11,6
Средний Восток	755,3	61,0
Африка	117,5	9,5
Азия	40,8	3,3
Весь мир	1237,8	100,0

Таблица 2

Распределение запасов газа в мире

Регион	Объем разведанных запасов, трлн м ³	Доля от общего объема, %
Северная Америка	7,98	4,50
Южная и Центральная Америка	7,73	4,40
Европа и Евразия	59,41	33,50
Средний Восток	73,21	41,30
Африка	14,58	8,20
Азия	14,46	8,10
Весь мир	177,37	100,00

Таблица 3

Распределение запасов угля в мире

Регион	Объем разведанных запасов, млрд т	Доля от общего объема, %
Северная Америка	250,510	29,600
Южная и Центральная Америка	16,280	1,900
Европа и Евразия	272,250	32,100
Средний Восток и Африка	50,990	6,000
Азия	256,470	30,400
Весь мир	846,488	100,000

Как видно из таблиц, основные запасы углеводородного сырья приходятся на восточные страны. Так, изведенных запасов нефти в мире, по подсчетам специалистов компании «BP», хватит на 42 года (без учета роста потребления каждый год). Для России этот показатель равен 22 годам. Большая часть запасов находится в Восточных странах, и чтобы наладить необходимый в будущем объем добычи «черного золота» в данном регионе, потребуются большие инвестиции не только в строительство добывающих и перерабатывающих предприятий, но и инфраструктуру. В настоящее время в мире насчитывается 1500 крупных и гигантских месторождений нефти. В них содержится 94 % всех известных запасов сырой

нефти. На 400 из этих крупнейших месторождений приходится 60–70 % запасов. Только 41 из этих месторождений было открыто после 1980 г. Также, учитывая постоянный рост потребления углеводородов, не сложно предположить, что цены на сырье будут только расти [1].

Мировая ситуация с запасами газа выглядит более утешительно: основные запасы сосредоточены в Евразии и на Востоке, по расчетам специалистов, этих запасов должно хватить на 60 лет. Правда, не совсем понятно, во сколько увеличится потребление данного вида углеводорода, после того как в мире закончится нефть, и будет ли готова газовая промышленность к наращиванию производства. Не стоит забывать, что большая часть этих запасов сосредоточена на территории России и по расчетам специалистов их хватит на 74 года [2]. Возможно, в будущем эта цифра может существенно измениться, после подсчетов запасов в Северном Ледовитом океане, но не стоит забывать, что добыча подобных залежей стоит очень дорого.

Хотя угля на Земле гораздо больше, чем нефти и природного газа, его запасы не безграничны. Уголь сегодня занимает второе место в объеме производства энергии после нефти. В 1990-х гг. мировое потребление угля составляло более 2,3 млрд тонн в год, за период с 2000 по 2007 гг. этот показатель увеличился до 3 млрд. В отличие от потребления нефти, потребление угля существенно увеличилось и не только в развивающихся, но и в промышленно развитых странах. В основном это связано с более выгодной ценой, чем у остальных углеводородов, но не стоит забывать, что выбросы вредных веществ у данного вида топлива намного выше, чем у других. Имеющиеся запасы угля значительно превосходят запасы нефти и природного газа. По существующим прогнозам, если потребление будет расти нынешними темпами, то запасов угля не хватит и на 133 года. Так как в России сосредоточены значительные залежи каменного угля, нам его хватит на 500 лет.

В структуре энергопотребления основным энергоресурсом оставалась нефть (около 36 %); за последнее десятилетие ее использование увеличилось на 16 % (как и атомной энергии), однако относительно быстрее росло потребление природного газа (на 27 %); в связи с заметным ценовым преимуществом почти вдвое быстрее нефти росло использование каменного угля (за 10 лет – на 31 %).

Беспрецедентный рост цен на энергоресурсы в последние годы происходил на фоне высоких темпов экономического роста. Резкий рост цен на нефть заставил развитые страны сокращать ее потребление и все больше переводить свою экономику на уголь и газ.

При этом мировая экономика растет быстрее, чем энергопотребление. Государства и компании стали проводить политику снижения энергоемкости. В 2007 г. мировая экономика выросла на 3,7 %, что выше среднего показателя за последние пять лет, а рост потребления энергоресурсов замедлился с 2,7 до 2,4 %. Более того, развитые страны, входящие в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), второй год подряд сокращают потребление нефти: в 2007 г. оно упало на 0,9 %. Последние пока активно наращивают потребление энергоносителей, что во многом связано с бурными темпами роста их экономики.

С начала 90-х гг. вклад развивающихся стран в рост первичного потребления энергии в мире увеличился до 90 %. При этом за то же время вклад стран, не входящих в ОЭСР, в период глобального экономического роста увеличился вдвое и достиг 40 %. Оказалось, что

развивающиеся страны, потребляющие на единицу валового внутреннего продукта (ВВП) в три раза больше энергии, чем государства с развитой экономикой, оказались пока менее чувствительны к росту нефтяных цен.

Специалисты “BP” (“British Petroleum”) выявили ряд новых тенденций, которые будут определять будущее мировой экономики. Среди них называется сокращение производства нефти странами ОПЕК и Россией при росте потребления в развивающихся государствах. Многие специалисты связывают резкий рост цен на нефть с кризисом на кредитном рынке и ослаблением доллара. С марта 2008 г. доллар стабилизировался, а цены на нефть продолжают расти. Данные указывают на то, что финансовые рынки не создают основополагающих фундаментальных факторов, а только отражают их. Факторов, влияющих на рост цен нефтепродуктов, много. Среди них в основном стоит выделить: увеличение спроса в отопительные периоды, периоды посевных и уборочных работ в сельском хозяйстве, решения об объемах добычи в странах ОПЕК, а также возможность производственных мощностей в мире (производство не успевает за ростом потребления).

Удорожание нефти подталкивает к более широкому использованию других видов топлива, в частности газа и угля. Только в прошлом году потребление газа в мире выросло на 3,1 %, в том числе сжиженного природного газа (СПГ) – на 7,3 %. Потребление угля в 2007 г. росло еще быстрее, увеличившись на 4,5 %. Впрочем, нехватка транспортных и инфраструктурных мощностей сдерживает наращивание мировой торговли этим видом топлива.

Аналитики “BP” также считают, что сроки истощения запасов нефти и газа могут быть серьезно отодвинуты быстрым развитием сектора возобновляемой энергетики, использующей энергию ветра или Солнца.

В Дании, Португалии, Испании и Германии ветер стал вносить существенный вклад в выработку электроэнергии, в теплых странах, таких как Турция, энергию солнца используют для нагрева воды, что помогает снизить издержки на ЖКХ. Однако в целом выработка электроэнергии с помощью ветра, Солнца и геотермальных источников пока дает только 1–1,5 % мирового производства электроэнергии, и эти виды энергетики еще долгое время не смогут оказывать влияние на уровень нефтяных цен. Также они указывают, что глобальное производство этанола, которое составляет сейчас 0,7 % от общего производства нефти, оказало определенное воздействие на рынки США и Бразилии, но этого пока недостаточно, чтобы качнуть мировые нефтяные рынки. Вместе с тем специалисты прогнозируют, что доля биотоплива в ближайшие десять лет достигнет 10–15 % потребления на энергетическом рынке.

Возобновляемые ресурсы, такие как биомасса, ветровая и солнечная энергия, представляют собой огромные дополнительные запасы энергии, которые, в отличие от ископаемых видов топлива, непрерывно восполняются.

В условиях повышения тарифов и цен на сырье и энергоресурсы, отставания России от передовых стран мира по удельному расходу сырьевых и энергетических ресурсов на единицу продукции необходимы национальная стратегия энергосбережения, развития альтернативной энергетики, внедрение инноваций в энергетику. Существенную поддержку этому курсу может оказать использование механизмов реализации Киотского протокола на период 2008–

2012 гг. Киотский протокол – это не только международное соглашение, регулирующее глобальные экологические вопросы, но реальная возможность привлечения дополнительных финансовых средств за счет переуступки прав на выбросы парниковых газов. Инвестор, осуществляя финансирование проектов и мер, которые приводят к сокращению выбросов CO₂ или объемов потребления энергоресурсов, взамен получает единицы сокращенных выбросов (ЕСВ) парниковых газов, которые создаются этим проектом. Подобный проект с использованием Киотского протокола уже реализован в Оренбургской области.

Энергоемкость российского ВВП велика, и она, безусловно, будет снижаться, но, скорее всего, в дальнейшем этот процесс будет весьма постепенным – по мере изменения структуры экономики [4, с. 31]. Кроме того, нигде в мире нет такого количества крупных предприятий и городов, расположенных в холодных широтах, как в России, что также обуславливает повышенную энергоемкость российской экономики. Рассуждая о перспективах развития российской экономики, скорее всего, надо исходить из того, что если государственный план развития страны предполагает ВВП каждые десять лет, а это в среднем свыше 7 % в год, следовательно, внутренний спрос на электроэнергию, как и на энергию в целом, может ежегодно увеличиваться на 4–5 %. Такие темпы экономического роста могут быть достигнуты только на основе прогрессирующей диверсификации экономики, развития как сферы услуг, так и обрабатывающих отраслей промышленности, повышения производительности во всех отраслях [3]. Повышение же производительности, как правило, означает рост электропотребления.

Мир привык видеть Россию как одного из значимых поставщиков энергии – такой ее облик начал складываться с конца 1960-х гг., когда началось масштабное строительство трубопроводов для экспорта сибирских нефти и газа. Эта эпоха сопровождалась не только увеличением доли инвестиций в добычу и транспортировку энергоресурсов для экспорта, но также и торможением экономического роста, который к концу 1980-х гг. прекратился.

Возникает вопрос: как энергетически обеспечить требуемые или желаемые темпы экономического роста? Эксперты достаточно скромно оценивают возможности наращивания в России объемов добычи первичных энергоресурсов на обозримую перспективу [1, с. 416]. Вряд ли можно рассчитывать на устойчивый 4–5 %-й ежегодный рост добычи нефти и газа. Опережающее развитие атомной и гидроэнергетики вряд ли сможет решить все проблемы энергообеспечения. Увеличение доли угля в энергетическом балансе страны тоже сопряжено с трудностями, в частности, с необходимостью его транспортировки в регионы с повышенным спросом на электроэнергию при весьма ограниченной пропускной способности железных дорог. Также не стоит забывать и об экологической ситуации в стране – не хочется жить в стране, где респираторы становятся нормой жизни.

Биомасса, главным образом, дерево и навоз, сжигаемые в целях получения тепла, на сегодняшний день является крупнейшим неископаемым источником экологически чистой энергии, по сравнению с ископаемыми видами топлива. Производство жидкого топлива из биомассы, например, биоэтанола из зерновых культур и сахарного тростника, растет в последние годы значительными темпами, однако с учетом масштабов общего по-

требления нефти доля жидкого биотоплива составляет всего лишь около 1 % от количества энергии, производимой из нефти. Потенциальные объемы ресурсов целлюлозной биомассы, а также дерева, технических культур и отходов продовольственных сельскохозяйственных культур, в США довольно значительны; так, по оценкам министерств сельского хозяйства и энергетики, США могут производить достаточный объем биомассы для выработки до 4 млн баррелей в сутки жидкого топлива в пересчете на нефть.

Так же как и при расширении освоения любых других источников энергии, налаживание производства биотоплива в значительных объемах сопряжено с множеством сложных задач. Например, пока не существует в масштабном производстве технологий для экономической крупномасштабной переработки целлюлозных материалов в жидкое топливо.

На пути увеличения объемов потребления биоэтанола стоит целый ряд комплексных проблем, включая необходимость в повышении пропускной способности железнодорожного, водного и трубопроводного транспорта, развитии распределительных систем и формировании сбалансированного подхода к использованию продовольственных культур и воды в технических целях [4]. Главный аргумент в пользу использования биотоплива заключается в том, что его использование приведет к сокращению эмиссии углекислого газа и улучшит состояние окружающей среды: по данным Евросоюза, транспорт отвечает за 28 % выбросов CO₂ в атмосферу, причем 84 % этих выбросов производится именно автомобильным транспортом. Но пока развитие данной технологии не позволяет начать ее промышленное производство в больших объемах и переход от использования ископаемых видов топлива и биологические. Эффективность перехода на биотопливо вызывает сомнения, среди основных негативных факторов стоит выделить следующие:

- увеличение пахотных площадей под сельскохозяйственные культуры, предназначенные для производства биотоплива, происходит за счет сокращения площадей для пищевых культур;

- затраты энергоресурсов на выращивание, транспортировку и производство биотоплива окажутся больше, чем объем полученной из них энергии;

- по оценкам Международного совета по зерну (IGC), в сезон 2007/08 г. в мире будет произведено 1650 млн т зерна, а на производство биоэтанола будет использовано 107 млн т – 6,5 %. Все это уже отразилось на стоимости зерна и других сельскохозяйственных культур, а следовательно, и на продовольственных ценах в целом.

Все эти факторы вынудили производителей биотоплива приступить к усовершенствованию видов биотоплива второго поколения. Основополагающим фактором является тот факт, что биотопливо может не создавать проблем для производства продовольственных культур, поскольку его получают либо из биомассы – отходов сельского и лесного хозяйств, либо из специально выращиваемых быстрорастущих трав или деревьев, так называемых энергетических культур. Параллельно с этим ведутся исследования и по улучшению самого биотоплива, так, биоэтанол в будущем будет замещен биобутанолом.

Биобутанол по своей сути то же самое, что и биоэтанол, но только более калорийный и менее затратный при производстве, а благодаря низкому давлению паров биобутанол

легко смешивается с обычным бензином. К тому же само производство биобутанола с технической точки зрения значительно проще, чем классического этанола. Биобутанол можно производить как из кукурузы, пшеницы, сахарной свеклы, сахарного тростника, сорго и ячменя, так и из энергетических культур. В будущем для производства биобутанола можно будет использовать и целлюлозосодержащие компоненты сельскохозяйственных культур, такие как сухие стебли кукурузы или солому.

Россия обладает огромным потенциалом для развития биотопливной энергетики на своей территории. Это даст возможность стране не только бурно развивать сельское хозяйство, в том числе и за счет иностранных инвестиций, но позволит укрепить энергетические позиции в мире на долгие годы.

Но не только биотопливо является основным источником экологически чистой энергии, не стоит забывать и об использовании энергии ветра и солнечной энергии, доля которых также растет быстрыми темпами и на сегодняшний день составляет около 1 % от общемировых объемов производства энергии. Ожидается дальнейшее быстрое расширение использования данных источников энергии, что сопряжено с такими трудностями, как экономические факторы, периодическая недоступность, аспекты землепользования, необходимость подключения к распределительным сетям и строительство линий передачи электроэнергии на большие расстояния.

Другим немаловажным источником энергии в мире является использование гидроэлектростанций. В общем объеме производства энергии на сегодняшний день они составляют около 2 %. За исключением развивающихся стран Азиатско-Тихоокеанского региона, значительного роста в использовании данного источника энергии в целом не ожидается, поскольку наиболее подходящие места для строительства гидроэлектростанций в развитых странах уже задействованы.

Атомная же энергия в мировом объеме производства сегодня составляет около 6 %; предполагается, что ее использование будет расти и дальше. Развитие атомной энергетики сопряжено с проблемами в сферах промышленной безопасности, обращения с радиоактивными отходами и их ликвидации, а также распространения ядерного оружия. Дальнейшее стимулирование развития ядерной энергетики может быть связано с необходимостью ограничения выбросов CO₂ или повышением энергетической безопасности за счет диверсификации. С другой стороны, дополнительные ограничения в области атомной энергетики, такие как сокращение сроков эксплуатации АЭС и ограничение количества проектируемых новых энергоблоков, могут способствовать увеличению потребности в альтернативных источниках энергии для производства электричества, таких как природный газ, уголь, ветровая и солнечная энергия.

Рост объемов производства энергии поддерживается развитием мировой торговли и открытых рынков в сочетании с притоком капитальных вложений в производство и распределение энергии. Согласно прогнозам, энергопотребление в развивающихся странах будет стремительно расти, в то время как объемы добычи нефти и природного газа и Европе будут снижаться. Подобная тенденция потребует значительного роста объемов меж-

дународной торговли нефтью и природным газом и приведет к кардинальным изменениям структуры мирового производства и потребления энергии. В прогнозах роста объемов перевозок нефти и сжиженного природного газа уделяется большое внимание надежности транспортных, торговых и распределительных систем и рассматриваются проблемы в сферах геополитики, экологии и безопасности. Наряду с ростом объемов международной торговли нефтью и природным газом изменения коснутся также и других аспектов мирового производства и потребления энергии. Дело в том, что сегодня происходит рост концентрации традиционных нефтяных и газовых ресурсов в небольшом числе стран, не являющихся членами ОЭСР. Национальные нефтяные компании и министерства энергетики этих стран играют ведущую роль в определении политики освоения ресурсов и объемов добычи. Может усилиться тенденция, связанная с использованием странами-производителями своих запасов энергоносителей в качестве рычагов влияния на нефтяные компании и страны-потребители для получения коммерческих выгод или реализации своих задач в сфере внутренней или международной политики. Тенденция к либерализации рынков, которая способствовала расширению глобальной торговли энергией и увеличению инвестиций в 1990-е гг., в настоящее время вновь подвергается давлению.

Чтобы оценить масштабы изменений в мировой энергетической системе и время, необходимое для внесения существенных изменений как со стороны потребления, так и со стороны снабжения, нужно иметь четкое представление об этом. Сегодня объемы потребления нефти в мире составляют около 85,2 млн баррелей в сутки, что соответствует 40 000 галлонов в секунду. Далее приведен ряд примеров того, сколько требуется времени и затрат для существенных изменений в данной области [5]:

- На освоение новых крупных запасов нефти может потребоваться 15–20 лет от начала разведочных работ до фактического начала промышленной добычи, причем период добычи может продолжаться 50 лет и более.

- Новая крупная нефтяная платформа может стоить несколько миллиардов долларов, а ее постройка может занять 10 лет и более. Строительство платформы «Иберния» у восточного побережья Канады обошлось в 5 млрд долларов США, от открытия до начала промышленной эксплуатации месторождения прошло 19 лет, объемы добываемой нефти на данном месторождении составляют всего лишь 0,2 % от ее мирового потребления. Платформа «Тандер Хорс» в Мексиканском заливе (США) стоит 4 млрд долларов, по прошествии 8 лет после открытия месторождения его эксплуатация еще не началась, а объемы добычи здесь соответствуют 0,3 % мирового потребления нефти.

- Стоимость строительства нового НПЗ средней мощности (производительностью по дистилляции сырой нефти 120 000 баррелей в сутки) составляет 3 млрд долларов и более, при этом один такой НПЗ может увеличить суммарный объем нефтепереработки в такой стране как США менее чем на 1 %.

- В автомобильной промышленности процесс внедрения новых технологий от появления опытных прототипов до массового использования может занять больше двух десяти-

тилетий. В качестве примера можно привести систему впрыска топлива и передний привод. Так, разработкой гибридных двигателей начали заниматься в США еще в 60–70-х гг., в 1980 г. компания «Volvo» проводила эксперименты с маховиком, разгоняемым дизельным двигателем и используемым для рекуперации тормозной энергии. Впоследствии от этого проекта отказались в пользу гидравлических аккумуляторов. С 1997 г. начинается массовое производство гибридных автомобилей в Японии, сейчас такие автомобили можно встретить и на улицах городов России. На данный момент массовое производство гибридных автомобилей сдерживается дефицитом никель-металл-гидридных аккумуляторов.

- Коммерциализация новых технологий на рынке нефти и газа в среднем требует 16 лет от разработки первоначальной концепции до широкомасштабного коммерческого использования.

Дорожающие с каждым годом энергоресурсы, а также нежелание зависимости от импорта энергоресурсов стимулируют в развитых странах развитие альтернативных источников энергии. Немаловажным фактором при этом выступают и экологические требования, предъявляемые к новым видам топлива. Но из-за ограниченности производственных ресурсов и нежелания крупных промышленно-добывающих институтов менять что-то в структуре энергопотребления, полномасштабные исследования и промышленное производство энергии на основе альтернативных источников энергии, которые смогли бы изменить энергобаланс в мире, не получили мировой поддержки. Россия имеет большой потенциал для производства топлива из растительного сырья. Так в России 120 млн га повседневных площадей, из которых 20 млн не используются, их можно использовать под посевы биокультур для производства биотоплива (так, из рапса производят биодизель). Чтобы сохранить свои лидирующие позиции в мировой энергетике, России не стоит надеяться только на свои залежи природных ресурсов, но и заняться развитием альтернативных источников получения энергии, что позволит в будущем преодолеть энергетический кризис и сохранить энергобезопасность страны, а также занять лидирующие позиции в мире производителя экологически чистых энергетических ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рифкин Д. Если нефти больше нет... Кто возглавит мировую энергетическую революцию? М.: ИД «Секрет фирмы», 2006.
2. Кузык Б. Н. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. 2-е изд. М.: ЗАО «Экономика», 2008.
3. Видяпин В. И. Региональная экономика. Основной курс. М.: ИНФРА-М, 2008.
4. Зорин А. Когда кончится нефть // РБК. 2008. № 8. С. 28.
5. Палмери К. Когда альтернативные энергоносители станут реальность // Businessweek. 2007. № 18. С. 34.

M. N. Mihaylov, M. V. Chigir, V. V. Yaremchuk

POSSIBLE WAYS FOR DEVELOPMENT OF THE WORLD POWER RESOURCES ON THE BASIS OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

The article reveals various aspects of increase in efficient usage of hydrocarbonic raw materials. Strategic issues of price and innovative policies, implementation scenarios of world concepts of meeting industrial and social power needs are considered.

Hydrocarbons, oil, gas, coal, stocks, the prices, the energy, renewed resources, a biomass, solar, wind energy, atomic engineering, vegetative raw material



УДК 621 (099)

К 150-летию со дня рождения А. С. Попова

А. С. Попов

ПРИБОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕГИСТРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ^{1, 2}

Посвящена экспериментальным исследованиям чувствительности «когерера» при использовании порошков из различных материалов и способа автоматического восстановления его чувствительности после приема очередного сигнала. В заключение приводятся результаты длительных испытаний прибора в Главной физической обсерватории Лесного института в Петербурге.

Г. А. Любославский, Лодж, Бранли, Минчин, Бернадский, Спринг, Ашкинас, Хага, Мицуно, «герцевы» лучи, металлические порошки, трубка с металлическими опилками

Содержание настоящей статьи в главной своей части было предметом сообщения в апрельском собрании Физического отделения нашего Общества³; теперь прибавлены только результаты испытаний предложенного мною прибора, сделанных в Лесном институте Г. А. Любославским⁴, и некоторые опыты, произведенные с целью выяснения как явления, лежащего в основании устроенного прибора, так и условий действия самого прибора. В начале текущего года я занялся воспроизведением некоторых опытов Лоджа* над электрическими колебаниями с целью пользоваться ими на лекциях; но первые же попытки показали мне, что явление, лежащее в основе этих опытов, – изменение сопротивления металлических опилок под влиянием электрических колебаний – довольно непостоянно; чтобы овладеть явлением, пришлось перепробовать несколько комбинаций. В результате я пришел к устройству прибора, служащего для объективных наблюдений электрических колебаний, пригодного как для лекционных целей, так и для регистрирования электрических пертурбаций, происходящих в атмосфере. Попутно я сделал некоторые опыты с целью выяснения основного явления, но оговариваюсь, что само по себе явление не было предметом моего исследования.

* Lodge O. I. The Work of Hertz // The Electrician. Vol. XXXIII⁵.

В 1891 г. Бранли открыл, что тонкие слои металла, осажденные на стекле, эбоните и т. п., а также металлические порошки обладают способностью мгновенно изменять свое сопротивление электрическому току, если вблизи их произойдет разряд электрофорной машины или индукционной катушки.

Не столь значительно, но все-таки заметно изменяется сопротивление порошка, если временно будет через него пропущен ток батареи из большого числа элементов. Сопротивление под влиянием разряда вообще уменьшается, хотя существуют исключения; тонкий слой платины (платиновое зеркало) иногда увеличивает сопротивление*.

Эти свойства порошка сохраняются, если порошок будет помещен в непроводящей жидкости, канадском бальзаме (Бранли) или даже в таких средах, как почти сухой коллоидион и желатина (Минчин)**, или в гуттаперче (Аппльярд)***.

Механические сотрясения возвращают снова опилкам прежнее состояние, характеризующееся большим сопротивлением. Действие разряда опять может уменьшить его, и снова встряхиванием можно получить прежние величины сопротивления.

Минчин, а затем Лодж применили эти свойства металлических порошков к обнаружению герцевых электрических лучей****; а в последнее время Бернацкий***** описал опыты в форме, более близкой к герцевым. Причину явления Бранли видит в том, что в момент разряда все близлежащие, почти не прикасающиеся между собой зерна порошка заряжаются как конденсаторы и благодаря взаимному притяжению наступает лучшее прикосновение между ними. Действительно, изменение сопротивления от электрического колебания – того же знака и порядка, какое можно получить прессованием порошка. Минчин, основываясь на том, что в его опытах подвижность отдельных зерен была стеснена и чувствительность при высыхании желатины убывала, объясняет уменьшение сопротивления молекулярным движением – изменением расположения молекул, подвергшихся действию электромагнитного возмущения (*rearrangement of the molecules*). Лодж, имея в виду ранее известные факты, что отдельные капли в струе жидкости и даже две отдельные, но близкие струи соединяются между собой***** под влиянием даже слабых электрических сил, и принимая во внимание аналогичное явление – уничтожение тумана и дыма электризацией, считает возможным объяснить подобным образом и способность порошков к уменьшению сопротивления под действием электрических сил. Лодж предполагает, что близлежащие частицы, когда к действующей между ними силе частичного притяжения присоединяется еще электрическая сила, окончательно соединяются между собой и наступает то явление, которое в физике характеризуется словом «сцепление» (*Cohesion*). Позднее в своей лекции «*The Work of Hertz*» он для характеристики механизма явления, между прочим, употребляет фразу: «*It is a singular variety of electric welding*»⁷, – т. е. уподобляет связь, образующуюся в порошке, электрическому свариванию. Я, со своей стороны, разделяю последний взгляд Лоджа, придавая более значения слову «сваривание», чем

* Braney E. Comptes Rendus. Vol. CXI и CXII⁶.

** Minchin G. M. The Philosophical Magasin. Vol. 37.

*** Appleyard. R. Там же. С. 38.

**** См. цитированные выше статьи.

***** Wied. Ann. 1895. Bd. 55, 599.

***** Lodge O. J. On the Sudden Acquisition of Conducting – Power by a Series of Discrete Metallic Particles // Phil. Mag. Vol. 37.

то делает Лодж. Я подразумеваю именно под словом «сваривание» возможность образования в порошке нитей сплошного металла по линиям происшедшего разряда, причем способность различных металлов к свариванию, понимаемому в буквальном смысле, стоит в некотором соотношении к чувствительности порошков, как-то будет видно из опытов, описанных ниже. Прежде всего, я пожелал дать такую форму прибору с опилками, чтобы иметь возможное постоянство чувствительности.

При этом, руководясь высказанным взглядом на явление, надо было испытывать такое расположение частей цепи, содержащей опилки, чтобы увеличить шансы образования нитей металла по линиям тока. Лучшие результаты получились в следующих комбинациях:

1. Внутри стеклянной трубки длиной около 7 см и диаметром около 1 см сквозь пробки натянуты две параллельные проволоки, не касающиеся между собой. Опилки насыпаны в трубку так, что они только немного ее не заполняют. Эта форма прибора очень удобна для опытов с грубым гальванометром и разрядом электрофора. Наклоном трубки можно регулировать величины сопротивления, так как в вертикальном положении порошок спрессовывается своим весом.

2. Железные опилки, висящие на маленьком прямом магните в виде кисти, опирающейся на металлическую пластинку или чашку. В этом случае нити опилок уже образованы магнитными силами и электрический разряд только дает им проводимость. Подобная форма, как я потом узнал, была с успехом применена к измерительным опытам⁸.

3. Наиболее удачная форма по значительной чувствительности, при достаточном постоянстве, выполнена следующим образом. Внутри стеклянной трубки, на ее стенках, приклеены две полоски тонкой листовой платины почти во всю длину трубки. Одна полоска выведена на внешнюю поверхность с одного конца трубки, другая – с противоположного конца. Полоски платины своими краями лежат на расстоянии около 2 мм при ширине 8 мм; внутренние концы полосок не доходят до пробок, закрывающих трубку, чтобы порошок, в ней помещенный, не мог, набившись под пробку, образовать неразрушаемых сотрясениями проводящих нитей, как-то случалось в некоторых моделях. Длина всей трубки достаточна в 6–8 см при диаметре около 1 см.

Трубка при своем действии располагается горизонтально, так что полоски лежат в нижней ее половине и металлический порошок вполне покрывает их. Однако лучшее действие получается в том случае, если трубка наполнена не более чем наполовину.

Во всех опытах как на величину, так и на постоянство чувствительности влияют размеры зерен металлического порошка и вещество его. Наилучшие результаты получаются при употреблении железного порошка, известного в продаже под названием «*ferrum pulveratum*»; железо, известное под названием «*ferrum, hydrogenio reductum*», дает слишком большие величины сопротивления; более крупные опилки дают по временам очень большую чувствительность, но не постоянную. Довольно удовлетворительные результаты получаются с медным порошком, полученным восстановлением накаливаемого порошка окиси меди метиловым спиртом.

Металлические опилки свеженапиленные не годятся для опытов вследствие того, что имеют очень малое сопротивление; существование тонкого слоя окисла, по-видимому, необходимо для резкого изменения сопротивления.

Первая и третья формы прибора были употребляемы мною в опытах, служащих, как мне кажется, некоторыми аргументами в пользу поддерживаемого мной взгляда на явление. Желая получить более однообразия в строении порошка, я взял вместо опилок мел-

кую дробь, оказалось, что она представляет слишком большие величины сопротивления и не обнаруживает чувствительности к разряду, даже сильному и проходящему непосредственно через трубку. Поверхность этой дроби имела блестящий черный цвет, я освежил ее, встряхивая дробь в сосуде, стенки которого были покрыты стеклянной шкуркой; тогда дробь, помещенная в трубке с проволоками, давала сопротивления в десятки тысяч омов, но от разряда теряла проводимость, т. е. сопротивление трубки возрастало за 100 000 Ом. Другого сорта дробь, поверхность которой имела вид графита, давала лучшую проводимость и всегда изменяла сопротивление в сторону уменьшения его. Первый сорт дроби содержал сурьму, сплав был жесткий; второй сорт был почти из чистого свинца.

Получив такой результат с дробью, я взял для испытания порошок истолченной сурьмы; как и другие свежеприготовленные порошки, он обладал очень большой проводимостью, но, будучи окислен нагреванием, он приобрел особенные свойства по отношению к разряду – его состояние было совершенно неустойчиво: сопротивление от разряда то увеличивалось, то уменьшалось. Случалось и так, что проводимость, приобретенная порошком от электрического колебания, при следующем разряде исчезала; только очень энергические разряды в слегка спрессованном порошке давали однообразный результат – именно уменьшение сопротивления.

Эти опыты, а также опыт с платиновым слоем (Бранли) и совершенная нечувствительность к разрядам угольного порошка (Лодж) при сопоставлении с опытами Спринга над свариванием различных металлов* при низких температурах наводят на мысль, что в порошках под влиянием разряда происходит связь между частицами такого же характера и от подобных же причин, как и в опытах Спринга над свариванием металлов. Сурьма оказывается неспособной к свариванию при температурах ниже плавления; платина сваривается с трудом и только при очень высоких температурах, а уголь сваривается только в вольтовой дуге. В момент разряда через слабые контакты прикасающиеся частицы могут нагреться (т. е. получить значительные приращения в живой силе), несмотря на очень малую энергию разряда, потому что эта энергия выделяется мгновенно в весьма малом объеме вещества и, как тепловая энергия, медленно рассеивается.

Для проверки такого взгляда я сделал еще опыт с окисью меди; порошок зернистой окиси меди был помещен между двух серебряных монет и для увеличения проводимости сжат; он оказался, как и следовало ожидать, нечувствительным к разряду; по крайней мере, его сопротивление не изменялось более 0,5 %, каковое изменение при моих опытах можно было ясно заметить. Далее я испытал еще порошок медного колчедана (сернистая медь и железо) и случайно имевшийся у меня продукт, имеющий в металлургии название «белого штейна» и содержащий главным образом сплавленную сернистую медь, – значит, способный плавиться, но в то же время хрупкий и с кристаллическим строением. Эти порошки в трубке с платиновыми листочками обнаружили чувствительность: сопротивление их убывало, но амплитуда изменения при прочих равных условиях была значительно менее: сопротивление их изменялось в 2–3 раза под действием таких разрядов, под влиянием которых железные опилки меняли проводимость в 10–100 раз.

Отрицательные свойства платинового зеркала и порошка сурьмы мне кажутся понятными с этой точки зрения; слабые связи могут быть разрушены искрой и даже меха-

* Spring W. Zeitschrift fur Physikalische Chemie. 1894. Vol. XV. 65.

ническими силами, которыми сопровождаются энергические колебания в порошкообразной массе. По всей вероятности, отрицательные свойства можно придать значительным окислением поверхности и медному и железному порошкам, потому что в этих условиях образование сплошной нити металла будет затруднено, а дальнейшее окисление возможно.

Ограничиваясь описанием этих опытов, я опускаю различные попытки устроить прибор с достаточным постоянством чувствительности при малом числе контактов (цепочки, комбинации, аналогичные микрофонам, и т. п.); в подобных формах приборы могут достигать чувствительности, значительно превосходящей трубки с опилками, но постоянства чувствительности я пока не мог добиться.

Чтобы покончить с основным явлением, надо упомянуть еще о последних работах, касающихся этого явления. Ашкинас^{*} нашел, что решетка, сделанная из тонкого листового олова, изменяет сопротивление на 2 % от электрического колебания, и, казалось, надо было признать за электрическими колебаниями способность изменять строение проводников по крайней мере в поверхностном слое, но работы Хага^{**} и Мицуно^{***} опровергают этот взгляд и сводят явления, наблюдаемые Ашкинасом, к разряду только что рассмотренных нами явлений. Добившись удовлетворительного постоянства чувствительности при употреблении трубки с платиновыми листочками и железным порошком, я поставил себе еще другую задачу: добиться такой комбинации, чтобы связь между опилками, вызванная электрическим колебанием, разрушалась немедленно автоматически⁹. Такая комбинация, конечно, удобнее, потому что будет отвечать на электрические колебания, повторяющиеся последовательно одно за другим. После некоторых попыток воспользоваться движением рамки гальванометра Д'Арсонваля для сотрясения трубки с опилками я пришел к более простым и верным средствам: употреблению вместо гальванометра телеграфного реле и обыкновенного звонка, как для объективного обнаружения действия электрического колебания на опилки, так и для разрушения проводимости опилок.

Таким образом, был комбинирован прибор, к описанию которого я и перейду.

Трубка с опилками подвешена горизонтально между зажимами на легкой часовой пружине, которая для большей эластичности согнута со стороны одного зажима зигзагом. Над трубкой расположен звонок так, чтобы при своем действии он мог давать легкие удары молоточком посередине трубки, защищенной от разбивания резиновым кольцом. Удобнее всего трубку и звонок укрепить на общей вертикальной дощечке. Реле может быть помещено как угодно.

Действует прибор следующим образом. Ток батареи в 4–5 В постоянно циркулирует от отдельного зажима к первой платиновой пластинке, далее через порошок, содержащийся в трубке, к другой пластинке и по обмотке электромагнита реле обратно к батарее. Сила этого тока недостаточна для притягивания якоря реле, но если трубка подвергнется действию электрического колебания, то сопротивление мгновенно уменьшится, и ток увеличится настолько, что якорь реле притянется. В этот момент цепь, идущая от батареи к звонку, замкнется, и звонок начнет действовать, но тотчас же сотрясения трубки опять уменьшат ее проводимость, и реле разомкнет цепь звонка. В моем приборе сопротивление опилок

^{*} Aschkinass E. Verh. d. Phys. Gesellsch. zu Berlin. Jahr. 13, № 4.

^{**} Haga H. Wied. Ann. 1895. Band 56. P. 571.

^{***} Mizuno T. Phil. mag. 1895. Vol. 40. P. 497.

после сильного встряхивания бывает около 100 000 Ом, а реле, имея сопротивление около 250 Ом, притягивает якорь при токах от 5 до 10 мА (пределы регулировки), т. е. когда сопротивление всей цепи падает ниже тысячи ом. На одиночное колебание прибор отвечает коротким звонком; непрерывно действующие разряды спирали отзываются довольно частыми, через приблизительно равные промежутки следующими звонками¹⁰.

Чувствительность прибора можно характеризовать следующими опытами:

1. Прибор отвечает на разряды электрофора через большую аудиторию, если параллельно направлению разряда провести проволоку длиной около 1 м для увеличения энергии, достигающей опилок.

2. В соединении с вертикальной проволокой длиной в 2,5 м прибор отвечал на открытом воздухе колебаниям, произведенным большим герцевым вибратором (квадратные листы 40 см в стороне)¹¹ с искрой в масле, на расстоянии 30 сажен¹².

3. Помещенный в цинковом замкнутом чехле прибор не отвечает на разряды, происходящие в непосредственном соседстве, даже и на искры между чехлом и кругом электрофора, но если вывести из чехла изолированную проволоку, соединенную с одной из платиновых пластин, то при конце, выдающемся из чехла на 10–15 см, прибор отвечает на колебания, производимые маленькими вибраторами Риги, Лоджа и т. п. на расстоянии 3–5 м; удлинение внешней части проволоки значительно увеличивает чувствительность¹³.

4. Прибор очень чувствителен к разрядам между проводниками, находящимися в непосредственном металлическом соединении с цепью, содержащей трубку с опилками. Так, если соединить пластину с штифтом разрядного электроскопа, то прибор отвечает на всякий разряд листочков, происходящий при заряде электроскопа 300 В. Непосредственные разряды кружка или шарика, заряжаемых сухим столбом, дающим около 500 В, вызывают звонок при энергии заряда, меньшей 5 эрг.

5. Прибор отзывается на искру, образующуюся в момент перерыва в посторонней цепи, если эта цепь металлически соединена с цепью, содержащей опилки, например, если замыкать элемент Гренэ проволокой от зажима к зажиму и провести от одного зажима к пластине недлинный проводник. Если размыкаемая цепь содержит электромагнит, то действие искры размыкания может быть передано к прибору по весьма длинной проволоке. Самоиндукция и емкость в проводнике, передающем колебание, конечно, значительно ослабляют переданную энергию; поэтому искры в перерывах цепи звонка действуют на трубку с опилками, но слабо. По этой причине расположение частей прибора, показанное выше, кажется единственным; при других расположениях легко может случиться неудача в том смысле, что проводимость, разрушенная ударом молоточка, восстановится под действием искры, происходящей в самом приборе, и звонок не прекратит звона¹⁴.

6. Прибор, введенный на место телефона в одну из свободных линий на центральной станции, не отзывался ни на звонки, ни на разговорные токи соседних линий, ясно слышимые в телефоне, если последний ставили на месте моего прибора. Иногда он отвечал на короткие звонки, означающие конец разговора, и в момент подвешивания телефона на место в одной из соседних линий, но в эти моменты в цепях могли произойти быстрые колебания от образовавшейся искры.

7. По-видимому, прибор чувствителен и к медленным разрядам, проходящим через опилки, но только при более значительных энергиях: так, прибор отзывается на быстрые

движения наэлектризованной эбонитовой палочки, производимые вблизи проводников самого прибора, но медленные движения на него не действуют. Ток, наведенный во вторичной обмотке индукционной спирали размыканием, при разряде через опилки непосредственно или с конденсатором, последовательно включенным в эту же цепь, всегда действует на опилки, вызывая достаточное уменьшение сопротивления; ток же, наведенный замыканием, действует заметно слабее, нерешительно. Подобный эффект, впрочем, согласуется с гипотезой, принятой мною выше. Прибор действует от разряда круга электрофора, в мокрый шнурок, около 1 м длиной, подвешенный к пластинам, если шнурок смочен подкисленной водой, и не отзывается, если шнурок смочен дистиллированной водой.

В результате этих опытов можно сделать допущение, что всякий разряд через опилки может вызвать эффект уменьшения сопротивления, но величина эффекта зависит не от абсолютной величины энергии, выделенной в металлическом порошке, а от энергии, выделяемой в единицу времени, вернее – от быстроты выделения энергии, или от величины отношения энергия/время. Поэтому опилки более чувствительны к быстрым колебаниям при одинаковой величине энергии.

Прибор, обладающий такой чувствительностью, может служить для различных лекционных опытов с электрическими колебаниями и, будучи закрыт металлическим футляром, с удобством может быть приспособлен к опытам с электрическими лучами¹⁵; во многих подобных опытах прибор, имеющийся в моем распоряжении, обладает излишней чувствительностью. Однако благодаря тому, что реле может изменять чувствительность в некоторых пределах, а также меняя число элементов батарей, желаемую степень чувствительности получить легко.

Другое применение прибора¹⁶, которое может дать более интересные результаты, будет его способность отмечать электрические колебания, происходящие в проводнике, связанном с пластинами, в том случае, когда этот проводник подвергается действию электромагнитных пертурбаций, происходящих в атмосфере. Для этого достаточно прибор, защищенный от всяких других действий, связать с воздушным проводом, проложенным вдали от телеграфов и телефонов, или же со стержнем громоотвода. Всякое колебание, переходящее за известный предел по своей интенсивности, может быть отмечено прибором и даже зарегистрировано, так как всякое замыкание контакта реле может привести в действие, кроме звонка, еще электромагнитный отметчик. Для этого достаточно включить электромагнит в цепь параллельно звонку.

Испытание прибора в соединении с воздушной линией значительной длины даст несомненно более или менее интересные результаты. Лично мне случалось в течение одного лета на Урале* пользоваться удаленной от других телефонной линией, при этом в телефоне, когда бы ни пришлось взять его в руки, можно было слышать особенные ритмические звуки, а также очень часто шипение, свист и треск разряда; по свидетельству лиц, пользующихся этой линией, эти звуки слышны не только летом (я наблюдал их с мая по сентябрь), но и зимой; только зимой звуки менее вредят передаче речи, летом же иногда передача речи затрудняется ими¹⁸.

Пробное испытание регистрирующего прибора в соединении с громоотводом было сделано минувшим летом¹⁹ Г. А. Любославским в Лесном институте в С.-Петербурге.

* Линия тянулась на протяжении 15 верст с запада на восток, вдоль горного отрога Урала, в Богословском округе¹⁷.

На здании института среди других приспособлений, назначенных для наблюдений над направлением и силою ветра, была установлена небольшая, деревянная мачта, превышающая сажени на 4 стержни анемометров и флюгеров и снабженная на вершине обыкновенным наконечником громоотвода. Этот наконечник помощью проволоки, проведенной сначала по дереву мачты, а далее протянутой через двор на изоляторах в метеорологический кабинет, был соединен с прибором (с одной из платиновых пластин). Другая пластина была присоединена к общему с другими метеорологическими приборами проводу, отведенному к земле при посредстве водопроводной сети. Регистрирующая часть состояла из электромагнита, к якорю которого было присоединено перо братьев Ришар, и из цилиндра той же фирмы с недельным оборотом.

При этом оказалось, что прибор отвечал звонком и отметкой на всякое замыкание тока при наблюдении направления и силы ветра, потому что в сети проводников, соединенной с прибором общим проводом, идущим к земле, возбуждались в момент перерыва тока электрические колебания.

Чтобы отличить эти отметки от других, произведенных атмосферным электричеством, наблюдатели, вызвавшие звонок, делали запись на цилиндре; это побочное действие на прибор было, однако, сохранено для того, чтобы быть уверенным в его исправности.

Прибор в пробном, не совсем исправном виде приводился в действие в последних числах июля н. ст., и затем в последних числах августа н. ст. и дал следующие результаты.

30 июля н. ст. По записям Главной физической обсерватории – гроза с 10^h40^m до 11^h40^m; по записи обсерватории Лесного института – гроза около 1 часа дня. Прибор дал ряд сливающихся между собой отметок, непрерывно следующих друг за другом на протяжении 40 мин в пределах от 12 до 1 часа дня.

21 августа н. ст. На Главной физической обсерватории записано: гроза от 4^h50^m до 5^h50^m р. м при ближайшем расстоянии 3 км в 5^h17^m и гроза от 8^h37^m до 9^h10^m вечера, ближайшее расстояние в 8^h40^m. Гроза записана наблюдателями Лесного института и зарегистрирована прибором рядом непрерывно следующих отметок с 4^h50^m до 8^h50^m вечера; в течение ночи прибор дал еще несколько отметок.

23 августа н. ст. прибор дает непрерывную запись в 1^h15^m, продолжающуюся 25 мин., и другую запись после 9^h вечера продолжительностью 1 час 20 мин. Отметок о грозе и дожде не сделано наблюдателями Лесного института.

25 августа. Записи на приборе: 5^h45^m утра – продолжительность 20 мин; отметки в 9^h10^m, в 10^h0^m, почти непрерывная запись от 10^h25^m а. м. до 7^h45^m р. м. В этот день отмечен дождь до полудня, в час дня и после полудня. По свидетельству студента-наблюдателя, в течение всего дня прибор давал звонки через 5–10 мин. Г. А. Любославский отсутствовал в этот день; по его наблюдению, этот день был жаркий, с большим количеством кучевых облаков. На Главной физической обсерватории отметок о грозе нет.

28 августа. Отметки: 9^h0^m утра и 12^h5^m; на последней отметке разбилась стеклянная трубка, содержащая опилки; в 12 час отмечен наблюдателем дождь.

Прибор был снова приведен в действие в конце сентября старого стиля с изменением в регистрирующей части: недельный цилиндр заменен двенадцатичасовым, и запись делается на телеграфной ленте, наматывающейся на цилиндр. Скорость перемещения ленты при этом 23 мм в час; на ленте легко различить часто следующие друг за другом штрихи. Прибор стоит

на прежнем месте, не защищен от действий на него метеорологических приборов, пользующихся электрическим током, и случайных разрядов при работах в физическом кабинете; поэтому, рассматривая записи прибора по часам, можно считать за несомненно происходящие от атмосферных разрядов только некоторые. Не подлежат сомнению отметки, сделанные в период времени от 11 час ночи до 7 час утра, так как в течение этого времени кабинет, в котором помещается прибор, и все соседние помещения здания закрыты. Такие отметки прибора существуют, например, 6 октября в 12 час 45 мин ночи и 5 час утра.

В этом периоде можно отметить сутки 24–25 сентября. Двадцать четвертого сентября – день воскресный, кабинеты закрыты. 24 сентября есть отметки 8^h51^m утра и 5^h0^m, 5^h45^m, 6^h0^m вечера, в 5^h утром следующего дня и 9^h25^m утра. Отметки вечером 24 сентября были ожидаемы: я с Г. А. Любославским в это время находился в Петербурге, и Г. А., указав мне на резко очерченные облака, сходные по форме с грозowymi тучами, заметил, что очень любопытно – будет ли присутствие этих облаков отмечено прибором; позднее вечером этого дня был очень сильный дождь, имеющий характер летних ливней.

В половине октября испытания были прекращены вследствие необходимости некоторых изменений в пробном экземпляре. До сих пор работавшая при испытаниях батарея из 4 элементов Лек-ланше истощилась. В настоящее время прибор снова приведен в действие с батареей в 6 элементов Мейдингера.

При опытах с прибором в летний период необходимо, конечно, параллельно трубке с опилками ввести для безопасности гребенчатый громоотвод.

Кроме этого, считаю нужным прибавить еще некоторые замечания о регулировке собранного прибора. Звонок нужно урегулировать так, чтобы молоточек имел наибольший размах, а трубка с опилками должна быть помещена на такой высоте, чтобы она только что касалась молоточка, находящегося в покое, но не следовала за ним под действием своей пружины.

При таких только условиях прибор отвечает отчетливо – коротким звонком на отдельные колебания.

Основываясь на результатах, полученных при описанных выше испытаниях, можно выразить пожелание, чтобы лица, заинтересованные в наблюдениях над грозами, подвергли прибор более продолжительным и тщательным наблюдениям.

В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний²⁰, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией²¹.

Кронштадт, декабрь, 1895 г.

ЖРФХО. 1896. Т. XXVIII, вып. 1. Ч. фаз., отд. С. 1–14.

¹ Эта же статья напечатана с небольшими изменениями в журналах «Электричество» (1896, № 13–14) и «Метеорологический вестник» (1896, № 3), а также вышла отдельным изданием (оттиск из «Метеорологического вестника»); рефераты этой статьи были также помещены в иностранных журналах: «Journal de Physique theorique et appliquee» (1897. Т. VI. P. 602); «L'Eclairage electrique» (1897. 11 decembre. Т. XIII, № 50. P. 524); «Die Fortschritte der Physik des Aethers» (1896. Abt. 2. S. 387–388).

² Название статьи обращает на себя внимание. А. С. Попов, именуя так свой прибор, подчеркивает его универсальность. Этой универсальности иногда не замечают некоторые исследователи, считая, что А. С. Поповым был разработан только прибор для изучения атмосферных разрядов.

³ Имеется в виду сообщение на заседании в РФХО 25 апреля (7 мая) 1895 г. (док. № 20). Этому сообщению А. С. Попова предшествовала проделанная им большая исследовательская работа. Цель исследований определялась ясным пониманием им потребностей флота в средстве связи на большие расстояния. Ему были также хорошо известны и принципиальные физические основы осуществления этой задачи. Он был хорошо знаком с работами его предшественников, в том числе Э. Бранли, М. Минчина, О. Лоджа.

⁴ Опыты проводились А. С. Поповым и его товарищем Г. А. Любославским.

⁵ Русский перевод в кн.: «Из предыстории радио» // Под ред. С. М. Рытова. Изд-во АН СССР, 1948. С. 424–443.

⁶ Русский перевод там же, с. 353.

⁷ «Это является особой разновидностью электрического сваривания» (англ.).

⁸ Имеется в виду реферат статьи Р. фон-Берхена и А. Леройса «Измерение электрического сопротивления металлических опилок».

⁹ Постановка и успешное решение А. С. Поповым этой важной задачи позволили ему прийти к изобретению радиоприемника связи, где требовалось, чтобы восстановление чувствительности когерера происходило после каждой серии колебаний, создаваемых искровым генератором (осциллятором Герца), питаемым от спирали (катушки) Румкорфа. Особенно важно обратить внимание на первую фразу следующего абзаца: «Такая комбинация, конечно, удобнее, потому что будет отвечать на электрические колебания, повторяющиеся последовательно одно за другим».

¹⁰ Здесь вновь указывается на основную цель создания прибора, обеспечивающего возможность осуществления приема телеграфных сигналов (т. е. комбинации из коротких и длинных сигналов).

¹¹ Речь идет об использовании на передатчике симметричной антенны (квадратные листы) и на приемнике в качестве антенны линейного (несимметричного) провода.

¹² Из этой фразы следует, что к весне (не позднее 25 апреля) 1895 г. А. С. Попов уже достиг дальности передачи сигналов около 60 м между герцевским вибратором и изобретенным им приемником.

¹³ Указание на то, что А. С. Попов правильно понимал значение приемной антенны как средства увеличения дальности связи без проводов.

¹⁴ Фраза говорит о том, что А. С. Попов провел большую экспериментальную исследовательскую работу, прежде чем остановился на опубликованной им схеме радиоприемного устройства.

¹⁵ Т. е. как для лекционных целей, так и для целей сигнализации.

¹⁶ Для метеорологических целей или для изучения атмосферных помех радиосвязи.

¹⁷ Поселок Богословский завод (ныне г. Карпинск) и селение Турьинские рудники (ныне г. Краснотурьинск), где родился А. С. Попов и где он нередко проводил отпуск в студенческие годы и во время работы в Минном офицерском классе.

¹⁸ Эти слова свидетельствуют о том, какое большое внимание уделял А. С. Попов исследованиям связи без проводов в условиях помех. Встречаясь с подобными явлениями при использовании обычного телефона, он считал совершенно необходимым изучить его применительно к нуждам беспроволочного телеграфа.

¹⁹ Т. е. летом 1895 г.

²⁰ Если обратиться к сообщению в «Кронштадтском вестнике» (док. № 21), то эти слова свидетельствуют о том, что А. С. Попов ко времени первой демонстрации своих приборов (25 апреля 1895 г.) уже осуществил принципиальное решение задачи связи без проводов. Он считал, что для практического использования этого вида связи нужно добиться «передачи сигналов на расстояния», т. е. на дистанции, представляющие интерес для практики.

²¹ Имевшиеся в распоряжении А. С. Попова передающие устройства в виде катушки Румкорфа и вибраторов Герца обеспечивали дальность сигнализации на несколько десятков метров (30 сажень). Путь увеличения дальности А. С. Попов видел в повышении мощности передатчика.

*Примечания составлены академиком А. И. Бергом.
Публикация доклада подготовлена Л. И. Золотинкиной и Ю. Е. Лавренко.*

In commemorations of 150 years since the birth A. S. Popov

A. S. Popov

THE DEVICE FOR DISPLAYING AND REGISTRATION OF ELECTRICAL OSCILLATIONS

The article is devoted to investigation of the coherer sensitivity, depended of various powders used and of method of automatic restoration of sensitivity after receiving a signal. In the end are presented results of prolonged tests of the device at Main physical observatory of the Forestry institute in Peterburg.

G. A. Lyboslavsky, Lodge, Branly, Minchin, Bernadsky, Spring, Ashkiaz, Haga, Mitzuno, «herzian» rays, metal powders, the tube with metal powder