



К 125-летию
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Ежемесячный журнал

1'2012

Содержание

Редакционный совет:

В. М. Кутузов
(председатель)
М. Ю. Шестопалов
(заместитель председателя)
В. А. Мейев
(ответственный секретарь)
В. Н. Малышев
(«Радиоэлектроника
и телекоммуникации»)
А. В. Соломонов
(«Физика твердого тела
и электроника»)
М. С. Куприянов
(«Информатика, управление
и компьютерные технологии»)
В. В. Путов
(«Автоматизация
и управление»)
Г. И. Прокофьев
(«Электротехника»)
Ю. В. Филатов
(«Приборостроение
и информационные
технологии»)
В. В. Шаповалов
(«Биотехнические системы
в медицине и экологии»)
С. А. Степанов
(«Управление качеством,
инновационный
и антикризисный менеджмент»)
О. Ю. Маркова
(«Гуманитарные науки»)
О. Г. Вендик
(«История науки,
образования и техники»)
Н. В. Лысенко
(«Современные технологии
в образовании»)

* * *

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Тел.: (812) 234-02-23

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Замешаева Е. Ю., Вендик И. Б. Аналоговый СВЧ-фазовращатель на основе композитной линии с положительной/отрицательной дисперсией, управляемой варикапами 5
Пыко С. М., Пыко С. А. Измерение парциального давления кислорода с помощью гальванических датчиков 12

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Барченко В. Т., Крупович Н. В., Удовиченко С. Ю. Моделирование ВАХ сильноточного тлеющего разряда с полым катодом, возбуждаемого в условиях левой ветви кривой Пашена 18
Крупальник К. М., Корнилов Н. А., Кондратьева Т. А., Морозова А. А. Манипулятор образца для установки электронно-лучевого напыления 23

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Васильев А. А., Горячев А. В. Адаптация корпоративного портала к работе с проектными документами 29
Митягин С. А. Планирование общественных мероприятий на основе мониторинговых данных 34
Бондин В. М., Кравчук Д. К., Новакова Н. Е. Применение алгоритма имитации отжига для топологической оптимизации компьютерных сетей 40
Большев А. К., Лавров А. А. Метод идентификации версии системного программного обеспечения удаленного сетевого узла, основанный на комплексном анализе характеристик ТСР/IP 45
Аль-Рахми Р. Я. 128-битовый шифр как примитив блочных шифров на основе модульного умножения 51
Чертовской В. Д., Цехановский В. В., Семенов Д. С., Плещивцев А. О. Вариант решения задачи динамического линейного программирования 56

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Леута А. А., Нгуен М. Д., Нгуен Ч. Ч. Информационная поддержка принятия решений по оперативному управлению объектами судовой электроэнергетики с применением методов нечеткой логики 61

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Сепп Ю. И., Шестаков В. С. Математическая модель электрического поля в цилиндрическом пьезоэлектрическом резонаторе при торцевом возбуждении 68

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аббакумов К. Е., Коновалов Р. С. О рассеянии поверхностных волн Рэлея трещиноподобным дефектом, нормальным к поверхности упругого полупространства 74

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

Якушенко Е. С. Исследование метода обнаружения связи между аритмиями и эпизодами ишемии при холтеровском кардиомониторировании 81

Кочелав Е. А., Волчек А. О., Сидоренко В. М.
Экспериментальное исследование характеристик индикатрисы флуоресценции частиц биоаэрозоля 86

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Большаков В. П., Чагина А. В. Новое содержание курса «Инженерная и компьютерная графика» 94

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ
И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Галимов Ф. М., Мифтахутдинова Ф. Р. Применение QFD-анализа в рамках повышения качества образовательной деятельности 102

Виноградова Н. Ю. Образ жизни человека как экономический фактор социального менеджмента 107

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Перлова Ю. В. Компрессия как косвенный способ побудительной интенции 114

Самарина Е. Л. Этническое предпринимательство и проблемы исследования данного феномена в социологии США 118

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Золотинкина Л. И., Скрицкий Н. В.
Николай Александрович Скрицкий – профессор ЭТИ и ЛЭТИ 124

Сведения об авторах 130

Правила представления рукописей авторами 134

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России

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

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

ПИН № 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,
Т. А. Лунаева, И. Г. Скачек
Комп. верстка:
Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, А. А. Веселова

Подписано в печать 01.02.12 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 17.0.

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–120 экз.)

Заказ 6.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

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

**К 100-летию со дня рождения выдающегося русского ученого,
профессора, доктора технических наук
Александра Евгеньевича Слухоцкого**

Александр Евгеньевич Слухоцкий родился 29 января 1912 г. в городе Волковыске Гродненской губернии. В 1921 г. семья переехала в Ленинград, и в 1925 г. Александр поступил в 217-ю Советскую единую трудовую школу. По окончании (1929) школы Александр Евгеньевич поступил в Ленинградский электротехнический институт (ЛЭТИ), который окончил с отличием в 1935 г. по специальности «Электровакуумная техника» (инженер-электрик). В 1937 г., после двух лет работы инженером-исследователем в НИИ, он вернулся в родной ЛЭТИ, в лабораторию ВЧ-электротехники, которой руководил профессор В. П. Вологдин. После тяжелой блокадной зимы (1941–1942) в марте 1942 г. Александр Евгеньевич был эвакуирован по «Дороге жизни» сначала в Ес-



сентуки, затем в Ташкент и, наконец, в Челябинск, куда с лета 1941 г. была эвакуирована лаборатория профессора В. П. Вологодина. В Челябинске он приступил к работе по высокочастотной закалке танковых деталей. В 1944 г. Александр Евгеньевич был откомандирован в Москву на автозавод им. И. А. Лихачева. В том же году А. Е. Слухоцкий был награжден орденом Красной Звезды и знаком «Отличник социалистического соревнования Наркомата танковой промышленности Союза ССР» за большой вклад в разработку технологии закалки при индукционном нагреве. При первой же возможности Александр Евгеньевич вернулся в Ленинград и возобновил работу в лаборатории профессора В. П. Вологодина. Начиная с 1945 г. и до конца своей трудовой биографии в 1991 г. (с небольшим перерывом в 1947–1955 гг., когда Александр Евгеньевич работал начальником лаборатории в НИИ токов высокой частоты), он непрерывно вел научную и преподавательскую работу в стенах родного ЛЭТИ. Защитил кандидатскую (1947), а затем и докторскую (1962) диссертации. С 1953 по 1982 гг. возглавлял кафедру электротермических установок в ЛЭТИ, организовал в ЛЭТИ Отраслевую лабораторию высокочастотной электротехники (ОЛВЧЭТ) и стал её первым научным руководителем. Александр Евгеньевич являлся основателем теории индукционного нагрева, опубликовал три монографии, неоднократно представлял советскую науку на всесоюзных, международных конгрессах и конференциях.

Александр Евгеньевич за период своей плодотворной работы подготовил более 30 кандидатов и докторов наук. Большинство ведущих специалистов в области высокочастотной электротермии являются учениками профессора А. Е. Слухоцкого.

За высокие научные достижения, промышленные разработки и преподавательскую деятельность в высшей школе Александр Евгеньевич был награжден медалями «За доблестный труд в ВОВ», «За оборону Ленинграда», «За доблестный труд» и др.

Скончался Александр Евгеньевич Слухоцкий 28 января 1991 года в Ленинграде от острого сердечного приступа, не дожив одного дня до своего 79-летия.

Трудно свыкнуться с мыслью, что Александра Евгеньевича нет с нами. Все, кто работал с Александром Евгеньевичем, кто знал его близко, учился на его кафедре, хранят о нём добрую память.

Коллектив кафедры электротехнологической
и преобразовательной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



УДК 621.3.018.12, 621.3.072.8

Е. Ю. Замешаева, И. Б. Вендик

АНАЛОГОВЫЙ СВЧ-ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОЙ ЛИНИИ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ / ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ, УПРАВЛЯЕМОЙ ВАРИКАПАМИ

Перестраиваемая композитная линия передачи с управляемым законом дисперсии используется для изменения величины фазового пробега проходящей электромагнитной волны. Аналоговый фазовращатель, выполненный на основе такой линии, использует в качестве управляющих элементов варикапы. Конструкция устройства предполагает применение технологии печатных плат с компонентами поверхностного монтажа. Фазовращатель реализует малую величину ошибки установки фазового сдвига для любых значений фазового сдвига в интервале $0...180^\circ$ в 25 %-й полосе частот с центральной частотой 2.7 ГГц.

Аналоговый фазовращатель, метаматериал, линии передачи с отрицательной дисперсией, композитная линия, варикап, технология печатных плат с компонентами поверхностного монтажа

В литературе подробно описаны дискретные СВЧ-фазовращатели (ФВ) на основе переключаемых каналов. Широко известны ФВ, каналы которых выполнены на переключаемых фильтрах верхних и нижних частот [1]. Представляют интерес ФВ на переключаемых каналах, один из которых выполнен в виде традиционной бездисперсионной линии передачи, а второй – в виде линии передачи с отрицательной дисперсией [2]–[6].

Линия передачи с распределенными параметрами может быть представлена в виде искусственной длинной линии, состоящей из бесконечного числа элементарных LC-ячеек. В [3] было показано, что при использовании двух ячеек характеристики цепи, выполненной на сосредоточенных элементах, совпадают с характеристиками распределенной линии передачи в широкой полосе частот. Для совпадения характеристик в узкой частотной полосе достаточно одной элементарной ячейки.

Эквивалентная схема элементарной ячейки линии передачи с положительной дисперсией (ЛПД) представлена на рис. 1, а, а линии с отрицательной дисперсией (ЛОД) – на рис. 1, б. Дисперсионное уравнение определяется выражением

$$\beta_{\text{ЛПД}} = \omega \sqrt{L'_{\text{ЛПД}} C'_{\text{ЛПД}}}$$

– для ЛПД;

$$\beta_{\text{ЛОД}} = \frac{-1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{1}{L_{\text{ЛОД}}}\right)' \left(\frac{1}{C_{\text{ЛОД}}}\right)'}$$

– для ЛОД, где β – волновое число; ω – круговая частота; $L_{\text{ЛПД}}'$, $C_{\text{ЛПД}}'$, $\left(\frac{1}{L_{\text{ЛОД}}}\right)'$ и $\left(\frac{1}{C_{\text{ЛОД}}}\right)'$ – погонные параметры ЛПД и ЛОД соответственно.

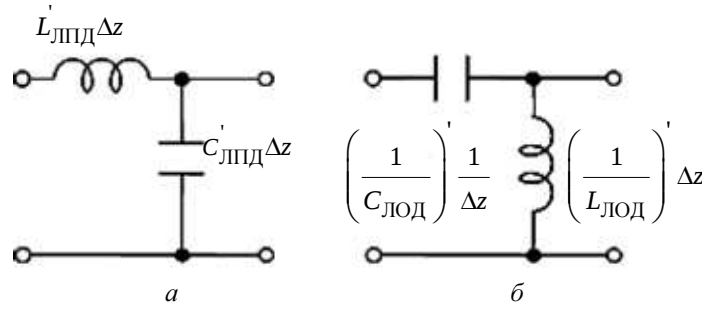


Рис. 1

Под композитной линией (КЛ) понимается искусственная длинная линия, обладающая свойствами ЛОД на частотах ниже $\omega_{\text{ЛОД}}$ и свойствами ЛПД на частотах выше $\omega_{\text{ЛПД}}$. Эквивалентная схема элементарной ячейки КЛ представлена на рис. 2 [7]–[8].

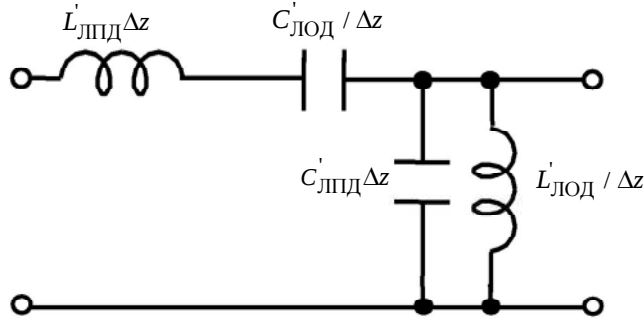


Рис. 2

В составе элементарной ячейки КЛ можно выделить последовательный и параллельный контуры, резонансные частоты которых ω_1 и ω_2 определяются выражениями

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L'_{\text{ЛПД}} C'_{\text{ЛОД}}}},$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L'_{\text{ЛОД}} C'_{\text{ЛПД}}}}.$$

Зависимость волнового числа от частоты для КЛ описывается выражением [7]

$$\beta(\omega) = s(\omega) \sqrt{\omega^2 L'_{\text{ЛПД}} C'_{\text{ЛПД}} + \frac{1}{\omega^2 L'_{\text{ЛОД}} C'_{\text{ЛОД}}} - \left(\frac{L'_{\text{ЛПД}}}{L'_{\text{ЛОД}}} + \frac{C'_{\text{ЛПД}}}{C'_{\text{ЛОД}}} \right)}, \quad (1)$$

где

$$s(\omega) = \begin{cases} -1 & \text{при } \omega < \omega_1 = \min(\omega_1, \omega_2), \\ +1 & \text{при } \omega > \omega_2 = \min(\omega_1, \omega_2). \end{cases}$$

В зависимости от соотношения резонансных частот ω_1 и ω_2 , распространение волны в КЛ характеризуется балансным ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$) и небалансным ($\omega_1 \neq \omega_2$) режимами. Дисперсионные характеристики для обоих режимов приведены на рис. 3. В балансном случае частоты, соответствующие $\beta(\omega) = 0$ для ветвей ЛОД и ЛПД, совпадают и равны ω_0 (рис. 3, б), в то время как в небалансном случае возникает щель на частотной оси, в пределах которой волна вдоль КЛ не распространяется (рис. 3, а).

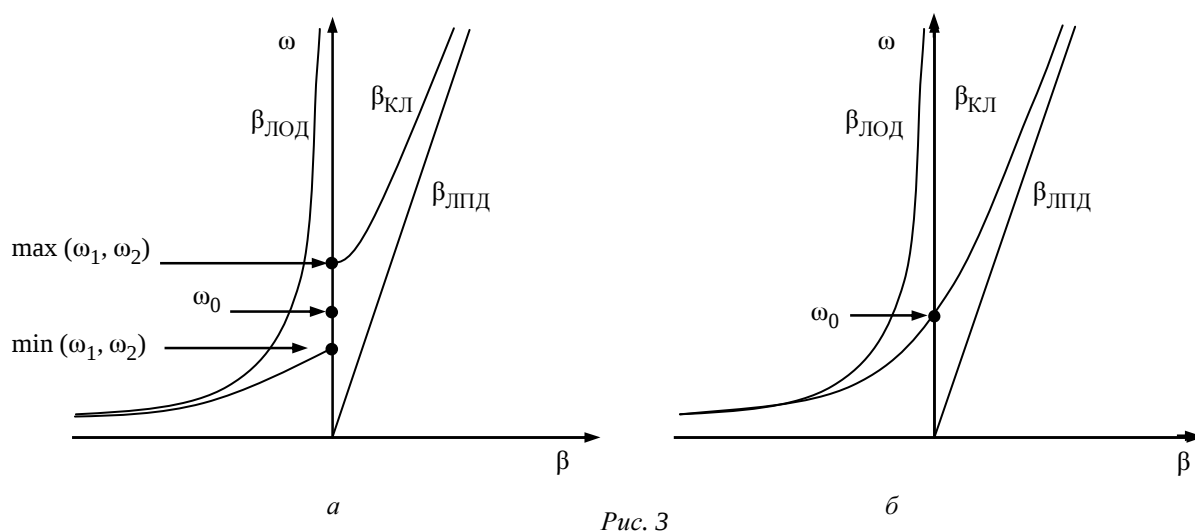


Рис. 3

В балансном случае справедливо соотношение номиналов элементов элементарной ячейки эквивалентной схемы линии передачи:

$$C_{\text{ЛОД}} L_{\text{ЛПД}} = C_{\text{ЛПД}} L_{\text{ЛОД}}.$$

Выражение (1) при этом преобразуется к виду

$$\beta(\omega) = \beta_{\text{ЛПД}}(\omega) + \beta_{\text{ЛОД}}(\omega) = \beta(\omega_0) \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right). \quad (2)$$

Показанные на рис. 3 дисперсионные характеристики ЛПД и ЛОД имеют близкий по величине наклон в широком диапазоне частот. Данное свойство используется в дискретных ФВ, выполненных на переключаемых отрезках ЛОД и ЛПД. В таких устройствах удастся реализовать заданные значения разности фаз с малой величиной ошибки установки фазового сдвига в широкой полосе частот (более октавы) при сравнительно малом уровне вносимых потерь, определяемых в основном управляющими компонентами [3]–[6].

В последнее время проявляется интерес к аналоговым ФВ СВЧ-диапазона. Для их реализации может применяться КЛ с управляемыми емкостными компонентами [8].

При изменении рабочей частоты ω искусственная КЛ, представляющая каскадное соединение элементарных ячеек, представленных на рис. 1, характеризуется либо положительной, либо отрицательной дисперсией согласно (2) и рис. 3. Тот же эффект может быть получен на фиксированной частоте при изменении емкости (индуктивности) в составе па-

параллельных и последовательных контуров. В частности, изменение емкости приводит к изменению волнового числа, а следовательно, и фазового набег в искусственной КЛ. Данное свойство используется для реализации аналогового СВЧ ФВ S-диапазона, реализующего сдвиг фазы в пределах $0 \dots 180^\circ$.

ФВ на основе КЛ, управляемый варикондами (сегнетоэлектрическими управляемыми конденсаторами), описан в [9]. ФВ выполнен по монолитной технологии на основе четырех Т-образных ячеек КЛ и реализует сдвиг фазы $52 \dots 58^\circ$ в полосе частот $15 \dots 20$ ГГц (28 %).

В настоящей статье представлен аналоговый $0 \dots 180^\circ$ ФВ на основе КЛ, управляемый варикапами (полупроводниковыми управляемыми конденсаторами), выполненный в виде печатной платы с использованием компонентов поверхностного монтажа.

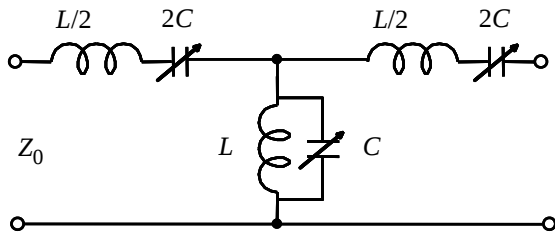


Рис. 4

Выбор эквивалентной схемы ФВ и обоснование конструкции. Эквивалентная схема симметричной Т-образной элементарной ячейки КЛ с управляемыми конденсаторами представлена на рис. 4. Изменение емкости перестраиваемых конденсаторов позволяет изменять дисперсию, волновое число β и эквивалентную электрическую длину ячейки θ от положительной (соответствует ЛПД) до отрицательной (соответствует ЛОД), а следовательно,

и фазовый набег в искусственной линии $\Delta\varphi$.

Элементарная ячейка КЛ описывается $ABCD$ -матрицей

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + ZY & 2Z \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) \\ Y & 1 + ZY \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где комплексное сопротивление последовательной цепи Z и комплексная проводимость параллельной цепи Y определяются выражениями

$$Z = j\omega \frac{L}{2} + \frac{1}{j\omega \cdot 2C}, \quad (4)$$

$$Y = \frac{1}{j\omega L} + j\omega C. \quad (5)$$

Характеристический импеданс КЛ определяется отношением элементов B и C $ABCD$ -матрицы (3)–(5):

$$Z_c(\omega) = \sqrt{\frac{B}{C}} = Z_c(\omega_0) \sqrt{1 - \frac{1}{4} \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что для балансной КЛ значения характеристического импеданса Z_c на частоте ω_0 одинаковы для ЛОД и ЛПД:

$$Z_c(\omega_0) = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Для обеспечения согласования характеристический импеданс КЛ Z_c должен равняться входному импедансу Z_0 : $Z_c = Z_0 = 50$ Ом на центральной частоте f_0 рабочего диапазона частот. При этом условие согласования имеет вид

$$L = \frac{Z_0}{\omega_0}.$$

Коэффициент перестройки по емкости $n = C(V_1)/C(V_2)$ определяется отношением значений управляемой емкости в двух состояниях $C(V_1)$ и $C(V_2)$, соответствующих различным значениям управляющего напряжения.

Под фазовым сдвигом будем понимать разность фаз коэффициента передачи S_{21} в двух состояниях, одно из которых – фиксированное – соответствует минимальному значению емкости из диапазона ее изменения, при этом $n = 1$, а второе определяется любым значением емкости из рабочего диапазона ее изменения ($n > 1$). Зависимость фазового сдвига от коэффициента перестройки по емкости для элементарной ячейки КЛ в балансном случае описывается как сумма фазовых набегов в линиях передачи с положительной и отрицательной дисперсией [9]:

$$\Delta\varphi(\omega, n) = \Delta\varphi_{\text{ЛПД}} + \Delta\varphi_{\text{ЛОД}} = \omega\sqrt{LC}(1-\sqrt{n}) + \frac{1}{\omega\sqrt{LC}} \frac{1-\sqrt{n}}{\sqrt{n}}.$$

Для реализации ФВ в S-диапазоне был использован варикап с диапазоном изменения емкости от 0.2 до 2.8 пФ и активным сопротивлением 2 Ом.

На рис. 5 показаны зависимость коэффициентов отражения (рис. 5, а), передачи (рис. 5, б) и фазового сдвига (рис. 5, в) от емкости для одной элементарной ячейки КЛ, управляемой выбранным варикапом.

Как видно из рис. 5, одна ячейка КЛ позволяет реализовать фазовый сдвиг не более 50° при уровне коэффициента отражения менее -20 дБ. При этом уровень вносимых потерь не превышает 0.8 дБ. Следовательно, для реализации фазового сдвига 180° необходимо использовать не менее четырех ячеек. При использовании большего числа элементарных ячеек коэффициент отражения уменьшается, однако потери и габариты устройства увеличиваются. Поэтому для реализации аналогового $0...180^\circ$ ФВ S-диапазона было использовано четыре ячейки КЛ.

Топология и характеристики. Топология устройства, состоящего из четырех ячеек КЛ и реализующего аналоговый сдвиг фазы $0...180^\circ$, выполненного на подложке Rogers RO3010 толщиной 1.27 мм по технологии печатных плат с использованием компонентов поверхностного монтажа, представлена на рис. 6. Миниатюрные бескорпусные варикапы MV39003 производства «Microsemi» и высокодобротные индуктивности в корпусах 0402 производства «Murata» были использованы в качестве элементов поверхностного монтажа. Все варикапы управляются синхронно напряжением от 1 до 3 В, что соответствует перестройке $n = 2.2$. Размеры подложки составляют 17×8.4 мм.

На рис. 7, а представлены результаты электродинамического моделирования уровня вносимых потерь и коэффициента отражения в зависимости от частоты для пяти различных значений емкости варикапа. В электродинамическом моделировании были учтены параметры материала подложки: относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 10.2$ и тангенс

угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta = 0.002$; учтены потери в металле и компонентах поверхностного монтажа. Из графиков следует, что рабочая полоса частот ФВ, определяемая по уровню коэффициента отражения -15 дБ, составляет 25 %. Рис. 7, б демонстрирует зависимость фазового сдвига устройства от частоты для четырех различных значений фазового сдвига. На рис. 8 представлены результаты схемотехнического моделирования характеристик ФВ в аналоговом режиме для трех частот: нижней (2.36 ГГц, пунктирная линия), центральной (2.7 ГГц, сплошная линия) и верхней (3.05 ГГц, штриховая линия) частот рабочего диапазона.

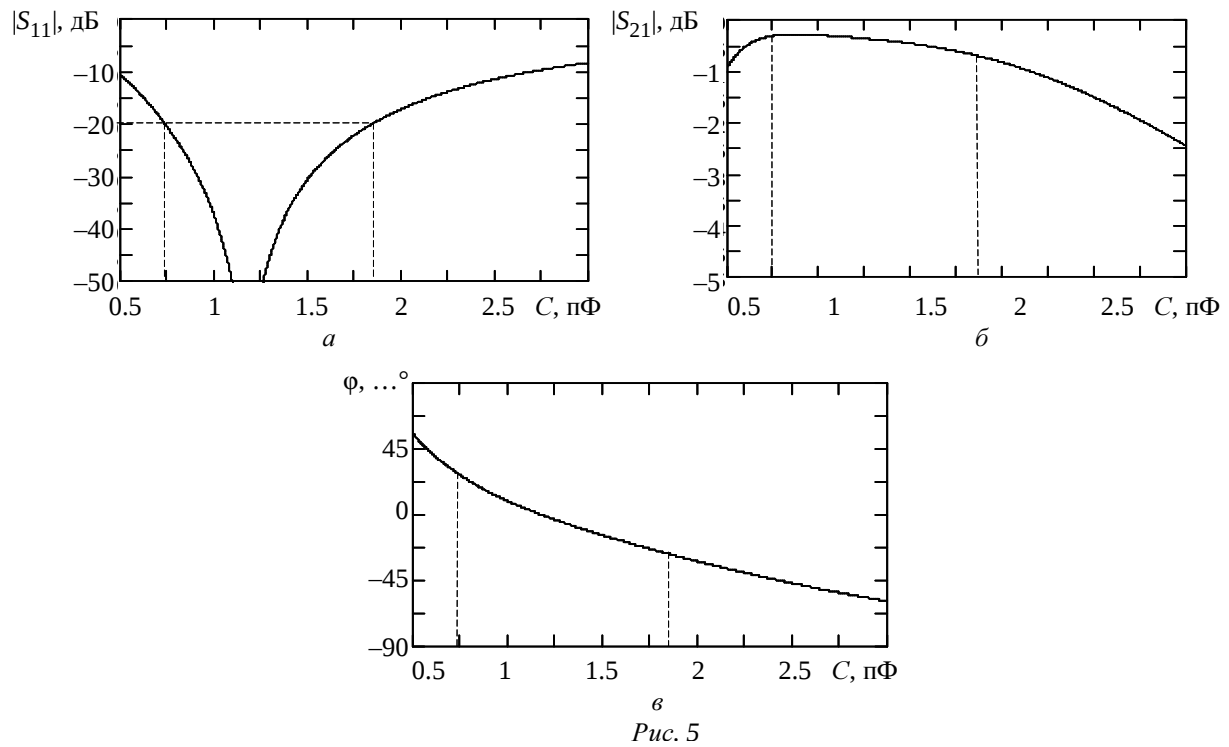


Рис. 5

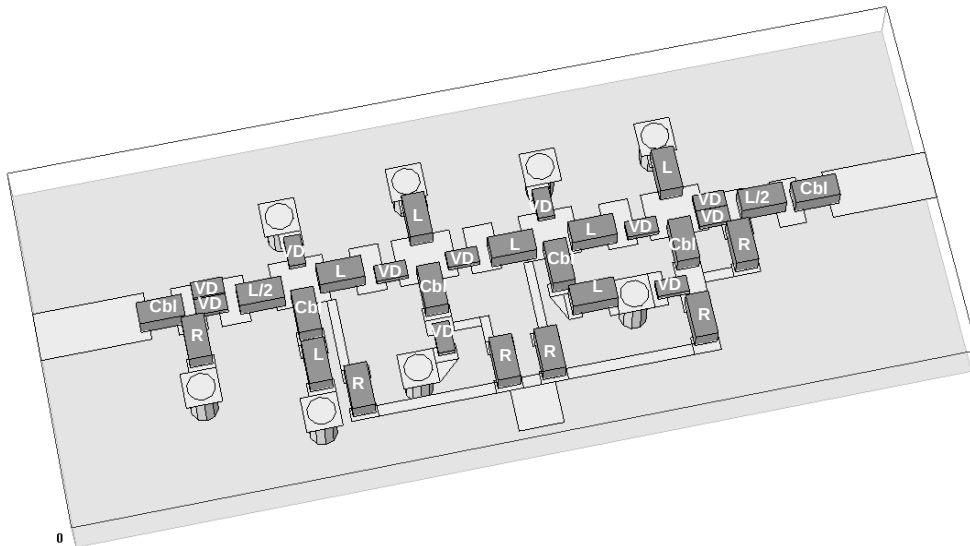


Рис. 6

Для центральной частоты 2.7 ГГц рабочего диапазона частот, имеющего относительную полосу 25 %, получена зависимость фазового сдвига от частоты. Ошибка установки фазы не превышает $\pm 10^\circ$ для фазового сдвига 180° (рис. 7, б), уровень вносимых потерь менее 4 дБ, уровень коэффициента отражения не превышает -15 дБ.

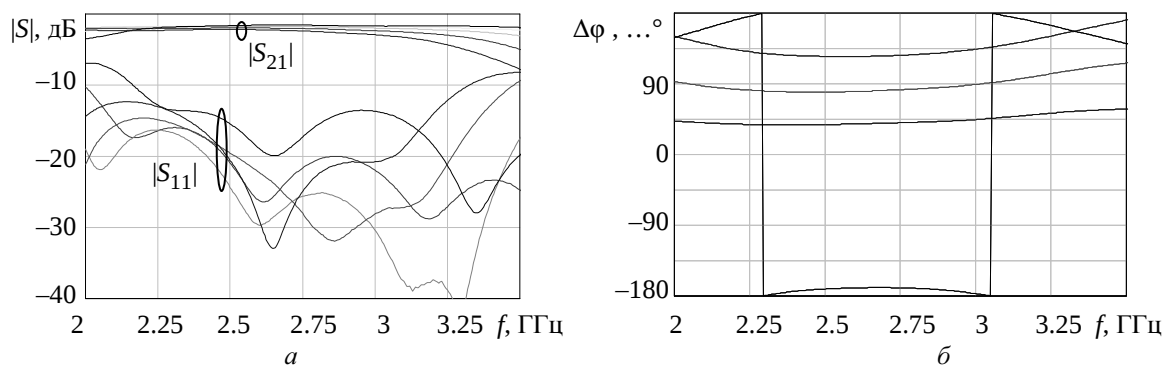


Рис. 7

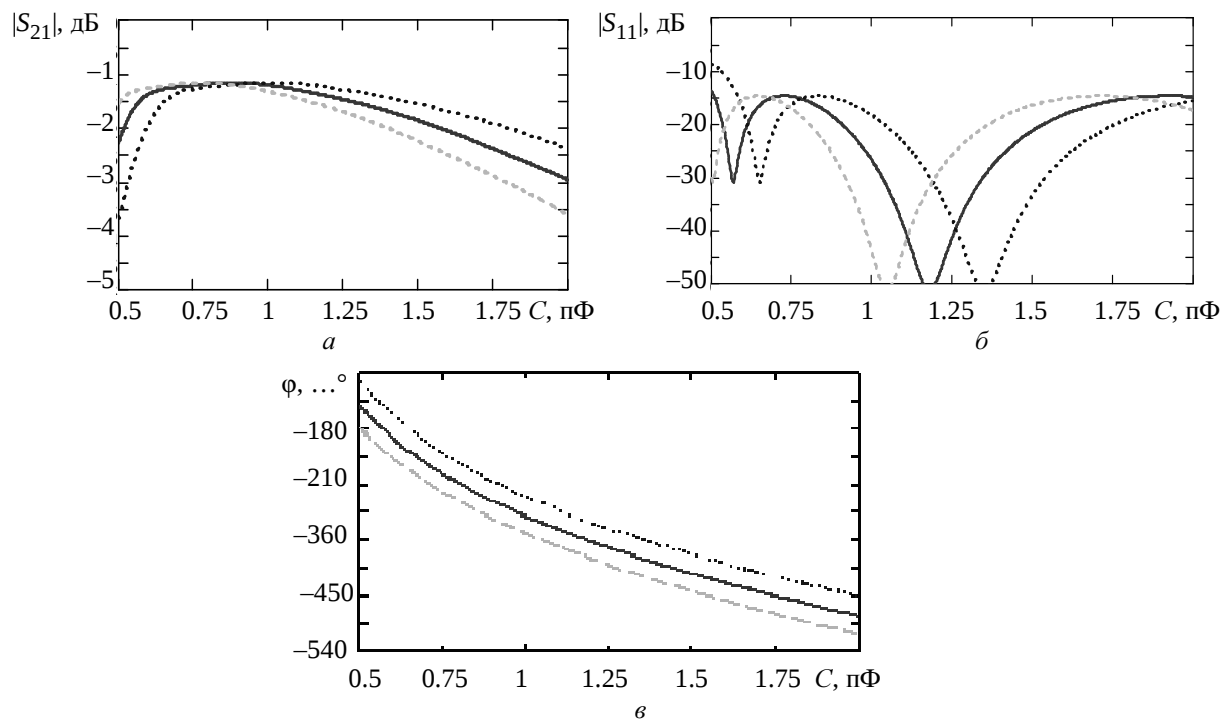


Рис. 8

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Разработан аналоговый ФВ S-диапазона, работающий в полосе частот 25 %. Устройство выполнено в виде каскадного соединения четырех ячеек КЛ, все варикапы управляются синхронно. Ошибка установки фазы не превышает 10° . Применяется дешевая и легко воспроизводимая технология печатных плат с использованием компонентов поверхностного монтажа. Устройство может функционировать в аналоговом и дискретном режимах в зависимости от типа управляющего напряжения. В аналоговом режиме для любой частоты из рабочего диапазона частот возможна реализация фазового сдвига в диапазоне $0...180^\circ$ при изменении управляющего напряжения от 1 до 3 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Koul S. K., Bhat B. Microwave and Millimeter Wave Phase Shifters. Vol. 2: Semiconductor and Delay Line Phase Shifters. Boston, MA: Artech House, 1991.
2. Electronically Controlled Phase Shifters Based on Right/Left-Handed Transmission Lines / O. G. Vendik, I. B. Vendik, D. V. Kholodnyak et al. // Proc. EuMC35. Paris, Oct. 2005. P. 909–912.
3. Digital Phase Shifters Based on Right- and Left-Handed Transmission Lines / I. B. Vendik, O. G. Vendik, D. V. Kholodnyak et al. // Proc. of the EuMA. Mar. 2006. Vol. 2. P. 30–37.
4. Broadband Digital Phase Shifter Based on Switchable Right- and Left-Handed Transmission Line Sections / D. Kholodnyak, E. Serebryakova, I. Vendik, O. Vendik // IEEE Microwave and Wireless Component Lett. May 2006. Vol. 16, № 5. P. 258–260.

5. Broadband digital phase shifters using metamaterial transmission lines with negative dispersion / E. Serebryakova, I. Kolmakova, D. Kholodnyak, I. Vendik // Proc. of 16-th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications (MIKON-2006), 22–26 May, 2006. Krakow, Poland, 2006. Vol. 2. P. 679–682.

6. Vendik B., Kholodnyak D. V., Kapitanova P. V. Microwave phase shifters and filters based on a combination of left-handed and right-handed transmission lines // Applications of Metamaterials, Metamaterial Handbook / Ed. F. Cappelino. London: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. P. 13–1 – 13–21.

7. Caloz L. C., Itoh T. Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterials // IEEE Microwave Magazine. Sept. 2004. P. 34–50.

8. Caloz C., Itoh T. Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications // The Engineering Approach. USA: Wiley-Interscience, 2006.

9. Composite Right/Left Handed Transmission Line Phase Shifter Using Ferroelectric Varactors / Kuylenstierna, A. Vorobiev, P. Linner, S. Gevorgian // IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett. 2006. Vol. 16, № 4. P. 167–169.

E. Yu. Zameshaeva, I. B. Vendik

ANALOGUE MICROWAVE PHASE SHIFTER BASED ON COMPOSITE RIGHT/LEFT-HANDED TRANSMISSION LINES CONTROLLED BY VARACTOR DIODES

A tuneable composite right/left handed transmission line with a controllable dispersion law accompanied by a change of the phase of transmission coefficient from negative to positive values is used for a control of the phase increment along the line section. An analogue phase shifter based on such a line and controlled by varactor diodes is presented. The device is implemented as a printed circuit board with surface-mount components and demonstrates 0...180° phase shift within the fractional bandwidth of 25 % at 2.7 GHz.

Analogue phase shifter, metamaterial, left-handed transmission lines, composite line, varactor diode, printed circuit board technology, SMD-components

УДК 531.7

С. М. Пыко, С. А. Пыко

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА С ПОМОЩЬЮ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Описан метод повышения достоверности измерения парциального давления кислорода. Метод основан на коррекции чувствительности датчиков за счет дополнительных измерений, проводимых в газовой среде неизвестного состава. Приводится анализ суммарной погрешности измерения парциального давления кислорода. Метод предназначен для использования в системах жизнеобеспечения при подводном плавании.

Ребризер, парциальное давление, калибровка датчиков, термокомпенсация

Измерение парциального давления кислорода является важнейшим компонентом безопасности в системах жизнеобеспечения человека, например, в ребризерах. Ребризер – устройство очистки дыхательной смеси, используемое для подводного плавания. В подобных системах широко используются гальванические датчики фирм «Analytical Industries Inc.» и «Teledyne Technologies Inc.». Калибровку датчиков, как правило, осуществляют по одному, доступному для пользователя, значению: содержанию кислорода в атмосфере. Данная статья посвящена анализу достижимой точности измерения парциального давления кислорода и определению путей повышения точности получаемой оценки. За основу для анализа выбраны датчики PSR 11-39 («Analytical Industries»).

В соответствии со спецификацией данные датчики обладают следующими характеристиками (погрешностями):

1. Приведенная погрешность при 25 °С, давлении 1 атм и кислороде 100 % – 1 %.
2. Приведенная погрешность во всем рабочем диапазоне температур (статическая ошибка) – 5 %.

3. Нелинейность – 1 %.
4. Смещение – 0.5 %.
5. Температурный коэффициент – 2.5 %/°C.
6. Повторяемость – 1 % от полной шкалы.
7. Временная нестабильность – 1 %/мес.

Пусть функция преобразования датчика представляется выражением

$$V(\theta, p_{O_2}, t) = F(\theta, p_{O_2}, t),$$

где V – ЭДС, генерируемая датчиком, В; θ – температура, °C; p_{O_2} – парциальное давление кислорода, бар; t – временной интервал от последней калибровки датчика, мес.

Если функция $F(.)$ является гладкой, то она может быть представлена в виде ряда Тейлора в окрестности точки калибровки:

$$V(\theta, p_{O_2}, t) = V(25, 1, 0) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial p_{O_2}}(p_{O_2} - 1) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial t}t + \\ + o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t), \quad (1)$$

где $o_i(.)$ – величины второго порядка малости, представляющие собой отдельные составляющие погрешности.

С учетом введенных обозначений получим:

$$V(\theta, p_{O_2}, t) = V(25, 1, 0) - \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial p_{O_2}} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial p_{O_2}}p_{O_2} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial t}t + \\ + o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t); \\ V(\theta, p_{O_2}, t) = \text{offset} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial p_{O_2}}p_{O_2} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial t}t + \\ + o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t),$$

где offset – смещение статической характеристики датчика.

В терминах уравнения (1) данные спецификации могут быть представлены следующим образом:

1. Приведенная погрешность при 25 °C:

$$\delta V(25, 1, 0) = \frac{V(25, 1, 0) - F(25, 1, 0)}{F(25, 1, 0)} 100 = 1 \, \%.$$

2. Приведенная погрешность при θ °C:

$$\delta V(\theta, 1, 0) = \frac{V(\theta, 1, 0) - F(\theta, 1, 0)}{F(\theta, 1, 0)} 100 = 5 \, \% \text{ или } |o_2(\theta - 25)| < 0.05V(25, 1, 0).$$

3. Нелинейность: $|o_1(p_{O_2})| < 0.01p_{O_2}$.

4. Смещение:

$$\delta V(25, 0, 0) = \left| \frac{V(25, 0, 0)}{V(25, 1, 0)} 100 \right| = \left| \frac{V(25, 1, 0) - \frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial p_{O_2}}}{V(25, 1, 0)} 100 \right| = \left| \frac{\text{offset} \cdot 100}{V(25, 1, 0)} \right| < 0.5 \, \%.$$

5. Температурный коэффициент: $\frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial \theta} = 0.025V(25, 1, 0)$.

6. Временная нестабильность: $\frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial t} = 0.01V(25, 1, 0)$, что составляет 1 %/мес.

Для оценки парциального давления кислорода обычно используют линейную зависимость

$$\overline{p_{O_2}} = \frac{V(\theta, p_{O_2}, t)}{V(25, 1, 0)}, \quad (2)$$

где $V(25, 1, 0)$ – сигнал с датчика, полученный при калибровке (парциальное давление кислорода 1 бар (100 % кислорода), температура окружающей среды 25 °C).

Раскрыв выражение (2), получим:

$$\begin{aligned} \overline{p_{O_2}} &= 1 - \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial p_{O_2}} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial p_{O_2}} p_{O_2} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial t} t + \\ &\quad + \frac{o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t)}{V(25, 1, 0)}; \\ \overline{p_{O_2}} &= \text{offset} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial p_{O_2}} p_{O_2} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial t} t + \\ &\quad + \frac{o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t)}{V(25, 1)}. \end{aligned}$$

Если смещение мало, то $\frac{\partial F(25, 1, 0)}{\partial p_{O_2}} \cong V(25, 1, 0)$. Следовательно,

$$\overline{p_{O_2}} = p_{O_2} + \text{offset} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial t} t + \frac{o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t)}{V(25, 1, 0)}.$$

Таким образом, погрешность измерения парциального давления кислорода (без термокомпенсации) будет определяться неравенством

$$\begin{aligned} \text{error}(p_{O_2}, \theta, t) &< \\ &< \left| \text{offset} + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial \theta}(\theta - 25) + \frac{\partial F(25, 1, 0)}{V(25, 1, 0)\partial t} t + \frac{o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25) + o_3(t)}{V(25, 1, 0)} \right|. \end{aligned} \quad (3)$$

Второй член выражения (3) может быть устранен средствами термокомпенсации. Третий член можно уменьшить до необходимой величины, правильно выбрав период перекалибровки датчика. Следовательно, потенциальная точность измерений кислорода одним датчиком будет имеет вид

$$\text{error}(p_{O_2}, \theta, 0) < \left| \text{offset} + \frac{o_1(p_{O_2}) + o_2(\theta - 25)}{V(25, 1, 0)} \right| = 0.005 + 0.05 + 0.01 = 0.065 \text{ бар}.$$

Рис. 1 иллюстрирует различные варианты калибровки датчиков парциального давления. На рисунке представлены зависимости оценки парциального давления кислорода от его истинного значения (статические характеристики) для следующих случаев: 1 – датчик откалиброван по одной точке 209 мбар; 2 – датчик откалиброван по одной точке 1000 мбар. Штриховой линией 3 показана зависимость, соответствующая идеальному датчику.

При подводном плавании парциальное давление кислорода должно быть на уровне 0.7...1.3 бар в зависимости от глубины. Использование одной точки (0.209 бар – парциальное давление кислорода на уровне моря при нормальном атмосферном давлении) для калибровки приводит к большой погрешности в рабочем диапазоне парциальных давлений из-за погрешности смещения. Погрешность смещения усилится в $(1000 - 209)/209 = 3.8$ раза. Калибровка с помощью чистого кислорода возможна только в лаборатории и недоступна дайверу. Газ, применяемый для дыхания под водой, не может использоваться как образцовый газ при калибровке из-за отсутствия точных сведений о его составе. Калибровка по двум точкам в предположении линейности статической характеристики привела бы к получению идеальной зависимости, однако при подготовке к подводному погружению в реальных условиях вторая точка неизвестна.

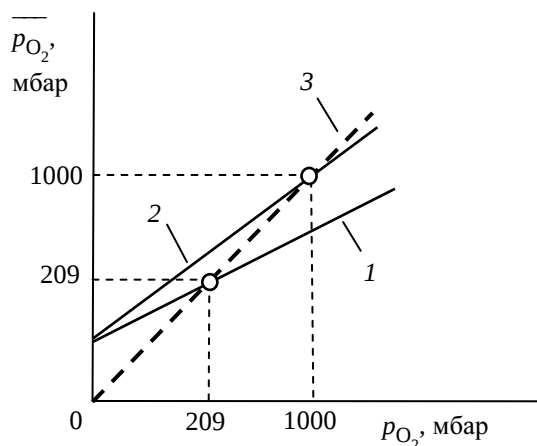


Рис. 1

В системах жизнеобеспечения, как правило, используется более трех датчиков для повышения достоверности. Наличие большого числа датчиков ($n > 2$), знание одной опорной точки (0.209) и наличие условно-неизвестного газа с высоким уровнем кислорода позволяют улучшить процедуру калибровки датчиков и, тем самым, увеличить точность измерения парциального давления кислорода. Процедуру калибровки можно представить в виде следующих шагов:

1. Проветрить аппарат перед калибровкой. Показания датчиков температуры и кислорода должны установиться (перестать изменяться во времени).
2. Измерить температуру окружающей среды θ_0 .
3. Измерить ЭДС кислородных датчиков $V_{0,i}(\theta_0)$.
4. Измерить атмосферное давление p_0 .
5. Рассчитать первую точку для калибровки – парциальное давление [мбар] кислорода с учетом текущего значения атмосферного давления:

$$\text{first} = 209 \frac{p_0}{1013}.$$

6. Привести показания кислородных датчиков $V_{0,i}(\theta_0)$ к нормальной температуре 25 °C (термокомпенсация) с помощью выражения

$$V_{0,i}^{25} = \frac{V_{0,i}(\theta_0)}{1 + 0.025(\theta_0 - 25)}.$$

7. Продуть аппарат газом с высоким содержанием кислорода.
8. После завершения переходного процесса измерить ЭДС кислородных датчиков $V_{1,i}(\theta_0)$.

9. Рассчитать уровень парциального давления кислорода по каждому датчику:

$$p_{O_2 i} = \frac{\text{first} V_{1,i}(\theta_0)}{V_{0,i}(\theta_0)}.$$

10. Оценить среднее значение показаний датчиков: $\text{average} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{O_2 i}$.

11. Убедиться, что разброс показаний датчиков не превышает 10 % (см. потенциальную точность измерения кислорода одним датчиком):

$$\left| \frac{\text{average} - p_{O_2 i}}{\text{average}} \right| < 0.1.$$

В противном случае датчики, у которых показания кислорода отклонились от среднего значения больше, чем на 10 %, должны быть заменены и процедура калибровки повторена. Данная процедура является важным элементом для ранней отбраковки неисправных датчиков.

12. Определить поправочные коэффициенты $\text{adj}_i = \frac{\text{average} - p_{O_2 i}}{p_{O_2 i} - \text{first}}$.

Использование поправочных коэффициентов позволяет скорректировать наклоны статических кривых преобразования отдельных датчиков и получить наиболее вероятную характеристику, что, в свою очередь, приводит к уменьшению погрешности измерения парциального давления кислорода в $\sqrt{n}$ раз.

Рис. 2 иллюстрирует процедуру коррекции наклона статической характеристики. Сплошными линиями на рисунке показаны статические характеристики отдельных датчиков при калибровке по одной известной точке 209 мбар. X – неизвестное значение парциального давления кислорода, лежащее в диапазоне 0.7...1.3 бар. Оценка неизвестного значения

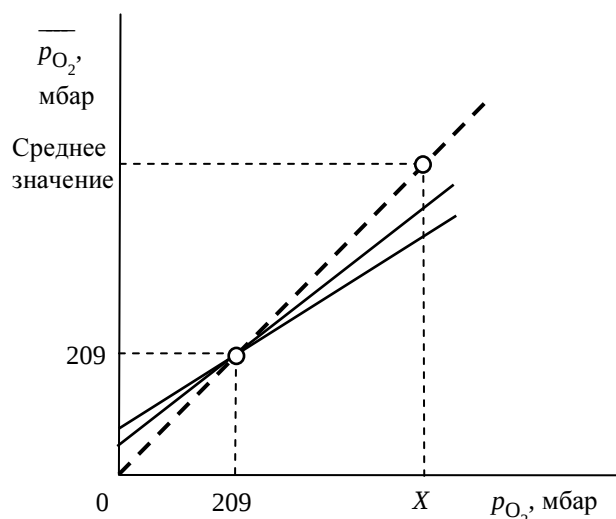


Рис. 2

оценки X осуществляется путем усреднения оценок, полученных от отдельных датчиков. Разброс усредняемых оценок не должен превышать 10 %. Штриховая линия на рис. 2 соответствует статической характеристике, построенной на основе двух точек – значения 209 мбар и оценки значения X .

13. Коэффициенты $V_{0,i}^{25}$, first и adj_i являются результатами калибровки и подлежат хранению для проведения последующих измерений парциального давления кислорода.

При определении парциального давления кислорода измеряется текущее значение ЭДС датчика V_i и температура θ , а затем искомая величина определяется на основании выражения

$$p_{O_2 i}(\theta) = \frac{\text{first} V_i(\theta)}{V_{0,i}^{25}[1 + 0.025(\theta - 25)]} + \text{adj}_i \text{first} \left(\frac{V_i(\theta)}{V_{0,i}^{25}[1 + 0.025(\theta - 25)]} - 1 \right). \quad (4)$$

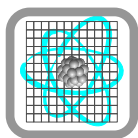
Выражение (4) является итоговым выражением для оценки парциального давления кислорода с помощью гальванических датчиков после калибровки по двум точкам: известной и неизвестной.

S. M. Pyko, S. A. Pyko

MEASURING OF PARTIAL PRESSURE OXYGEN WITH THE HELP OF GALVANIC SENSORS

The method improving the reliability of the oxygen partial pressure measuring is represented. The method is based on the correction of sensor sensitivity by using of additional measurements performed in a gas of unknown composition. The analysis of the total measurement error of the oxygen partial pressure is given. Method can be applied in critical for life systems for diving.

Rebreather, the partial pressure, sensor calibration, temperature compensation



УДК 621.38, 621.793, 533.9

В. Т. Барченко, Н. В. Крупович, С. Ю. Удовиченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАХ СИЛЬНОТОЧНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ, ВОЗБУЖДАЕМОГО В УСЛОВИЯХ ЛЕВОЙ ВЕТВИ КРИВОЙ ПАШЕНА

Представлена аналитическая модель сильноточной формы тлеющего разряда низкого давления с полым цилиндрическим катодом. Определено значение критического давления газа, ниже которого существование этой формы разряда становится невозможным. Показано, что в электростатической ловушке полого цилиндра значение минимального давления, обусловленное уходом быстрых электронов через апертуру полости, значительно ниже, чем найденное ранее в работе С. П. Никулина.

Полый катод, тлеющий разряд, сильноточный разряд, плазма низкого давления

Уменьшение давления газа в тлеющем разряде с холодным полым катодом позволяет значительно увеличить электрическую прочность и существенно расширить область практических применений разряда [1], [2]. В качестве наиболее общих требований, предъявляемых к плазменным эмиссионным системам, выступают минимизация удельных энергетических затрат на генерацию потока заряженных частиц или плазмы и максимально возможная газовая экономичность. Указанным требованиям в наибольшей степени можно удовлетворить при использовании газоразрядных систем, функционирующих в условиях средних или низких давлений плазмообразующего вещества. Тлеющий разряд низкого давления используется в широкоапертурных источниках ионов, нейтральных атомов и электронов, предназначенных для технологических целей. Для того чтобы использовать сильноточный тлеющий разряд без магнитного поля для модификации поверхности в промышленных вакуумных установках, необходимо уменьшить его рабочее давление до 10^{-3} Торр и ниже.

Охватывающий разрядную плазму полый катод является для эмитированных катодом электронов электростатической ловушкой, и нижнее рабочее давление разряда определяется их уходом через апертуру потерь.

Для разряда с плоским катодом [3], отражательного разряда [4] и комбинированного отражательного разряда с полым катодом [5] построена физическая модель, в то время как она отсутствует для разряда с цилиндрическим полым катодом. Результаты работы [6] можно

считать неудовлетворительными, поскольку в ней представлена одномерная модель тлеющего разряда с полым катодом в длинной трубке и полагается равной нулю плотность потока быстрых частиц на торцевой части катода, являющейся источником эмиссии электронов.

Целью настоящей статьи является построение аналитической модели сильнооточной формы разряда с осцилляцией электронов в электростатической ловушке цилиндрического полого катода в продольном магнитном поле и в его отсутствие. На основе рассчитанных характеристик разряда будут найдены условия его самоподдержания, позволяющие определить минимальное напряжение горения и нижнюю границу рабочего диапазона давления, требуемую для обеспечения электрической прочности ускоряющего промежутка в источниках заряженных частиц и применения этих источников в различных технологических процессах.

Модель сильнооточного разряда. Рассмотрим задачу в цилиндрической системе координат. Катод представляет собой цилиндр радиуса R , закрытый с одной стороны торцевой поверхностью. С другого торца находится анод. Продольная координата анода $z = 0$, а торца катода $z = L$. Однородное магнитное поле B направлено вдоль оси z . Исследуется только стационарный сильнооточный режим, когда все падение напряжения сосредоточено в тонком прикатодном слое пространственного заряда ионов, а межэлектродное пространство занято положительно заряженной плазмой. В прикатодном слое формируется поток быстрых электронов с энергией, соответствующей напряжению горения разряда U . Эти электроны со скоростью $v_f(R) = v_{fr} = (2eU/m)^{1/2}$ поступают в квазинейтральную слабоионизованную плазму и поддерживают необходимый уровень ионизации газа. Медленные электроны плазмы не способны производить ионизацию атомов и обеспечивают разрядный ток на анод. Модель не учитывает возвращение в катодный слой разряда и размножение в нем быстрых электронов.

Проанализируем условия поддержания разряда, считая, что перенос быстрых электронов по радиусу и вдоль оси цилиндра происходит в диффузионном режиме, а влиянием на движение быстрых частиц слабого электрического поля, имеющегося в квазинейтральной плазме, можно пренебречь. Запишем двумерные уравнения непрерывности и движения быстрых электронов вместо одномерных [6]:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r n_f v_{fr}) - \frac{d}{dz} (n_f v_{fz}) = -\frac{n_f}{\tau_f} + \gamma v_i n_f; \quad (1)$$

$$n_f v_{fr} = -D_{fr} \frac{dn_f}{dr}; \quad n_f v_{fz} = D_{fz} \frac{dn_f}{dz}, \quad (2)$$

где n_f , v_{fr} , v_{fz} , $\tau_f = eU/v_i W$ – концентрация, радиальная и продольная скорости и характерное время релаксации быстрых электронов соответственно (v_i – частота ионизации; W – энергия, затрачиваемая быстрым электроном на ионизацию атома газа); γ – эффективный коэффициент ионно-электронной эмиссии; $D_{fr} = eU_c v_{f0} / 3m(\omega_{Be}^2 + v_{f0}^2)$ и $D_{fz} = eU_c / 3m v_{f0}$ – коэффициенты диффузии быстрых частиц поперек и вдоль оси цилиндра соответственно (v_{f0} – частота их упругих столкновений с атомами; $\omega_{Be} = eB/m$ – ларморовская частота).

В уравнении (1) первый член в правой части учитывает то, что по истечении времени релаксации быстрый электрон теряет способность к ионизации и переходит в группу медленных плазменных электронов. Второй член описывает появление новых быстрых электронов в объеме за счет ионно-электронной эмиссии.

Знаки членов уравнений (1) и (2), содержащих производные, выбраны в соответствии с тем, что результирующий поток быстрых электронов движется вдоль положительного направления оси r , а поток в продольном направлении к аноду – против положительного направления оси z .

Подстановка (2) в (1) дает следующее уравнение второго порядка для концентрации быстрых электронов n_f :

$$D_{fr} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dn_f}{dr} \right) + D_{fz} \frac{d^2 n_f}{dz^2} = \frac{n_f}{\tau_f} - \gamma v_i n_f. \quad (3)$$

Данному уравнению удовлетворяет решение

$$n_f = n_{f0} J_0(r/\lambda_{fr}) \operatorname{sh}(z/\lambda_{fz}), \quad (4)$$

в котором спадающая от оси цилиндра функция Бесселя нулевого порядка J_0 описывает накопление быстрых частиц в объеме электростатической линзы из-за их отражения от высокого потенциала катода, а $\operatorname{sh}(z/\lambda_{fz})$ – решение для разряда с плоским катодом [3], удовлетворяющее нулевому граничному условию на аноде. Однородная эмиссия электронов вдоль боковой поверхности цилиндра не изменяет распределения их концентрации вдоль оси z , найденного для случая плоского катода. Диффузионные длины λ_{fr} и λ_{fz} , определяющие масштаб перемещения быстрого электрона с энергией eU поперек и вдоль магнитного поля, связаны соотношением, следующим из (3):

$$\frac{D_{fr} \tau_f}{\lambda_{fr}^2} - \frac{D_{fz} \tau_f}{\lambda_{fz}^2} = \gamma v_i \tau_f - 1. \quad (5)$$

Из соотношения (5), являющегося аналогом (3), следует, что радиальный и продольный потоки быстрых электронов уравниваются друг друга, и из-за длительных осцилляций частиц в электростатической ловушке могут значительно превосходить поток, создаваемый за счет эмиссии электронов с поверхности катода. Этим обстоятельством определяется выбор собственной функции цилиндра $n_f(z) \sim \operatorname{sh}(z/\lambda_{fz})$ вместо функции $\sin(z/\lambda_{fz})$ [6].

Используя граничное условие для потока быстрых электронов на боковой поверхности цилиндра $(n_f v_{fr})_R = \gamma n_{iR} v_s$, с помощью (2) найдем радиальное распределение быстрых частиц:

$$n_f(r) = \frac{\gamma n_{iR} v_s \lambda_{fr}}{D_{fr}} \frac{J_0(r/\lambda_{fr})}{J_1(R/\lambda_{fr})}, \quad (6)$$

где n_{iR} – граничная плотность ионов; v_s – «бомбовская» скорость или скорость звука, с которой ионы выходят из области квазинейтральной плазмы на катод; J_1 – функция Бесселя первого порядка.

Выражение для λ_{fr} можно получить, приравняв концентрацию быстрых электронов (4) на боковой поверхности цилиндра величине $n_f(R) = -D_{fr} (dn/dr)_R / v_{fr}$, определяемой из (2):

$$\lambda_{fr} = \frac{D_{fr}}{v_{fr}} \frac{J_1(R/\lambda_{fr})}{J_0(R/\lambda_{fr})}. \quad (7)$$

В условиях эффекта электростатической ловушки, когда $\lambda_{fr} / R > 1$, для длины релаксации быстрых электронов в радиальном направлении получим выражение $\lambda_{fr} = (D_{fr} \tau_f / a)^{1/2}$, где параметр $a = 2v_{fr} \tau_f / R > 1$.

Коэффициент размножения плазменных электронов ($\alpha = eU_c / W$) связан с отношением тока быстрых электронов на аноде к полному току разряда ($\psi = I_{fa} / I$) следующим образом:

$$\alpha \approx \frac{1}{\gamma - \psi}. \quad (8)$$

Формула (8) является универсальной и не зависит от геометрии катода [5]. Ток быстрых электронов на катод определяется выражением

$$I_{fa} = 2\pi e \int_0^R \left(n_f v_{fr} \right)_{z=0} r dr = 2\pi e D_{fz} \text{ch}(L / \lambda_{fz}) J_1(R / \lambda_{fr}) R \lambda_{fr} / \lambda_{fz}, \quad (9)$$

где граничный поток находится с помощью (2). Медленные электроны, запертые в радиальном направлении, движутся вдоль оси цилиндра и переносят весь электронный ток I на анод. С учетом уравнения непрерывности для этих электронов получим:

$$I_{ea} = 2\pi e v_i \int_0^R \left(\int_0^L n_f dz \right) r dr = 2\pi e \left[\text{ch}(L / \lambda_{fz}) - 1 \right] J_1(R / \lambda_{fr}) R \lambda_{fr} \lambda_{fz}. \quad (10)$$

Уравнение, описывающее самоподдержание разряда, найдем, подставив выражения (9), (10) в (8):

$$\frac{\psi}{\gamma} = \frac{D_{fz}}{v_i \gamma \lambda_{fz}^2 [\text{ch}(L / \lambda_{fz}) - 1]} = \frac{1 - v_i \gamma \tau_f + 2v_{fr} \tau_f / R}{v_i \gamma \tau_f [\text{ch}(L / \lambda_{fz}) - 1]}. \quad (11)$$

Отметим, что условие (11) не содержит магнитное поле. Следовательно, основным фактором, ограничивающим снизу диапазон рабочего давления, является уход быстрых электронов через апертуру полости.

Введя переменные $\tilde{U} = U / U_0$ и $\tilde{p} = p / p_0$ – безразмерное давление газа, представим уравнение самостоятельности разряда (12) в виде

$$\frac{\tilde{p}}{\tilde{U}} \left(1 - u + \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{L \tilde{U}^{3/2}}{R \tilde{p} \gamma^{1/2}} \right)^{1/2} = \text{arch} \left(\frac{4}{\sqrt{3}} \frac{L}{R \tilde{p} \gamma^{1/2}} \frac{\tilde{U}^{3/2}}{\tilde{U} - 1} \right). \quad (12)$$

Здесь $U_0 = W / e\gamma$; $p_0 = (W / 3mv_{f0} v_i)^{1/2} / \gamma L$, где $v_{f0} \approx 2v_i$ (v_{f0} и v_i – эффективная и ионизационная частоты при давлении 1 Торр). В одномерном случае, когда $R \rightarrow \infty$, условие (12) переходит в $(\tilde{U} - 1)^{1/2} \tilde{p} / U = \text{arcsin} [\tilde{U} / (\tilde{U} - 1)]$, которому удовлетворяет функция [6] $n_f(z) \sim \sin(z / \lambda_{fz})$, где $\lambda_{fz} = [D_f \tau_f / (\gamma v_i \tau_f - 1)]^{1/2}$.

В расчете были приняты следующие количественные параметры разрядной ячейки: $L = 6 \dots 20$ см; $R = 0.5 \dots 2$ см; $\gamma = 0.1$; $W = 30$ эВ; сечения столкновений в аргоне $\sigma_0 = 2 \cdot 10^{-16}$ см², $\sigma_i = 10^{-16}$ см².

Для цилиндрического катода радиуса $R = 1$ см зависимость давления газа от напряжения горения разряда, определяемая соотношением (12), представлена на рис. 1. В трубке длиной $L = 6$ см критическое давление, ниже которого существование разряда становится невозмож-

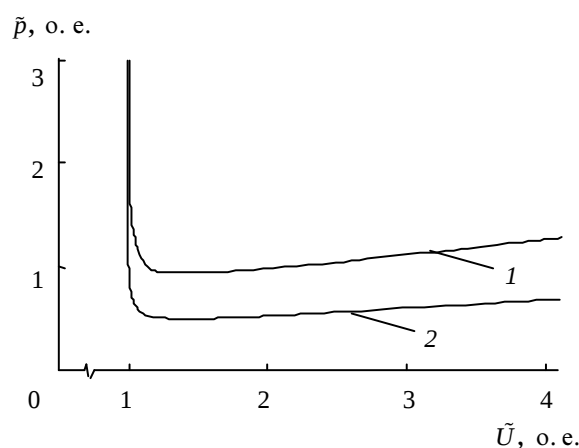


Рис. 1

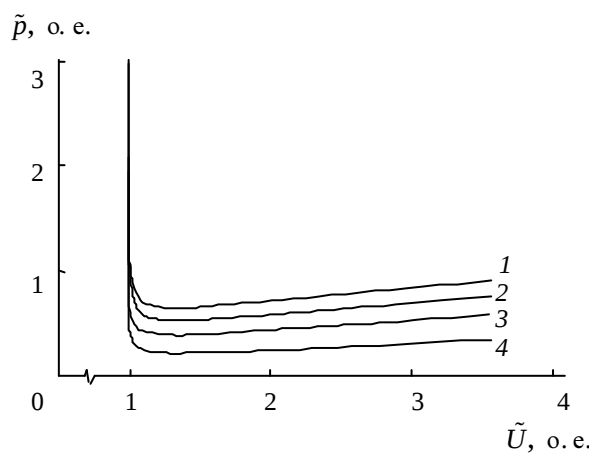


Рис. 2

ным, равно $p_{кр} \approx 0.88 p_0$, где $p_0 = 10^{-2}$ Торр, при этом $\tilde{U} = 1.18$. В трубке длиной $L = 20$ см $p_{кр} \approx 0.35 p_0$, где $p_0 = 0.3 \cdot 10^{-2}$ Торр, при $\tilde{U} = 1.57$. Отметим, что приведенный параметр p_0 в π раз меньше, чем найденный в работе [6].

Результаты работы [1] показывают, что уменьшение площади апертуры или анода облегчает условия горения разряда, т. е. приводит к уменьшению напряжения горения разряда и минимального давления газа. Однако уменьшать размеры апертуры или анода можно до определенного предела, когда начинается распад анодной плазмы двойного электростатического слоя.

Зависимость напряжения горения разряда (12) от давления газа в межэлектродном промежутке, при различных радиусах цилиндрического катода длиной $L = 20$ см представлена на рис. 2. Видно, что с уменьшением радиуса катода снижаются минимальные значения напряжения и давления. В трубке радиуса $R = 0.5$ см достигается $p_{мин} = 0.32 p_0$ при $\tilde{U} = 1.36$.

По результатам расчетов и построен-

ным кривым сделаны следующие выводы:

1. Основным механизмом, ограничивающим снизу давление газа в тлеющем разряде с полым цилиндрическим катодом в виде длинной трубки, так же как и в случае разряда с плоским катодом, является уход быстрых электронов через апертуру потерь.
2. В условиях однородной эмиссии электронов радиальная геометрия катода не влияет на потери этих электронов в продольном направлении через апертуру полости.
3. Наличие продольного магнитного поля не влияет на уход быстрых электронов по направлению к аноду, тем самым не ограничивает снизу давление газа в тлеющем разряде. С другой стороны, согласно выражению (6), магнитное поле влияет на радиальное распределение быстрых электронов в цилиндрической полости.
4. Критическое давление газа, ниже которого существование этой формы разряда становится невозможным, оказывается меньше, чем найденное в [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метель А. С. Расширение рабочего диапазона давлений тлеющего разряда с полым катодом // ЖТФ. 1984. Т. 54, вып. 2. С. 241–247.

2. Метель А. С. Особенности установления квазистационарного состояния сильнотоочного тлеющего разряда с полым катодом при пониженных давлениях газа // ЖТФ. 1986. Т. 56, вып. 12. С. 2329–2339.
3. Никулин С. П. Условия существования положительно заряженной структуры в тлеющем разряде с осцилляцией электронов в магнитном поле // ЖТФ. 1998. Т. 68, вып. 7. С. 56–63.
4. Зюлькова Л. А., Козырев А. В., Проскуровский Д. И. Расчет параметров сильнотоочного отражательного разряда с горячим катодом // ЖТФ. 2005. Т. 75, вып. 11. С. 59–64.
5. Козырев А. В. О напряжении горения сильнотоочного разряда низкого давления // Тр. III междунар. Крейнделевского семинара «Плазменная эмиссионная электроника», Улан-Удэ, 23–30 июня 2009 г. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. С. 5–9.
6. Никулин С. П. Тлеющий разряд с полым катодом в длинных трубках // ЖТФ. 1999. Т. 69, вып. 6. С. 36–39.

V. T. Barchenko, N. V. Krupovich, S. Yu. Udovichenko

MODELING THE HIGH-VAC GLOW DISCHARGE WITH HOLLOW CATHODE EXCITED IN THE LEFT BRANCH OF THE PASCHEN CURVE

The analytical model of high-current form of the glow discharge of the low pressure with hollow cylindrical cathode is presented. An amount of critical gas pressure was estimated, below which the existence of this form of glow discharge becomes impossible. It was shown that in an electrostatic trap of the hollow cylinder the value of the minimum pressure, caused by leaving high-speed electron through the aperture of a cavity, much lower, than that found earlier in S. P. Nikulin.

Hollow cathode, glow discharge, high-current discharge, low pressure plasma

УДК 621.315.592

**К. М. Крупальник, Н. А. Корнилов,
Т. А. Кондратьева, А. А. Морозова**

МАНИПУЛЯТОР ОБРАЗЦА ДЛЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО НАПЫЛЕНИЯ

Рассмотрены особенности конструкции различных типов манипуляторов образца для установок электронно-лучевого напыления покрытий. Предложена экспериментальная конструкция манипулятора, позволяющая в ходе процесса влиять на его параметры: скорость и однородность напыления. Технологические параметры были экспериментально подтверждены на оборудовании компании «Закрытое акционерное общество “Научное и технологическое оборудование”» (ЗАО “НТО”, торговая марка SemiTEq).

Электронно-лучевое напыление, осаждение покрытий, физическое осаждение

Конструкции манипуляторов образца для установок электронно-лучевого напыления. Электронно-лучевое напыление является одним из наиболее распространенных способов физического осаждения материалов наряду с магнетронным и термическим распылением [1]. В том числе установки электронно-лучевого напыления используются в технологическом цикле при создании различных приборов микроэлектроники. Технология электронно-лучевого напыления применяется при создании металлизации контактов различных приборов в ходе проведения технологических операций планарного постростового цикла. Установки электронно-лучевого напыления позволяют осаждать металлические многослойные тонкопленочные покрытия в условиях высокого и сверхвысокого вакуума.

Компоновка традиционной системы электронно-лучевого напыления заключается в размещении электронно-лучевого испарителя по центру вакуумной камеры на ее дне, при этом образцы размещаются над испарителем на стационарном держателе [2]. Кварцевые

резонаторы, используемые для измерения скорости осаждения материалов на образец и толщины напыляемого покрытия, обычно располагают рядом с держателем образца. Для вычисления абсолютных значений скорости напыления и толщины покрытия вводят поправочные коэффициенты, отвечающие за различия в пространственном расположении образца и датчика внутри вакуумной камеры.

Недостатками данной конструкции являются низкая однородность осаждаемых покрытий и невозможность изменения параметров системы для осаждения пленок различных материалов. Такие системы возможно использовать только в случае осаждения пленок единственного типа материала.

Типичным применением установок электронно-лучевого напыления является осаждение многослойных металлических покрытий [3]. В этом случае для увеличения однородности напыляемого многослойного покрытия в конструкции манипулятора образца предусматривают возможность вращения держателя образца и его перемещения вдоль вертикальной оси в ходе процесса напыления. Вращение обеспечивает увеличение однородности осаждения покрытия по всей площади держателя, а перемещение по вертикальной оси служит для оптимизации положения держателя относительно формы факела распыления конкретного материала. Перемещение держателя образца в «оптимальное» относительно формы факела положение позволяет дополнительно повысить однородность осаждаемого покрытия, увеличить скорость напыления, в некоторых случаях оптимизировать расход испаряемого материала.

В конструкции таких манипуляторов кварцевые резонаторы для измерения скорости осаждения материалов и толщины напыляемого покрытия имеют встроенную систему водяного охлаждения, линии которой выполнены из металлических трубок для использования внутри вакуумной камеры. Такая конструкция вакуумного ввода кварцевого датчика фиксирует его положение в пространстве. В случае перемещения держателя образца по вертикальной оси необходимо вводить дополнительные поправочные коэффициенты для определения скорости напыления и толщины осаждаемого покрытия. При использовании манипулятора образца с возможностью перемещения вдоль вертикальной оси для напыления многослойных покрытий в исследовательских установках процесс подбора поправочных коэффициентов будет сводиться к проведению большого количества экспериментов.

Недостатком такой конструкции также является отсутствие дифференцированного подхода к обратной связи системы управления установкой, позволяющего корректировать технологические параметры в зависимости от напыляемого материала. Такая связь позволяет учесть особенности процесса напыления конкретного материала и правильным образом отреагировать на снижение однородности или скорости напыления.

Причины, вызывающие неоднородность напыления, для различных материалов отличаются. Например, в случае напыления титана при длительной остановке (фокусировке) электронного луча в одной точке мишени образуется глубокий кратер, который необходимо периодически заправлять при помощи системы сканирования электронного луча, используя материал на периферии тигля. В то же время при напылении более тугоплавких материалов для заправки кратера может быть недостаточно мощности электронного луча, в таком случае необходимо использовать иную стратегию сканирования (получения однородности осаждаемого покрытия). Напыление материалов с низкой температурой плавления также требует иного подхода к управлению электронным лучом, так как мате-

риал мишени легко расплавляется, создавая условия для хорошего теплоотвода от материала к стенкам тигля. Для успешного напыления необходимо, чтобы поверхность материала мишени, лежащей в тигле, имела вид капли, при этом теплоотвод через боковые стенки мишени должен быть минимальным. Стратегия поддержания однородной скорости напыления для таких материалов сводится к периодическому расплавлению наростов на стенках тигля, не соприкасающихся с материалом мишени.

Таким образом, можно сформулировать ряд требований, которым должен соответствовать манипулятор образца установки электронно-лучевого напыления, чтобы установка имела возможность осаждения многослойных покрытий различных материалов с повышенной однородностью и скоростью, оптимальным расходом материала, без необходимости дополнительной подстройки системы перед каждым процессом. Во-первых, манипулятор должен обеспечивать возможность вращения и перемещения держателя образцов относительно вертикальной оси. Во-вторых, кварцевые датчики должны быть расположены таким образом, чтобы их геометрическое положение соответствовало положению держателя образцов. В-третьих, должна быть предусмотрена система дифференцированного управления движением манипулятора.

Экспериментальная конструкция манипулятора образца. Как было отмечено, основным недостатком большинства манипуляторов образца для установок электронно-лучевого напыления является необходимость проведения многократных экспериментов для определения необходимых коэффициентов для работы кварцевых датчиков измерения толщины при использовании дополнительных степеней свободы держателя, таких как вращение, перемещение по вертикальной оси. Авторами данной статьи была создана конструкция манипулятора, позволяющая осуществлять вращение держателя образца, его перемещение по вертикальной оси, а также обеспечивающая стационарное положение кварцевых датчиков во всех режимах работы. Кроме того, конструкция позволила дополнительно использовать нагреватель резистивного типа в составе манипулятора. Нагреватель позволяет производить прогрев держателя образцов до температуры 400 °С для обеспечения его очистки и дегазации. Нагреватель также работает во всех режимах работы манипулятора и может обеспечивать прогрев держателя образцов во время его вращения и перемещения по вертикальной оси.

На рис. 1 представлена экспериментальная конструкция манипулятора образца для установки электронно-лучевого напыления. На рисунке обозначены: 1 – образцы; 2 – корпус вакуумной камеры; 3 – держатель образцов; 4 – втулка; 5 – кольцо; 6 – сильфон; 7 – нижнее кольцо; 8 – фланец; 9 – шаговый двигатель; 10 – электронно-лучевой испаритель; 11 – металл; 12 – центральный кварцевый датчик; 13 – периферийные кварцевые датчики; 14 – кольцо; 15 – стакан; 16 – жесткие связи; 17 – подшипник; 18 – втулка; 19, 20 – шестерни; 21 – вал; 22 – вал шагового двигателя; 23 – шаговый двигатель; 24 – крышка; 25 – втулка; 26 – катодный блок испарителя; 27 – процессор; 28 – магистраль; 29 – нормальный факел распыления; 30 – смещенный факел распыления; 31 – патрубок для вакуумного насоса; 32 – магистраль системы обратной связи.

Устройство работает следующим образом. Патрубок 31 корпуса 2 соединяют с системой создания вакуума и обеспечивают необходимую степень вакуума в вакуумной камере, в данном примере, не более $1 \cdot 10^{-6}$ Па. Поток электронов, создаваемый катодным блоком 26, направляют на испаряемый металл 11, при этом в нормальной ситуации возникает симметричный

продольной оси подложкодержателя 3 факел 29 распыления металла 11, который равномерно осаждается на поверхности подложек 1. Для большей равномерности нанесения покрытия с помощью электродвигателя 23 осуществляют вращение подложкодержателя 3 относительно его вертикальной оси. Вращение от двигателя 23 к подложкодержателю 3 передается через вал 21, шестерни 19, 20, подшипник 17 и жесткие связи 16.

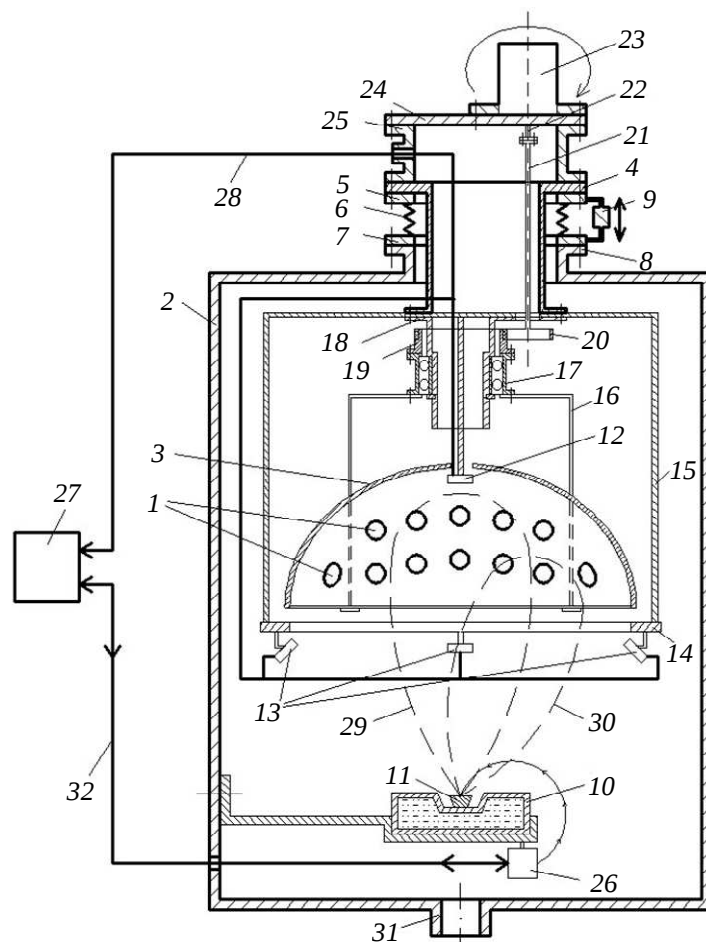


Рис. 1

При использовании различных металлов, каждый из которых имеет определенную форму факела распыления, осуществляют возвратно-поступательные перемещения подложкодержателя 3, изменяя тем самым его расстояние до электронно-лучевого испарителя 10 с учетом формы и размеров факела. Для этого с помощью шагового электродвигателя 9 сжимают или разжимают сильфон 6, опуская или поднимая втулку 4, с которой через связи 16, подшипник 17 и втулку 18 жестко связан подложкодержатель 3.

Изменения формы и размеров факела и его отклонение от вертикальной оси (позиция 30 на чертеже) фиксируются датчиками 12, 13, и соответствующая информация по магистрали 28 поступает в процессор 27, из которого соответствующий сигнал по магистрали 32 поступает в блок 26. По этой же магистрали 32 из блока 26 в процессор 27 постоянно поступает информация о текущих параметрах работы блока 26. В соответствии с сигналом от процессора 27 блок 26 меняет отклонение, фокусировку, интенсивность потока электронов, попадающего на металл 11, благодаря чему обеспечивается оптимальная форма факела и его положение относительно подложкодержателя 3.

Включение-выключение электрических двигателей 9, 23 может осуществляться непосредственно оператором или автоматически с помощью блока включения-выключения двигателей, вход которого соединен с выходом процессора 27, а выход – с цепями питания двигателей (на рисунке не показано).

Как было отмечено, алгоритм сканирования и параметры работы манипулятора меняются в зависимости от типа испаряемого материала. В данном случае, в зависимости от свойств, авторами статьи было предложено разбить типичные материалы, используемые для создания контактной металлизации приборов микроэлектроники, на несколько групп (за температуру напыления взята температура, при которой давление насыщенного пара материала составляет 10^{-2} мбар):

- 1) тугоплавкие материалы с температурой плавления выше 2000°C (Mo, W, Pt, Ta, Nb);
- 2) материалы, склонные к сублимации при напылении (Ti, Cr);
- 3) материалы с низкой температурой плавления, менее 1500°C , и высокой теплопроводностью (Au, Cu, Al, Ag);
- 4) материалы с низкой температурой напыления и низкой теплопроводностью (Ge, In), а также материалы со средней температурой плавления – от 1500 до 2000°C (Pd, Ni, V).

Для всех материалов осуществляется непрерывный мониторинг скоростей напыления. Система автоматически поддерживает заданную скорость напыления, увеличивая при необходимости ток электронного луча. При выходе за пределы допустимого значения тока (программно заданного для каждого материала), а также при изменении скорости напыления для любого из датчиков и значения однородности, заданного пользователем (по умолчанию 10%), включается режим выравнивания скорости, заключающийся в сканировании луча по поверхности мишени в определенном режиме. Режим зависит от выбранного пользователем материала. Для каждой из групп материалов, определенных ранее, режим сканирования имеет следующие отличия:

- 1) медленное сканирование (2 об/мин) по кругу диаметром не более $1/2$ мишени вокруг центра мишени в течение 2 мин с последующей остановкой сканирования и продолжением напыления в точке остановки луча;
- 2) медленное сканирование (2 об/мин) по кругу диаметром не более $1/2$ мишени вокруг центра мишени в течение 2 мин с последующей остановкой сканирования и продолжением напыления в центре мишени;
- 3) сканирование со скоростью 4 об/мин по кругу диаметром не менее $3/4$ мишени вокруг центра места напыления в течение 2 мин с последующим сканированием со скоростью 2 об/мин по кругу диаметром $1/2$ мишени с последующей остановкой сканирования и продолжением напыления в точке остановки луча;
- 4) медленное сканирование (2 об/мин) по кругу диаметром не более $1/2$ мишени вокруг центра мишени в течение 2 мин с последующей остановкой сканирования и продолжением напыления в точке остановки луча.

Преимуществом такой конструкции манипулятора является сочетание конструктивного, программного и технологического подходов к решению проблемы неоднородности скорости напыления в установках электронно-лучевого напыления. Конструкция позволяет повысить воспроизводимость параметров процесса напыления, снизить время процесса, оптимизировать

режимы напыления материалов. Кроме того, конструкция позволяет продлить срок службы тигля и, если используется, проставки в тигль для электронно-лучевого напыления, предотвратить повреждение тигля в результате образования сквозного отверстия в мишени, что в целом позволяет повысить надежность установок электронно-лучевого напыления.

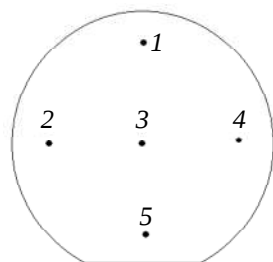


Рис. 2

При помощи макета экспериментальной конструкции манипулятора были проведены эксперименты по осаждению алюминия на кремниевые подложки (контактная система V–Al) при помощи заранее заданного алгоритма работы манипулятора в автоматическом режиме.

На рис. 2 представлена схема контрольных точек для измерения толщины покрытия. Результаты эксперимента сведены в таблицу.

Расстояние источник–подложка, мм	Распределения толщины пленки по пластине, Å						Примечание
	1	2	3	4	5	%	
250	4027	4276	4468	4380	4011	10	Задано минимальное расстояние
310	3413	3321	3520	3497	3582	7	Задано промежуточное расстояние
380	2348	2402	2400	2431	2452	4	Задано «оптимальное» расстояние

Полученные результаты эксперимента свидетельствуют о возможности проведения процесса напыления в автоматическом режиме по заранее заданной программе. Предложенная авторами настоящей статьи конструкция манипулятора образца позволяет осуществлять в автоматическом режиме процесс осаждения многослойных металлических покрытий за счет реализации сочетания конструктивного, программного и технологического подходов к решению проблемы неоднородности скорости напыления различных материалов.

Конструкция манипулятора образца для установки электронно-лучевого напыления описана авторами работы в заявке № 2010148498/02(070071) на получение патента на полезную модель «Устройство для нанесения металлических покрытий на подложки». Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-03-00777-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минайчев В. Е. Нанесение пленок в вакууме. Кн. 6. М.: Высш. шк. 1989. С. 38.
2. Pat. US 4,588,942. Thickness monitoring system for intermittently exposing a quartz crystal to a material to be deposited / H. Kitahara. May 13.05.1986.
3. Correlation of contact resistance with microstructure for Au/Ni/Al/Ti/AlGaIn/GaN ohmic contacts using transmission electron microscopy / A. N. Bright, P. J. Thomas, M. Weyland et al. // J. Appl. Phys. 2001. Vol. 89. P. 3143.

K. M. Krupalnik, N. A. Kornilov, T. A. Kondratyeva, A. A. Morozova

SUBSTRATE MANIPULATOR FOR ELECTRON-BEAM DEPOSITION EQUIPMENT

Typical designs of substrate manipulators for electron-beam deposition equipment were examined. Experimental manipulator design with ability to increase deposition speed and uniformity was shown. Experimental results were shown using electron-beam deposition system by SemiTEq JSC.

Electron-beam deposition, deposition of coatings, physical deposition



УДК 37.014.1

А. А. Васильев, А. В. Горячев

АДАПТАЦИЯ КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛА К РАБОТЕ С ПРОЕКТНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ

Рассмотрен один из подходов к адаптации корпоративного портала к проектной документации. Представлена объектная модель системы.

Портал, корпоративный портал, документооборот, веб-компоненты, объектная модель

В настоящее время особое значение для процесса автоматизированного проектирования приобретает организация средств коллективного взаимодействия проектировщиков в процессе работы над проектом и внедрение систем электронного документооборота [1]. В качестве инструментального средства коллективного взаимодействия проектировщиков можно рассматривать корпоративный портал. Корпоративный портал – это некая основа, набор инструментов для объединения информации, людей и процессов в границах организации. Обычно корпоративный портал представляет собой единую защищенную точку доступа к информационным ресурсам предприятия, чаще всего в форме веб-интерфейса. Портал разрабатывается для объединения и персонализации информации через специализированные веб-компоненты.

Один из признаков корпоративного портала – децентрализованное управление его содержимым и возможность его оперативного пополнения. Характерные особенности портала: единая система аутентификации, связь функций и данных множества систем с помощью веб-компонентов и обеспечение навигации между ними, управление внешним видом среды конечными пользователями, возможность ограничения доступа пользователей к определенным типам контента и сервисов.

Среди распространенных продуктов, обеспечивающих такие функции, можно назвать Microsoft Sharepoint, IBM WebSphere, Oracle WebCenter, Ascensio System TeamLab, Alfresco. Все подобные системы тесно связаны с задачами документооборота. Однако по таким характеристикам, как масштабируемость, безопасность, возможность гибкой настройки различных конфигураций системы, тесная интеграция с продуктами Microsoft Office, Microsoft Sharepoint превосходит остальные системы.

Эта задача решена для документов, формируемых семейством продуктов Microsoft Office – Word, Excel, PowerPoint, Visio. Для них реализован удобный и быстрый механизм редактирования документа, находящегося в сетевом хранилище, при помощи офисных программ. В случае необходимости редактирования файла нестандартного для Sharepoint формата пользователь сталкивается с рядом сложностей и выполнением большого числа вспомогательных операций, отвлекающих его от основной работы. Таким образом, задача реализации удобного способа работы с файлами произвольного, «неофисного», формата, так же как и с документами Microsoft Office, является достаточно актуальной.

```

graph TD
    SPFarm[SPFarm] --> SPSite[SPSite]
    SPSite --> SPWeb[SPWeb]
    SPWeb --> SPWebApplication[SPWebApplication]
  
```



Веб-части SharePoint – это области, которые может редактировать пользователь, расположенные на веб-страницах SharePoint. С точки зрения конечного пользователя, веб-часть – это часть веб-страницы, которая может быть изменена самим пользователем с помощью интерфейса веб-браузера. С точки зрения разработчика веб-часть –

30

странице и т. д. с помощью среды SharePoint и/или ASP.NET. Веб-части могут быть добавлены или убраны со страниц автономно конечным пользователем с помощью их выбора в галерее сервера или опубликованной галерее. Веб-части могут быть многократно использованы на разных страницах и сайтах, тем самым упрощая разработку настраиваемых решений и их развертывание и поддержку.

Рис. 2

В большинстве случаев используются веб-части, и только в редких случаях необходимо взаимодействие с зонами веб-частей и элементом управления WebPartManager.

Для расширения функциональности меню файла файлового хранилища SharePoint используется клиентская объектная модель. Клиентская объектная модель (ОМ) SharePoint – набор библиотек и классов для получения данных через специальную объектную модель, которую можно считать элементом серверной объектной модели [4].

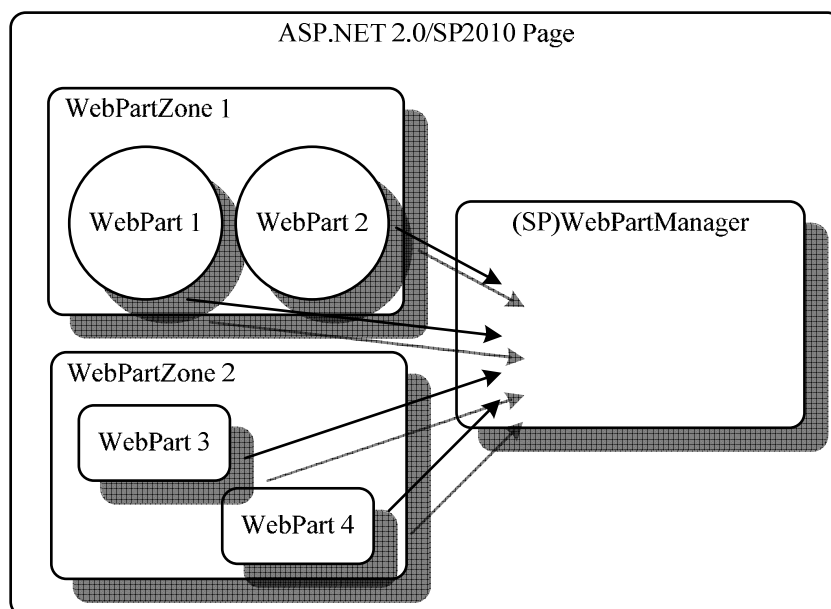


Рис. 3

Ключевое преимущество клиентской объектной модели заключается в поддержке множества платформ. Она может быть использована в любом .NET приложении – даже в решении Silverlight или в любом другом решении, которое поддерживает ECMAScript. Обе эти платформы используют новый WCF-сервис Client.svc. Сервис принимает XML-запросы и возвращает ответ в виде JSON-объектов [5].

Клиентская объектная модель SharePoint включает в себя 2 варианта. Одна модель работает с клиентами на основе .NET, такими, как Windows Forms, WPF или Silverlight, так как эти клиенты могут хранить результаты в .NET-объектах, в то время как в другой модели, ECMAScript/JavaScript, клиенты получают ответ в виде JSON. На рис. 4 показана работа клиентской объектной модели.

Одна из целей клиентской объектной модели – минимизация сетевого трафика. Клиентская ОМ собирает вместе все команды и отправляет их на сервер одновременно по запросу. Это минимизирует хождение данных по кругу, улучшает пропускную способность сети, используемую объектной моделью, и заставляет приложения работать быстрее. В добавок к этому, при использовании асинхронных запросов в работе с клиентской ОМ, пользовательский интерфейс не блокируется во время действий пользователя, что необходимо для работы веб-приложений [5].

Существует разница в пространствах имен объектных моделей .NET и ECMAScript. В случае добавления функционала интерфейсу-ленте с помощью скрипта объектная модель ECMAScript имеет пространство имен для ленты, а управляемая клиентская ОМ не имеет. Так, есть разница в принципе именования основных частей пространств имен. Например, для доступа к сайту с помощью .NET API используется объект Microsoft.SharePoint.Client.Site, а в ECMAScript – SP.Site.

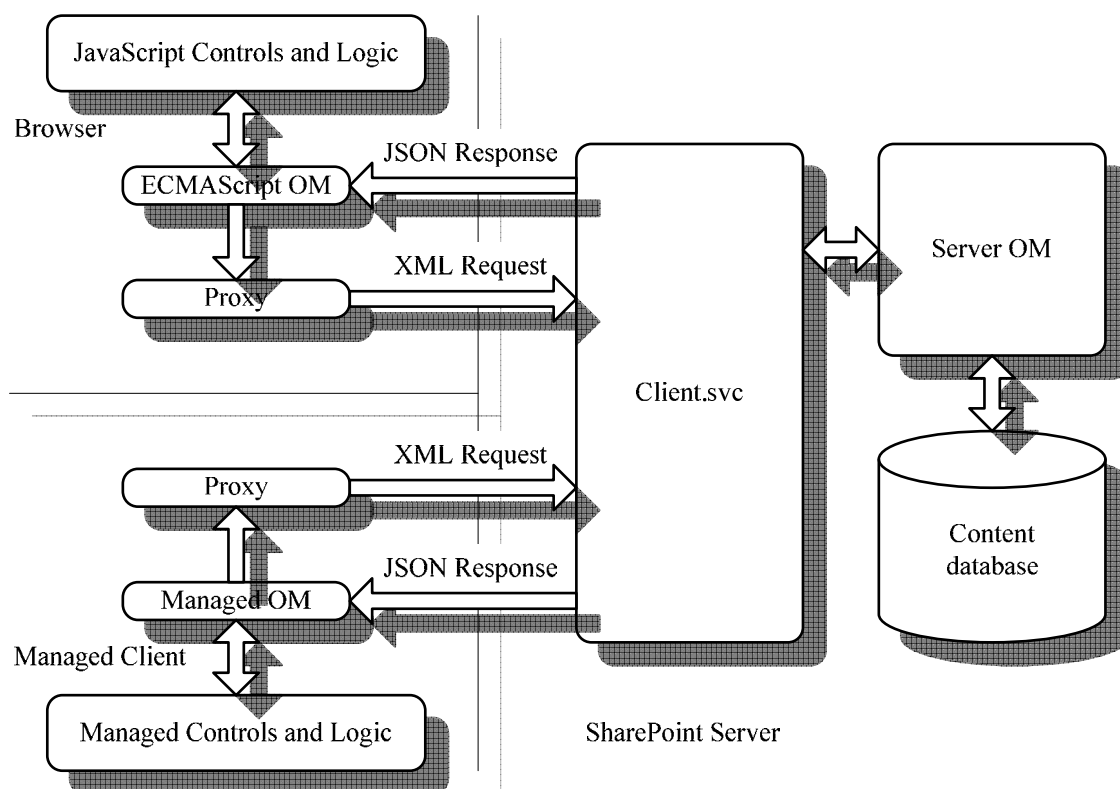


Рис. 4

Для реализации удобного способа работы с файлами произвольного формата была разработана веб-часть Lancher. На рис. 5 представлен результат работы пользовательского элемента управления, расширяющего функциональность меню файла файлового хранилища SharePoint. В частности, показана работа с файлом *.cdw. Файл с таким расширением представляет результат работы с конструкторскими документами системы Компас 3D. Аналогично решена задача управления файлами с расширениями *.dwg для системы AutoCAD.

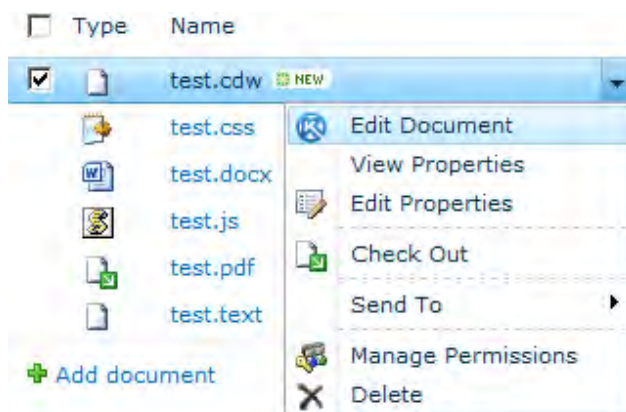


Рис. 5

Разработанный веб-компонент используется в составе системы работы с проектными и конструкторскими документами. К основным характеристикам системы можно отнести: обеспечение централизованного хранения проектных документов в системе хранения данных проекта, поддержку версионности, разграничение прав доступа к документам на основе ролей, протоколирование, фиксацию времени создания и изменения документов. Перечисленные характеристики системы дают возможность проектировщикам и конструкторам работать с конструкторскими документами в составе портала так же, как и с документами приложений Microsoft Office. Система реализована для Microsoft SharePoint Foundation 2010, являющейся бесплатным вариантом поставки технологий SharePoint в составе операционной системы Windows 2008 R2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячев А. В. Архитектура корпоративного портала проектной организации. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2010. №. 9. С. 51–56.
2. Holland C. SharePoint 2010 Web Applications. The Complete Reference. McGrawHill, 2011.
3. Professional SharePoint 2010 Development / T. Rizzo, R. Alirezaei, P. J. Swider et al. Wiley Publishing, Inc., 2010.
4. Pialorsi P. Microsoft SharePoint 2010 Developer Reference. O'Reilly Media, Inc., 2011.
5. Fox S. Beginning SharePoint 2010 Development. Wiley Publishing, Inc., 2010.

A. A. VASILIEV, A. V. GORYACHEV

ADAPTATION OF THE CORPORATIVE PORTAL TO DESIGN-DRIVEN DOCUMENTS

The approach to adaptation of the corporative portal to design-driven documents is considered. The system object model is described.

Portal, enterprise portal, documents circulation, web-parts, object model

УДК 338.26

С. А. Митягин

ПЛАНИРОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ДАННЫХ

Исследуется задача планирования социологических исследований и профилактических мероприятий на территории региона с целью повышения их эффективности. Также рассматривается использование методов планирования регрессионного эксперимента с коррелированными наблюдениями при организации общественной деятельности по противодействию распространению наркомании в регионе. Приводятся примеры визуализации и анализа результатов с использованием геоинформационных систем.

План эксперимента, социологические исследования, мониторинг наркоситуации, организация профилактических мероприятий

Работа с населением является важнейшим аспектом противодействия незаконному обороту наркотиков наравне с лечением, реабилитацией и действиями правоохранительных органов [1]. Рассмотрим подходы к планированию работы с населением на основе данных анализа официальной статистики мониторинга наркоситуации в регионе. Данная задача входит в круг задач по информационной поддержке принятия управленческих решений при организации профилактических мероприятий. Очевидно, что определенное неравенство сегментов территории (районов города) влечет различие в подходах к организации мероприятий первичной профилактики [2].

В данный момент наблюдается определенный разрыв между анализом данных официальной статистики и организацией мероприятий первичной профилактики. Организаторы в своей работе руководствуются в большей степени личным опытом. В предлагаемой статье рассмотрены вопросы создания методического инструментария организации подобной деятельности.

Любое профилактическое мероприятие определяется местом проведения, целевой аудиторией или планируемым охватом, которые в свою очередь следуют из общей ситуации в данной области. Также представляют интерес вопросы оптимального в некотором смысле планирования профилактических программ, например выбор наилучшего места проведения мероприятия и целевой аудитории. Так как широта охвата целевой аудитории напрямую зависит от лимита затрат на проведение мероприятий, то решается задача наилучшего охвата населения при наличии ограниченных средств.

Предположим, что имеется априорная информация о наркоситуации на территории, которая может включать данные о местах задержания по правонарушениям, связанным с незаконным оборотом наркотиков, местах распространения наркотиков по сообщениям населения, данные целевых социологических исследований и т. д. Все перечисленные особенности должны учитываться при составлении программ мероприятий.

Выделим 2 основных вопроса планирования профилактических мероприятий:

1. Комплексное планирование, в рамках которого предполагается определение оптимального плана проведения мероприятий на территории региона.

2. Выбор следующего оптимального места проведения мероприятия в условиях, когда общий план мероприятий уже составлен.

Таким образом, на основе мониторинговых данных и аналитических оценок строятся предложения и рекомендации к организации такого важного раздела деятельности по предотвращению незаконного оборота наркотиков, как первичная профилактика.

Оптимальное расположение мест проведения мероприятий. Данная задача является разновидностью задачи оптимального размещения и может быть решена методами теории планирования эксперимента [3]. Каждое мероприятие m_i представляется как точка на территории региона $m_i(x, y) \in E \subset R^2$. Применяется двухфакторная аддитивная модель измерений с коррелированной структурой

$$y_i = f(\theta, m_i) + \varepsilon_i,$$

где y_i – измерения в точке i , например численность целевой аудитории; $m_i \in E$ – координаты точки проведения мероприятия на плоскости. Областью планирования E является территория региона или района. Ошибки измерений $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ имеют нулевое среднее $M\varepsilon_i = 0$ и дисперсионную матрицу вида

$$D\varepsilon = \sigma^2 D_\varepsilon = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & & \rho_{2n} \\ & & \ddots & \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & & 1 \end{pmatrix}.$$

Вид дисперсионной матрицы считается известным, он задается в зависимости от вида корреляционных функций ρ_{ij} . Зададим корреляционную функцию следующего вида:

$\rho_{ij} = \lambda^{|m_i - m_j|}$ [4], [5]. Таким образом, наблюдения, расположенные вблизи друг от друга, будут иметь большую корреляцию, чем расположенные далеко, что отражает реальную ситуацию на территории.

Пользуясь D -оптимальным планированием, определим наилучшее расположение мероприятий на территории. Будем предполагать, что функции $f_i(m)$ являются степенными полиномами. Таким образом, рассматриваются линейные по параметрам модели. Для данной задачи это оправданно, так как они позволяют оценить места максимумов и минимумов поверхности отклика, что является одной из задач мониторинга. Число мероприятий

$m_1, m_2, \dots, m_N$, как правило, ограничено лимитом средств на проведение первичной профилактики. Таким образом, ставится задача нахождения оптимального плана размещения измерений в классе N -точечных оптимальных планов.

Согласно критерию D -оптимальности будем выбирать такие положения m_i , чтобы выполнялось условие

$$\xi(m) = \arg \min \{ |(X^T D_\varepsilon^{-1} X)^{-1}| \},$$

где $X^T D_\varepsilon^{-1} X = M$ – информационная матрица Фишера; матрица частных производных, или матрица планирования

$$X = \begin{pmatrix} f_1(x_{11}) & \cdots & f_p(x_{1p}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_1(x_{n1}) & \cdots & f_p(x_{np}) \end{pmatrix}$$

имеет полный столбцовый ранг [4]. Другими словами, требуется определить места проведения профилактических мероприятий, максимизирующие определитель информационной матрицы Фишера.

Рассмотрим пример: необходимо разместить $N = 20$ мероприятий на территории города. Используется регрессионная модель вида [6], [7]

$$y_i = \theta_1 + \theta_2 m_x + \theta_3 m_y + \theta_4 m_x^2 + \theta_5 m_y^2 + \theta_6 m_x m_y + \varepsilon_i,$$

тогда матрица планирования будет иметь вид

$$X = \text{stack}\{1 \quad m_{xi} \quad m_{yi} \quad m_{xi}^2 \quad m_{yi}^2 \quad m_{xi}m_{yi}\}.$$

Параметр корреляции $\lambda = 0.7$, что соответствует наличию довольно сильной корреляции между точками. Результат размещения точек согласно максимизации критерия D -оптимальности приведен на рис. 1.

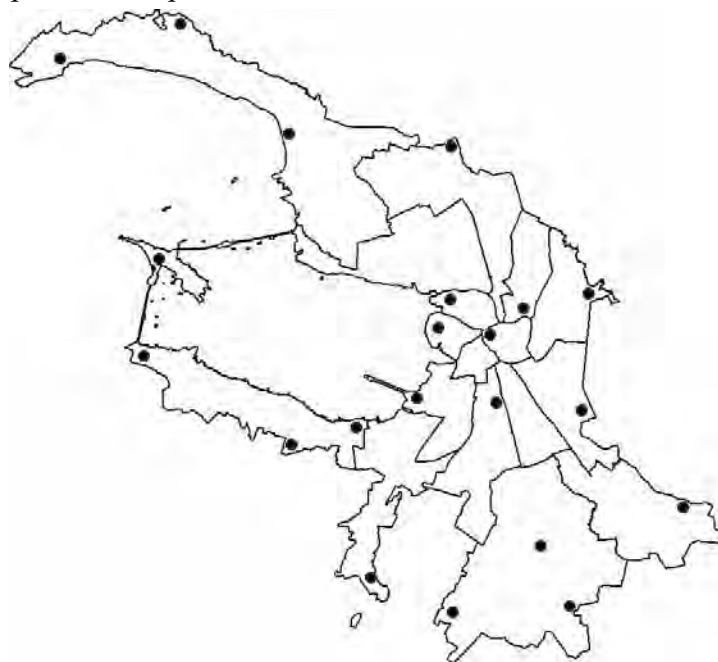


Рис. 1

Полученный план иллюстрирует применение достаточно простой модели регрессии, однако и в этом случае можно говорить о степени охвата территории региона профилактическими мероприятиями. Из рисунка видно, что точки распределились равномерно по периметру области планирования, а часть точек попала в центр области. Данный результат согласуется с общими результатами построения планов эксперимента с коррелированными наблюдениями [4], [5], [8].

Использование априорной информации о территории. В приведенном примере не учитывалась априорная информация о наркоситуации на территории, получаемая и оцениваемая посредством проведения мониторинга наркоситуации. Однако, как известно [9], существует определенная неоднородность сегментов территории в плане угрозы распространения наркомании, и эту особенность необходимо учитывать при планировании проведения профилактических мероприятий.

Таким образом, определим множество точек $z_i(x, y) \in E \subset R^2$ как точки, в которых зафиксирована некоторая напряженность. Данные точки могут быть получены посредством обращений граждан, социологических исследований, данных правоохранительных органов. Пример расположения таких точек приведен на рис. 2.

Очевидно, что профилактические мероприятия должны в большей мере проводиться в тех районах, где зафиксировано наличие напряженности. С целью моделирования данного эффекта значение дисперсии в точке m_i определяется как мера удаленности точки от ближайшей точки z_i . Таким образом, дисперсионная матрица ошибок будет иметь вид

$$D\varepsilon = \sigma^2 D_\varepsilon = \sigma^2 \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & & \rho_{2n} \\ & & \ddots & \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & & \rho_{nn} \end{pmatrix},$$

где дисперсия в точке $\rho_{ii} = \gamma \|z_i - m_i\|$.

Результаты определения оптимального размещения точек проведения профилактических мероприятий с учетом точек напряженности на территории по критерию D -оптимальности приведены на рис. 3. Они наглядно демонстрируют адаптацию плана проведения профилактических мероприятий к данным о наличии напряженности на территории.

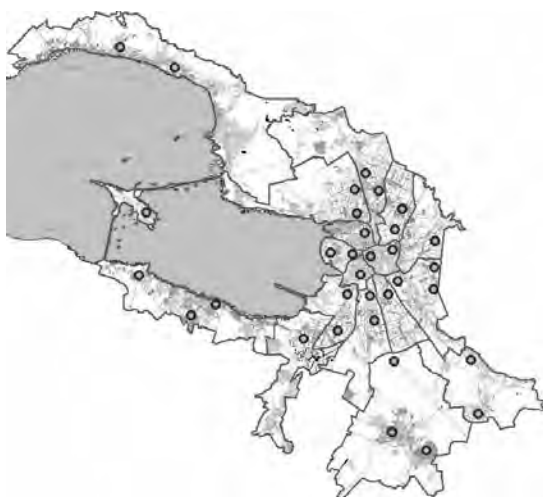


Рис. 2

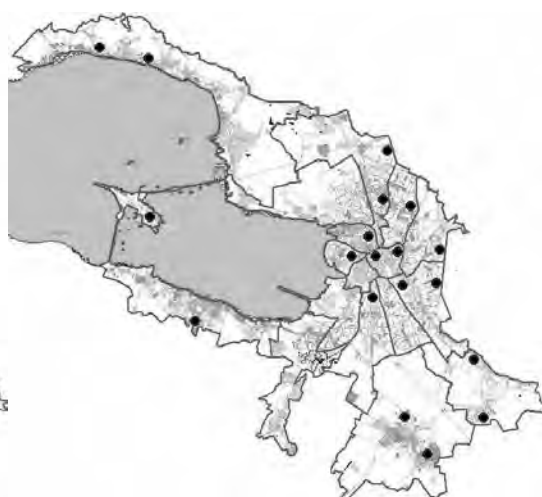


Рис. 3

Полученные данным способом точки проведения мероприятий m_i группируются схожим образом с точками z_i . Таким образом устанавливается взаимосвязь между данными мониторинга наркоситуации и организацией мероприятий первичной профилактики, что является важной задачей информационной поддержки принятия управленческих решений.

Последовательное планирование мероприятий. В ряде случаев нет необходимости строить полный план проведения профилактических мероприятий, так как места проведения можно определить заранее на основе требований нормативных документов или приказов.

Таким образом, задача сводится к поиску оптимального места проведения следующего мероприятия в условиях, когда план уже составлен. Основываясь на алгоритме, рассмотренном в [4], будем исходить из того, что следующая точка должна минимизировать функцию дисперсии отклика $d(m_{i+1}, \xi) = f^T(m_{i+1})M^{-1}f(m_{i+1})$, где M – информационная матрица Фишера.

Рассмотрим следующий пример: для положения точек, изображенного на рис. 3, требуется определить оптимальное положение еще одного мероприятия m_{21} .

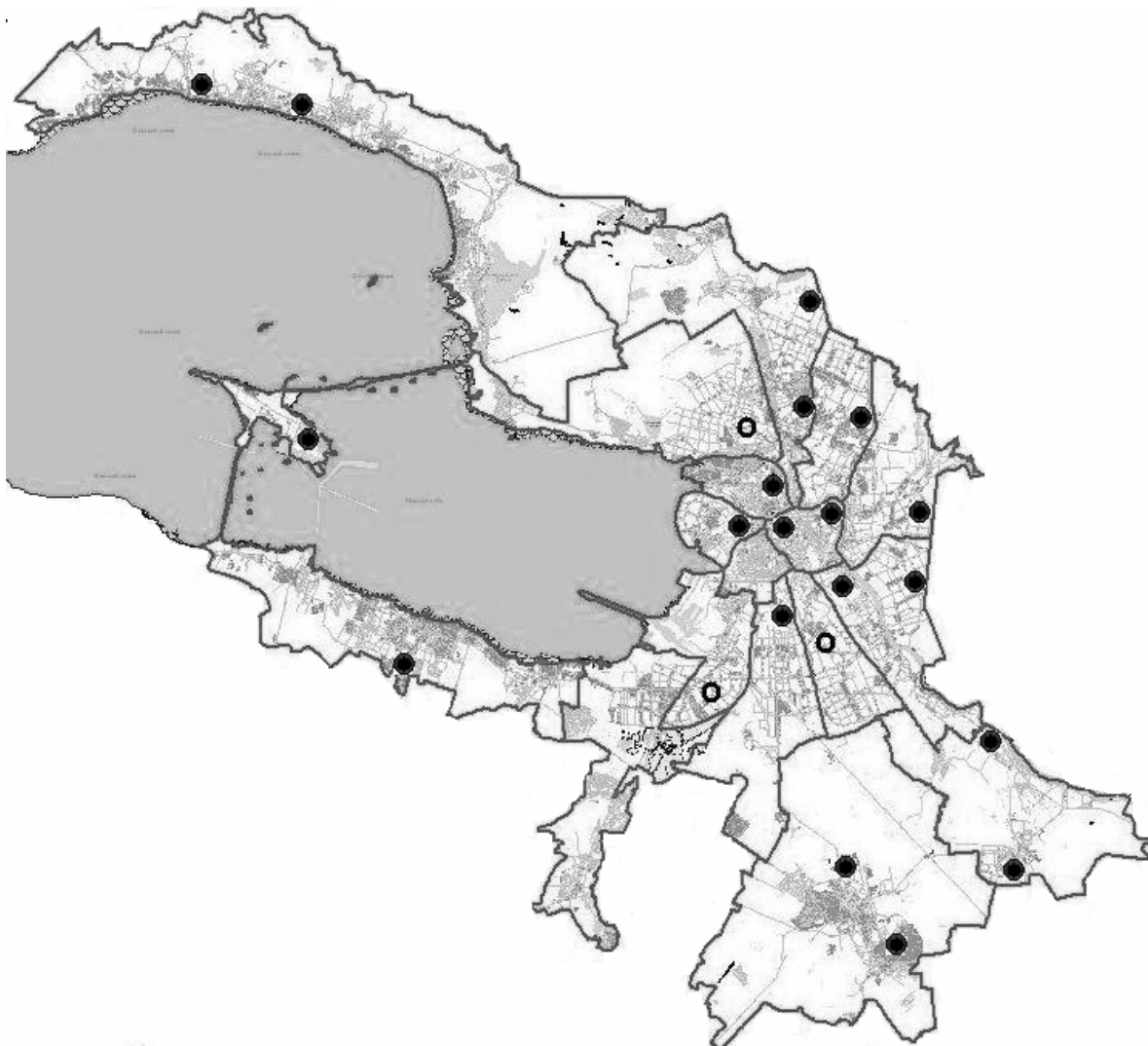


Рис. 4

В результате расчетов определены 3 локальных минимума функции дисперсии отклика, определяющие возможные положения точки m_{21} . Выбор конкретного места для проведения профилактического мероприятия остается за организатором или лицом, принимающим управленческие решения.

Таким образом, в данной статье описаны методы информационной поддержки принятия управленческих решений в области планирования, организации и проведения профилактических мероприятий и акций. Представлены результаты, включающие планы проведения мероприятий в Санкт-Петербурге. При этом учитывается наличие проблемных зон на территории региона и общая неоднородность населения города. Полученные результаты являются достаточно гибкими для применения на различных территориях и в условиях, когда ряд мероприятий определен заранее. Другим важным результатом является организация методического перехода между мониторингом официальных данных о наркоситуации на территории и выработкой рекомендаций к непосредственным исполнителям профилактических программ.

Необходимо отметить, что вследствие естественных ограничений описанные методы наиболее применимы в регионах с высокой плотностью населения. В случае использования ее на территории с низкой плотностью населения необходимо вводить дополнительные факторы, повышающие информативность каждого измерения.

Таким образом, предложенные методы позволяют связать данные мониторинга наркоситуации и проведение профилактических мероприятий, чем в некоторой степени ликвидируется разрыв между этими областями деятельности по противодействию незаконному обороту наркотиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубровский Р., Теплицкий В. Проект концепции координации системы профилактики наркомании в Российской Федерации // Наркология. 2009. № 12. С. 26–37.
2. Дубровский Р., Теплицкий В. Разработка и оценка эффективности целевых антинаркотических программ // Наркология. 2010. № 1. С. 23–30.
3. Бримкулов У. Н., Круг Г. К., Саванов В. Л. Планирование экспериментов при исследовании случайных процессов и полей. М.: Наука, 1986.
4. Федоров В. В. Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1971.
5. Sacks J., Ylvisaker D. Designs for regression problems with correlated errors. Part I // Ann. Math. Statist. 1966. 37, № 1. P. 66–89.
6. Иваненков В. В., Митягин С. А. Применение методов планирования эксперимента с коррелированными наблюдениями в задаче оценки наркоситуации в регионе // Сб. тр. 12-й Санкт-Петербургской междунар. конф. «РИ-2010», СПб., 2010. С. 44–45.
7. Иваненков В. В., Митягин С. А. Планирование социологических исследований с учетом корреляции наблюдений // Сб. тр. четвертого Санкт-Петербургского конгресса «Профессиональное образование, наука, инновации в 21 веке», СПб., 2010. С. 82–87.
8. Dette H., Kunert J., Pepelyshev A. Exact optimal designs for weighted least squares analysis with correlated errors // Statistica Sinica. 2008. 18. P. 135–144.
9. Наркология / Л. С. Фридман, Л. Ф. Флеминг, Д. Х. Робертс, С. Е. Хайман; Пер. с англ. 2-е изд., испр. М.; СПб.: БИНОМ – Невский диалект, 2000.

S. A. Mityagin

SOCIAL ACTIVITIES DESIGNING BASED ON MONITORING DATA

The article is about the design problem of sociological research and preventive measures in the region to improve their efficiency. Authors consider the using of design methods of regression experiments with correlated observations in social activities counter the spread of addiction in the region. In the article presents examples of visualization and analysis results using GIS.

Experiment design, social research, monitoring, preventive measures

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ДЛЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрен алгоритм имитации отжига и имитируемый им природный процесс. Предложен подход для применения алгоритма в задачах топологической оптимизации компьютерных сетей.

Алгоритм имитации отжига, комбинаторная оптимизация, природные алгоритмы, сетевая топология, структурная оптимизация

Важнейшей характеристикой компьютерной сети является ее топология. Различают физическую и логическую топологию. Физическая топология компьютерной сети – это способ организации физических связей между ее узлами. Конфигурация физических связей определяется электрическими соединениями компьютеров между собой и может отличаться от конфигурации логических связей между узлами сети. Логическая топология представляет собой маршруты передачи данных между узлами сети и образуется соответствующей настройкой коммуникационного оборудования.

Выбор топологии связей существенно влияет на многие характеристики сети. Например, наличие резервных связей повышает надежность сети и делает возможным балансирование загрузки отдельных каналов. Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть легко расширяемой. Экономические соображения часто приводят к выбору топологий, для которых характерна минимальная суммарная длина связи. Задача синтеза топологической структуры является одной из основных при проектировании компьютерной сети.

Большинство алгоритмов поиска маршрута с наименьшей стоимостью, применяющихся в компьютерных сетях, представляют собой вариации алгоритмов Дейкстры и Форда–Беллмана. Оба алгоритма являются комбинаторными. Для их реализации компьютерная сеть формально представляется графом, вершинами которого являются узлы сети, а ребрами – связи между ними. Пропускным способностям каналов соответствуют веса ребер в матрице смежности графа. Основной недостаток комбинаторных алгоритмов – время их выполнения, определяемое количеством узлов и связей. С ростом сетей эта проблема стала основополагающей причиной разработки новых подходов к топологической оптимизации.

Один из подходов к оптимизации сетевой топологии – использование *алгоритма имитации отжига*. Он относится к так называемым алгоритмам, инспирированным природными явлениями [1]. Эти алгоритмы имитируют физические явления, например имитацию отжига металлов, или поведение живых существ, например муравьиную колонию.

Алгоритм имитации отжига является вероятностным алгоритмом, применяемым для решения задач комбинаторной и дискретной оптимизации. В основу алгоритма положена имитация физического процесса, который происходит при переходе вещества из жидкого состояния в твердое.

В металлургии отжигом называется термическая обработка металла, заключающаяся в его нагреве до определенной температуры, выдержке и последующем – обычно медленном – охлаждении. Нагрев металла приводит к увеличению энергии его ионов и, соответ-

ственно, скорости диффузии. При этом ионы, не занимающие правильное место в кристаллической решетке, стремятся занять его. Естественно, что это ведет к уменьшению внутренних напряжений в металле – а значит, к повышению прочности, улучшению структуры и повышению однородности металла.

В начале 1950-х гг. группа исследователей под руководством Николаса Метрополиса (Nicholas Metropolis) разработала метод Монте-Карло, позволяющий вычислять свойства субстанций, которые могут быть рассмотрены как системы отдельных взаимодействующих молекул [2]. Этот метод копирует физический процесс, который может быть использован для имитации описанного ранее процесса рекристаллизации в металлах.

Именно работа Метрополиса вдохновила Скотта Киркпатрика (Scott Kirkpatrick) и его коллег на создание вероятностного метаэвристического метода оптимизации, названного ими алгоритмом имитации отжига [3]. Независимо от них, примерно в то же время V. Černý применил похожий подход к решению задачи о коммивояжере [4].

Вернемся к имитируемому физическому процессу. Каждая конфигурация системы – т. е. множество позиций ее атомов – характеризуется вероятностным коэффициентом Больцмана:

$$\exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right),$$

где E_i – энергия системы в состоянии i ; T – абсолютная температура, а k – постоянная Больцмана ($k \approx 1,380 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$).

Алгоритм имитации отжига требует для работы единственного начального решения. На каждом шаге к текущему решению применяется оператор мутации и оно модифицируется случайным образом. Вычисляется энергия полученного состояния, и, если она меньше энергии предыдущего, происходит безусловный переход к новому состоянию. Если энергия нового решения больше, чем энергия предыдущего, переход осуществляется с вероятностью, определяемой коэффициентом Больцмана.

Кроме того, в процессе работы алгоритма снижается значение температуры. Это имитирует процесс медленного остывания металла при отжиге. При этом, поскольку температура определяет коэффициент Больцмана, постепенно снижается вероятность перехода системы в новое состояние. Критерием останова алгоритма является достижение температурой минимального значения – нуля градусов.

Таким образом, на основе рассматриваемого алгоритма по конечному множеству объектов можно определить такую их комбинацию, при которой будет достигнут энергетический минимум целевой функции. Применительно к задаче топологической оптимизации – это перестановка узлов сети и минимизация трафика.

Характер изменения температуры оказывает огромное влияние на тщательность исследования пространства поиска и скорость сходимости алгоритма. Наиболее очевидным вариантом является ее линейное уменьшение, когда на каждом шаге алгоритма значение температуры снижается на некоторое постоянное значение, пока не достигнет нуля. Возможны, однако, и более сложные (и, вместе с тем, более эффективные) способы управления температурой. Рассмотрим некоторые из них.

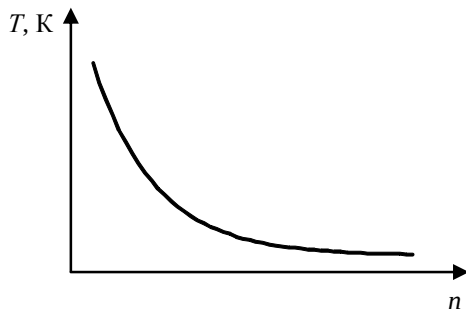


Рис. 1

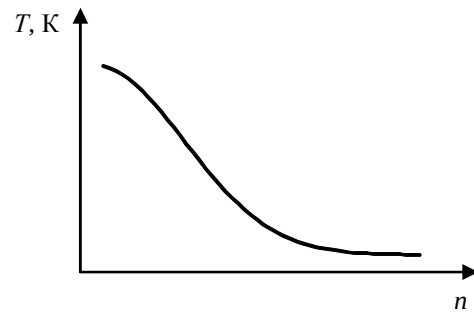


Рис. 2

Во-первых, можно снижать температуру с T до $(1-\varepsilon)T$ каждые несколько итераций. Значение ε , очевидно, должно лежать в пределах $(0; 1)$ (рис. 1).

Также можно заранее выбрать число итераций (назовем его N) и уменьшать значение температуры через каждые несколько итераций до значения

$$T_n = T_0 \left(1 - \frac{n}{N}\right)^\alpha,$$

где n – номер текущей итерации, а константу α обычно выбирают равной 1, 2 или 4. Чем больше ее значение, тем медленнее будет снижаться температура (рис. 2).

Алгоритм имитации отжига успешно применяется для решения сложных комбинаторных задач и задач оптимизации функций. Он эффективно исследует поисковые пространства со сложной структурой, позволяя находить оптимумы для целевых функций с большой долей нелинейности и стохастичности. Алгоритмическая сложность метода невысока, благодаря чему его реализация не представляет больших трудностей. К недостаткам метода следует отнести зачастую слишком низкую скорость сходимости, а также сложность выбора значений настраиваемых параметров. Эти недостатки частично или полностью устранены в его модификациях (например, в адаптивном алгоритме имитации отжига) и являются предметом дальнейших исследований.

Рассмотрим особенности применения алгоритма имитации отжига для задачи топологической оптимизации компьютерной сети. Изначально формируется приближение решения – последовательность соединения узлов сети. Оно соответствует большим значениям температурного уровня, а следовательно, может легко претерпевать изменения структуры. Затем предложенное суждение оценивается с энергетической точки зрения (нагрузка в полученной топологии), и далее случайным образом выбираются 2 объекта перестановки. Целевые узлы меняются местами в предполагаемой топологии, формируя временное суждение. Оно, как и текущее решение, претерпевает оценивание. Оценки сравниваются, на основе чего и определяется выбор соединения узлов, с которым будут происходить следующие модификации для получения окончательного результата.

На рис. 3 представлена диаграмма деятельности UML, соответствующая работе алгоритма. Для его выполнения предполагаемые топологии рассматриваются в виде последовательности соединения узлов сети. Первоначальное приближение выбирается случайным образом и, как любое вероятное решение, подвергается оцениванию, т. е. взвешиванию. В данном случае это сумма весов ребер, соединяющих узлы. Таким образом, получаем первое текущее суждение.

Поиск оптимального решения сводится к модификации текущей комбинации узлов сети и выбору гипотезы, которая продолжит обрабатываться алгоритмом.

Для реализации были выбраны следующие методы модификации: простой перестановки, инверсии участка, переноса области.

Сущность первого метода заключается в перестановке двух случайно выбранных узлов в текущем представлении топологии (рис. 4).

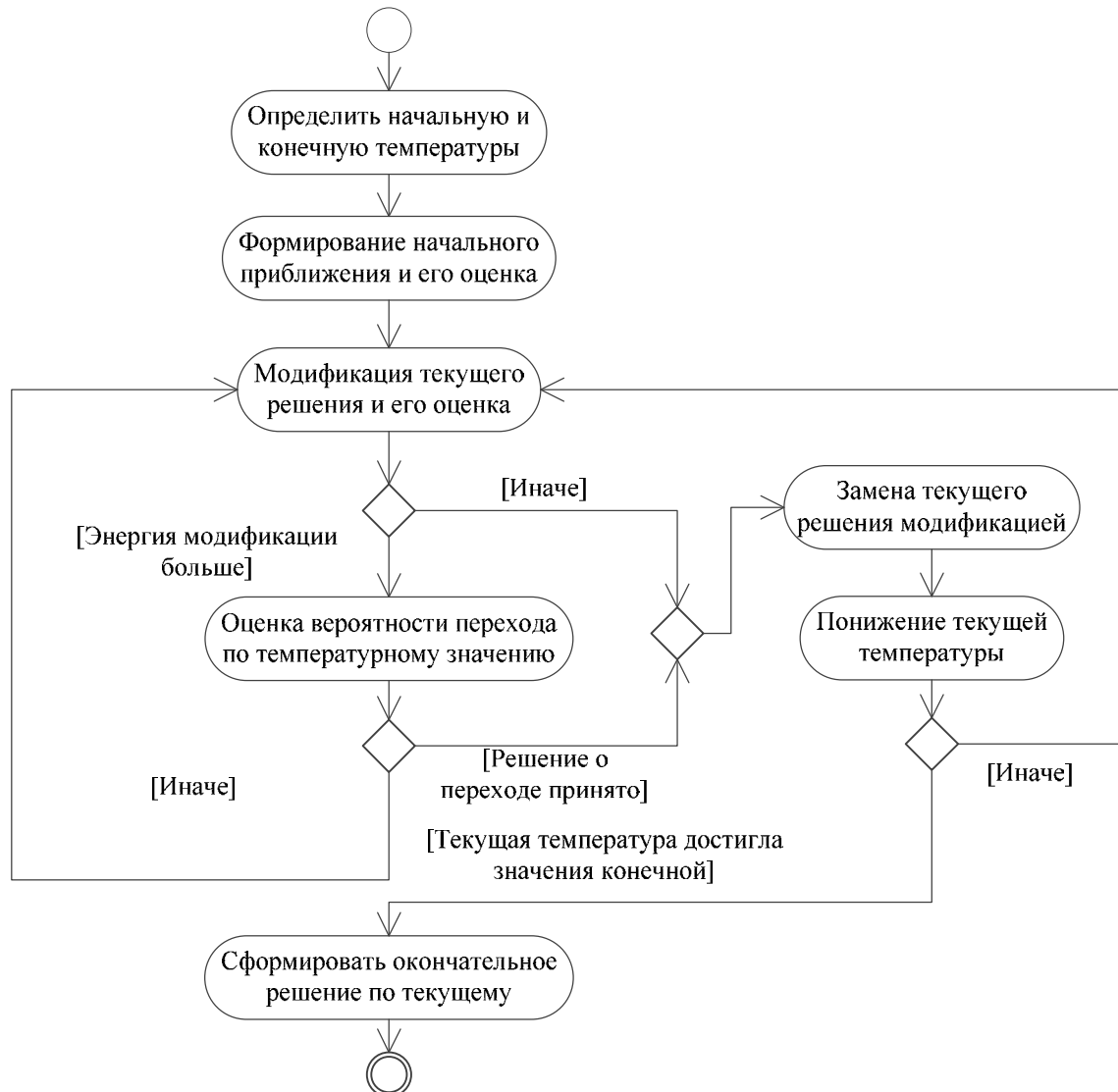


Рис. 3

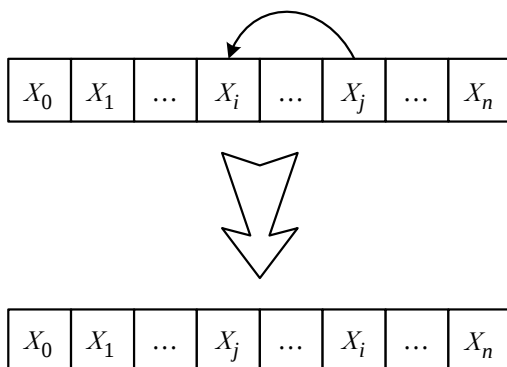


Рис. 4

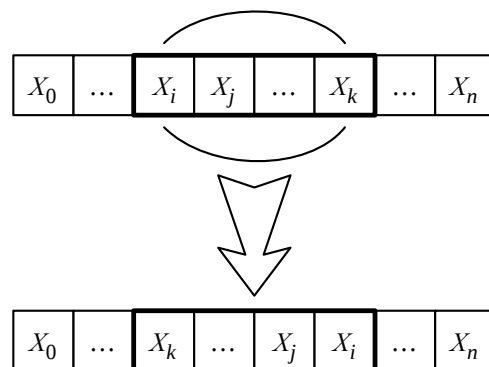


Рис. 5

В случае использования метода инверсии участка в представлении случайным образом выбирается участок. Порядок следования узлов на нем инвертируется (рис. 5).

Метод переноса включает в себя 2 этапа. На первом определяется область переноса, а на втором – новое положение и происходит непосредственный перенос участка последовательности (рис. 6).

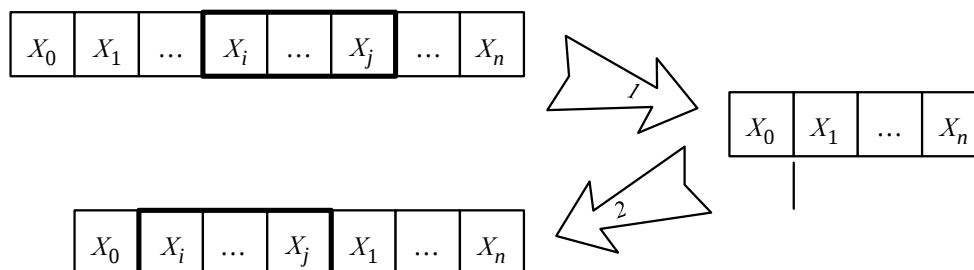


Рис. 6

Модифицированное представление также оценивается и сравнивается с текущими данными. Если энергетическая оценка нового суждения больше, то оно сразу становится текущим и алгоритм продолжает итеративную модификацию именно этого представления. В противном случае модифицированная версия сразу не отклоняется. Существует некая вероятность ее принятия, и зависит она будет от текущего значения температуры процесса. Следующее выражение численно определяет значение вероятности принятия

$$p = \exp\left(-\frac{(w - w')}{T}\right),$$

где w, w' – веса текущего и модифицированного суждений соответственно; T – текущая температура, при которой протекает процесс. Исходя из приведенной формулы, можно сделать заключение о характере процесса отбора решений. При больших значениях температур значение под экспонентой будет стремиться к нулю, а вероятность – к единице. Другими словами, вероятность принятия неоптимального решения выше в начале процесса, так как температура по ходу алгоритма постоянно падает (неотъемлемое условие алгоритма) [5].

Модель сетевой топологии и алгоритм ее оптимизации были реализованы при помощи языка C# и IDE Microsoft Visual Studio 2010. Описанный подход к решению поставленной задачи показал отличные результаты, зачастую превосходящие результаты алгоритмически более сложных методов. К недостаткам использованного подхода следует отнести слишком низкую скорость сходимости, а также сложность выбора значений настраиваемых параметров. Эти недостатки могут быть частично или полностью устранены в модификациях метода имитации отжига (например, в адаптивном алгоритме имитации отжига) и являются предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новакова Н. Е. Модели и методы принятия проектных решений в сложноструктурированных предметных областях. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
2. Equation of state calculations by fast computing machines / N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth et al. // The J. of Chemical Physics. 1953. № 21. С. 1087–1092.
3. Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P. Optimization by Simulated Annealing // Science. New Series. 1983. № 4598. С. 671–680.
4. Černý V. A thermodynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm // J. of Optimization Theory and Applications. 1985. № 45. С. 41–51.

5. Optimization by Simulated Annealing: an Experimental Evaluation; Part II, Graph Coloring and Number Partitioning / D. Johnson, C. Aragon, L. McGeoch, C. Schevon // Operations Research. 2001. № 39. С. 378–406.

V. M. Bondin, D. K. Kravchuk, N. E. Novakova

**SIMULATED ANNEALING ALGORITHM APPLICATION FOR NETWORK
TOPOLOGY OPTIMIZATION PROBLEMS**

*In this paper, we describe simulated annealing algorithm and underlying natural process.
We propose an approach for its application for topological optimization problems.*

Simulated annealing algorithm, combinatorial optimization, natural algorithms, network topology, structural optimization

УДК 004.056.57

А. К. Большев, А. А. Лавров

**МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕРСИИ СИСТЕМНОГО
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УДАЛЕННОГО
СЕТЕВОГО УЗЛА, ОСНОВАННЫЙ НА КОМПЛЕКСНОМ
АНАЛИЗЕ ХАРАКТЕРИСТИК TCP/IP**

Предлагается комбинированный метод идентификации версии ОС удаленного хоста, основанный на комплексном анализе характеристик стека TCP/IP: временных характеристик и классических характеристик сигнатур стеков TCP/IP операционных систем различных версий. Практически исследована эффективность использования временных алгоритмов идентификации версии ОС удаленного хоста совместно с существующими алгоритмами аналогичного назначения.

Стек TCP/IP, протокол TCP, методы сбора информации о сетевых узлах, идентификация ОС удаленного хоста, аудит сети, сетевой мониторинг, информационная безопасность

Методы идентификации конфигурации программного обеспечения (ПО) удаленных сетевых узлов, и в частности идентификации версии ОС удаленного узла, находят широкое применение в современных системах сетевого мониторинга и обеспечения сетевой информационной безопасности, встраиваются в сетевые сканеры, системы автоматизации обслуживания локально-вычислительных сетей и иные программные и программно-аппаратные средства.

Наибольшее распространение получили активные методы идентификации версии ОС (методы IOS, *Identify Operation System*). Активные методы IOS реализуются инициацией сетевого взаимодействия с анализируемой системой, в ходе которого осуществляется обмен специальным образом сформированными сетевыми пакетами, и по результатам анализа характеристик ответов от целевой системы и характерных особенностей ее реакции на те или иные запросы формулируется вероятностное предположение о версии системного ПО (операционной системы), под управлением которого функционирует анализируемый сетевой узел. Данные методы основаны на существовании различий в реализациях стека TCP/IP, используемых различными операционными системами, детерминирующих характер обработки стеком протоколов некоторых типов запросов, а также значений ряда функциональных характеристик TCP-соединения (размер окна, время жизни пакета, набор опций и др.) [1].

В настоящее время наиболее распространен активный метод IOS, позволяющий определить версию ОС удаленного сетевого узла на основе анализа функциональных характеристик TCP-соединения, а также особенностей реакции целевой системы на неправильно сформированные (не соответствующие RFC) сетевые пакеты. Данный метод используется, в частности, в широко распространенном сетевом сканере NMap [2].

Недостатком метода является использование неправильно сформированных пакетов данных, что создает в сети аномальный трафик.

Существуют методы идентификации версии ОС удаленного сетевого узла, основанные на анализе временных характеристик сетевого взаимодействия по протоколу TCP и не создающие в сети аномальный трафик [3], [4]. К временным характеристикам относятся значения временных задержек повторных передач потерянных пакетов (RTO). Эффективность и работоспособность временных IOS-методов подтверждается практическими исследованиями [4]*.

В статье описан метод идентификации версии ОС удаленного узла, основанный на комплексном анализе функциональных и временных характеристик стека TCP/IP. Предлагаемый метод представляет собой комбинацию классического IOS-метода, основанного на анализе функциональных характеристик работы стека TCP/IP целевой системы, и временных алгоритмов IOS, основанных на анализе значений RTO [3]*.

В рамках предлагаемого метода предположение о версии ОС удаленного узла формулируется по результатам анализа следующих характеристик сетевого взаимодействия:

- набора опций и порядка их объявления;
- размера окна и значения Windows Scale;
- значения времени жизни пакета (TTL);
- векторов значений RTO для ситуации потери пакетов в процессе установления TCP-соединения и в процессе передачи данных по соединению;
- факта послышки сигнала сброса соединения при отсутствии ответа о получении данных от клиента в процессе передачи данных по TCP-соединению.

Схема функционирования предлагаемого метода приведена на рис. 1.

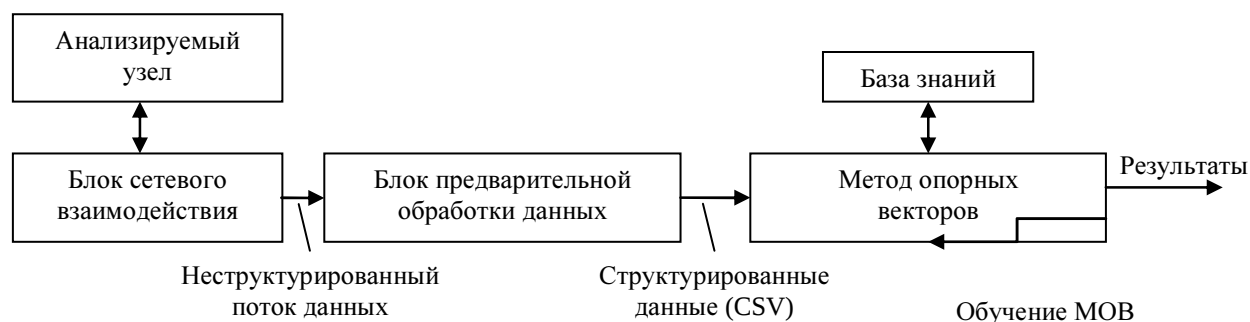


Рис. 1

Возможны 3 модификации предлагаемого метода, отличающиеся набором анализируемых временных характеристик:

- метод, включающий в себя анализ временных характеристик RTO для ситуации установления соединения и в процессе передачи данных;
- метод, предусматривающий анализ временных характеристик RTO только для ситуации установления соединения;
- метод, использующий анализ временных характеристик RTO только для ситуации потери пакетов при передаче данных.

Первый вариант метода реализуется следующей последовательностью операций (рис. 1):

* Beardsley T. Ring out the old, RING in the New: OS Fingerprinting through RTOs. May 2002 // <http://www.planb-security.net/wp/ring.html>.

1. Блок сетевого взаимодействия (БСВ) отправляет анализируемому узлу (АУ) SYN-пакет и переходит в режим ожидания АСК-пакетов, фиксируя интервалы времени между их поступлением для последующего анализа. Кроме того, из первого АСК-пакета считываются функциональные характеристики ТСП-взаимодействия, определяемые конфигурацией АУ: набор опций и порядок их объявления, размер окна, значения TTL и Windows Scale.

2. По истечении времени максимального ожидания БСВ прекращает сбор пакетов и формирует вектор значений RTO для ситуации потери соединения при установлении ТСП-соединения. Далее БСВ устанавливает соединение с АУ, после чего запрашивает у него некоторый файл и входит в режим ожидания пакетов данных от АУ, регистрируя интервалы времени между их поступлением.

3. По истечении времени максимального ожидания сбор пакетов прекращается, БСВ формирует вектор значений RTO для ситуации потери пакетов в процессе передачи данных.

4. Оба вектора передаются блоку предварительной обработки данных, который выполняет структурирование данных и передает результаты в блок статистической обработки (БСО), реализующий метод опорных векторов (МОВ). Использование МОВ в рамках предлагаемого метода обусловлено разнородностью анализируемых данных.

5. БСО анализирует полученные данные и формирует оценочные характеристики вероятности соответствия версии ОС анализируемого узла той или иной версии системного ПО, содержащейся в базе знаний МОВ. В случае необходимости МОВ предварительно обучается на тестовом наборе исходных данных.

Второй и третий варианты метода отличаются набором анализируемых значений RTO и, соответственно, набором реализующих метод операций.

Авторами проведено практическое исследование эффективности предложенного метода, в рамках которого разработано приложение на языке C++, предназначенное для выполнения на IBM-PC-совместимых вычислительных машинах под управлением ОС семейства Windows. Данное приложение реализует сетевое взаимодействие с АУ, сбор всех необходимых для реализации метода характеристик взаимодействия по протоколу ТСП, формирование векторов с анализируемыми характеристиками и их представление в формате CSV.

Приложение разработано с использованием библиотеки WinPCAP, позволяющей инжектировать в сеть сетевые пакеты произвольной структуры.

В рамках практического исследования проведен анализ эффективности процесса идентификации версии ОС удаленного узла для семи наборов анализируемых характеристик (табл. 1).

К временным характеристикам для ситуации потери пакетов при установлении соединения относится соответствующий набор значений RTO, а при передаче данных – еще и факт послышки заключительного пакета с флагом RST (сброса соединения) после завершения цикла повторных передач потерянных пакетов данных.

Значения RTO для ситуации потери пакетов при передаче данных были измерены для веб-серверов при взаимодействии по протоколу HTTP.

Таблица 1

Сокращенное наименование	Функциональные характеристики (размер окна, набор опций, время жизни пакета, Windows Scale)	Временные характеристики для ситуации потери пакетов	
		при установлении соединения	при передаче данных
CL (NMap)	Да	Нет	Нет
SYN	Нет	Да	Нет
DATA	Нет	Нет	Да
SD	Нет	Да	Да
WSYN	Да	Да	Нет
WDAT	Да	Нет	Да
WSD	Да	Да	Да

Набор CL (NMap) соответствует набору характеристик TCP/IP, на основе анализа которых функционируют существующие IOS-методы (в частности, метод идентификации версии ОС удаленного узла, используемый в NMap).

В исследовании рассматривается большое число наборов анализируемых характеристик с целью определения оптимального набора характеристик, обеспечивающих максимальную достоверность получаемых результатов, а также взаимного сравнения функциональных характеристик процесса идентификации версии ОС с использованием различных наборов анализируемых параметров.

Для различных наборов анализируемых характеристик используются различные векторы, передаваемые на обработку БСО. Векторы данных содержат последовательность значений анализируемых характеристик, а также код (номер) версии системного ПО в используемой базе знаний.

Сетевое взаимодействие с АУ, анализ поступающих сетевых пакетов и регистрацию временных интервалов RTO, а также формирование векторов данных реализует разработанное авторами приложение. Обработка данных методом опорных векторов осуществлялась в математическом пакете R с использованием пакета e1071. Для реализации метода опорных векторов использовалось линейное ядро типа C.

Исследование было проведено на аппаратно-программной базе корпоративной вычислительной сети кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В исследовании участвовали операционные системы Microsoft Windows XP Professional version 2002 SP 2/3, Windows Vista Business SP 1/2, Windows Server 2003 R2 Standard Edition SP 2, Windows 2000 Professional 5.00.2195 SP 4, Arch Linux 2.6.27, Ubuntu 10.10, Ubuntu 9.04, Fedora release 13 Kernel 2.6.34.6-47.

В исследовании участвовало более 130 персональных компьютеров и серверов.

В целях обучения и тестирования МОВ из всего набора собранных векторов были выделены две выборки: 30 % (включающая по 30 % от числа векторов для каждой версии ОС) – обучающая и 70 % (включающая по 70 % от числа векторов для каждой ОС) – тестовая.

Результаты исследования эффективности использования метода для перечисленных наборов анализируемых характеристик приведены в табл. 2.

Под точностью применительно к рассматриваемым методам понимается вероятность определения действительной версии ОС удаленного узла.

Таблица 2

Набор параметров	Точность анализа, %	Время выполнения, с
CL (NMap)	71,93	1..2
SYN	38,41	60..300
DATA	55,76	240..300
SD	69,68	300..600
WSYN	56,36	60..300
WDAT	83,11	240..300
WSD	77,83	300..600

Перечень ошибочных результатов, полученных на выходе МОБ, с указанием процентной доли ошибки представлен в табл. 3.

Таблица 3

Действительная версия ОС – Предположение МОБ	Доля ошибок, %						
	CL (NMap)	DATA	SD	SYN	WDAT	WSD	WSYN
Win. XP Prof. SP2 – Windows 2000 Prof. 5.00 SP4	–	53,33	53,33	–	66,66	66,66	66,66
Win. XP Prof. SP2 – Win. Server 2003 R2 Standard SP2	33,33	–	–	–	–	–	–
Win. XP Prof. SP2 – Win. Vista Bus. SP1	6,67	–	–	–	–	–	–
Win. XP Prof. SP2 – Win. XP Prof. SP3	60,0	–	–	100, 0	–	–	–
Win. XP Prof. SP3 – Win. 2000 Prof. 5.0 SP4	–	–	–	–	–	–	100,0
Win. Vista Bus. SP1 – Win. XP Prof. SP2	7,14	–	–	–	–	–	–
Win. Vista Bus. SP1 – Win. Vista Bus. SP2	–	61,54	7,69	–	7,69	–	7,14
Win. Vista Bus. SP1 – Win. XP Prof. SP 3	–	–	–	100, 0	–	–	–
Win. Vista Bus. SP2 – Win. Vista Bus. SP1	30,77	–	7,69	–	30,77	100,0	30,77
Win. Vista Bus. SP2 – Win. XP Prof. SP3	–	–	–	100, 0	–	–	–
Win. Server 2003 R2 Standard SP2 – Win. XP Prof. SP3	–	100,0	100,0	35,7 1	–	–	–
Arch Linux 2.6.27 – Fedora 13 Kernel 2.6.34.6	–	–	–	37,5	–	–	–
Arch Linux 2.6.27 – Win. XP Prof. SP3	–	–	–	25,0	–	–	–
Fedora 13 Kernel 2.6.34.6 – Win. 2000 Prof. 5.00 SP4	–	100,0	–	–	–	–	–
Fedora 13 Kernel 2.6.34.6 – Arch Linux 2.6.27	–	–	–	80,0	–	–	–
Ubuntu 10.10 – Win. 2000 Prof. 5.00 SP4	–	100,0	–	–	–	–	–
Ubuntu 10.10 – Arch Linux 2.6.27	–	–	–	66,6 7	–	–	–
Win. 2000 Prof. 5.0 SP4 – Win. XP Prof. SP3	100,0	–	–	100, 0	–	–	–
Ubuntu 9.04 – Fedora 13 Kernel 2.6.34.6	–	–	–	33,3 3	–	–	–

В графическом виде результаты анализа эффективности предлагаемого метода на различных наборах анализируемых характеристик представлены на рис. 2.

По результатам исследования сформулированы следующие выводы:

1. Комбинированный метод IOS в среднем обеспечивает более высокую точность идентификации версии ОС удаленного узла по сравнению с используемым в современных сетевых сканерах методом, основанным на анализе только функциональных характеристик TCP-соединения (набора характеристик CL).

2. Недостатком метода является значительное время выполнения, что обусловлено принципом его функционирования [3], [4]. Тем не менее, в ряде случаев практического применения методов IOS (системы мониторинга, анализа уязвимостей и др., к функционированию которых не предъявляются требования, соответствующие работе в режиме реального времени) данный недостаток не является существенным.

3. Наиболее эффективным с точки зрения точности является вариант предлагаемого метода, оперирующий набором функциональных характеристик стека протоколов TCP/IP целевой системы и временных характеристик, включающих набор значений RTO для ситуации потери пакетов при передаче данных по TCP-соединению.

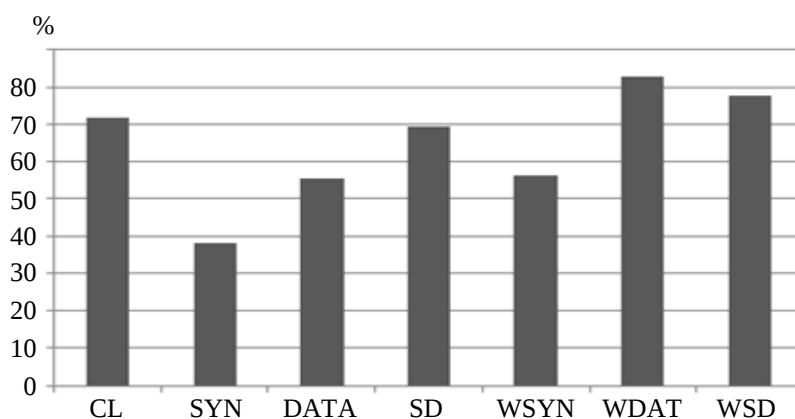


Рис. 2

4. В случае анализа значений RTO для ситуации потери пакетов как в процессе установления соединения, так и в процессе передачи данных совместно с функциональными характеристиками TCP точность результатов незначительно ниже, чем при использовании набора WDAT, и выше, чем при анализе только классических характеристик TCP. Это соответствует изначальному предположению, поскольку векторы RTO для ситуации потери пакетов при установлении TCP-соединения для многих реализаций стека TCP/IP не обладают значительными различиями.

5. Точность результатов, полученных по итогам анализа наборов данных SYN, DATA и SD, в среднем ниже точности результатов анализа классических характеристик TCP, при этом наименьшую точность предоставляет анализ набора характеристик, соответствующих значениям RTO только для ситуации потери пакетов при установлении TCP-соединения, среднюю точность – набор характеристик DATA, максимальную точность, близкую к точности результатов анализа набора характеристик CL, – набор SD. Данный результат также соответствует изначальному теоретическому предположению.

Таким образом, установлено, что предлагаемый метод IOS, основанный на комплексном анализе классических характеристик сигнатур стека TCP/IP и временных характеристик, включающих набор значений RTO для ситуации потери пакетов в процессе передачи данных по TCP-соединению, предоставляет бóльшую точность выходных результатов по сравнению с используемыми в современных программных средствах методами IOS, основанными на анализе только функциональных характеристик сетевого взаимодействия. Прирост точности составляет 9...10 %, что может служить преимуществом применения предлагаемого метода в сетевых сканерах, системах анализа защищенности и иных средствах обеспечения информационной безопасности и сетевого мониторинга.

Помимо повышенной точности результатов метод не создает в анализируемой сети аномальный трафик, что сводит к минимуму вероятность срабатывания систем фильтрации трафика и/или обнаружения вторжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Greg Taleck. SYNSCAN: Towards Complete TCP/IP Fingerprinting. NFR Security, Inc., 2004.
2. Gordon Fyodor Lyon. Nmap Network Scanning: The Official Nmap Project Guide to Net-work Discovery and Security Scanning (Paperback). Insecure.Com LLC, 2008.
3. Лавров А. А., Яновский В. В. Идентификация операционной системы удаленного хоста методами анализа временных характеристик // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 3. С. 34–39.
4. Большев А. К., Лавров А. А. Метод идентификации ОС удаленного хоста на основе анализа временных характеристик стека TCP/IP в задачах сетевого мониторинга // Сб. тр. 64-й науч.-техн. конф. проф.-преп. состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб., 2011. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. С. 104–110.

A. K. Bolshev, A. A. Lavrov

THE METHOD OF IDENTIFICATION VERSION OF REMOTE HOST SYSTEM SOFTWARE BASED ON INTEGRATED ANALYSIS OF TCP/IP PROPERTIES

The complex method of identification version of remote host system software is considered. The method based on integrated analysis of TCP/IP properties: temporal properties and classical properties of TCP/IP stack's signatures of different operation systems. A practical research of efficiency of using temporal algorithms in the aggregate with existing algorithms for OS identification is conducted.

TCP/IP stack, TCP protocol, methods of gathering information about network hosts, identification operation system of the remote host, network audit, network monitoring, information security

УДК 681

Р. Я. Аль-Рахми

128-БИТОВЫЙ ШИФР КАК ПРИМИТИВ БЛОЧНЫХ ШИФРОВ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОГО УМНОЖЕНИЯ

Описывается построение блочных шифров, основанное на использовании алгебраических операций, в частности умножения на модуль.

Блочный шифр, шифрование данных, алгебраические операции, умножение на модуль, статистические свойства

Большинство современных блочных шифров (БШ) используют подстановочные и перестановочные операции преобразования входных данных, например 3-DES [1], Serpent, Twofish, AES. Как правило в БШ подстановочные операции реализуются как табличные подстановки. В достаточно редких случаях вместо табличных подстановок используются операции циклического сдвига, зависящие от преобразуемых данных (RC5 [2] и RC6), или алгебраические операции. Шифры, в которых основным криптографическим примитивом являются алгебраические операции, называются алгебраическими. Наиболее известным алгебраическим блочным шифром является криптосистема IDEA, использующая операцию умножения по модулю простого числа $2^{16} + 1$. Данная криптосистема относится к БШ, обладающим достаточно высокой производительностью как при аппаратной, так и при программной реализации. Это показывает, что алгебраические блочные шифры могут представлять интерес в качестве шифров универсального назначения. При соответствующем построении можно ожидать, что программный код, реализующий алгебраический БШ, будет иметь достаточно малый размер, что представляет интерес для применения в средствах защиты информации от несанкционированного доступа для реализации контролируемой загрузки ЭВМ [3].

В настоящей статье рассматриваются подходы к разработке алгебраических БШ, обеспечивающие достаточно высокую производительность и компактность при программной реализации и различных вариантах аппаратной реализации, а также 128-битовый БШ, использующий операции модульного умножения $2^{16} + 1$.

Достоинство операций умножения различного типа как примитивов блочных шифров. Наибольший интерес для синтеза алгебраических БШ представляют операции умножения в различных алгебраических структурах, кольцах вычетов по модулю, простых конечных полях, конечных кольцах и полях многочленов [4], конечных кольцах и полях, заданных в явной векторной форме [5], и конечных кольцах матриц. Все виды операций умножения обладают хорошим лавинным эффектом и могут быть выполнены с помощью стандартных арифметических операций, реализуемых как элементарные команды микропроцессора. Перечисленные типы операций умножения обладают следующими достоинствами для применения в качестве криптографических примитивов:

1. Достаточная простота описания шифров и компактность кода при программной и микропрограммной реализации.
2. Использование элементарных команд контроллеров и микропроцессоров, выполняемых за малое число машинных тактов.
3. Обеспечение хороших рассеивающих и перемешивающих свойств при выполнении достаточно малого числа алгебраических операций.
4. Возможность выбора конечных полей, над которыми задается матричное умножение, обеспечивающих удобство программной, микропрограммной и аппаратной реализации при различных вариантах размера входного блока данных, а также достаточно высокую производительность шифров.
5. Возможность эффективного распараллеливания операций умножения в кольцах многочленов, векторов и матриц.
6. Возможность построения скоростных шифров, обладающих высокой стойкостью к атакам на основе известных и специально подобранных текстов, комбинированием операций из различных алгебраических структур.
7. Возможность разработки шифров с простой процедурой расширения секретного ключа, а также шифров, свободных от использования такой процедуры.

Использование операций модульного умножения. Операции умножения по модулю в общем случае реализуются с помощью двух арифметических операций – умножения и деления. Эти операции обеспечивают хороший лавинный эффект при изменении любого бита операндов, в роли которых выступают подблоки данных и подключи. Однако временная сложность операции деления существенно превышает сложность операции умножения, поэтому при проектировании алгебраических блочных шифров следует выбирать специальные значения модуля, при которых операция деления имеет низкую временную сложность или вообще исключается. Первый случай соответствует выбору в качестве модуля числа вида $m = 2^k$, где k – натуральное число, а второй – выбору модуля вида $m = 2^k + 1$. При этом в последнем случае обеспечивается одинаковый лавинный эффект для всех бит операндов, а в первом лавинный эффект значительно уменьшается при переходе от

младших бит к старшим битам операндов. «Выравнивания» лавинного эффекта для случая $m = 2^k$ можно достичь выполнением быстрой операции циклического сдвига на $[k / 2]$ бит и последующей повторной операции модульного умножения.

При использования умножения по модулю $m = 2^k + 1$ размер подблоков данных выбирается равным k бит, причем ненулевые подблоки рассматриваются как двоичные числа, а подблок, состоящий из k нулевых бит, интерпретируется как число $m = 2^k$. Выполнение одной операции умножения по модулю $m = 2^k + 1$ требует осуществления одного арифметического умножения k -битовых двоичных чисел и не более трех операций сравнения. Действительно, пусть либо $a \neq 2^k$, либо $b \neq 2^k$, тогда произведение ab представляет собой $2k$ -битовое двоичное число, которое можно рассматривать как конкатенацию двух k -битовых чисел w_1 и w_2 , т. е. $ab = w_1 || w_2$. Запишем это произведение в виде

$$ab = w_1 || w_2 = 2^k w_1 + w_2 = (2^k + 1)w_1 + w_2 - w_1 \Rightarrow ab = w_2 - w_1 \bmod (2^k + 1).$$

Из последнего соотношения следует

$$ab \bmod (2^k + 1) = \begin{cases} w_2 - w_1, & \text{если } w_2 > w_1, \\ 2^k + 1 + w_2 - w_1, & \text{если } w_2 < w_1. \end{cases}$$

Операция умножения по модулю $m = 2^{16} - 1$ также может быть выполнена без осуществления операции арифметического деления и представляет интерес для синтеза блочных шифров, однако обратная к ней операция не для всех возможных значений подблока данных является обратимой (это наблюдается и в случае, когда подключи, используемые в качестве второго операнда, являются взаимно простыми с модулем). Данное обстоятельство следует учитывать при построении алгоритма шифрования. Например, эта операция может быть использована при построении раундовой функции в шифрах, синтезируемых на основе сети Фейстеля [6] или с использованием аналогичных конструкций.

Реализация блочного шифра. Рассмотрим конкретный 128-битовый блочный шифр на основе операции умножения по модулю $m = 2^{16} + 1$. Входной блок данных T представим в виде конкатенации восьми 16-битовых подблоков данных: $M = (m_1, m_2, \dots, m_8)$, где $m_1 - m_8$ – 16-битовые подблоки данных, представленные в виде конкатенации двух 8-битовых слов. В качестве секретного ключа используются восемь 16-битовых подключей $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8$, таких, что каждый из них является взаимно простым с модулем. Обратные значения $K_1^{-1}, K_2^{-1}, K_3^{-1}, K_4^{-1}, K_5^{-1}, K_6^{-1}, K_7^{-1}, K_8^{-1}$ этих подключей вычисляются на этапе предвычислений.

Процедура шифрования описывается следующей последовательностью шагов преобразования:

1. Установить значение счетчика $j = 0$.
2. Преобразовать входной блок данных в соответствии с формулой $C \leftarrow \text{Crypt}^e(M, Q)$.

3. Нарастить значение счетчика: $j \leftarrow j + 1$.

4. Если $j = 2$, то перейти к шагу 7.

5. Если $j = 3$, то перейти к шагу 8.

6. Если $j = 4$, то СТОП.

7. $c_1 \leftrightarrow c_8, c_4 \leftrightarrow c_5$ и перейти к шагу 9.

8. $c_2 \leftrightarrow c_3, c_6 \leftrightarrow c_7$ и перейти к шагу 9.

9. $M = C$ и перейти к шагу 2.

Значение $e = 1$ соответствует режиму шифрования, а $e = 0$ – режиму расшифровки.

Функция шифрования $Crypt^{(1)}$ описывается следующим алгоритмом (« $\leftarrow$ » – операция присваивания; « $X^{<<<z}$ » – операция циклического сдвига битовой строки X на z бит; « $\leftrightarrow$ » – операция обмена значениями):

1. For $i = 1$ to 8 $c_i \leftarrow (m_i \cdot k_i) \bmod(2^{16} + 1)$.

2. For $i = 1$ to 4 $(c_{2i-1}, c_{2i+1}) = (c_{2i-1}, c_{2i+1}) + (k_{2i-1}, k_{2i+1}) \bmod(2^{32} + 1)$.

3. For $i = 1$ to 4 $(c_{2i-1}, c_{2i+1}) = (c_{2i-1}, c_{2i+1})^{<<<8}$.

4. For $i = 1$ to 8 $c_i = (c_i \cdot k_{9-i}) \bmod(2^{16} + 1)$.

5. $c_2 \leftrightarrow c_3$.

6. $c_6 \leftrightarrow c_7$.

Процедура расшифровки описывается следующей последовательностью шагов преобразования:

1. Установить значение счетчика $j = 0$.

2. Если $j = 0$, то перейти к шагу 7.

3. Если $j = 1$, то перейти к шагу 8.

4. Преобразовать входной блок данных в соответствии с формулой $C \leftarrow Crypt^0(M, Q)$ и перейти к шагу 9.

5. Нарастить значение счетчика: $j \leftarrow j + 1$.

6. Если $j = 4$, то СТОП.

7. $c_2 \leftrightarrow c_3, c_6 \leftrightarrow c_7$ и перейти к шагу 4.

8. $c_1 \leftrightarrow c_8, c_4 \leftrightarrow c_5$ и перейти к шагу 4.

9. $M = C$ и перейти к шагу 2.

Функция $Crypt^{(0)}$ описывается следующим алгоритмом:

1. $c_6 \leftrightarrow c_7$.

2. $c_2 \leftrightarrow c_3$.

3. For $i = 1$ to 8 $c_i = (c_i \cdot k_{9-i}^{-1}) \bmod(2^{16} + 1)$.

4. For $i = 1$ to 4 $(c_{2i-1}, c_{2i+1}) = (c_{2i-1}, c_{2i+1})^{>>>8}$.

5. For $i = 1$ to 4 $(c_{2i-1}, c_{2i+1}) = (c_{2i-1}, c_{2i+1}) + (k_{2i-1}, k_{2i+1}) \bmod(2^{32} + 1)$.

6. For $i = 1$ to 8 $c_i \leftarrow (m_i \cdot k_i^{-1}) \bmod(2^{16} + 1)$.

Приведенный алгоритм шифрования ориентирован на применение с 32-битовыми микропроцессорами. Для случая 64-битовых микропроцессоров легко записать аналогичный алгоритм блочного шифрования, в котором входной блок данных имеет размер 128 бит, обеспечивая повышение производительности в 2 раза за счет использования умножения по модулю $2^{64} + 1$.

Для оценки статистических свойств разработанных шифров была осуществлена их программная реализация и составлена программа для выполнения статистических экспериментов по методике, описанной в [6], и вычисления следующих показателей оценки статистических свойств блочных шифров:

- 1) среднее число выходных бит, изменяющихся при изменении одного входного бита – d_1 ;
- 2) степень полноты преобразования – d_c ;
- 3) степень лавинного эффекта – d_a ;
- 4) степень соответствия строгому лавинному критерию – d_{sa} .

Результаты экспериментов показывают, что разработанные шифры обладают хорошими статистическими свойствами.

Статистические свойства шифров на основе умножения по модулю $2^{16} + 1$ (количество тестов $N = 10\,000$) иллюстрирует табл. 1.

Таблица 1

Влияние бит входного текста				Влияние бит ключа			
d_1	d_c	d_a	d_{sa}	d_1	d_c	d_a	d_{sa}
63.8972	1	0.99833	0.991859	63.9957	1	0.99934	0.99209

В табл. 2 приведена оценка производительности шифра на основе умножения по модулю $2^{16} + 1$.

Таблица 2

Скорость шифрования 65 738 блоков, бит/с	Время шифрования 65 738 блоков данных*, с
538524736	(2,320)
232122731	1

*Для микропроцессора Intel(R) Core (TM) i3 с тактовой частотой 2.13 ГГц.

Как показали исследования, использование алгебраических операций при синтезе блочных шифров позволяет добиться высокой производительности и хороших статистических свойств. Применение таких шифров представляет интерес для программной и микропрограммной реализаций, когда в набор элементарных команд микропроцессора или микроконтроллера входит операция арифметического умножения, что достаточно распространено на практике. Полученные результаты также показывают перспективность применения алгебраических операций для построения скоростных программных хеш-функций итеративного типа. Одно из применений связано с реализацией защищенной начальной загрузки ЭВМ [6].

Другим интересным направлением продолжения исследований в построении криптосхем с использованием некоммутативного умножения является разработка криптографических контрольных сумм, используемых для контроля целостности данных.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (контракт № П635).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lucks S. Attacking Triple Encryption // Fast Software Encryption. 1998. P. 239–253.
2. Rivest, R. L. The RC5 Encryption Algorithm // Proc. of the Second Intern. Workshop on Fast Software Encryption (FSE), 1994. P. 86–96.
3. Алексеев Л. Е., Молдовян А. А. Алгоритмы защиты информации в СЗИ НСД “СПЕКТР-Z” // Вопр. защиты информ. 2000. № 3. С. 63–68.
4. Молдовян Д. Н. Конечные некоммутативные группы как примитив криптосистем с открытым ключом // Информатизация и связь. 2010. № 1. С. 61–65.
5. Доронин С. Е., Молдовяну П. А., Синев В. Е. Векторные конечные поля: задание умножения векторов большой четной размерности // Вопр. защиты информ. 2008. № 4 (83). С. 2–7.
6. Криптография: скоростные шифры / А. А. Молдовян, Н. А. Молдовян, Д. Н. Гуц, Б. В. Изотов. СПб.: Петербург-БХВ, 2002.

R. Y. Al-Rahmi

128-BIT CIPHER AS A PRIMITIVE BLOCK CIPHER BASED ON MODULAR MULTIPLICATION

It is considered construction of the block ciphers based on using the algebraic operations. The use of multiplication by module is discussed in detail and used in construction of the block cipher. While data block encryption the 128-bit data subblocks are interpreted as binary data. The rotation operation is used as auxiliary operation that distract the algebraic attacks.

Block cipher, data encryption, algebraic operations, multiplication by module, statistic properties

УДК 66-933.6

**В. Д. Чертовской, В. В. Цехановский,
Д. С. Семенов, А. О. Плешивцев**

ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Представлен и реализован один из вариантов алгоритма решения задачи динамического линейного программирования путем ее сведения к задаче статического линейного программирования посредством вычислений степеней соответствующих матриц. Достоинством варианта является возможность решения задачи высокой размерности с большим числом интервалов времени.

Автоматизированное управление, динамическое линейное программирование, динамический спрос, статическое линейное программирование, планирование

Автоматизированное управление в организационных системах управления базируется на процессе планирования [1]. В последнее время выявилась необходимость планирования с помощью оптимальных задач:

$$\mathbf{P} \leq \mathbf{R}, \quad (1)$$

$$\mathbf{DP} \leq \mathbf{b}, \quad (2)$$

$$G = \mathbf{FP} \rightarrow \max, \quad (3)$$

где $\mathbf{P}$ – вектор-столбец плана; $\mathbf{R}$ – вектор-столбец спроса (плана вышестоящего уровня); $\mathbf{b}$ – вектор-столбец размерности наличного количества ресурсов; $\mathbf{D}$ – матрица норм расходов; G – целевая функция, выражающая экономический интерес целенаправленного элемента; $\mathbf{F}$ – вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции.

Величина $\mathbf{R}$ считалась стабильной на интервале расчета или менялась очень медленно [2].

Постановка задачи. С переходом к рыночным отношениям динамичность спроса резко возросла, что уже нельзя было не учитывать [3], [4]. Изменения могут быть двух ви-

дов: $\mathbf{R}(t_i) = (\mathbf{R}_3^T(t_i), \mathbf{R}_4^T(t_i))^T$, где составляющие $\mathbf{R}_3, \mathbf{R}_4$ – изменение спроса на выпускаемую и новую продукцию; $t_i = iv$ – текущий момент времени; v – минимальный интервал времени; $i = 1, N$; T – знак транспонирования.

Законы изменения составляющих могут быть представлены в виде системы скачков:

$$\mathbf{R}_3(t_i) = \mathbf{R}_{30} + \Delta\mathbf{R}_3 1(t_i),$$

$$\mathbf{R}_4(t_i) = \Delta\mathbf{R}_4 1(t_i),$$

где $\mathbf{R}_{30}$ – постоянная величина; $\Delta\mathbf{R}_3, \Delta\mathbf{R}_4$ – приращения спроса; $1(t_i)$ – единичная функция:

$$1(t_i) = \begin{cases} 1, & i \geq 0, \\ 0, & i < 0. \end{cases}$$

Тогда процесс (1)–(3) становится динамическим и описывается с помощью задачи динамического линейного программирования [5]:

$$\mathbf{P}(T) \leq \mathbf{R}(T), \quad (4)$$

$$\mathbf{P}(t_i) = \mathbf{P}(t_{i-1}) + \mathbf{p}(t_i), \mathbf{P}(0) = \mathbf{P}_0, \quad (5)$$

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{p}_1(t_{i-1}), \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0, \quad (6)$$

$$i = 1, N, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv,$$

$$\mathbf{p}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (7)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{p}_1(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (8)$$

$$\mathbf{b}(t_i) = \mathbf{b}(t_{i-1}) + \Delta\mathbf{b}(t_{i-1}) - \mathbf{D}\mathbf{p}_1(t_{i-1}), \quad (9)$$

$$G = \mathbf{F}\mathbf{P}(T) \rightarrow \max, \quad (10)$$

где $\mathbf{z}, \mathbf{p}$ – вектор-столбцы (размерности J) планового незавершенного производства и ежедневного плана; $\mathbf{p}_1$ – вектор-столбец размерности J запуска комплектов материалов в производство; $\mathbf{R}$ – вектор-столбец спроса (размерности J); $\mathbf{b}$ – вектор-столбец размерности Ψ наличного количества ресурсов; $\mathbf{D}$ – матрица $J \times \Psi$ норм расходов; $\mathbf{P}$ – вектор-столбец плана с накоплением; $\mathbf{F}$ – вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции; $\mathbf{A} = (\mathbf{I} + v\mathbf{A}_0)$; $\mathbf{B} = v\mathbf{B}_0$; $\mathbf{C} = \mathbf{C}_0$; $\mathbf{I}$ – единичная матрица; $\mathbf{A}_0, \mathbf{B}_0, \mathbf{C}_0$ – матрицы размера $J \times J$, отражающие динамику процесса планирования; v, T – минимальный интервал времени и время моделирования.

Решение задачи. Задачи динамического линейного программирования (ДЛП) вида (4)–(10) могут быть сведены [3], [4], [6] к задаче статического линейного программирования (СЛП) (1)–(3), если для $\mathbf{P}(T)$ из выражения (5) использовать выражения (6), (7).

Тогда получим

$$\mathbf{P}(T) = \alpha_0 \mathbf{z}(0) + \alpha_1 \mathbf{p}_1(0) + \alpha_2 \mathbf{p}_1(2) + \dots + \alpha_{N-1} \mathbf{p}_1(N-2) + \alpha_N \mathbf{p}_1(N-1), \quad (11)$$

где

$$\alpha_0 = \sum_{i=1}^N \mathbf{A}^i, \quad \alpha_s = \sum_{i=0}^{N-s} \mathbf{A}^i \mathbf{B}, \quad s = 1, N. \quad (12)$$

Выражения (4), (8)–(11) описывают статическую задачу вида (1)–(3).

Таким образом, для решения задачи ДЛП необходимо провести преобразования (12), а затем использовать любой программный пакет для решения задачи статического линейного программирования [7].

Решение предпочтительно вести в рамках объектно-реляционной СУБД, что позволяет использовать стандартные программные заготовки. Это особенно важно для задач высокой размерности.

При первоначальной работе в СУБД InterBase выявились ограниченные возможности языка SQL:

- алгоритмическая бедность встроенного языка процедур;
- серьезные затруднения в процессе отладки, поскольку ошибки не отражают суть проблемы;
- своеобразная специфика хранения данных в БД в виде записей-строк, что является неудобным форматом для наглядного представления матриц;
- плохая переносимость данных.

Затруднения вызвали и процедуры программного формирования изменяющихся названий новых полей в процессе вычислений, что приводит к резкому увеличению объема программы.

Вместе с тем прототип-ориентированный язык JavaScript является простым динамически типизируемым языком программирования. Доступ к DOM-модели документа позволяет легко выводить данные в наглядном виде, а код можно редактировать и проверять, не устанавливая дополнительных программ.

В связи с этим было принято решение использовать язык JavaScript. Решение данной задачи основано на оперировании с массивами произвольной размерности, итеративном перемножении с последующим выводом.

Представим наиболее интересную часть (фрагмент) написанного кода программы.

В приведенном фрагменте используются следующие переменные: `aexp` – матрица A в степени `exp` (изменяется на каждой итерации); `exp` – степень, в которую возводится матрица A на данной итерации; `name` – имя матрицы на данной итерации.

Применены специально написанные вспомогательные функции: `sum(A, B)` – суммирование матриц A и B ; `mExp(A, exp)` – возведение матрицы A в степень `exp`; `drawc(A, sA, sE)` – вспомогательная процедура, занимающаяся отрисовкой матрицы, принимает на вход матрицу, ее название и указатель на элемент, внутри которого необходимо вывести матрицу.

Переменная `aexp` на каждой итерации накапливает сумму себя с предыдущей итерации и матрицы A , возведенной в степень, которая соответствует номеру итерации. На первой итерации переменная содержит саму матрицу A .

Имя очередной матрицы также генерируется с механизмом накопления (в переменную `name` дописывается, какие именно значения суммировались).

В конце каждой итерации на экран выводится результат (вызов процедуры `drawc`):

```
var aexp = MatrA;
var exp = 0;
var name = 'A';
drawc(MatrA, "A", "rez2");
for (var i = 0; i < rows-1; i++)
{
    exp++;
}
```

```

name+='A<sup>'+(exp + 1)+'</sup>'
aexp = sum(aexp,mExp(MatA, exp));
drawc(aexp, name, 'rez2');
}

```

Интерфейс данной программы в силу его простоты не требует от пользователя каких-либо специфических навыков. На начальном этапе требуется ввести число итераций, размеры матриц. Следующий этап заключается в заполнении матрицы нужными числовыми данными, после чего начинается сам процесс вычисления по нажатию на кнопку «Вычислить». Результат вычисления выводится на страницу браузера в размеченном виде: суммы степеней матриц в одной строке, а суммы произведений матриц – в другой.

Результаты решения. Рассмотрим пример решения для матриц 4×4 и 4×3 с четырьмя итерациями. На рисунке представлены экранные формы результатов решения.

Сделать итераций для матрицы размером (в матрице B элементов по горизонтали)

Заполните таблицу A:

1	3	2	2
0	1	0	3
2	2	1	3
3	3	3	1

Заполните таблицу B:

2	5	1
6	2	1
3	1	2
1	3	3

A

1	3	2	2
0	1	0	3
2	2	1	3
3	3	3	1

A + A²

12	19	12	21
9	11	9	9
15	21	15	19
15	24	15	26

A + A² + A³

100	145	101	2
54	84	54	3
104	155	103	3
126	180	3	126

A + A² + A³ + A⁴

723	1070	723	1080
432	625	432	615
792	1155	792	1145
903	1335	903	1345

<

>

B

2	5	1
6	2	1
3	1	2
1	3	3

B + A¹B

30	24	15
15	13	11
25	25	17
35	30	18

B + A¹B + A²B

197	178	119
126	105	66
223	190	125
246	219	150

B + A¹B + A²B + A³B

1515	1316	868
870	764	517
1610	1414	947
1885	1641	1083

<

>

Если количество вычисленных таблиц велико, их можно просматривать последовательно используя прокрутку.

После преобразования задачи ДЛП для ее решения можно применить любую программу задачи СЛП. Известные стандартные программы не используют язык Java. Тогда возможны 2 случая:

1. Включить описанную программу в используемую стандартную программу или ввести стандартную программу в предлагаемую программу. Здесь возникают серьезные затруднения.

2. Разработать программу решения задачи СЛП на языке Java. В этом случае целесообразнее использовать вариант органичного прямого решения задачи ДЛП [8], предусматривающего фактически интеграцию двух названных программ.

Использование задачи ДЛП сдерживалось в некоторой степени отсутствием опубликованного компьютерного алгоритма ее решения. В данной статье описан один из вариантов такого алгоритма, основанного на сведении задачи ДЛП к задаче СЛП вычислением степеней соответствующих матриц. Достоинством варианта является возможность решения задачи высокой размерности с большим числом интервалов времени. Вместе с тем для описанного варианта решения характерна высокая размерность задачи. В связи с этим целесообразно подумать об альтернативных вариантах решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокимов В. В., Рейнер В. А. Машинный синтез АСУП. М.: Статистика, 1980.
2. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма / В. Н. Бурков, В. В. Кондратьев, В. В. Цыганов и др. М.: Наука, 1984.
3. Чертовской В. Д. Интеллектуализация автоматизированного управления производством. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007.
4. Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовской В. Д. Теория адаптивного автоматизированного управления. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.
5. Пропой А. И. Задачи и методы динамического линейного программирования //Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1983. № 1. С. 127–142.
6. Альсевич В. В., Габасов Р., Глушенков В. С. Оптимизация линейных экономических моделей. Статистические задачи. Мн.: Изд-во БГУ, 2000.
7. Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовской В. Д. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высш. шк., 2006.
8. Габасов Р. Конструктивные методы оптимизации. Ч. 2. Минск: Университетское, 1984.

V. D. Chertovske, V. V. Tsehanovsky, D. S. Semenov, A. O. Pleshivtsev

VARIANT OF THE DECISION OF A PROBLEM OF DYNAMIC LINEAR PROGRAMMING

Introduced and implemented one of the variants of the algorithm for solving a problem of dynamic linear programming through its information . to the problem of static linear programming by calculations of the corresponding matrices. Dignity option is the ability to solve the problem of high dimension with a large number of time intervals.

Automated management, dynamic linear programming, dynamic demand, static linear programming, planning



УДК 629.5.06

А. А. Леута, М. Д. Нгуен, Ч. Ч. Нгуен

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ОБЪЕКТАМИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Совокупность исходных данных о режимных параметрах сложного технического объекта, оперативно обрабатываемых методами нечетких выводов, обеспечивает быструю и эффективную информационную поддержку обслуживающему персоналу. Приводится пример формирования правил для нечеткого вывода, построения и результаты работы нечеткой модели системы контроля, регулирования и информационной поддержки оператора.

Информационная поддержка принятия решений; управление техническими объектами, судовые электроэнергетические системы; нечеткие системы; нечеткая логика; микроконтроллеры

Такие технические объекты, как судовые электроэнергетические системы или главные и вспомогательные двигатели, а также гребные электроустановки, являются сложными объектами, поскольку состоят из множества взаимодействующих в различных режимах работы компонентов, поведение которых характеризуется множеством параметров. На протяжении многих лет автоматическим и автоматизированным системам контроля и защит в СЭЭС, ГД и ГЭУ уделялось самое пристальное внимание, постоянно совершенствовались элементная база и алгоритмы функционирования, однако безвахтенная эксплуатация таких объектов практически не осуществляется из-за возможности наступления очень опасных последствий [1]–[3].

Даже при наличии локальных автоматических систем, а также централизованных систем автоматизированного управления такие объекты в режимах эксплуатации остаются под пристальным вниманием и контролем операторов (дежурного персонала).

Роль дежурного персонала особенно повышается в предаварийных и аварийных режимах, когда скорость принятия решений и точность их исполнения влияет на сохранение работоспособности объектов и даже на сохранение жизни экипажа.

С развитием СВТ появилась возможность не только оказывать существенную помощь дежурным операторам в процессе оценки текущих состояний сложных объектов, но и моделировать (предсказывать) возможные сценарии развития событий по текущим оценкам состояний и тенденциям изменений параметров, критических для конкретных ситуаций, а также предо-

ставлять оператору конкретные рекомендации для осуществления мероприятий по выходу из критических ситуаций. Комплексы специальной аппаратуры и алгоритмического (программного) обеспечения для реализации указанных функций носят наименование систем информационного обеспечения и информационной поддержки оператора. Все чаще такие системы внедряются на сложных объектах, и практика показывает, что затраты на их разработку и создание оправдываются в ходе эксплуатации, предоставляя возможность быстро предотвращать критические ситуации или с наименьшими потерями избегать их опасных последствий. Создание таких систем поддержки принятия решений связано с необходимостью решения следующих задач:

- определение перечня контролируемых параметров, по которым можно оценивать качество функционирования отдельных компонентов СЭЭС;
- выявление диагностических свойств этих параметров, позволяющих определять тенденции развития (аварийных) событий на основе анализа текущих и предшествующих состояний;
- разработка соответствующих методов и средств контроля и анализа данных по этим параметрам;
- разработка алгоритма извлечения из базы данных наиболее подходящих вариантов действий для уменьшения отрицательных влияний в конкретных ситуациях.

В судовой электроэнергетике качество функционирования объектов принято контролировать по изменениям напряжений и частоты и/или скорости вращения агрегатов и по изменениям токов в узловых точках. Методы решения таких задач очевидны, в том числе с использованием математических моделей указанных объектов [4]. Но кроме этого имеются параметры, которые также должны поддерживаться в норме для обеспечения условий нормального функционирования данных объектов, например давление и температура масла, температура и состав охлаждающих жидкостей, давление и температура топлива. Все указанные параметры должны отвечать определенным требованиям, а контроль над ними и приведение их в норму возлагается на автоматические и автоматизированные системы управления. Однако дежурный персонал должен, в свою очередь, контролировать эти системы, т. е. своевременно оповещаться о возникновении предпосылок к аварийным ситуациям и принимать решения по их предотвращению.

Рассмотрим, как может функционировать подобная система на примере такого контролируемого параметра, как температура, в частности масла или охлаждающей жидкости. Известны предельно допустимые значения от $T_{\min}$ до $T_{\max}$ (для каждого параметра свои), однако общность подхода к решению поставленной задачи от этого не меняется. Например, температура масла на сливе маслоотделительного бака $T_{\text{мас}}$ должна быть $94\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ \%}$ (от 83 до $104\text{ }^{\circ}\text{C}$). Измерения текущих значений температуры масла возможно осуществлять через определенные интервалы времени, и простейший алгоритм управления этим параметром заключается в управлении включением или выключением нагревателя (либо охладителя) масла при определении выхода текущего измеренного значения за пределы указанного допустимого диапазона или при приближении к одному из порогов.

Известно, что качественные системы строятся с использованием математических моделей объектов регулирования и регуляторов, однако для таких параметров, как температура масла, давление, состояние (загрязненность) и температура охлаждающей жидкости, построение математических моделей классическим способом (с использованием разностных и дифференциальных уравнений) существенно затруднено из-за большого числа

нечетких исходных данных. Тем не менее, и в этих условиях, используя методы теории нечетких множеств – нечеткую логику, можно построить вполне работоспособные нечеткие модели и нечеткие системы регулирования, предупреждения и принятия решений [5].

В соответствии с методами построения нечетких систем на первом этапе разобьем весь допустимый диапазон изменений контролируемого параметра (температуры) на нечеткие поддиапазоны температур, как показано на рис. 1 (низкая; средняя; высокая) и установим вид функции принадлежности для каждого поддиапазона. Таким образом мы построили нечеткую модель объекта. Теперь, получив результат измерения контролируемого параметра (например температуры) его можно сравнить с моделью и определить степень опасности и образ действий, то есть конкретные функции регулирования и комментарию для оператора. Для этого необходимо и вполне достаточно составить правила вывода и действий следующего типа:

если температура низкая – это опасно! – следует включить нагреватель;

если температура средняя – это нормально! – нет действия;

если температура высокая – это опасно! – следует включить охладитель.

Эти простые правила формально описываются следующим выражением:

Если $\langle T_i \rangle$ соответствует $\langle N_k \rangle$, то Вывод $\langle N_m \rangle$ и Действие $\langle N_p \rangle$,

где T_i – результат измерения параметра; N_k – номер поддиапазона контролируемого параметра; N_m – номер вывода из базы данных вывода; N_p – номер действия из базы данных действий.

Таким образом, для функционирования данной системы теоретически необходимо иметь базы данных выводов и действий. Впрочем, на практике достаточно иметь только последнюю, совмещающую вывод и действие или действия для регулирования и, как в нашем примере, вывод комментариев оператору для принятия решений или подсказок к конкретным действиям.

Усовершенствовать систему можно, расширив число поддиапазонов, например введением крайних областей для очень низкой и очень высокой температур. Информативность и эффективность системы будет существенно выше, если анализировать не только значение контролируемого параметра, но и скорость его изменения. При этом необходимо ввести дополнительные и переопределить соответствующие выводы и действия. В результате получим базу из 15 правил с формулировками, аналогичными следующей:

«Если температура масла очень высокая, а скорость изменения температуры положительная, то следует дать комментарий: включить режим «охлаждение» с очень большой мощностью и обеспечить действие «красная лампочка горит».

Проверить работоспособность такой системы на ранней стадии проектирования позволяет пример построения и результаты работы имитационной модели в среде MATLAB (FuzzyTECH) рассмотренные далее.

Для сокращения и формализации записи разработанных правил используются следующие обозначения: β_1 – первая входная лингвистическая переменная с именем «температура масла»; β_2 – вторая входная лингвистическая переменная с именем «скорость изменения температура масла»; β_3 – первая выходная лингвистическая переменная с именем «мощность нагрева охладения регулятора»; β_4 – вторая выходная лингвистическая переменная с именем «сигнал предупреждения».

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной используется множество $T_1 = \{\text{«очень низкая»}, \text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}, \text{«очень высокая»}\}$, которое записывается в символическом виде: $T_1 = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$.

В качестве терм-множества второй лингвистической переменной используется множество $T_2 = \{\text{«отрицательна»}, \text{«равна нулю»}, \text{«положительная»}\}$, которое записывается в символическом виде: $T_2 = \{NS, Z, PS\}$.

В качестве терм-множества первой выходной лингвистической переменной используется множество $T_3 = \{\text{«охлаждение» с очень большой мощностью}, \text{«охлаждение» с большой мощностью}, \text{«охлаждение» с малой мощностью}, \text{выключить регулятор}, \text{«нагревание» с малой мощностью}, \text{«нагревание» с большой мощностью}, \text{«нагревание» с очень большой мощностью}\}$, которое записывается в символическом виде: $T_3 = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$.

Разработку нечеткой модели будем выполнять с использованием графических средств системы MATLAB. С этой целью используется редактор FIS. Вид графического интерфейса редактора FIS для модели изображен на рис. 1. Поскольку мы используем систему нечеткого вывода типа Mamdani, оставим без изменения тип, предложенный системой MATLAB по умолчанию.

Дальше определим функции принадлежности термов для каждой из переменных системы нечеткого вывода. С этой целью используется редактор функции принадлежности системы MATLAB. Графики функций принадлежности входных и выходных переменных после задания численных значения параметров изображены на рис. 2 (график функции принадлежности входной лингвистической переменной «температура масла»), рис. 3 (график функции принадлежности входной лингвистической переменной «скорость изменения температуры масла»), рис. 4 (график функции принадлежности выходной лингвистической переменной «сигнал предупреждения»), рис. 5 (график функции принадлежности выходной лингвистической переменной «комментарий»).

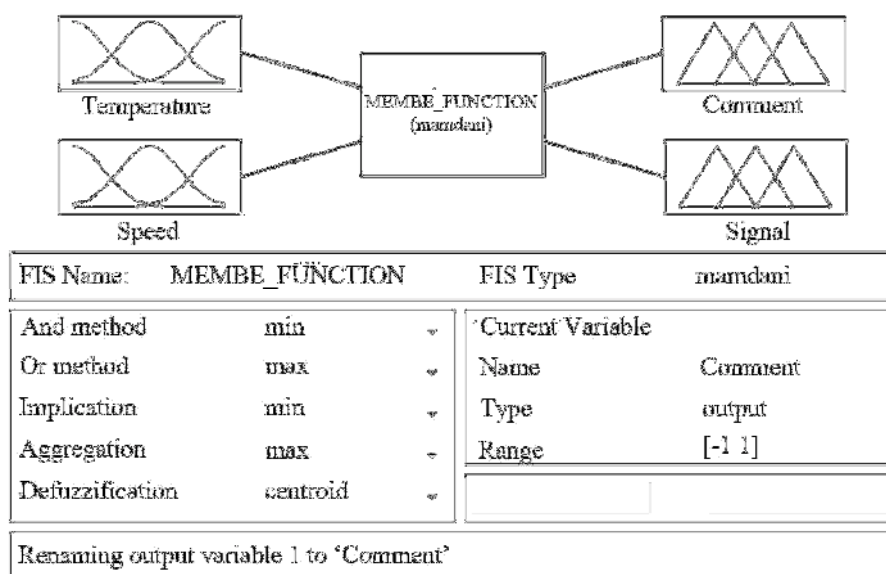


Рис. 1

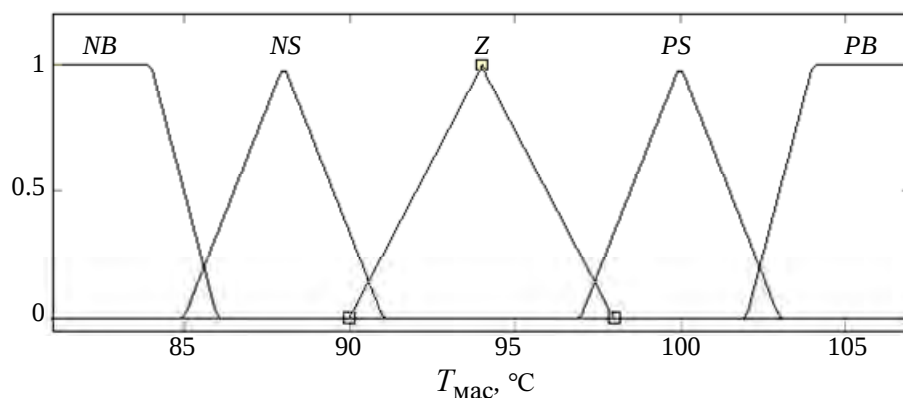


Рис. 2

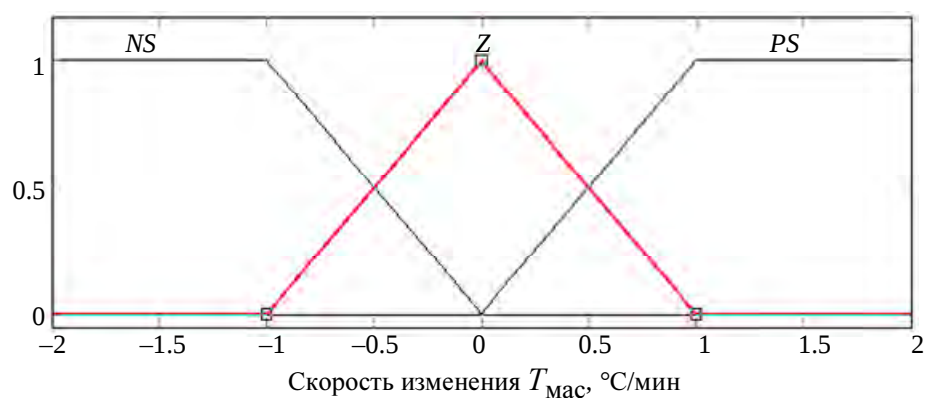


Рис. 3

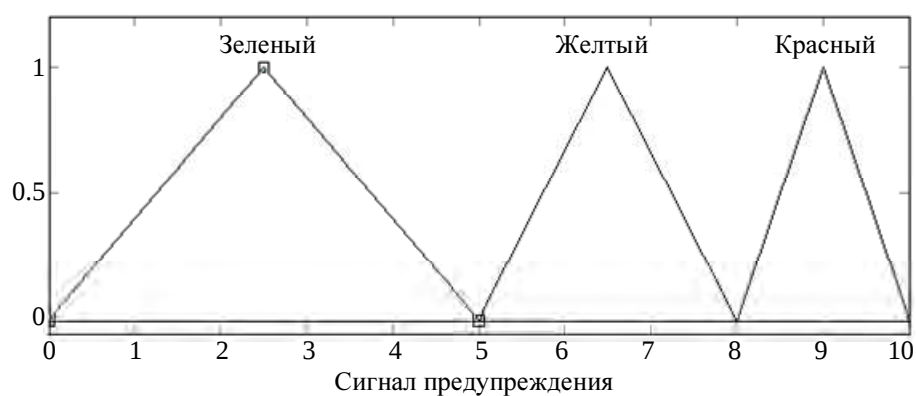


Рис. 4

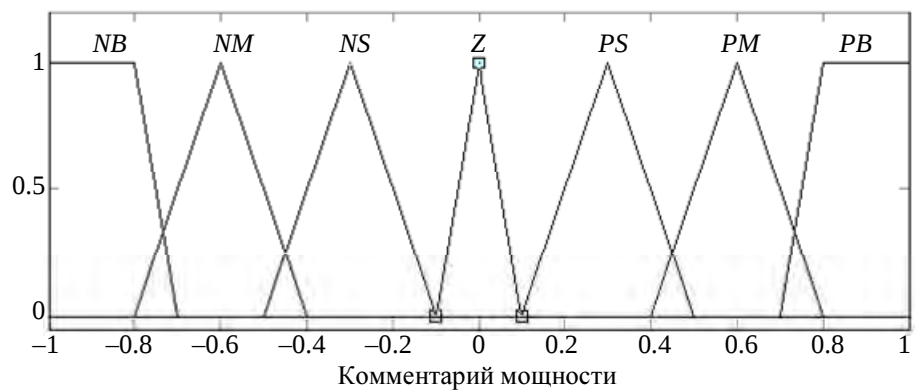


Рис. 5

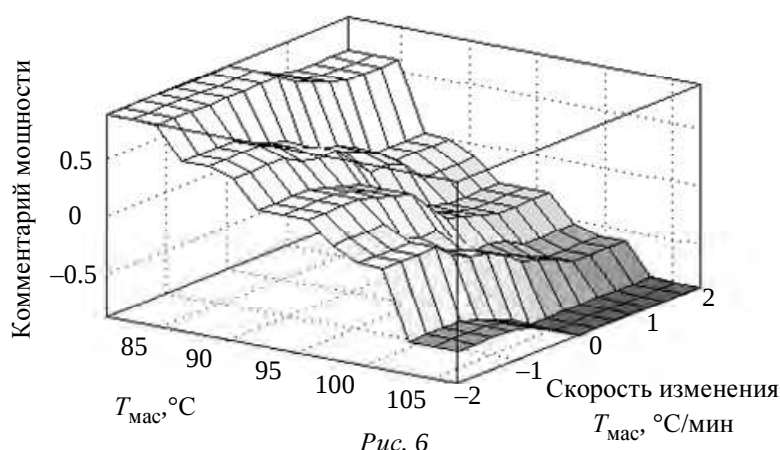


Рис. 6

Зададим 15 правил для разрабатываемой системы нечеткого вывода для этой целью воспользуемся редактором правил системы MATLAB.

Выполним оценку построенной системы нечеткого вывода. С этой целью воспользуемся программой просмотра правил системы MATLAB и введем значения входных переменных для конкретного случая, когда текущая температура масла $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, а скорость ее изменения $0.5\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$. Процедура нечеткого вывода, выполненная системой MATLAB для разработанной нечеткой модели, выдает в результате значения выходных переменных соответственно: комментарий мощности – -0.45 , сигнал предупреждения – 4. Данные значения соответствуют комментарию на включение режима «охлаждение» с мощностью 45 % от номинального и действию «горит зеленая лампочка». При текущей температуре масла $T_{\text{мас}} = 103\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость изменения температуры составит $0.7\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$, результаты выходных переменных равны соответственно: комментарий мощности – -0.868 , сигнал предупреждения – 9. Данные значения соответствуют комментарию на включение режима «охлаждения» с мощностью 86.8 % от номинального и действию «горит красная лампочка».

Для общего анализа разработанной нечеткой модели может оказаться полезной визуализация соответствующим поверхностям нечеткого вывода (рис. 6 – визуализация поверхности нечеткого вывода «комментарий мощности» для системы нечеткого вывода, рис. 7 – визуализация поверхности нечеткого вывода «Сигнал предупреждения» для системы нечеткого вывода).

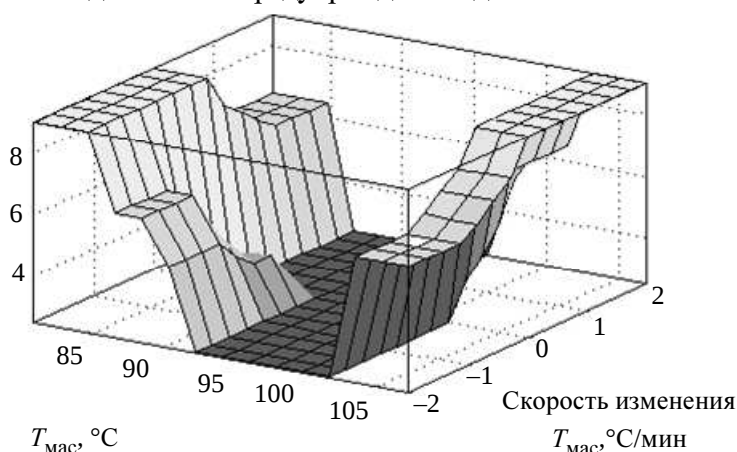


Рис. 7

Реализовать на практике разработанную систему можно с помощью комплекса технических средств, включающего комплект датчиков измеряемых параметров, адаптеров и согласующих преобразователей, аналого-цифровых преобразователей (микроконтролле-

ров) приемо-передатчиков и линий связи, декодеров и панелей для вывода данных или компьютеризованных рабочих мест оператора.

Рассмотренная методика применима и по отношению к другим параметрам судовых электроэнергетических систем и их компонентов, включая электрические, как, например, показано в [6], а также к параметрам давления, плотности, оптических или электромагнитных свойств жидкостей, например для оценки износа главных подшипников, загрязнения охлаждающей жидкости.

Переход от моделирования к аппаратной реализации системы поддержки принятия решений на основе нечеткой логики связан с компиляцией отдельных алгоритмов в программном обеспечении микроконтроллера, не требующем операций над операндами с плавающей запятой. Таким образом, полная система для электроэнергетического объекта, реализующая многомерную многопараметрическую обработку данных может представлять собой распределенную систему из типовых недорогих микропроцессорных устройств и узла человеко-машинного интерфейса, например информационной панели для оператора. Для большей эффективности представления и удобства восприятия данных интерфейс информационной панели должен быть цветным и соответствовать требованиям ГОСТов на выбор цветов, сопровождающих вывод сообщений, соответственно степени важности и опасности текущих состояний и возможных последствий развития событий.

Применение теории и практики нечетких систем, современных средств моделирования, методов и средств локальной автоматизации (микроконтроллеров) позволяет проверять на ранних стадиях проектирования работоспособность алгоритмов программного обеспечения и создавать высокоэффективные системы регулирования и информационной поддержки принятия решений, необходимые для обеспечения технических средств флота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токарев Л. Н. Судовая электротехника и электромеханика. СПб.: Береста, 2006. 324 с.
2. Максимов Ю. И., Павлюченков А. М. Эксплуатация судовых синхронных генераторов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1976. 200 с.
3. Баранов А. П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1988.
4. Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д. Комплект математических моделей компонентов судовых электроэнергетических систем как средство наладки и испытаний аппаратуры автоматического и автоматизированного управления // Молодой ученый. 2011. № 7 (30). Т. 1. С. 32–37.
5. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
6. Лавренов С. П., Кузнецов М. А., Леута А. А. Применение теории нечетких множеств в алгоритме стабилизации выходного напряжения статических преобразователей // Сб. докл. междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004 г. С. 204–207.

A. A. Leuta, M. D. Nguyen, Tr. Ch. Nguyen

INFORMATION SUPPORT OF ACCEPTANCE SOLUTION ON THE OPERATIONAL CONTROL OF MARINE ELECTRICAL POWER ENGINEERING OBJECTS WAS DEVELOPED USING FUZZY LOGIC METHODS

The collection of baseline data about the controlled-access parameters of a complex technical object, which was efficiently processed by the fuzzy inference, provides a quick and efficient information support for personal service. An example of the formation of rules for fuzzy inference, construction of the fuzzy model of regulation and information support to the operator were shown.

Information support of acceptance solution, control of engineering objects, Electric ship power systems, fuzzy systems, fuzzy logic, microcontroller



УДК 621.3.07

Ю. И. Сепн, В. С. Шестаков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ ПРИ ТОРЦЕВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

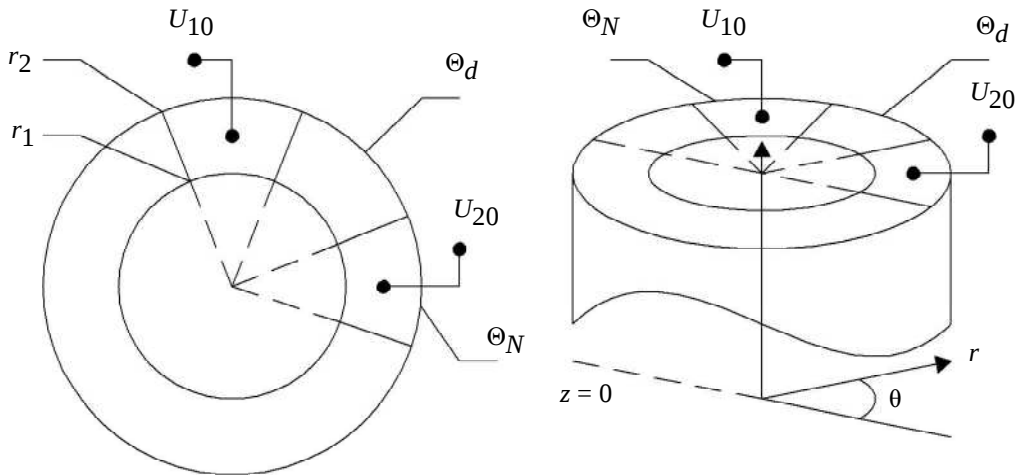
Представлена модель для описания состояний электрического поля, формируемого в теле цилиндрического пьезорезонатора, возбуждаемого с торца внешней двухфазной системой питания. Модель предназначена для расчета параметров пьезовозбудителя вращающегося пьезоэлектрического двигателя, а также пьезорезонаторов, входящих в состав чувствительных датчиков и сенсоров.

Пьезорезонатор, пьезовозбудитель, пьезоэлектрический двигатель, электрическое поле, уравнение Лапласа

Пьезокерамический резонатор (ПР) представляет собой цилиндрическое тело (см. рисунок), выполняемое из пьезокерамического материала и способное совершать механические деформации под действием электрического поля, создаваемого с помощью системы внешних электродов, к которым подводится напряжение от внешнего источника. Подобные ПР часто используются в качестве основных конструктивных элементов разнообразных сенсорных устройств (см., например, [1], [2]), также они выступают в качестве пьезовозбудителей в системе вращающегося двигателя [2], [3]. Электрическое поле в таком ПР создается системой электродов (на рисунке они располагаются на торцах цилиндра), имеющих заданные пространственные размеры и заданное число, к которым подается внешнее напряжение (в представленном на рисунке случае – это двухфазная система с опорными напряжениями U_{10} и U_{20}). Для проектирования и управления состояниями подобных ПР необходимо точно знать характеристики формирующегося в объеме ПР электрического поля. Отсюда следуют актуальность и значимость задачи построения расчетно-аналитических моделей формирования электрического поля в теле ПР.

В тех случаях, когда система возбуждающих электродов располагается на наружной боковой поверхности цилиндра ПР, определить состояния электрического поля внутри ПР несложно [3]. Если же возбуждение осуществляется с торца так, как это показано на рисунке, математическое описание состояний рассматриваемого поля в пределах тела ПР существенно усложняется и в существующей литературе отсутствует. В то же время, необходимость решать задачи управления подобными объектами при их проектировании и

эксплуатации требует поиска таких решений, которые давали бы возможность строить необходимые управления. Поэтому в данной работе рассматривается вопрос о нахождении численно-аналитических решений уравнений, описывающих формирование переменного электрического поля в пространственной области, занимаемой телом ПР. В последующем рассмотрении будем считать, что состояние рассматриваемого поля является установившимся.



Постановка задачи. В каждый момент времени t установившееся состояние электрического поля в произвольной пространственной точке $\mathbf{r}$ тела ПР определяется функцией скалярного потенциала $\Phi(\mathbf{r})$, находимой из решения уравнения Лапласа при заданных граничных условиях, определяемых источниками питания ПР. В цилиндрической системе координат (см. рисунок) $\mathbf{r} \equiv (r, \theta, z)$ и тело ПР описывается условиями $r_1 \leq r \leq r_2$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$, $0 \leq z \leq z_0$. Уравнение Лапласа относительно функции $\Phi(\mathbf{r}) = \Phi(r, \theta, z)$ в такой системе координат имеет вид

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Источники поля, создаваемого внешними питающими устройствами, размещаются в рассматриваемом случае на поверхностях $z = 0$ и $z = z_0$ в виде соответствующих потенциальных нагрузок $\Phi(r, z_0, \theta; t) = \Phi_0(\theta; t)$ и $\Phi(r, 0, \theta; t) = 0$.

Применение принципа суперпозиции и использование разложения Фурье для распределения по торцевой поверхности потенциала опорных напряжений U_{10} и U_{20} , сдвинутых друг относительно друга на величину фазового угла δ (двухфазная система), позволяет представить потенциальную нагрузку, создающую электрическое поле в ПР в виде

$$\begin{aligned} \Phi_0(\theta, t) = & \Phi_0^0 \cos(\omega_0 t - \delta_t^0) + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\Phi_{t_1}^n \cos(k_n^\theta \theta - \omega_0 t - \delta_{t_1}^n) + \Phi_{t_2}^n \cos(k_n^\theta \theta + \omega_0 t + \delta_{t_2}^n) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\left. \begin{aligned}
 k_n^\theta &= \frac{\pi}{\Theta_d + \Theta_N} n, \\
 \Phi_0^0 &= \frac{2\sqrt{2}U_0}{(r_2^2 - r_1^2)\Theta_N} \sqrt{1 + \cos \delta}, \\
 \sin \delta_t^0 &= \frac{\sin \delta}{\sqrt{2(1 + \cos \delta)}}, \quad \cos \delta_t^0 = \frac{1 + \cos \delta}{\sqrt{2(1 + \cos \delta)}}, \\
 \Phi_{t_{1,2}}^n &= \frac{2\sqrt{2}U_0}{(r_2^2 - r_1^2)\Theta_N} \frac{\sin n\pi\xi_a}{n\pi} \left| \cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right] \right|, \\
 \Phi_{t_{1,2}}^n &= \frac{2\sqrt{2}U_0}{(r_2^2 - r_1^2)\Theta_N} \frac{\sin n\pi\xi_a}{n\pi} \left| \cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right] \right|, \\
 \cos \delta_{t_{1,2}}^n &= \pm \cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right] \frac{\cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right]}{\left| \cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right] \right|}, \\
 \sin \delta_{t_{1,2}}^m &\pm \sin \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right] \frac{\cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right]}{\left| \cos \left[n\pi \left(\xi_d + \frac{1}{2}\xi_a \right) \pm \frac{1}{2}\delta \right] \right|},
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

а также $\xi_a = \frac{1}{2} \frac{\Theta_N}{\Theta_N + \Theta_d}$, $\xi_d = \frac{1}{2} \frac{\Theta_d}{\Theta_N + \Theta_d}$.

Таким образом, задача определения состояний электрического поля в теле ПР состоит в решении уравнения (1) при краевых условиях, определяемых выражениями (2) и (3), с последующим нахождением значений функций поля (составляющих его напряженности) согласно известным выражениям:

$$E_r = -\frac{\partial \Phi}{\partial r}, \quad E_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta}, \quad E_z = -\frac{\partial \Phi}{\partial z}.$$

Решение краевой задачи. Для нахождения решения рассматриваемой краевой задачи воспользуемся хорошо известным методом представления его в виде разложения по собственным функциям оператора Лапласа. Так как в качестве собственных функций оператора, стоящего в левой части (1), выступают функции $e^{\pm k_n^z z \mp j k_n^\theta \theta}$, где k_n^z может принимать комплексные значения, то решения следует искать в виде линейной суперпозиции функций

$$\Phi_n^k(r, \theta, z) = \varphi_n^k(r, z) \cos(n\theta - \theta_n) = \cos(n\theta - \theta_n) \operatorname{Re} \left[\varphi_n^+(r) e^{k_n^z z} + \varphi_n^-(r) e^{-k_n^z z} \right],$$

где θ_n определяются фазовыми углами соответствующих компонентов (2), $k_n^z = k_{n0}^z + jk_{n1}^z$, а комплекснозначные функции $\varphi_n^\pm(r)$ должны удовлетворять уравнению

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d\varphi_n^\pm}{dr} \right) + \left[\left(k_n^z \right)^2 - \frac{n^2}{r^2} \right] \varphi_n^\pm = 0.$$

Применение краевого условия при $z = 0$ приводит к выражению

$$\varphi_n^k(r, z) = 2 \operatorname{Re} \left[\varphi_n^+(r) \operatorname{sh}(k_n^z z) \right],$$

а требование вещественности решения при выходе на границу $z = z_0$, т. е. необходимость соблюдения условия $\operatorname{Im} \left[\varphi_n^+(r) e^{k_n^z z_0} + \varphi_n^-(r) e^{-k_n^z z_0} \right] = 0$, а также условие непрерывности решения в точках (r_1, z_0) и (r_2, z_0) приводят при одновременном выполнении неравенств $k_{n0}^z \neq 0$, $k_{n1}^z \neq \frac{\pi l}{z_0}$, $l = 0, 1, 2, \dots$, и $k_{n1}^z \neq \frac{\pi}{2} \frac{2l+1}{z_0}$, $l = 0, 1, 2, \dots$, к следующему выражению для $\varphi_n^k(r, z)$:

$$\varphi_n^k(r, z) = \varphi_{n0}^k f_1(z_0, z) g_1(r_1, r_2, k_n^z), \quad (4)$$

где

$$f_1(z_0, z) = \frac{\operatorname{ch} k_{n0}^z (z_0 + z) \cos k_{n1}^z z_0 \cos k_{n1}^z z}{\operatorname{sh} k_{n0}^z z_0 \cos k_{n1}^z z_0} - \frac{\cos k_{n1}^z (z - z_0) \operatorname{ch} k_{n0}^z z_0 \operatorname{ch} k_{n0}^z z}{\operatorname{sh} k_{n0}^z z_0 \cos k_{n1}^z z_0},$$

$$g_1(r_1, r_2, k_n^z) = \frac{[Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r_2) - Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r_1)] J_n(\mathfrak{a}_{n0} r)}{J_n(\mathfrak{a}_{n0} r_1) Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r_2) - J_n(\mathfrak{a}_{n0} r_2) Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r_1)} + \frac{[J_n(\mathfrak{a}_{n0} r_2) - J_n(\mathfrak{a}_{n0} r_1)] Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r)}{J_n(\mathfrak{a}_{n0} r_1) Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r_2) - J_n(\mathfrak{a}_{n0} r_2) Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r_1)},$$

φ_{n0}^k – соответствующая составляющая в разложении потенциальной нагрузки на границе $z = z_0$ по собственным состояниям k_n^z ; $J_n(\mathfrak{a}_{n0} r)$ и $Y_n(\mathfrak{a}_{n0} r)$ – функции Бесселя 1-го и 2-го рода соответственно,

$$\mathfrak{a}_{n0}^2 = \left(k_{n0}^z \right)^2 - \left(k_{n1}^z \right)^2 + 2k_{n0}^z k_{n1}^z \frac{\operatorname{ch} k_{n0}^z z_0 \sin k_{n1}^z z_0}{\operatorname{sh} k_{n0}^z z_0 \cos k_{n1}^z z_0}.$$

Нетрудно убедиться, что при $k_{n0}^z = 0$ оказывается возможным только тривиальное (нулевое) решение. Поэтому такие собственные значения недопустимы.

При $k_{n_1}^z = \frac{\pi}{2} \frac{2l+1}{z_0}$, $l = 0, 1, 2, \dots$, и $k_{n_0}^z \neq 0$ требование вещественности решения на границе $z = z_0$ приводит к

$$\phi_n^k(r, z) = 2(-1)^{l+1} \begin{cases} \left[C_{n_k} I_n(\mathfrak{a}_n r) + D_{n_k} K_n(\mathfrak{a}_n r) \right] \operatorname{ch} k_{n_1}^z z, & |k_{n_1}^z| > |k_{n_0}^z|; \\ \left[\bar{C}_{n_k} J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r) + \bar{D}_{n_k} Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r) \right] \operatorname{ch} k_{n_1}^z z, & |k_{n_1}^z| \leq |k_{n_0}^z|, \end{cases} \quad (5)$$

где $I_n\left(k_{n_1}^z r\right)$ и $K_n\left(k_{n_1}^z r\right)$ – модифицированные функции Бесселя 1-го и 3-го рода, соответственно, $\bar{\mathfrak{a}}_n^2 = -\mathfrak{a}_n^2 = \left(k_{n_0}^z\right)^2 - \left(k_{n_1}^z\right)^2$, а постоянные C_{n_k} , D_{n_k} , $\bar{C}_{n_k}$ и $\bar{D}_{n_k}$ находятся из краевого условия в точках $r = r_1, r_2$ границы $z = z_0$:

$$\left. \begin{aligned} C_{n_k} &= -\frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{ch}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{K_n(\mathfrak{a}_n r_2) - K_n(\mathfrak{a}_n r_1)}{I_n(\mathfrak{a}_n r_1) K_n(\mathfrak{a}_n r_2) - K_n(\mathfrak{a}_n r_1) I_n(\mathfrak{a}_n r_2)}, \\ D_{n_k} &= \frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{ch}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{I_n(\mathfrak{a}_n r_2) - I_n(\mathfrak{a}_n r_1)}{I_n(\mathfrak{a}_n r_1) K_n(\mathfrak{a}_n r_2) - I_n(\mathfrak{a}_n r_2) K_n(\mathfrak{a}_n r_1)}, \\ \bar{C}_{n_k} &= -\frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{ch}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1)}{J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1) Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1) J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2)}, \\ \bar{D}_{n_k} &= \frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{ch}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1)}{J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1) Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1)}. \end{aligned} \right\}$$

В случае $k_{n_1}^z = \frac{\pi l}{z_0}$ и $k_{n_0}^z \neq 0$ аналогичным образом находится

$$\phi_n^k(r, z) = 2(-1)^l \begin{cases} \left[C_{n_k} I_n(\mathfrak{a}_n r) + D_{n_k} K_n(\mathfrak{a}_n r) \right] \operatorname{ch} k_{n_1}^z z, & |k_{n_1}^z| > |k_{n_0}^z|, \\ \left[\bar{C}_{n_k} J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r) + \bar{D}_{n_k} Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r) \right] \operatorname{ch} k_{n_1}^z z, & |k_{n_1}^z| \leq |k_{n_0}^z|, \end{cases} \quad (6)$$

где

$$\left. \begin{aligned} C_{n_k} &= -\frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{sh}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{K_n(\mathfrak{a}_n r_2) - K_n(\mathfrak{a}_n r_1)}{I_n(\mathfrak{a}_n r_1) K_n(\mathfrak{a}_n r_2) - K_n(\mathfrak{a}_n r_1) I_n(\mathfrak{a}_n r_2)}, \\ D_{n_k} &= \frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{sh}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{I_n(\mathfrak{a}_n r_2) - I_n(\mathfrak{a}_n r_1)}{I_n(\mathfrak{a}_n r_1) K_n(\mathfrak{a}_n r_2) - I_n(\mathfrak{a}_n r_2) K_n(\mathfrak{a}_n r_1)}, \\ \bar{C}_{n_k} &= -\frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{sh}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1)}{J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1) Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1) J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2)}, \\ \bar{D}_{n_k} &= \frac{1}{2}(-1)^l \operatorname{sh}^{-1} k_{n_1}^z z_0 \phi_{n_0}^k \frac{J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1)}{J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1) Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) - J_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_2) Y_n(\bar{\mathfrak{a}}_n r_1)}. \end{aligned} \right\}$$

Поэтому если на границе $z = z_0$ потенциальная нагрузка $\Phi_0(\theta; t)$ представляется в виде $\Phi_0(\theta; t) = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_{n_0} \cos(k_n^\theta \theta - \omega_0 t - \theta_n)$, где $\varphi_{n_0} = \sum_{k \in \mathfrak{K}_n} \varphi_{n_0}^k$, т. е. раскладывается в ряд по допустимым рассматриваемой краевой задачей собственным значениям оператора Лапласа и $\mathfrak{K}_n$ – множество указанных собственных значений, соответствующее выбранному значению n , то решение рассматриваемой краевой задачи определяется соответственной суперпозицией решений, представляемых выражениями (4)–(6).

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы. Получено новое аналитическое представление распределения электрического поля, формирующегося в рабочем объеме цилиндрического пьезокерамического элемента при условии торцевого расположения источников возбуждения. Указанное представление основано на разложении исходной потенциальной нагрузки пьезовозбудителя по собственным состояниям поля, определяющимся из условий рассматриваемой краевой задачи. Такой подход при описании состояний рассматриваемого поля в ПА используется впервые и дает наглядное и ясное представление о картине результирующего электрического поля в рабочем объеме ПВ.

Метод определения волновых составляющих результирующего электрического поля в рассматриваемой пространственной области, основанный на распределении энергии источника возбуждения по допустимым состояниям поля, соответствующим наиболее вероятному и физически значимому из них, а также методика расчета частот собственных состояний будут изложены в следующей статье.

Представленные результаты следует использовать при анализе характеристик ПЭД и приборов имеющих сходные конструктивные элементы, а также при конструировании этих приборов. Необходимо отметить, что описываемая в данной статье математическая модель предназначена также для решения задач управления состояниями таких устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Loveday Ph. W., Rogers C. A. Modification of piezoelectric vibratory gyroscope resonator parameters by feedback control // IEEE Transactions on ultrasonic, ferroelectrics and frequency control. 1998. Vol. 38, № 5. С. 1211–1215.
2. Джагулов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. Справочник. СПб.: Политехника, 1994.
3. Сепп Ю. И. Основы теории и расчета вращающихся пьезоэлектрических двигателей. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005.

Y. I. Sepp, V. S. Shestakov

MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICAL FIELD IN CYLINDRICAL PIEZOELECTRIC RESONATOR WITH BUTT END STIMULATION

Analytical model for representation of electrical field states, which are formed into cylindrical piezoelectric resonator under two-phase source action, is presented. Purpose of presented model is to calculate parameters of rotor piezoelectric motors and piezoelectric resonators of sensors with such constrictive elements. Also, its purpose is to design control systems for named objects.

Piezoelectric cylindrical resonator, cylindrical piezoexcitator, rotor piezoactuator, potential loading, states of electrical field, Laplace equation, analytical-numerical decisions



УДК 620.179.16

К. Е. Аббакумов, Р. С. Коновалов

О РАССЕЯНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН РЭЛЕЯ ТРЕЩИНОПОДОБНЫМ ДЕФЕКТОМ, НОРМАЛЬНЫМ К ПОВЕРХНОСТИ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА

Приведено исследование рассеяния волн Рэлея частично закрытым трещиноподобным дефектом, нормальным к поверхности упругого полупространства. Получены коэффициенты отражения и трансформации поверхностной волны в рамках модели “нежесткого” соединения в приближении “линейного скольжения”.

Волны Рэлея, трещиноподобный дефект, коэффициенты отражения и трансформации, неразрушающий контроль

Одним из известных типов звуковых волн, распространяющихся на свободной границе твердого тела, являются волны Рэлея [1]. Данный тип волн хорошо изучен и широко применяется на практике. При их использовании для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность объекта или залегающих на небольшой глубине, весьма полезны количественные оценки коэффициентов отражения и прохождения этих волн в случаях пограничных дефектов различных форм и размеров. По данным металлографических исследований трещиноподобные дефекты, встречающиеся в различных объектах, могут отличаться заметным разнообразием своего строения. В частности, отмечается образование дефектов типа стресс-коррозии или слипания, в которых отдельные участки поверхностей трещин могут взаимодействовать друг с другом. В большинстве работ, посвященных данной проблеме, не учитываются условия контактирования границ раздела дефектов. Так, в работе [2] приводятся результаты экспериментальных исследований рассеяния волн Рэлея. Теоретические исследования распространения этих волн вдоль неровных границ [3] и рассеяния их на единичных дефектах [4], [5] проводились методом возмущений в предположении о малости характерных размеров неоднородностей по сравнению с длиной рэлеевской волны. Все рассмот-

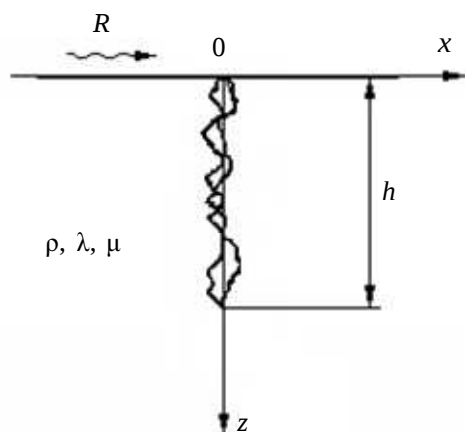


Рис. 1

того строения. В частности, отмечается образование дефектов типа стресс-коррозии или слипания, в которых отдельные участки поверхностей трещин могут взаимодействовать друг с другом. В большинстве работ, посвященных данной проблеме, не учитываются условия контактирования границ раздела дефектов. Так, в работе [2] приводятся результаты экспериментальных исследований рассеяния волн Рэлея. Теоретические исследования распространения этих волн вдоль неровных границ [3] и рассеяния их на единичных дефектах [4], [5] проводились методом возмущений в предположении о малости характерных размеров неоднородностей по сравнению с длиной рэлеевской волны. Все рассмот-

ренные в данных работах дефекты в виде трещин имеют свободные поверхности. В связи с этим существует необходимость учета распространения акустических волн вдоль трещины, образованной множеством выступов и впадин микрорельефа. Данная задача может быть решена в рамках модели “нежесткого” соединения в приближении “линейного скольжения” [6], [7].

В процессе исследований, описанных в данной статье, рассматривалось упругое изотропное полупространство со свободной от напряжений гладкой поверхностью. Декартова система координат вводилась так, чтобы ось Oz совпадала с направлением трещины глубиной h ($0 \leq z \leq h$), а ось Ox располагалась вдоль поверхности полупространства (рис. 1: R – падающая поверхностная волна, ρ – плотность, λ, μ – коэффициенты Ламэ).

Предполагая, что источник упругой волны находится на достаточном расстоянии от дефекта, можно считать колебательный режим устоявшимся. Общее поле в данном случае должно отвечать следующим принципам: лучевого приближения на бесконечности, условиям свободной границы при $z = 0$.

При такой постановке задачи суммарное поле удовлетворяет однородному уравнению Гельмгольца, которое можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} c_l^2 \frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + c_t^2 \frac{\partial^2 U_x}{\partial z^2} + (c_l^2 - c_t^2) \frac{\partial^2 U_z}{\partial x \partial z} &= \frac{\partial^2 U_x}{\partial t^2}, \\ c_l^2 \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + c_t^2 \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} + (c_l^2 - c_t^2) \frac{\partial^2 U_x}{\partial x \partial z} &= \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}, \end{aligned}$$

где c_l, c_t – продольная и поперечная скорости в материале; t – время; U_x, U_z – компоненты смещений. Как показано в работе [8], решить данное уравнение можно представив смещения в виде симметричной (s) и антисимметричной (a) компонент:

$$U_x^s = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\xi A^s e^{-\alpha_l z} - 2n^{-2} \alpha_t C^s e^{-\alpha_t z} \right) \sin(\xi x) d\xi + \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\alpha_l B^s e^{-\alpha_l x} + 2n^{-2} \xi D^s e^{-\alpha_t x} \right) \cos(\xi z) d\xi, \quad (1)$$

$$U_z^s = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\alpha_l A^s e^{-\alpha_l z} - 2n^{-2} \xi C^s e^{-\alpha_t z} \right) \cos(\xi x) d\xi + \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\xi B^s e^{-\alpha_l x} + 2n^{-2} \alpha_t D^s e^{-\alpha_t x} \right) \sin(\xi z) d\xi, \quad (2)$$

$$U_x^a = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\xi A^a e^{-\alpha_l z} - 2n^{-2} \alpha_t C^a e^{-\alpha_t z} \right) \cos(\xi x) d\xi + \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\alpha_l B^a e^{-\alpha_l x} + 2n^{-2} \xi D^a e^{-\alpha_t x} \right) \sin(\xi z) d\xi, \quad (3)$$

$$U_z^a = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(-\alpha_l A^a e^{-\alpha_l z} + 2n^{-2} \xi C^a e^{-\alpha_t z} \right) \sin(\xi x) d\xi - \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left(\xi B^a e^{-\alpha_l x} + 2n^{-2} \alpha_t D^a e^{-\alpha_t x} \right) \cos(\xi z) d\xi, \quad (4)$$

где $A^{s,a}, B^{s,a}, C^{s,a}, D^{s,a}$ – неизвестные функции от ξ ; $\alpha_l = \begin{cases} \sqrt{\xi^2 - 1}, & \xi \geq 1; \\ -j\sqrt{1 - \xi^2}, & \xi < 1 \end{cases}$;

$\alpha_t = \begin{cases} \sqrt{\xi^2 - n^2}, & \xi \geq n \\ -j\sqrt{n^2 - \xi^2}, & \xi < n \end{cases}$ (для действительных ξ); $n = \frac{c_l}{c_t}$. Соответствующие значения

ветвей α_l, α_t в выражениях (1)–(4) определяются контурами интегрирования для каждой из компонент и выбираются аналогично [8].

Полные компоненты смещений определяются комбинацией симметричных и антисимметричных компонент:

$$\begin{aligned}U_x(x, z) &= U_x^s(x, z) + U_x^a(x, z), \quad x > 0, \\U_x(|x|, z) &= -U_x^s(|x|, z) + U_x^a(|x|, z), \quad x < 0, \\U_z(x, z) &= U_z^s(x, z) + U_z^a(x, z), \quad x > 0, \\U_z(|x|, z) &= U_z^s(|x|, z) - U_z^a(|x|, z), \quad x < 0.\end{aligned}$$

Аналогично работе [8] решение задачи представляется суммой симметричных и антисимметричных компонент в четверти $x \geq 0, z \geq 0$. Тогда граничные условия при $x = 0^+$ для данных составляющих можно записать в следующем виде:

для симметричных компонент

$$\sigma_{xz}^s = KGT \left[U_z^s(0^+, z) - U_z^I(0^-, z) \right], \quad 0 \leq z < h, \quad (5)$$

$$\sigma_{xx}^s = 0, \quad 0 \leq z < \infty, \quad (6)$$

$$U_z^s(0, z) = 0, \quad h \leq z < \infty; \quad (7)$$

для антисимметричных компонент

$$\sigma_{xx}^a = KGN \left[U_x^a(0^+, z) - U_x^I(0^-, z) \right], \quad 0 \leq z < h, \quad (8)$$

$$\sigma_{xz}^a = 0, \quad 0 \leq z < \infty, \quad (9)$$

$$U_x^a(0, z) = 0, \quad h \leq z < \infty, \quad (10)$$

где I – индекс, соответствующий падающей волне. Данные граничные условия отражают наличие адгезионной связи между гранями трещины: неполная передача компонент смещений при наличии контактной нормальной KGN или тангенциальной KGT жесткости – (5), (8); отсутствие соответствующих симметричных или антисимметричных составляющих напряжений вдоль трещины – (6), (9); отсутствие соответствующих симметричных или антисимметричных компонент смещений вне пределов трещины по оси z – (7), (10). Для обоих случаев верно условие об отсутствии компонент напряжений на свободной поверхности полупространства:

$$\sigma_{xx}^{a,s} = 0, \quad z = 0, \quad x \geq 0, \quad (11)$$

$$\sigma_{xz}^{a,s} = 0, \quad z = 0, \quad x \geq 0. \quad (12)$$

Компоненты тензоров напряжений в падающей волне задаются следующим образом [1]:

$$\sigma_{xx}^I = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial U_x}{\partial x} + \lambda \frac{\partial U_z}{\partial z}, \quad (13)$$

$$\sigma_{xz}^I = \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \right), \quad (14)$$

$$\sigma_{zz}^I = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial U_z}{\partial z} + \lambda \frac{\partial U_x}{\partial x}. \quad (15)$$

По аналогии с работами [8]–[10] вклад рассеянного поля, а также компонент, образовавшихся при дифракции на ребре трещины, учитывается выбором контура интегрирования, что эквивалентно учету энергии компонент волн, рассеянных трещиной в полупространстве.

Для дальнейшего решения производится нормировка делением $U_x^{a,s}$ и $U_z^{a,s}$ на значение амплитуды падающей волны A_0 ($u_x^{a,s} = U_x^{a,s}/A_0$, $u_z^{a,s} = U_z^{a,s}/A_0$); координат x и z – на значение волнового числа для продольных волн $k_l = \omega/c_l$ ($x = X/k_l$, $z = Z/k_l$); времени – на круговую частоту ω ($\tau = t/\omega$).

Учитывая выражения (13)–(15), граничные условия (5), (8) можно переписать в следующем виде:

$$n^2 \frac{\partial u_x^a(0^+, Z)}{\partial X} + (n^2 - 2) \frac{\partial u_z^a(0^+, Z)}{\partial Z} = \frac{KGN}{k_l \mu} \Delta u_x^a(0, Z), \quad 0 \leq Z < D, \quad (16)$$

$$n^2 \frac{\partial u_x^s(0^+, Z)}{\partial Z} + \frac{\partial u_z^s(0^+, Z)}{\partial X} = \frac{KGT}{k_l \mu} \Delta u_z^s(0, Z), \quad 0 \leq z < D, \quad (17)$$

где $D = k_l h$, $\Delta u_x^a(0, Z) = u_x^a(0^+, Z) - u_x^I(0^-, Z)$, $\Delta u_z^s(0, Z) = u_z^s(0^+, Z) - u_z^I(0^-, Z)$.

Компоненты напряжений могут быть определены подстановкой выражений (1)–(4) в (13)–(15).

Дальнейшее решение задачи заключается в поиске неизвестных амплитуд $A^{s,a}, B^{s,a}, C^{s,a}, D^{s,a}$ в выражениях (1)–(4) с использованием граничных условий (6), (7), (9)–(12), (16), (17). Данная процедура описана в [8] и здесь не приводится.

Определив неизвестные амплитуды можно найти значения скачка смещений $\Delta u_x(0, Z) = u_x(0^+, Z) - u_x^I(0^-, Z)$, $\Delta u_z(0, Z) = u_z(0^+, Z) - u_z^I(0^-, Z)$ при переходе волны через трещиноподобный дефект. Падающее поле определяется согласно известным из литературы выражениям [1]. Таким образом, для волн Рэлея:

$$U_x^I(X, Z) = A_0 \left[e^{-\sqrt{k_R^2 - n^2} DZ} - \frac{2k_R^2}{2k_R^2 - n^2} e^{-\sqrt{k_R^2 - 1} DZ} \right] e^{ik_R DX},$$

$$U_z^I(X, Z) = iA_0 \left[\frac{k_R}{\sqrt{k_R^2 - n^2}} e^{-\sqrt{k_R^2 - n^2} DZ} - \frac{2\sqrt{k_R^2 - n^2}}{2k_R^2 - n^2} e^{-\sqrt{k_R^2 - 1} DZ} \right] e^{ik_R DX},$$

где k_R – отношение волновых чисел поверхностной и продольной волн. Компоненты тензора напряжений на основе выражений (13)–(15):

$$\sigma_{xx}^I(0, Z) = 2i\mu \frac{k_R D}{h} A_0 \left[e^{-\sqrt{k_R^2 - n^2} DZ} - \frac{2k_R^2 - 2 + n^2}{2k_R^2 - n^2} e^{-\sqrt{k_R^2 - 1} DZ} \right],$$

$$\sigma_{xz}^I(0, Z) = \mu A_0 \frac{D}{h} \frac{2k_R^2 - n^2}{\sqrt{k_R^2 - n^2}} \left[e^{-\sqrt{k_R^2 - 1} DZ} - e^{-\sqrt{k_R^2 - n^2} DZ} \right].$$

Коэффициенты отражения и трансформации поверхностной волны могут быть определены с использованием принципа взаимности [1]:

$$R_R = \frac{1}{2P} \int_0^1 \left(\Delta u_x(0, Z) \sigma_{xx}^I(0, Z) + \Delta u_z(0, Z) \sigma_{xz}^I(0, Z) \right) dZ, \quad (18)$$

$$T_R = -1 + \frac{1}{2P} \int_0^1 \left(\Delta u_x(0, Z) \sigma_{xx}^I(0, Z) - \Delta u_z(0, Z) \sigma_{xz}^I(0, Z) \right) dZ, \quad (19)$$

где $P = \int_0^\infty \left(u_x^I(0, Z) \sigma_{xx}^I(0, Z) - u_z^I(0, Z) \sigma_{xz}^I(0, Z) \right) dZ$. Рассеянная энергия может быть вы-

числена по формуле: $E = 1 - R_R^2 - T_R^2$.

Численный анализ полученных коэффициентов из выражений (18), (19) осуществлен для алюминия ($c_l = 6286$ м/с, $c_t = 3195$ м/с, $\rho = 2700$ кг/м³, $\nu = 0.31$ – коэффициент Пуассона). Для расчета параметров рассеянного поля можно использовать не обе контактные жесткости, а только одну, обеспечивая их привязку друг к другу. Тогда [6], [7] $KGT = KGN \mu / [k(\lambda + 2\mu)]$, т. е. определяется постоянными Ламэ. В дальнейшем использовано только KGN для описания адгезионных процессов. Помимо этого везде, где возможно, глубина трещины нормирована на длину падающей волны. Если не оговорено отдельно, то предполагается, что частота падающей и принятой волн равна 2.5 МГц. Так, на рис. 2 приведены графики зависимостей нормированных модулей разностей нормальной (*a*) и тангенциальной (*б*) составляющих смещений на границах трещиноподобного дефекта от ее глубины при различных значениях контактной нормальной жесткости (1 – $KGN = 0.1 \cdot 10^{14}$ Н/м³; 2 – $KGN = 1 \cdot 10^{14}$ Н/м³; 3 – $KGN = 2 \cdot 10^{14}$ Н/м³; 4 – $KGN = 5 \cdot 10^{14}$ Н/м³) и $h/\lambda = 3.0$. Стремление KGN к малым значениям приводит к увеличению разности смещений, что свидетельствует о закрытом характере дефекта (идеальная упругая граница). Наличие осцилляций свидетельствует о трансформации падающей волны в объемные волны.

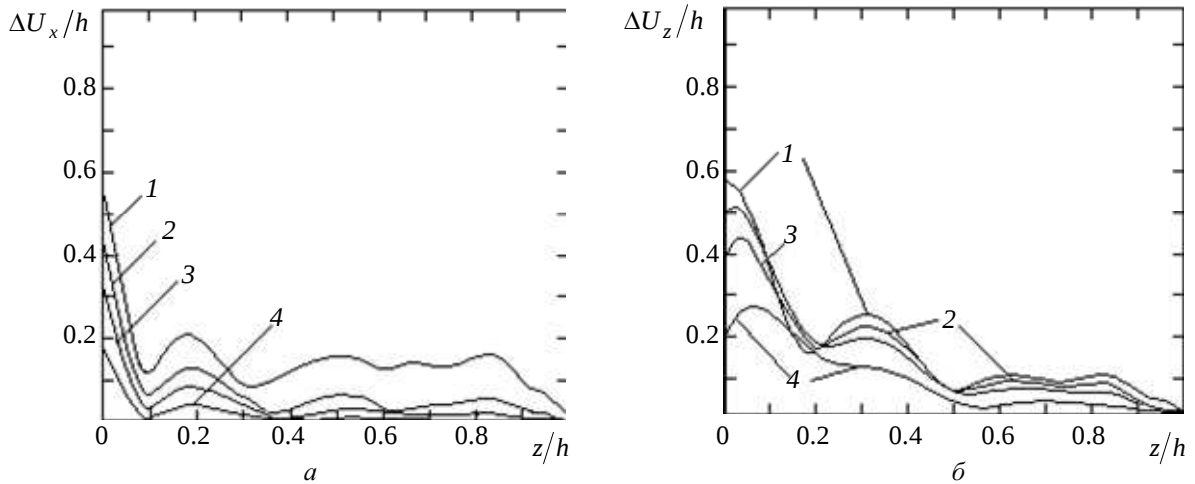


Рис. 2

На рис. 3 показана относительная вариация коэффициента отражения волны Рэлея $\Delta_R = (R_R - R_R^0) / R_R^0$ от нормальной жесткости для трех нормированных глубин трещиноподобного дефекта на длину падающей волны (1 – $h/\lambda = 3.0$; 2 – $h/\lambda = 0.3$; 3 – $h/\lambda = 0.03$). Символ R_R^0 является коэффициентом отражения волны Рэлея в случае открытой трещины с той же глубиной. Из рисунка видно, что увеличение значения нормальной жесткости приводит к значениям

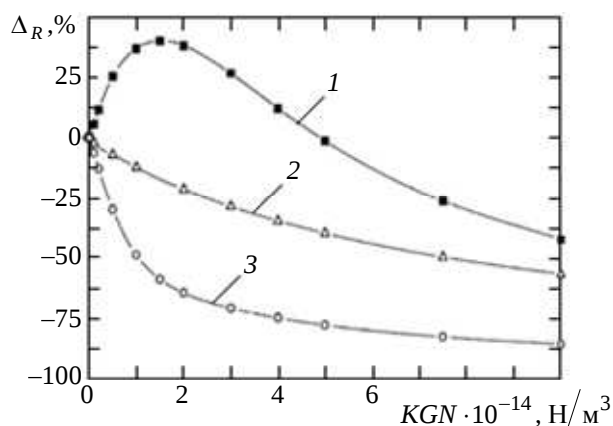


Рис. 3

100 %, что соответствует случаю “свободной” границы и полному отражению волны. Положительные значения относительной вариации коэффициента отражения с максимумом при $h/\lambda = 3$ (λ – длина падающей волны), соответствующим $KGN = 1.5 \cdot 10^{14} \text{ Н/м}^3$ при $KGN = 5 \cdot 10^{14} \text{ Н/м}^3$, переходят в отрицательную область. Для этого характерного значения нормальной жесткости на рис. 4 приведены зависимости коэффициентов отражения (а) и прохождения (б) волны Рэлея в зависимости от нормированной глубины трещины (кривые 1 на рис. 4, а, б), а также – для случая открытой трещины (кривые 2 на рис. 4, а, б). Так, из рис. 4 видно, что при значениях $h/\lambda > 0.5$ коэффициент отражения частично закрытой трещины больше, чем для открытой. Изучение переданных и преобразованных волн показывает, что это связано с энергией процесса. Фактически, что видно из рис. 5, частично закрытая трещина с данными нормальными жесткостями (кривая 1) передает энергию падающего потока лучше, чем открытая трещина (кривая 2) для всех значений нормированных глубин, рассмотренных в процессе исследования. Подобное обстоятельство – частое явление на практике при определении параметров амплитуды рассеянных волн на дефектах типа “слипание”, приводящее к неоднозначности результатов измерений. Кроме того, энергия, преобразованная в объемные волны, уменьшается по сравнению с открытой трещиной (рис. 5). Этот факт свидетельствует о том, что “излишек энергии”, отраженный частично закрытой трещиной, должен приводить к потере эффективности преобразования падающей волны в объемные волны.

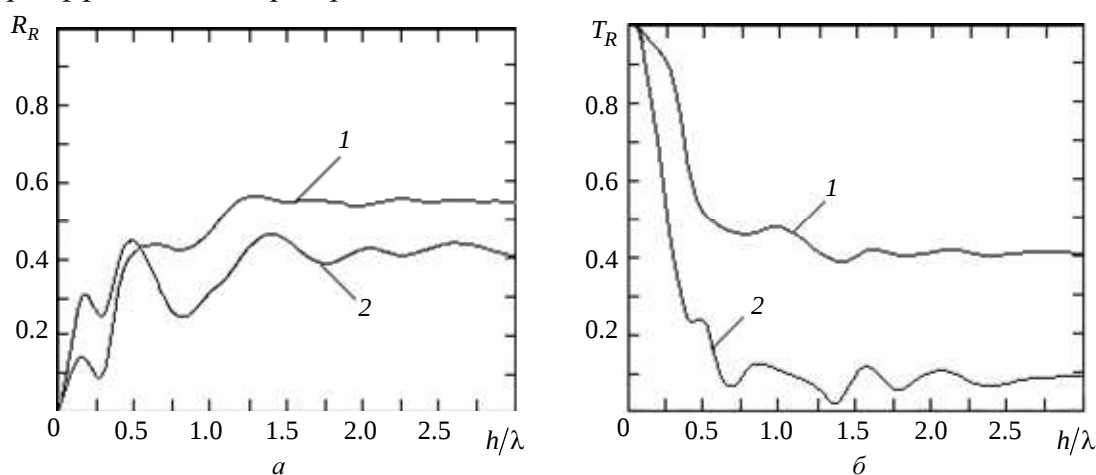


Рис. 4

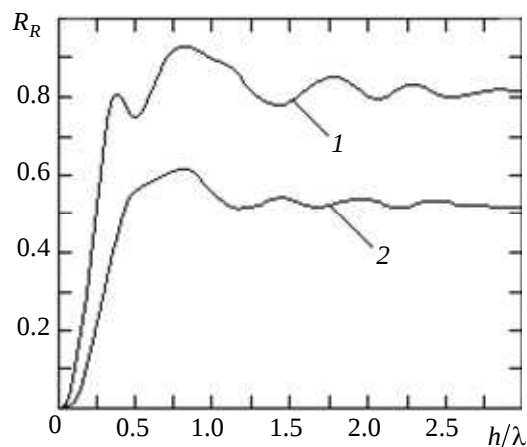


Рис. 5

Следует отметить, что сопоставление результатов численного решения для случая открытой трещины в рамках предложенной модели показало соответствие с данными известных из литературы теоретических и экспериментальных исследований. Так, например, в работе [10] теоретически и экспериментально исследованы коэффициенты отражения и трансформации поверхностных волн в алюминии для различных сочетаний глубины трещины и частоты. Сравнение результатов показало наличие качественного и количественного сходства, что подтверждает корректность использования модели.

В заключение отметим, что представленные данные могут найти применение в ультразвуковой дефектоскопии при разработке методик и выборе параметров контроля изделий, содержащих поверхностные дефекты с контактными границами (например: стресс-коррозионные трещины, слипание и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторов И. А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981.
2. Бреховских Л. М. О распространении поверхностных рэлеевских волн вдоль неровной границы упругого тела // Акуст. журн. 1959. Т. 5, № 3. С. 282–289.
3. Ахромеева И. Д., Крылов В. В. Преобразование волны Рэля в объемные на локальных дефектах поверхности // Акуст. журн. 1977. Т. 23, № 4. С. 510–516.
4. Mendelsohn D. A., Achenbach J. D., Keer L. V. Scattering of elastic waves by a surface-breaking crack // Wave Motion. 1980. Vol. 2, is. 3. P. 277–292.
5. Касаткин Б. А. Об одном классе дифракционных задач для нормальных и поверхностных волн // Акуст. журн. 1982. Т. 28, № 2. С. 232–237.
6. Аббакумов К. Е., Кириков А. В., Львов Р. Г. Преломление упругих волн на плоской границе раздела с нарушенной адгезией твердых сред // Изв. СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. 2001. Вып. 4. С. 10–16.
7. Аббакумов К. Е., Бритвин В. А., Коновалов Р. С. Распространение волны Рэля вдоль границы твердого тела с трещиной // Изв. СПбГЭТУ “ЛЭТИ” 2009. Вып. 2. С. 57–64.
8. Achenbach J. D., Keer L. V., Mendelsohn D. A. Elastodynamic analysis of an edge crack // J. of Appl. Mech. 1980. Vol. 42. P. 551–556.
9. Luong W. C., Keer L. M., Achenbach J. D. Elastodynamic stress-intensity factors of a crack near an interface // Int. J. Of Solids and Structures. 1975. Vol. 11. P. 919–925.
10. Данилов В. Н., Ямщиков В. С. К вопросу о рассеянии поверхностных волн Рэля на пограничных дефектах // Акуст. журн. 1985. Т. 31, № 3. С. 323–327.

K. E. Abbakumov, R. S. Kononov

SCATTERING RAYLEIGH WAVE BY THE CRACK WITH FACES IN PARTIAL CONTACT NORMAL TO THE SURFACE OF THE ELASTIC HALF-SPACE

The scattering of a Rayleigh wave by a surface-breaking crack with faces in partial contact is investigated. Reflectivity and transmission coefficients of a surface wave are obtained within the framework of model of "nonrigid" connection in an approximation of the "linear slide".

Rayleigh waves, surface-breaking crack in partial contact, reflectivity and transmission coefficients, nondestructive testing



УДК 612.172.4 + 519.23

Е. С. Якушенко

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ АРИТМИЯМИ И ЭПИЗОДАМИ ИШЕМИИ ПРИ ХОЛТЕРОВСКОМ КАРДИОМОНИТОРИРОВАНИИ

Определение связи между ишемией и нарушениями ритма сердца имеет важное клиническое значение. В данной работе исследовано применение статистических критериев для определения связи между ишемией и аритмиями. Процедура поиска связи осуществлялась на записях холтеровского кардиомониторирования. Наилучший результат был достигнут с использованием критерия Манна–Уитни–Вилкоксона при уровне значимости 0,01.

Статистические критерии, нарушения ритма сердца, ишемия миокарда, холтеровское мониторирование ЭКГ

Определение связи между эпизодами ишемии и аритмии имеет большое значение для диагностики. «Ишемические» [1] нарушения ритма сердца и проводимости наблюдаются у 30 % больных стенокардией старше 50 лет [2] и проявляются как возникновение аритмий, которых не было вне эпизодов ишемии миокарда (ИшМ), либо как резкое увеличение числа нарушений во время эпизодов ИшМ [2]. Наиболее часто обнаруживаются желудочковые нарушения ритма (ЖНР) [1], [2].

Считается, что в 75...90 % случаев внезапной смерти больных ишемической болезнью сердца (ИБС) причиной являются ЖНР [1]. Выявление «ишемической» желудочковой аритмии уже на ранних этапах обследования пациентов ИБС позволит определить врачебную тактику, направленную на профилактику фатальных событий [1].

Пробы с физической нагрузкой и холтеровское мониторирование ЭКГ являются вполне достаточными и взаимодополняющими методами выявления «ишемических» нарушений ритма сердца [1]. Однако нарушения ритма и проводимости, связанные с эпизодами ИшМ, у большинства пациентов развиваются не при каждом приступе стенокардии, вследствие чего холтеровское мониторирование является более чувствительным методом их диагностики, чем нагрузочные пробы [2].

В исследовании [2] показано, что врачи, проводящие просмотр данных автоматического анализа суточной ЭКГ, в рабочем порядке обнаружили «ишемические» аритмии только у 75 % больных, в остальных случаях потребовался детальный повторный анализ записей.

Задачей данного исследования является поиск метода выявления «ишемических» аритмий, обладающего высокой чувствительностью, который позволил бы определить, происходит ли во время ишемии изменение количества эпизодов аритмии, и оценить, насколько это изменение может быть достоверно.

Обнаружение связи между ишемией и аритмией является непростой задачей даже для квалифицированного врача, и существует вероятность пропуска исследуемого явления [2]. Поэтому с целью повышения чувствительности было предложено положить в основу метода многосуточное кардиомониторирование.

Исходными данными являлись результаты автоматического анализа 6 суточных записей холтеровского кардиомониторного наблюдения, полученных с использованием системы «Кардиотехника-4000» («Инкарт», Санкт-Петербург). Для улучшения выявления нарушений ритма сердца, связанных с эпизодами ИшМ, данные мониторирования были повторно проанализированы независимым экспертом – врачом, который не проводил первичного анализа. Результат обработки записей выражен в регистрации аритмий и эпизодов ишемического смещения ST в каждом из обследований. Суммарное количество аритмий во всех записях составило 43. В четырех записях присутствовал исследуемый феномен, в двух – отсутствовал. Возраст пациентов от 47 до 80 лет.

Для решения поставленной задачи было предложено применить статистические критерии для проверки гипотез, которые позволили бы не только обнаружить связь, но и дать вероятностную оценку того, насколько она могла быть случайна.

Для нахождения связи между аритмиями и ишемиями рассматривались следующие случайные величины (СВ): «количество эпизодов аритмии в интервале времени, равном 1 минуте», и качественный параметр «характер QRS-комплекса», показывающий, относится ли данный комплекс к классу «норма» или «аномалия» относительно данной аритмии.

В качестве нулевой гипотезы было принято то, что количество аритмий не изменилось во время ишемии, в качестве конкурирующей гипотезы – изменилось (без уточнения как именно).

Вначале была исследована СВ «количество эпизодов аритмий в минуту». По результатам обработки записей ЭКГ были рассчитаны минутные тренды аритмии, которые представляют собой выборки значений количества эпизодов аритмий в каждую минуту обследования, и временные границы эпизодов ишемии. Затем тренд аритмии был разбит на части в соответствии с этими границами. Были сформированы две выборки. Первая выборка содержала значения фрагментов тренда, соответствующих времени, где обнаружены эпизоды ишемического смещения ST-сегмента, вторая – времени, когда они обнаружены. На рис. 1 изображен пример графика минутного тренда аритмии «одиночная желудочковая экстрасистола». В верхней части изображен тренд аритмии. В нижней части прямоугольниками представлены области, соответствующие эпизодам ишемии. Части тренда аритмии, соответствующие ишемическим смещениям ST-сегмента, отображены сплошной толстой линией, а не соответствующие им – точечной линией.

Для исследования СВ «количество аритмий в минуту» были применены статистические критерии проверки следующих гипотез. Проверка гипотезы на равенство законов распределения была осуществлена с использованием двухвыборочного критерия согласия Колмогорова–Смирнова. Двухвыборочные критерии согласия применяются в том случае, когда перед

исследователем встает вопрос: извлечены ли обе выборки из одной генеральной совокупности [3]? В критерии Колмогорова–Смирнова применяется статистика, представляющая собой расстояние между двумя эмпирическими функциями распределения [4].

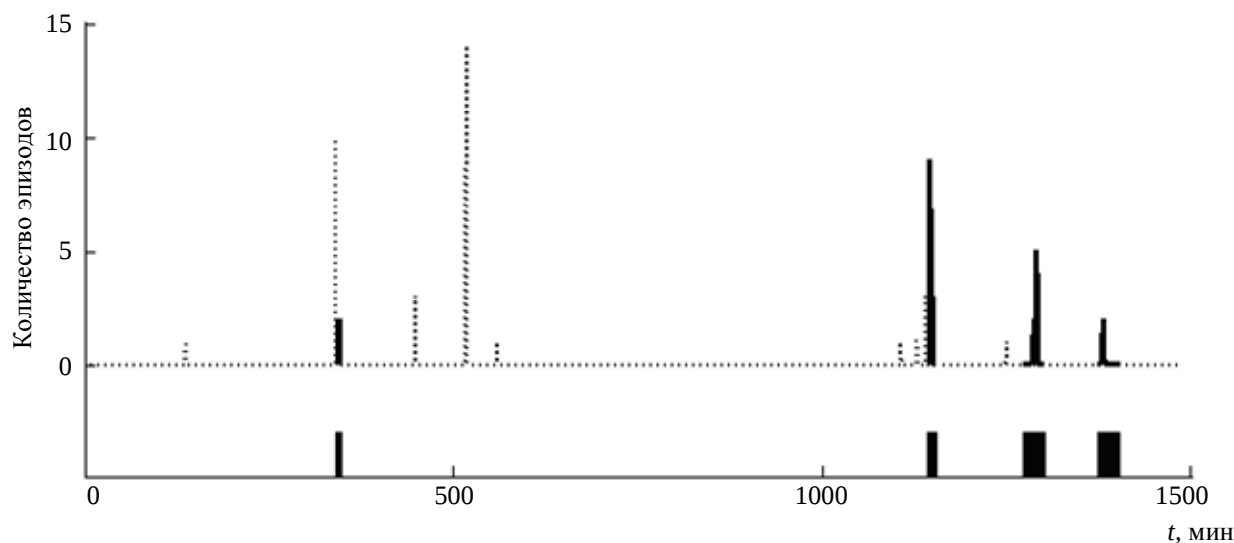


Рис. 1

Проверка гипотезы о равенстве математических ожиданий двух выборок была осуществлена с использованием критерия Манна–Уитни–Вилкоксона [3]. Выбор этого критерия объясняется тем, что закон распределения двух выборок неизвестен и поэтому для проверки исследуемой гипотезы правомерно использовать только непараметрические критерии сдвига [3], к числу которых относится ранговый критерий Манна–Уитни–Вилкоксона. Ранговые критерии основываются на последовательности рангов выборочных значений случайных величин. При этом рассматриваются не сами выборочные значения, а их ранги, определяемые порядковым номером элемента выборки в общем ряду, упорядоченном по возрастанию [3].

Для исследования СВ «характер QRS» выборка ее значений была поделена на две группы двумя способами: отображает ли QRS-комплекс данную аритмию или нет; лежит ли QRS-комплекс в пределах эпизодов ишемии или вне их. По результатам деления СВ на группы составлялась таблица сопряженности, показывающая количество QRS, принадлежащих каждой группе (табл. 1, количества QRS обозначены буквами a, b, c и d).

Таблица 1

Ишемия	Аритмия	
	Да	Нет
Да	a	b
Нет	c	d

К этой таблице были применены следующие критерии: сравнение долей [5], критерий Хи-квадрат для таблицы сопряженности [5], точный критерий Фишера (двухсторонний) [3] [5]. Критерий сравнения долей предназначен для сравнения долей патологических QRS-комплексов от их общего числа при эпизодах ишемии и вне их пределов. Статистика этого критерия аналогична критерию Стьюдента [5]. Значение статистики критерия Хи-квадрат с учетом поправки Йейтса рассчитывается следующим образом [5]:

$$\chi^2 = \sum \frac{(|O - E| - 1/2)^2}{E},$$

где O – наблюдаемое число в ячейке таблицы сопряженности, E – ожидаемое число в той же ячейке. Суммирование проводится по всем ячейкам таблицы.

Точный критерий Фишера основан на расчете вероятностей всех возможных вариантов заполнения таблицы сопряженности при данной численности групп [5].

Каждый из критериев оценивает вероятность того, что наблюдаемое событие является случайным. Эта вероятность сравнивается с принятым уровнем значимости. Событие называется значимым (а не случайным), если теоретическая вероятность его случайного появления меньше, чем принятый уровень значимости. Если критерий показывал наличие значимого изменения, то делался вывод, что связь между аритмией и ишемией существует.

Если допустить, что вероятность появления нарушения при каждом кардиоцикле постоянна, то можно предположить, что случайная величина распределена по биномиальному закону. Это позволяет применить критерий для сравнения вероятностей появления события двух выборок, распределенных по биномиальному закону.

Для оценки работы каждого критерия и сравнения их между собой были сопоставлены результаты определения связи между ишемией и аритмией, полученные в ходе анализа записей независимым экспертом, и результаты, полученные с использованием критериев. Затем были рассчитаны показатели чувствительность и специфичность по методике, определяемой ГОСТ Р 50267.47–2004 «Изделия медицинские электрические. Часть 2. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к амбулаторным электрокардиографическим системам». Чувствительность, или вероятность правильного обнаружения связи «ишемия–аритмия» была рассчитана как $Se = TP/(TP + FN)$. Специфичность, или вероятность отсутствия ложного определения связи «ишемия–аритмия», была рассчитана как $TN/(TN + FP)$, где TP – число правильно определенных связей, TN – число правильных заключений об отсутствии связи, FP – число ложно определенных связей, FN – число пропущенных связей. Тест проводился при уровнях значимости 0,01 и 0,05. Результат приведен в табл. 2.

При уровне значимости 0,05 все связи были обнаружены с использованием следующих критериев: критерия Манна–Уитни–Вилкоксона, критерия для биномиального распределения, точного критерия Фишера. Наилучший показатель специфичности среди этих критериев был получен при применении точного критерия Фишера – 88,24 %.

Таблица 2

Критерий	Уровень значимости			
	0,01		0,05	
	Чувствительность, Se, %	Специфичность, P, %	Чувствительность, Se, %	Специфичность, РБ %
Колмогорова–Смирнова	0	97,06	0	97,06
Манна–Уитни–Вилкоксона	100	94,12	100	76,47
Хи-квадрат для таблицы сопряженности	100	88,24	100	67,65
Сравнение долей	100	88,24	100	67,65
Точный критерий Фишера	100	88,24	100	88,24
Критерий биномиального распределения	100	73,53	100	58,82

При уровне значимости 0,01 все связи были обнаружены с помощью тех же критериев. Наилучший показатель специфичности среди этих критериев был получен при применении критерия Манна–Уитни–Вилкоксона – 94,12 %.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для нахождения связи между ишемиями и аритмиями лучше всего подходит критерий Манна–Уитни–Вилкоксона для случайной величины «количество эпизодов аритмии в минуту» при уровне значимости 0,01.

В ходе исследования выяснилось, что использование критериев Хи-квадрат и сравнения долей, которые применяются для таблиц сопряженности, представляется неправомерным, так как значения входных данных не отвечали условиям применимости этих критериев.

Критерий биномиального распределения позволил обнаружить все значимые изменения, но дал большое количество ошибок по обнаружению ложных связей – специфичность равна 59 и 74 % при уровнях значимости 0,05 и 0,01 соответственно.

Наихудший результат для решения данной задачи показал критерий Колмогорова–Смирнова – при его использовании не было обнаружено ни одного значимого изменения. Однако при применении этого критерия было получено самое высокое значение специфичности 97 %.

С помощью почти всех критериев за исключением критерия Колмогорова–Смирнова удалось обнаружить большинство связей между ишемией и аритмией, что говорит о хорошей чувствительности критериев. Однако при использовании критериев были обнаружены связи там, где их не было в действительности. Поэтому основным параметром для выбора критерия помимо чувствительности явилась еще и специфичность.

Для обнаружения значимых изменений количества эпизодов аритмий во время ишемических эпизодов наилучший результат показал критерий Манна–Уитни–Вилкоксона на уровне значимости 0,01. Поэтому для решения поставленной задачи можно рекомендовать именно его.

Данный метод можно улучшить, если конкурирующей гипотезой будет именно увеличение, а не просто изменение количества эпизодов аритмий при ишемии. Тогда можно будет применить односторонние модификации критериев вместо двухсторонних, тем самым снизив ошибку первого рода (обнаружение связи там, где ее не было).

На следующем этапе работы планируется провести сбор записей ЭКГ с этим явлением и осуществить дальнейшее исследование и усовершенствование работы алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трешкур, Т. В. Клинико-электрокардиографическая характеристика ишемических желудочковых аритмий // Вест. аритмологии. 2002. № 30. С. 31–38.
2. Тихоненко, В. М. Нарушение ритма и проводимости во время эпизодов ишемии миокарда у больных стенокардией // Вест. аритмологии. 2001. № 21. С. 27–32.
3. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. С. 816.
4. Ллойд, Э., Ледерман, У. Справочник по прикладной статистике. Т. 2. М.: Финансы и статистика, 1990. С. 526.
5. Гланц, С. Медико-биологическая статистика. 4-е. изд. М.: Практика, 1998. С. 459.

E. S. Yakushenko

INVESTIGATION OF METHOD FOR DETECTING ASSOCIATION BETWEEN ARRHYTHMIA AND MYOCARDIAL ISCHEMIA USING HOLTER ECG RECORDS

Determination of correlation between myocardial ischemia and cardiac arrhythmias has important diagnostics significance. Application of statistical criteria for determination of correlation between ischemia and arrhythmias was studied in this paper. Correlation search procedure was performed on Holter ECG monitoring records. The best result was achieved with Mann–Whitney–Wilcoxon test with significance level 0.01.

Statistical criteria, cardiac arrhythmia, myocardial ischemia, Holter ECG records

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДИКАТРИСЫ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЧАСТИЦ БИОАЭРОЗОЛЯ

Результаты численного моделирования углового распределения флуоресценции отдельных частиц биоаэрозоля сравниваются с данными эксперимента, полученными проточно-оптическим методом. Показано, что экспериментальные данные согласуются с результатами модельных вычислений.

Биоаэрозоль, индикатриса флуоресценции, сферическая частица

Анализ аэрозолей в приземном слое воздуха относится к числу актуальных проблем экологического мониторинга, поскольку в качестве частиц аэрозоля могут выступать патогенные микроорганизмы, способные вызывать аллергические реакции и заболевания человека.

В настоящее время задача высокоскоростного экспресс-анализа респираторной (вдыхаемой) фракции аэрозоля 1...10 мкм успешно решается проточно-оптическим методом (ПОМ) [1], [2]. При анализе ПОМ отдельные частицы аэрозоля подвергаются воздействию внешнего возбуждающего излучения, диапазон длин волн которого соответствует возбуждению типичных для биологических веществ флуорофоров. Измерение сигналов флуоресценции и упругого рассеяния позволяет выделять потенциально опасные биологические частицы в условиях переменного собственного фона атмосферы как неорганического, так и биологического происхождения, маскирующего наличие патогенных микроорганизмов. При этом скорость анализа достигает 10^4 отдельных аэрозольных частиц в секунду.

Для разделения биологических и небиологических аэрозолей наиболее информативна регистрация флуоресценции триптофана и других ароматических аминокислот в спектральном интервале $\Delta\lambda_{\text{фл}}^{(1)} = 310...380$ нм при возбуждении излучением с длинами волн $\Delta\lambda_{\text{вб}}^{(1)} = 250...290$ нм [3]. Однако неспецифическая флуоресценция триптофана при $\Delta\lambda_{\text{вб}}^{(1)}$ свойственна всем биологическим частицам, что не позволяет разделять биологические вещества даже на условные таксономические группы (клетки, споры, белки). Поэтому актуальной является задача поиска новых информативных признаков (маркеров) патогенных биологических аэрозолей (ПБА), которые позволят повысить информативность ПОМ.

В качестве новых маркеров, расширяющих границы ПОМ как метода анализа ПБА, могут выступать сигналы углового распределения флуоресценции аэрозольных частиц. Ранее в [4] был предложен метод численного моделирования углового распределения излучения флуоресценции отдельных частиц биоаэрозоля произвольной формы, однородных и изотропных по оптическим свойствам. С использованием данного метода в [4] были выполнены расчеты для частиц сферической и эллиптической формы, оптические характеристики которых соответствовали экспериментальным данным бактерий *Erwinia herbicola* и спор *Bacillus subtilis* [5], [6].

В настоящей статье результаты численного моделирования [4] сравниваются с данными эксперимента по регистрации сигналов флуоресценции сухих частиц белка *Ovalbumin*, частиц суспензий белка *Ovalbumin*, а также спор бактерий *Bacillus subtilis*. Измерения выполнялись на лабораторной установке, оптическая система которой описана в [2].

Результаты численного моделирования. Выполненное в [4] численное моделирование позволило произвести анализ совместного влияния преломления излучения на поверхности частицы (геометрический эффект) и поглощения на угловое распределение интенсивности флуоресцентного излучения частиц аэрозоля 1...10 мкм.

При моделировании в [4] исследовалась флуоресценция аэрозольных частиц в направлениях: «обратное» (противоположно оси возбуждающего излучения), «прямое» (совпадает с осью возбуждающего излучения), «боковое» (ортогонально оси возбуждающего излучения). Числовая апертура телесных углов светосбора флуоресценции, в каждом направлении составляла 0.18. При анализе углового распределения интенсивности флуоресценции использовались характеристики ее индикатрисы, определяемые отношениями:

$$\alpha = \frac{\text{обратное}}{\text{прямое}}; \quad \beta = \frac{\text{обратное}}{\text{боковое}}.$$

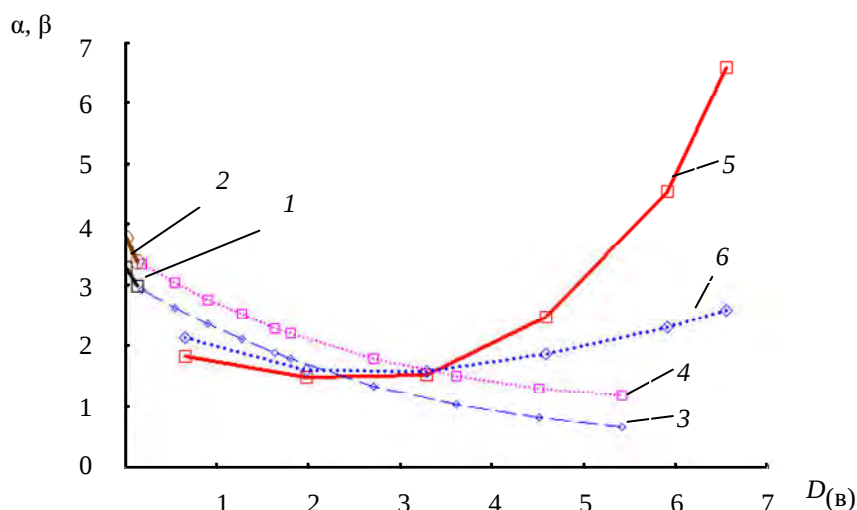


Рис. 1

Результаты зависимостей α и β от оптической плотности частиц D_λ представлены на рис. 1 (D_λ определялась на длине, равной диаметру частицы). Все точки на кривых α и β соответствуют определенному размеру частиц, оптическая плотность которых соответствует трем типам:

1) слабопоглощающие частицы ($D_{в,ф} \leq 0.2...0.5$, где подстрочный индекс «в» соответствует длине волны возбуждения, а «ф» — флуоресценции). Согласно [5], к таким частицам можно отнести бактерии *Erwinia herbicola* размером 1...10 мкм при возбуждении $\lambda = 360$ нм и регистрации флуоресценции с пиком на 430 нм: $n'_{\lambda=360} = 1.545 - i0.00035$ ($D_{\lambda=360} = 0.013...0.13$), $n'_{\lambda=430} = 1.533 - i0.000279$ ($D_{\lambda=430} = 0.008...0.08$);

2) частицы оптически плотные для возбуждающего излучения ($D_{(в)} > 0.2$) и слабо поглощающие излучение флуоресценции ($D_{ф} < 0.2$). Бактерии *Erwinia herbicola* [5] являются оптически плотными для возбуждающего излучения $\lambda = 265$ нм $n'_{\lambda=265} = 1.59 - i0.00035$ ($D_{\lambda=265} = 0.2...1.8$) и прозрачными для пика флуоресценции $\lambda = 360$ нм $n'_{\lambda=360} = 1.545 - i0.00035$ ($D_{\lambda=360} = 0.013...0.13$).

3) оптически плотные частицы ($D_{в, ф} > 0.5$). Споры [6] 1...10 мкм являются оптически плотными частицами как при возбуждении на 265 нм, так и для флуоресценции на длинах волн 365 и 430 нм соответственно: $n'_{\lambda=265} = 1.55 - i0.014$ ($D_{\lambda=265} = 0.65...6.54$); $n'_{\lambda=365} = 1.53 - i0.016$ ($D_{\lambda=365} = 0.56...5.69$); $n'_{\lambda=430} = 1.52 - i0.017$ ($D_{\lambda=430} = 0.52...5.2$).

В общем случае степень влияния отдельных эффектов на индикатрису флуоресценции зависит от величин оптических плотностей частицы на длинах волн возбуждения $D_{в}$ и флуоресценции $D_{ф}$. Для слабопоглощающих частиц $D_{в, ф} \leq 0.2...0.5$ влияние поглощения незначительно и индикатриса определяется главным образом геометрическим эффектом преломления излучения на поверхности частицы (рис. 1: α – кривая 1, β – кривая 2).

Если частица является оптически плотной для возбуждающего излучения ($D_{в} > 0.2$) и при этом прозрачной или слабопоглощающей для излучения флуоресценции ($D < 0.2$), ее индикатриса определяется совместным действием геометрического эффекта и эффекта поглощения возбуждающего излучения. Для таких частиц ослабление влияния геометрического эффекта при $D_{в} > 0.2$ приводит к уменьшению α и β с ростом $D_{в}$ и при $D_{в} > 3.7$ индикатриса частицы имеет максимум в направлении «прямое» (рис. 1, α – кривая 3, β – кривая 4).

Индикатрису флуоресценции оптически плотных частиц ($D_{в, ф} > 0.5$) определяет совместное действие всех перечисленных эффектов. Как видно из рис. 1, α (кривая 5) имеет минимум в области $D_{в} = 2...3$. Для частиц с $D_{в} < 3$ преобладает эффект уменьшения α при увеличении $D_{в}$ за счет ослабления геометрического эффекта [4].

При $D_{в} > 3$ для таких частиц энергия флуоресценции в обратном направлении стремится к некоторому пределу, тогда как флуоресценция в прямом направлении стремится к нулю [4].

Поведение параметра β (рис. 1, кривая 6) объясняется подобным образом с той лишь разницей, что флуоресценция в боковом направлении не стремится к нулю при больших значениях $D_{в}$ и достигает некоторого предела для абсолютно непрозрачной частицы (флуоресцирует только поверхность частицы). Результаты расчетов показывают, что в большом диапазоне значений оптической плотности ($0.6 \leq D_{в} \leq 6.5$) величина β оптически плотных частиц (рис. 1, кривая 6) не превышает значений β слабопоглощающих частиц (рис. 1, кривая 2).

Эксперимент. Эксперименты по измерению угловой зависимости сигналов флуоресценции отдельных частиц аэрозоля были выполнены на лабораторной установке, оптическая схема которой (рис. 2) была описана в [2]. На рис. 2 показаны: 1 – УФ-лазер; 2 – луч УФ-лазера; 3 – первый фокус эллиптического зеркала; 4 – эллиптическое зеркало; 5 – второй фокус эллиптического зеркала; 6–8 – ПОИ; 9–11 – приемные площадки ПОИ; 12 – плоскость торцевой поверхности эллиптического зеркала; 13 – двояковогнутая линза; 14–17 – линзы; 18–20 – спектроделительные зеркала; 21–23 – широкополосные светофильтры; 24–27 – полевые диафрагмы; 28 – диафрагма; 29 – бленда ввода излучения лазера; 30 – бленда вывода излучения лазера; 31 – оптическая ловушка.

Основным элементом системы является глубокое эллиптическое зеркало 4, телесный угол светосбора которого составляет 3π страд. Зеркало имеет два технологических отверстия под луч лазера и два отверстия под сопла, формирующие поток частиц шириной

0.2...0.3 мм. Луч лазера пересекает поток частиц аэрозоля, который ортогонален плоскости рисунка (на рис. 2 не показан), в окрестности первого фокуса зеркала. Флуоресцентное излучение частицы, проходящей через область анализа, отражается эллиптическим зеркалом 4 в область второго фокуса 5. Двояковогнутая линза 13 уменьшает числовую апертуру лучей, отраженных эллиптическим зеркалом, и строит промежуточное изображение области анализа в плоскости полевой диафрагмы 27.

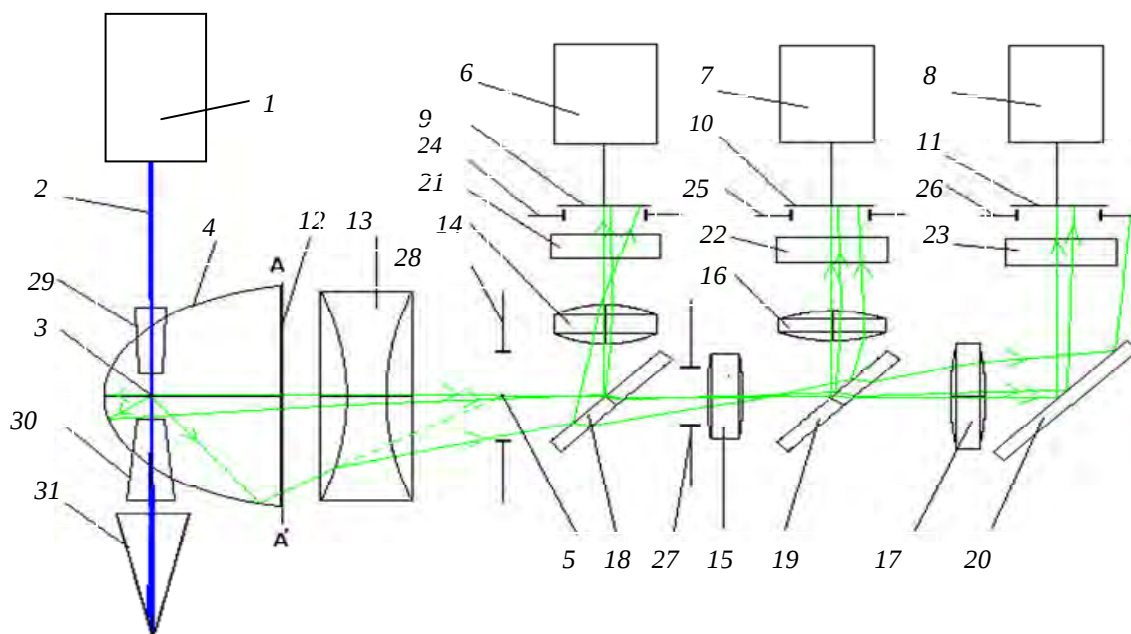
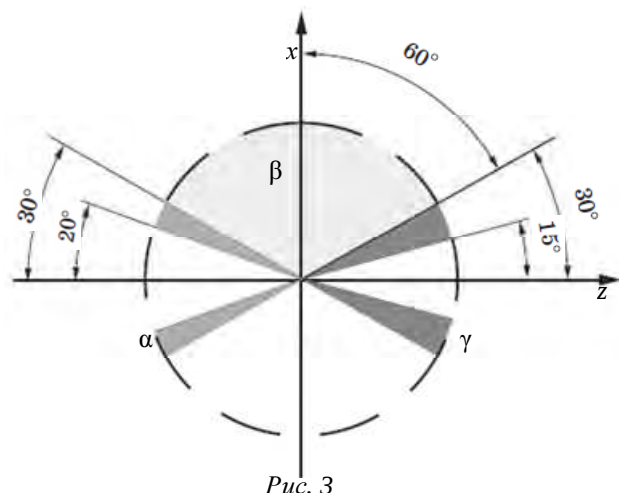


Рис. 2

Плоскость AA' совпадает с торцевой поверхностью 12 эллиптического зеркала и является проекцией поверхности эллиптического зеркала, подсвеченной точечным источником в первом фокусе. Так как каждому угловому положению луча, вышедшего из первого фокуса, соответствует одна точка в плоскости AA' , то распределение энергии в плоскости AA' однозначно задает картину углового распределения флуоресценции аэрозольной частицы, излучающей в окрестности первого фокуса. На оптической схеме рис. 2 показан геометрический ход трех лучей, вышедших под разными углами из первого фокуса эллиптического зеркала.

Изображение плоскости AA' , с помощью линз и спектроделительных зеркал формируется на приемных площадках приемников оптического излучения 9–11 (ПОИ). Установка диафрагм 24–26 непосредственно перед приемными площадками позволяет выделять области пространственного распределения флуоресценции по одной на каждый канал регистрации. Спектроделители и фильтры обеспечивают выделение необходимого спектрального диапазона на каждом канале регистрации. Оптическая ловушка 31 предназначена для подавления лазерного излучения, выходящего через отверстие в зеркале.

Схематичное изображение углов регистрации флуоресценции показано на рис. 3, где центр системы координат совпадает с центром облучаемой частицы, ось z – с осью луча лазера, а ось потока аэрозольных частиц ортогональна плоскости рисунка. Измерения происходили в направлениях: прямое – угловой сектор γ_1 (ось вращения совпадает с z), боковое – угловой сектор γ_2 (ось вращения x ортогональна z), обратное – угловой сектор



γ_3 (ось вращения противоположна z). Следует отметить, что выбор более широких углов регистрации в сравнении с расчетными углами ($\approx 10^\circ$) был обусловлен слабой величиной сигналов флуоресценции, регистрируемой в меньших углах. В прямом и обратном направлениях измерения в углах, близких к оптической оси лазера, не проводились в силу конструктивных ограничений оптической системы (виньетирование флуоресценции на элементах и отверстиях оптической системы). Данные отличия экспериментальных условий и модельных расчетов

позволяют только качественно сопоставить эксперимент и результаты вычислений.

В качестве внешнего источника излучения использовался опытный образец твердотельного импульсно-периодического УФ-лазера (266 нм) с пассивной модуляцией добротности, обеспечивающий облучение отдельной частицы аэрозоля с плотностью энергии $E \approx 100 \dots 200$ мкДж/см³. Частота импульсов источника была равна 22 кГц при средней мощности около 3 мВт. Из-за невысокого квантового выхода флуоресценции и малого времени регистрации полезного светового сигнала в качестве приемников оптического излучения (ПОИ) использовались фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Сигналы флуоресцентного излучения частицы при регистрации в прямом, боковом и обратном направлениях были последовательно измерены в диапазонах 300...400 и 400...500 нм соответственно, при этом приемником 6 регистрировалась флуоресценция в обратном, приемником 7 – в прямом, приемником 8 – в боковом направлениях регистрации.

В эксперименте исследовались сухие частицы белка *Ovalbumin*, частицы водных суспензий белка *Ovalbumin*, а также споры бактерий *Bacillus subtilis*. Пробы сухих частиц белка *Ovalbumin* и споры бактерий *Bacillus subtilis* (порошки) подавались через эжектор на вход воздухозаборной трубки лабораторной установки. Частицы водных суспензий белка *Ovalbumin* распылялись вблизи воздушного входа лабораторной установки ингалятором PARI junior boy N, обеспечивающим средний размер частиц 3.9 мкм.

Так как результаты измерений ПОМ сигналов отдельных частиц исследуемого аэрозоля должны рассматриваться как случайные величины, то их анализ естественно выполнять, опираясь на статистические методы [2].

Полученные результаты измерений представлены на рис. 4 и 5 в виде гистограмм распределения отношений α (рис. 4) и β (рис. 5), где N – число зарегистрированных сигналов флуоресценции отдельных частиц. Из рис. 4, 5 следует, что для частиц суспензий *Ovalbumin* и спор бактерий *Bacillus subtilis* индикатриса флуоресценции не изотропна и имеет максимум в обратном направлении, тогда как для сухих частиц *Ovalbumin* пик гистограмм α и β близок к 1 в каждом из диапазонов регистрируемой флуоресценции. Кроме того, для суспензий и сухих частиц *Ovalbumin* угловое распределение флуоресценции не зависит от диапазона регистрации, а для спор *Bacillus subtilis* с ростом длины волны флуоресценции максимум α смещается с 1.5 до 2.3, а β – с 1 до 1.7.

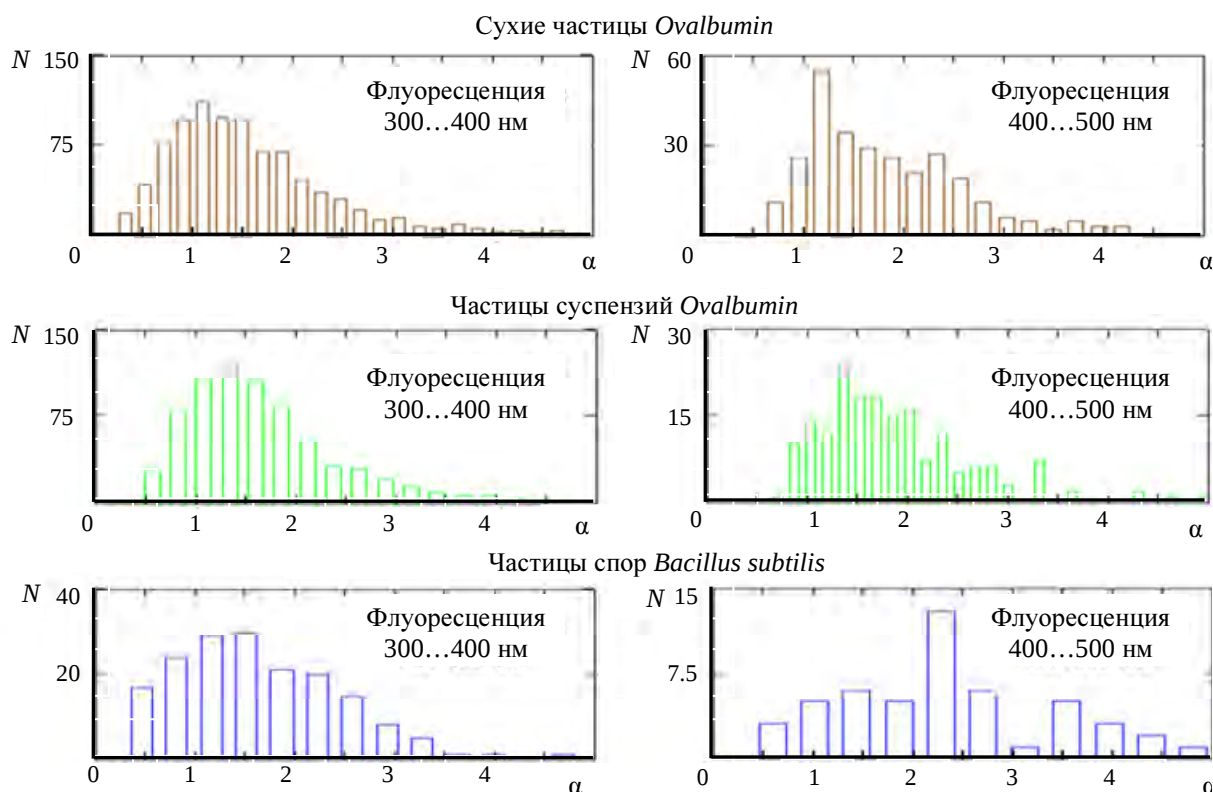


Рис. 4

Для белка *Ovalbumin* полученные результаты измерений качественно согласуются с данными [7]. Так как оптическая плотность частиц *Ovalbumin* в диапазоне длин волн флуоресценции ($D_{\lambda=360} = 0.013 \dots 0.13$, $D_{\lambda=430} = 0.013 \dots 0.13$) и возбуждения ($D_{\lambda=430} = 0.013 \dots 0.13$) значительно различается, то влияние эффекта поглощения флуоресцентного излучения на угловое распределение оказывается незначительным и индикатриса флуоресценции в основном определяется действием геометрического эффекта и эффектом ослабления возбуждающего излучения. При этом для сухих частиц *Ovalbumin* геометрический эффект оказывается скомпенсирован эффектом поглощения на длине волны возбуждения в большей степени ($\alpha = 1$, $\beta = 1$) по сравнению с частицами суспензий, где $\alpha = 1.5$, $\beta = 1.5$.

Для спор бактерий *Bacillus subtilis* оптические плотности на длинах волн возбуждения ($D_{\lambda=265} = 0.65 \dots 6.54$) и флуоресценции ($D_{\lambda=365} = 0.56 \dots 5.69$, $D_{\lambda=430} = 0.52 \dots 5.2$) относительно близки и влияние поглощения флуоресцентного излучения оказывается существенным наряду с остальными эффектами. При этом из данных [6] следует, что угловое распределение флуоресценции не должно значительно изменяться с изменением области регистрации флуоресценции с 365 на 430 нм ввиду близости оптических плотностей на эти длины волн. Однако для спор *Bacillus subtilis* в эксперименте наблюдалось смещение максимума α , β при переходе от диапазона 300...400 нм ($\alpha = 1.5$, $\beta = 1$) к диапазону 400...500 нм ($\alpha = 2.3$, $\beta = 1.7$). Отмеченное несоответствие свидетельствует о возможном различии оптических свойств спор бактерий *Bacillus subtilis*, исследуемых нами и в работе [6]. Такие различия могут быть связаны с разными условиями изготовления образцов спор и их хранения.

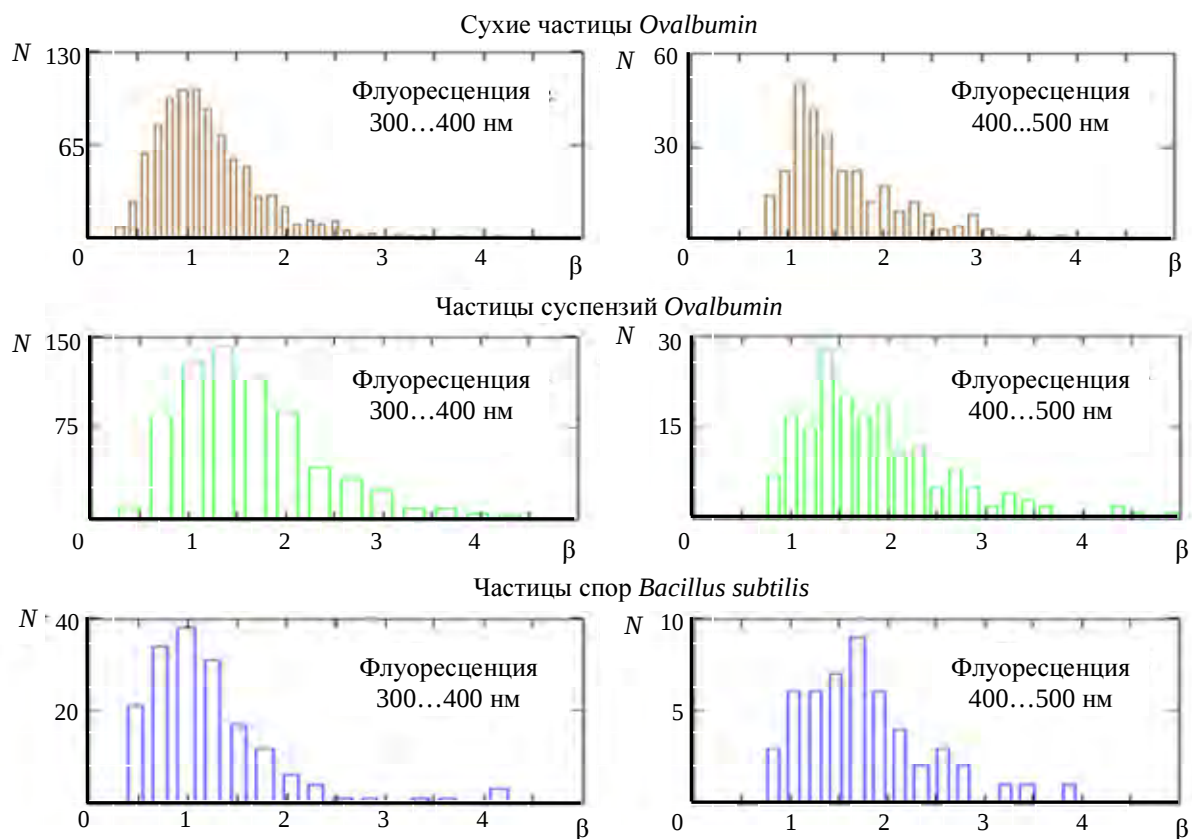


Рис. 5

Чтобы разрешить указанное противоречие, нами было оценено изменение оптической плотности $D_{C(\lambda)}$ используемых образцов в диапазоне длин волн 250...500 нм. Для уменьшения эффекта рассеяния порошки сухого белка *Ovalbumin* и частиц спор были помещены в среду с близким показателем преломления (вода). Суспензии *Ovalbumin* были разбавлены с целью уменьшения оптической плотности и, как следствие, снижения влияния эффекта самозатенения частиц на результаты измерения величин $D_{C(\lambda)}$. Эксперимент проводился на спектрофотометре СФ-46. По данным измерений наиболее сильное уменьшение оптической плотности при увеличении длины волны в диапазоне длин волн возбуждения и флуоресценции происходит для частиц белка *Ovalbumin*, где для сухих частиц $D_{C(\lambda=265)}/D_{C(\lambda=450)} = 7.2$, $D_{C(\lambda=265)}/D_{C(\lambda=350)} = 3$, а для частиц суспензий $D_{C(\lambda=265)}/D_{C(\lambda=450)} = 6.6$, $D_{C(\lambda=265)}/D_{C(\lambda=350)} = 2.7$. Тем самым для частиц *Ovalbumin* наблюдается существенное различие оптических плотностей в диапазоне возбуждения и флуоресценции, что качественно совпадает с данными [7] и подтверждается экспериментом по измерению углового распределения флуоресценции. Для спор бактерий *Bacillus subtilis* уменьшение оптической плотности в диапазоне 265...500 нм меньше и $D_{C(\lambda=265)}/D_{C(\lambda=450)} = 2.7$, $D_{C(\lambda=265)}/D_{C(\lambda=350)} = 1.7$. Тем самым, с одной стороны, для частиц спор оптические плотности в диапазоне возбуждения и флуоресценции имеют более близкие значения, чем для белка *Ovalbumin*, что совпадает с данными [6]. С другой стороны, оптическая плотность спор бактерий *Bacillus subtilis* монотонно уменьшается с ростом длины волны, что отличается от результатов [6]. В то же время, указанная

спектральная зависимость оптической плотности качественно объясняет результаты измерений угловой зависимости флуоресценции спор *Bacillus subtilis*.

Действительно, для исследуемых образцов спор *Bacillus subtilis* в более прозрачном диапазоне 400...500 нм ослабление геометрического эффекта оказывается менее сильным ($\alpha = 2.3$, $\beta = 1.7$), чем для диапазона 300...400 нм ($\alpha = 1.5$, $\beta = 1$). Увеличение асимметрии индикатрисы для спор *Bacillus subtilis* при переходе от диапазона регистрации флуоресцентного излучения 300...400 к диапазону 400...500 нм соответствует на рис. 4 переходу α от кривой 5 к кривой 3 при $D_B < 2.3$, и β от кривой 6 к кривой 4 при $D_B < 3.3$. Отметим, что на гистограммах *Bacillus subtilis* (рис. 4, 5) пиковые значения β (1 в диапазоне 300...400 нм и 1.7 в диапазоне 400...500 нм) находятся ниже соответствующих значений α (1.5 в диапазоне 300...400 нм и 2.3 в диапазоне 400...500 нм), тогда как в соответствии с расчетом для каждой частицы $\alpha \leq \beta$ при $D_B < 3.3$ (см. рис. 1). Данное несоответствие можно объяснить существенным различием в углах регистрации флуоресценции в боковом направлении при расчете ($\approx 10^\circ$) и эксперименте ($\approx 60^\circ$). Как следствие, увеличение числовой апертуры приводит к росту средней интенсивности флуоресценции в боковом направлении регистрации.

Полученные экспериментальные данные подтверждают наличие эффекта анизотропии флуоресценции, который зависит от оптической плотности частиц аэрозоля на длинах волн возбуждения и флуоресценции. Зависимость параметров индикатрисы от степени поглощения флуоресценции может быть использована в проточно-оптическом методе в качестве маркера для разделения биологических частиц (например, вегетативных клеток и спор) по величине оптической плотности на длине волны флуоресценции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Advanced Trigger Development / T. H. Jeys, W. D. Herzog, J. D. Hybl, et al. // Lincoln Laboratory. 2007. Vol. 17, № 1. P. 29–60.
2. Кочелаев Е. А., Волчек А. О. Оптическая система регистрации для проточно-оптического метода анализа биоаэрозолей // Оптический журн. 2011. № 78 (6). С. 23–30.
3. Kaye P. H., Stanley W. R., Hirst E. Single particle multichannel bio-aerosol fluorescence sensor // Optics Express. 2005. Vol. 13. P. 3583–3593.
4. Кочелаев Е. А., Волчек А. О., Сидоренко В. М. Метод расчета индикатрисы флуоресценции частиц аэрозоля // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 9. С. 110–118.
5. Optical properties of *Erwinia herbicola* Bacteria at 0.19–2.5 μm / E. T. Arakawa, P. S. Tuminello, B. N. Khare, M. E. Milham // Biopolymers. 2003. P. 391–398.
6. Optical properties of *Bacillus subtilis* spores from 0.2 to 2.5 μm / P. S. Tuminello, E. T. Arakawa, B. N. Khare, et al. // Appl. Opt. 1997. № 13. P. 2818–2824.
7. Optical properties of Ovalbumin in 0.130–2.50 μm Spectral Region / E. T. Arakawa, P. S. Tuminello, B. N. Khare, M. E. Milham // Biopolymers. 2001. Vol. 62. P. 122–128.

E. A. Kochelaev, A. O. Volchek, V. M. Sidorenko

THE EXPERIMENTAL STUDY OF FLUORESCENCE INDICATRIX OF BIOLOGICAL AIRBORNE PARTICLES

The numerical simulation results of angle distribution fluorescence of single airborne particles and experimental data, obtained by the flow – optical method are compared. It is shown that the experimental data are consistent with the results of model calculations.

Airborne particles, fluorescence indicatrix, spherical particle



УДК 744.4

В. П. Большаков, А. В. Чагина

НОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСА «ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»

Для 17 направлений подготовки бакалавров по материалам федеральных образовательных стандартов представлен обзор того, что в результате изучения дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» обучающийся должен знать, уметь, чем владеть. Рассматривается содержание курса, рассчитанного на 51 ч аудиторных занятий. Ведущая идея курса – научить создавать конструкторскую документацию на основе построения трехмерных моделей изделий.

Инженерная и компьютерная графика, твердотельное моделирование, конструкторская документация, система КОМПАС-3D

Одним из частных результатов введения федеральных образовательных государственных стандартов (ФГОС) нового поколения стало очередное сокращение аудиторных часов по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика» (ИКГ). Естественным образом встал вопрос о том, какие разделы сокращать, а какие сохранять и совершенствовать с учетом современных подходов к автоматизированному конструированию, когда конструкторская документация изделий создается на основе трехмерного моделирования этих изделий.

Стоит обратиться к ФГОСам, чтобы оценить, что обучающийся должен знать уметь и чем владеть в результате освоения курса ИКГ. В табл. 1 представлены выдержки из ФГОСов, разработанных в СПГЭТУ «ЛЭТИ», а в табл. 2 – из ФГОСов, разработанных в других технических университетах России, по которым также осуществляется подготовка бакалавров и в СПГЭТУ «ЛЭТИ»

В табл. 3 представлены выдержки из ФГОСов по направлениям подготовки бакалавров в НИУ ИТМО, для которых в базовую (общепрофессиональную) часть стандартов включена дисциплина ИКГ.

Анализ содержания табл. 1–3 показывает, что элементы начертательной геометрии (НГ) обозначены в разделе «знать» только для 8 из 17 направлений. В известных учебниках НГ определяется как один из разделов геометрии, в котором пространственные фигуры, представляющие собой совокупность точек, линий, поверхностей, изучаются по их проекционным изображениям. В этих учебниках справедливо отмечается, что НГ по своему содержанию занимает

Таблица 1

Направления подготовки бакалавров	Название дисциплины	В результате изучения дисциплины обучающийся должен		
		знать	уметь	владеть
201000 – Биотехнические системы и технологии; 210400 – Радиотехника; 211000 – Конструирование и технология электронных средств	Инженерная и компьютерная графика	Элементы начертательной геометрии (НГ) и инженерной графики (ИГ), геометрическое моделирование, программные средства компьютерной графики	Представлять технические решения с использованием средств компьютерной графики и геометрического моделирования	Современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации
220400 – Управление в технических системах 210100 – Электроника и нанoeлектроника			Применять интерактивные графические системы для выполнения и редактирования изображений и чертежей	
222900 – Нанотехнологии и микросистемная техника			–	–

Таблица 2

Направления подготовки бакалавров	Название дисциплины	В результате изучения дисциплины обучающийся должен		
		знать	уметь	владеть
220100 – Системный анализ и управление	Инженерная и компьютерная графика	Методы и средства геометрического моделирования и компьютерной графики	Разрабатывать основные конструкторские документы, соответствующие требованиям стандартов и регламентов	Методами и технологиями автоматизированного проектирования конструкторской документации (КД) и изделий
230100 – Информатика и вычислительная техника			–	Методами и средствами разработки и оформления КД
210700 – Информационные технологии и системы связи		–	–	Техникой инженерной и компьютерной графики (ввод, вывод, отображение, преобразование и редактирование графических объектов на компьютере)
200100 – Приборостроение	Начертательная геометрия и инженерная графика	Основы НГ, правила оформления технической документации	Разрабатывать и оформлять проектно-конструкторскую и технологическую документацию для изделий приборостроительной отрасли	Методами решения проектно-конструкторских и технологических задач с использованием современных программных продуктов
150100 – Материаловедение и технология материалов	Начертательная геометрия и компьютерная графика	Элементы НГ и технического черчения, программные средства компьютерной графики	Читать и выполнять чертежи деталей и элементов конструкций	Методами компьютерной графики
280700 – Техносферная безопасность	Начертательная геометрия. Инженерная графика	Методы и средства компьютерной графики	Применять действующие стандарты, положения и инструкции по оформлению технической документации; использовать современные средства машинной графики	Навыками разработки и оформления эскизов деталей машин, сборочного чертежа изделия; средствами составления спецификации с использованием методов машинной графики; навыками изображения пространственных объектов на плоских чертежах

Таблица 3

Направления подготовки бакалавров	Название дисциплины	В результате изучения дисциплины обучающийся должен		
		знать	уметь	владеть
200400 – Оп- тотехника	Инже- нерная и компью- терная графика	Правила оформления чер- тежей, КД; инструменталь- ные программные средства инженерной и компьютер- ной графики; работу с при- кладными пакетами и гра- фическими редакторами инженерной графики	Оформлять чертежи и конструкторско- технологическую доку- ментацию оптических, оптико-электронных и лазерных приборов и систем с использованием персональной ЭВМ, кон- струировать типовые де- тали и функциональные устройства оплотехники	Методами приме- нения прикладных пакетов и графиче- ских редакторов инженерной гра- фики
200500 – Ла- зерная техни- ка и лазерные технологии	Инже- нерная и компью- терная графика	Правила оформления чер- тежей, КД	Оформлять чертежи и конструкторско- технологическую доку- ментацию оптических, оптико-электронных и лазерных приборов и систем с использованием персональной ЭВМ	Методиками при- менения приклад- ных пакетов и гра- фических редакто- ров инженерной графики
200700 – Фо- тоника и оп- тоинформатика	Инже- нерная и компью- терная графика	Основы инженерной гра- фики, задачи геометриче- ского моделирования, ме- тоды и средства компью- терной графики, форматы хранения графической ин- формации, правила оформ- ления технической доку- ментации	Использовать програм- мные средства компью- терной графики, разра- батывать и оформлять конструкторскую доку- ментацию на типовые объекты фотоники и оп- тоинформатики	Методами визуа- лизации и компью- терного представ- ления трехмерных объектов, метода- ми решения конст- рукторских задач с использованием современных про- граммных продук- тов
221000 – Ме- хатроника и робототехника	Инже- нерная и компью- терная графика	КД, оформление чертежей, элементы геометрии дета- лей, изображение проекции деталей, сборочный чертеж изделий; компьютерную графику, представление видеоинформации и ее ма- шинную генерацию, графиче- ские языки; современные стандарты компьютерной графики; графические диа- логовые системы, примене- ние интерактивных графиче- ских систем	Строить аксонометриче- ские проекции деталей, выполнять эскизы дета- лей машин, сборочные чертежи изделий, реали- зовывать аппаратно- программные модули графических систем	Приемами графики при разработке новых и модерни- зации существую- щих конструкций
223200 – Тех- ническая физика	Инже- нерная и компью- терная графика	КД, правила оформления чертежей, элементы гео- метрического моделирова- ния, инструментальные и программные средства компьютерной инженерной графики	Выбрать состав, конст- рукцию, принцип работы конкретных изделий, приборов и объектов	Стандартными пакетами про- грамм компьютер- ной графики и мо- делирования

особое положение среди других наук: она является лучшим средством развития у человека пространственного воображения, без которого немислимо никакое инженерное творчество. Вместе с тем стоит отметить, что трехмерный (3D) редактор, входящий в состав CAD-систем

(computer aided design – конструирование, поддерживаемое компьютером), стал не только мощным инструментом геометрического моделирования и подготовки конструкторских документов, но и уникальным современным средством для развития образного мышления.

Далее рассматривается содержание курса на основе многолетнего опыта использования системы КОМПАС-3D [1]–[4] при изучении ИКГ в СПбЭТУ «ЛЭТИ» и НИУ ИТМО.

Практические занятия по курсу проводятся и в аудитории (17 ч), и в компьютерном классе (34 ч). Аудиторные занятия являются установочными для выполнения домашних заданий (ДЗ) и курсовой работы (КР), на них проводятся тесты по 5 темам [5], а также обсуждаются проблемы и результаты выполнения ДЗ и КР.

На первом занятии в компьютерном классе студенты получают файлы с исходными графическими данными для выполнения заданий по 9 темам. На рис. 1 в упрощенном виде показан пример представления исходных данных по первым трем темам, в которых задания выполняются с использованием 2D-редактора [1]–[3].

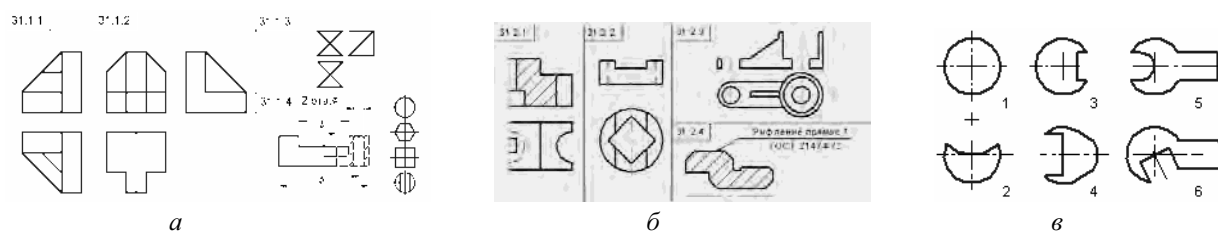


Рис. 1

В заданиях по темам 4–7 (рис. 2) выполняются ассоциативные чертежи по создаваемым трехмерным моделям [2], [3]. В таких чертежах все плоские виды связаны с 3D-моделью так, что изменение в модели приводит к изменению изображения в каждом ассоциативном виде.

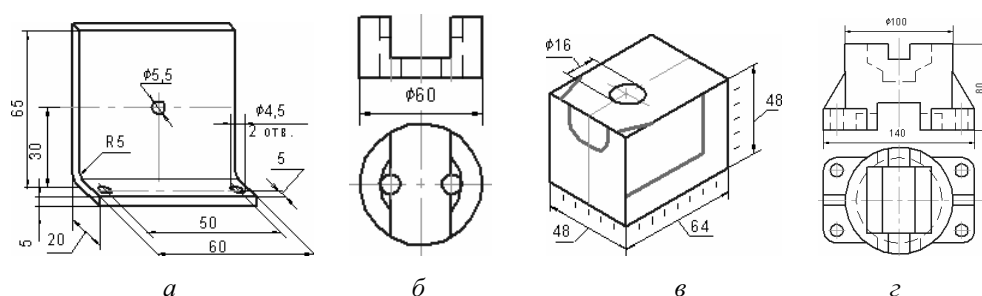


Рис. 2

Выполнение заданий по темам 8, 9 направлено на формирование знаний о правилах изображения и нанесения обозначения резьбы на чертежах разъемных соединений, а также на формирование навыков по редактированию изображений и использованию параметрических библиотек. На рис. 3, а показаны исходные данные для редактирования и изображения резьбовых соединений, а на рис. 3, б – пример выполненного задания по конструктивному изображению болтового, винтового и шпилечного соединений.

Домашние задания являются одним из основных результатов самостоятельной работы студентов до начала выполнения курсовой работы. ДЗ 1 выполняется в течение первых четырех недель и оформляется на трех листах формата А4. Предлагается по неполным

данным построить аксонометрические проекции деталей 1, 2, 5 и для деталей 3, 4, 5 завершить изображения и нанести размеры. Исходные данные берутся из выданных заданий (рис. 1, а, б). Примеры оформления двух листов задания показаны на рис. 4. ДЗ 2 выполняется после приобретения студентами на практических занятиях начальных навыков по трехмерному моделированию. В нем по графическим данным своего варианта необходимо создать 3D-модели и ассоциативные чертежи 4-х деталей. На рис. 5 показан пример представления исходных данных для варианта 31.

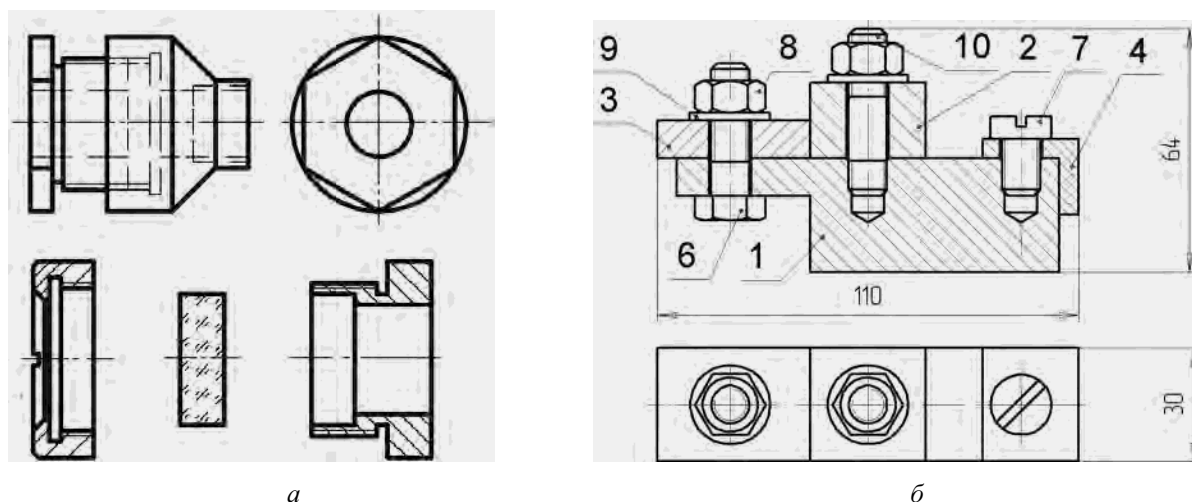


Рис. 3

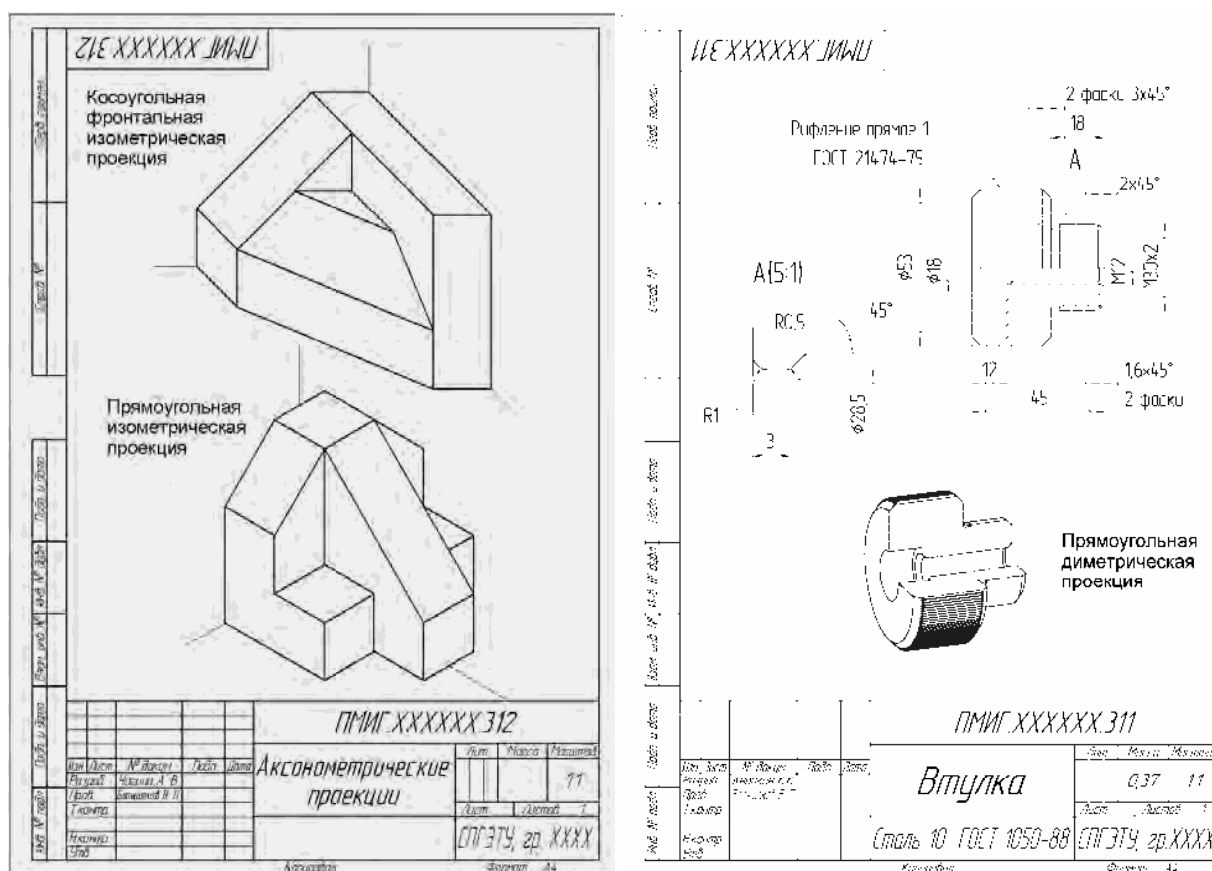


Рис. 4

Вариант 31		Виды							Элементы дерева модели
Данные по нанесению размеров в видах		Главный	Спереди	Сверху	Слева	Спереди	Сверху	Слева	Операция выдавливания: 1
Количество размеров	горизонтальные	4	2	–	4	3	4	1	Операция выдавливания: 2
	вертикальные	2	1	–	2	4	5	2	Операция выдавливания: 3
	диаметральные	1	–	–	–	–	–	–	Операция выдавливания: 4
	радиальные	5	–	1	2	2	2	–	Операция выдавливания: 5
	фасок	1	1	–	–	–	–	–	Вырезать элемент выдавливания: 1
	прочие	2	1	–	1	–	–	–	Вырезать элемент выдавливания: 2
Задание		31.1	31.2			31.3			

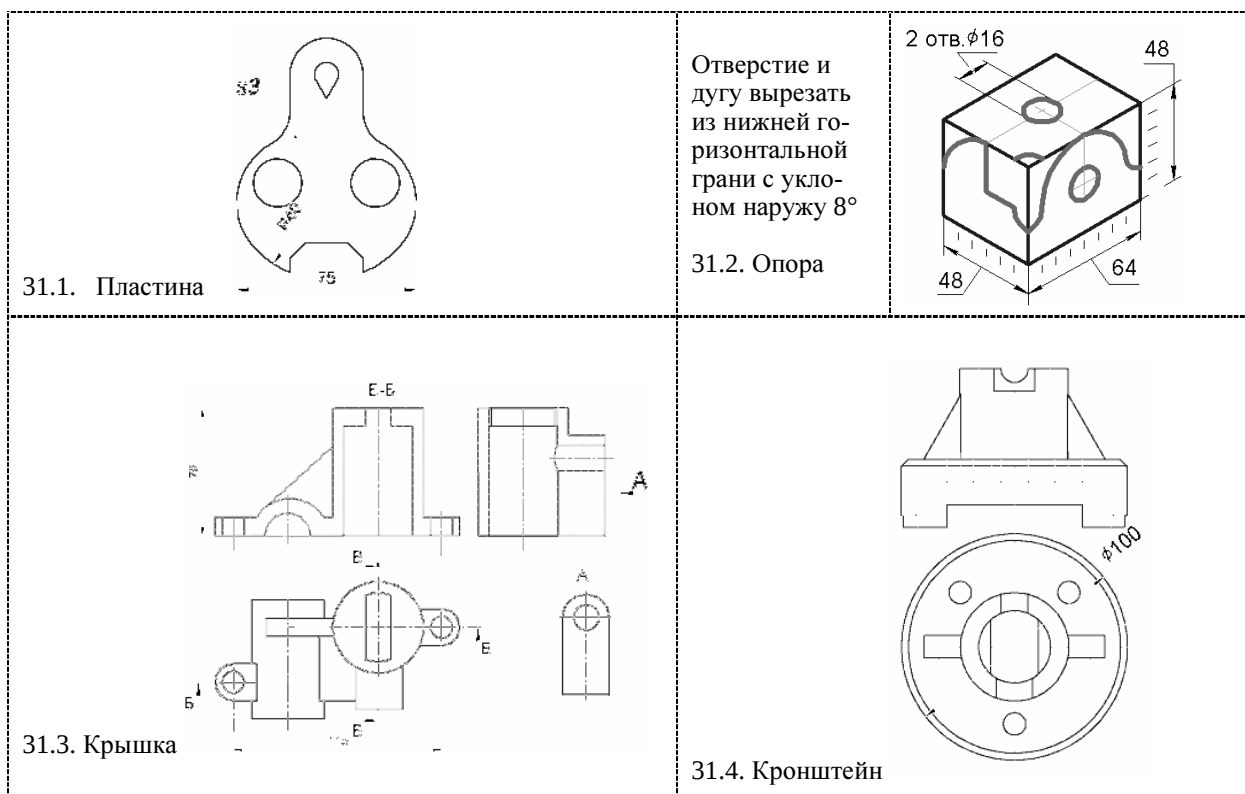


Рис. 5

Наибольшее количество ошибок и недочетов возникает при нанесении размеров на чертежах и при выборе оптимального числа формообразующих операций при создании 3D-моделей. Поэтому при выполнении задач 1, 2, 3 предлагается учитывать представленные данные по нанесению размеров в видах, а при выполнении задачи 3 следует также выполнять рекомендации по содержанию «дерева» модели.

При назначении размеров необходимо учитывать требования ГОСТ 6636-69.

Курсовая работа начинается выполняться студентами в середине семестра и на практических занятиях в компьютерном классе, и самостоятельно, как правило, после получения оценок за выполненные работы на практических занятиях по темам 1–9 и выполнения ДЗ 1.

На рис. 6 показан пример представления графических данных для выполнения КР, в рамках которой необходимо:

- завершить сборочный чертеж, используя данные спецификации, изобразив разные типы разъемных соединений;
- завершить заполнение и оформление спецификации;

- по данным завершенных сборочного чертежа и спецификации выполнить детализацию на основе трехмерного моделирования нескольких деталей;
- создать 3D-модель сборочной единицы и соответствующую КД.

На рис. 7 показан результирующий фрагмент создания 3D-модели шпильчатого соединения, а рис. 8 иллюстрирует процедуру создания спецификации этого соединения в полуавтоматическом режиме.

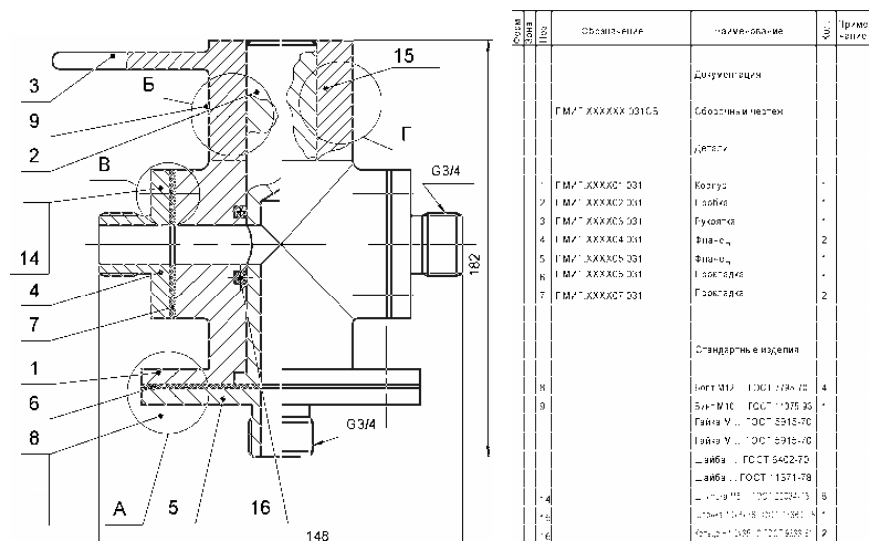


Рис. 6

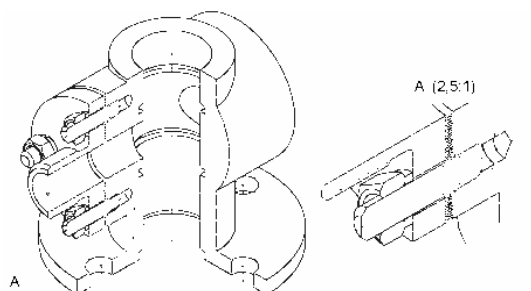


Рис. 7

Опыт проведения практических занятий и курсового проектирования показывает, что дополнение дидактического материала элементами НГ вряд ли уместно с учетом обозначенного в учебных планах объема (51 ч) аудиторных занятий. Продуктивная работа на практических занятиях возможна при условии, что число персональных компьютеров в классе не меньше числа обучаемых. Для успешного выполнения учебных заданий целесообразно использование соответствующих разработанных электронных ресурсов, в частности, каталога, размещенного по адресу www.eltech.ru/misc/graph/index.html.

Реализация на практике содержания рассмотренных разделов курса позволила обеспечить многолетнее лидерство команд студентов СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и СПбГУ ИТМО «ЛИТМО» на региональных и городских студенческих олимпиадах по инженерной и компьютерной графике¹. В последние годы лавры первенства отошли к университетам, в которых КОМПАС стал основным инструментом решения учебных конструкторских задач в рамках специальных дисциплин. Победителями олимпиад становятся студенты, получившие опыт 3D-моделирования при работе по заказам предприятий.

¹ www.eltech.ru/news/graph/index.htm.

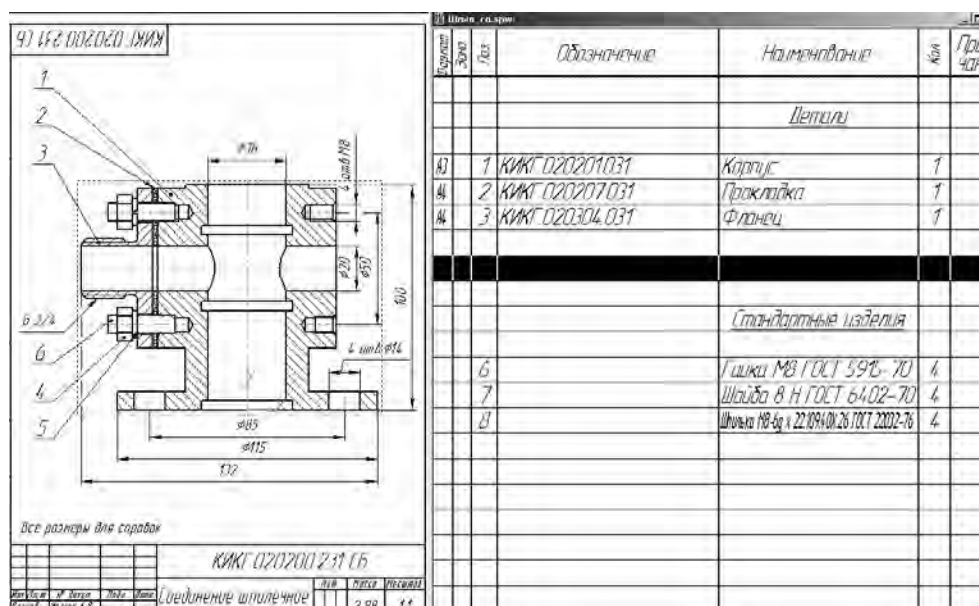


Рис. 8

Для некоторых направлений подготовки бакалавров планируется 68 ч аудиторных занятий, причем не на первом курсе. При таком объеме реально знакомить не только с твердотельным моделированием, но и с листовым и поверхностным. Возможен вариант знакомства помимо с КОМПАС-3D и с другими CAD-системами и вопросами обмена графическими данными между системами [4]. К изданию подготовлены учебные пособия по самостоятельной работе, ориентированные на освоение систем PRO/ENGINEER WILDFIRE 5.0 и SolidWorks.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков В. П. Инженерная и компьютерная графика. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 592 с.
2. Большаков В. П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 496 с.
3. Большаков В. П. КОМПАС-3D для студентов и школьников. Черчение, информатика, геометрия. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 304 с.
4. Большаков В. П., Бочков А. Л., Сергеев А. А. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: учеб. курс (+DVD). СПб.: Питер, 2011. 336 с.
5. Большаков В. П., Чагина А. В. Повышение эффективности тестов на соответствие изображениям // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 2. С. 67–72.

V. P. Bolshakov, A. V. Chagina

THE NEW CONTENT OF THE COURSE «ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS»

A review of what the student needs to know and what the student must be able to do when studying discipline «Engineering and computer graphics». Demands are created according to federal education standards. The analysis was carried out for 17 different specialties. We will be consider the course content, calculated on 51 hours of classroom time. The leading idea of the course is to learn to create construction documentation, which based on the construction of 3D-models of products.

Engineering and computer graphics, solid modeling, design documentation, system КОМПАС-3D



УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ, ИННОВАЦИОННЫЙ И АНТИКРИЗИСНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 378.14

Ф. М. Галимов, Ф. Р. Мифтахутдинова

ПРИМЕНЕНИЕ QFD-АНАЛИЗА В РАМКАХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассматривается подход, позволяющий обеспечить подготовку специалистов такого качества, которое бы соответствовало ожиданиям предприятий.

Качество, профиль качества, образовательная деятельность, развертывание функции качества

Изменение образовательных потребностей и условий их реализации требует повышенного внимания к качеству образования. Вузы зависят от своих потребителей: необходимо понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания. При этом нужно помнить, что результаты образовательной деятельности должны соответствовать заданным стандартам.

Совершенствование образования как общественного приоритета России ориентировано на формирование конкретных путей, повышающих качество образования и делающих его доступным. Одним из инструментов, который можно использовать в рамках повышения качества результатов образовательной деятельности, является метод развертывания функции качества (QFD-анализ). Развертывание функции качества образовательной деятельности – это систематизированный путь развертывания нужд и пожеланий потребителя через развертывание функций и процессов деятельности образовательного учреждения по обеспечению такого качества подготовки специалиста, которое бы соответствовало ожиданиям потребителей [1].

Основная идея технологии QFD заключается в понимании того, что между потребительскими свойствами (фактическими показателями качества) и установленными в образовательных стандартах (вспомогательными показателями качества) существует большое различие. Вспомогательные показатели качества важны для образовательного учреждения, но не всегда существенны для потребителя. Идеальным случаем был бы такой, когда можно было бы проконтролировать качество непосредственно по фактическим показателям, но это, как правило, достаточно сложно, поэтому пользуются вспомогательными показателями.

Метод QFD – это экспертный метод, использующий табличный способ представления данных, причем со специфической формой таблиц, получивших название «дом качества». В этих таблицах отображается связь между требованиями потребителей и показателями качества образовательной деятельности. В «доме качества» в краткой матричной форме сконцентрирована информация, необходимая для принятия решения о выборе первоочередных направлений улучшений качеств, нужного потребителю [2].

Успех развертывания пожеланий и нужд потребителя будет зависеть от соответствия «воображаемого» образовательным учреждением качества подготовки специалиста ожиданиям потребителя. Поэтому в процессе формирования воображаемого качества необходимо в первую очередь иметь четкое представление о «профиле качества» будущего специалиста. Профиль качества включает три составляющие: *базовое, желаемое и требуемое качество*.

Профиль базового качества – совокупность показателей качества, наличие которых потребитель считает обязательным. Примерами таких показателей качества могут быть: уровень грамотности; объем знаний по виду профессиональной деятельности и т. д. Базовые показатели качества не определяют ценности специалиста в глазах потребителей, но их отсутствие может повлечь за собой негативную реакцию потребителя.

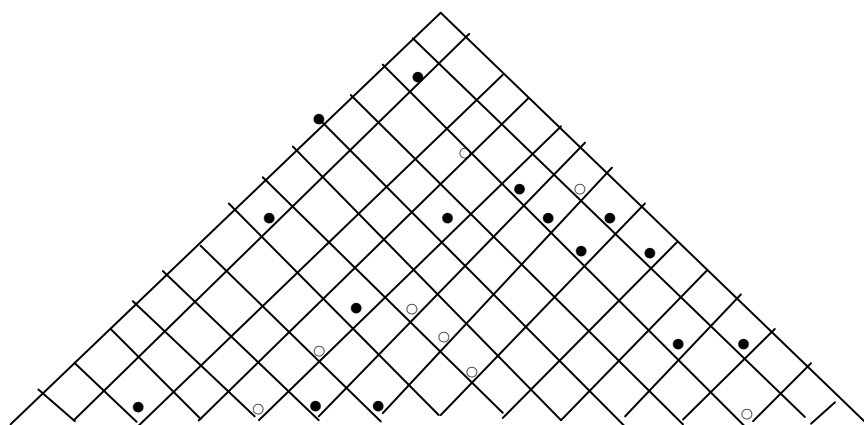
Профиль требуемого качества – совокупность показателей качества, напрямую оцениваемых потребителем и влияющих на конкурентоспособность выпускника. Примерами требуемых параметров качества являются: творческий подход к решению проблем; владение иностранными языками; владение компьютерными программами и т. д. Удовлетворенность потребителя возрастает, когда значения показателей лучше, чем ожидалось.

Профиль желаемого качества – группа показателей качества, представляющих еще не осознанные запросы потребителей. Особенность желаемых показателей качества состоит в том, что потребитель не придумывает их сам и не требует, но высоко оценит их наличие. Учет образовательным учреждением этого профиля качества дает ему ряд преимуществ: повышение имиджа образовательного учреждения; опережение возможных конкурентов. Реализация желаемых параметров качества часто является результатом глубокого понимания того, что хочет потребитель. Однако необходимо помнить, что учет потребителем желаемого качества стимулирует формирование новых требований общества к качеству образования.

На базе полной информации о требованиях потребителя с учетом профиля качества осуществляется процесс развертывания функции качества. Развернутая функция качества подготовки специалистов в КГТУ им. А. Н. Туполева с учетом требований потребителей, в качестве которых рассматриваются промышленные предприятия, представлена на рисунке (*«Дом качества» подготовки специалистов*).

Процесс развертывания функции качества складывается из нескольких стадий:

1. *Уточнение требований потребителей*. Основная задача любого образовательного учреждения – это формирование специалиста, отличающегося таким набором свойств, которые бы позволяли ему быть конкурентоспособным на рынке труда, удовлетворяли требованиям различных потребителей. В целях обеспечения конкурентоспособности выпускников на рынке труда образовательному учреждению необходимо провести опрос (в устной или письменной форме, индивидуально или в коллективе) потребителей на предмет выявления их требований к специалистам, которые в максимальной степени способны удовлетворить их пожелания. Эта процедура обычно называется «услышать голос потребителя». Очень важно, чтобы «голоса» переносились без искажений, чтобы на этом этапе не произошло утери информации.



● – сильная связь (9); ○ – средняя связь (3); Δ – слабая связь (1); ■ – вуз-конкурент; □ – КГТУ им. А. Н. Туполева	Весомость, %	Коммуникативная	Самосовершенствования	Деятельностная	Информационная	Расчетная	Проектно-конструкторская	Эксплуатационная	Организационная	Экономическая	Экологическая	Квалитативная	Профессиональная	Технологическая	Управленческая
1. Умение формировать цели проекта	7	○ 21			● 63							● 63			● 63
2. Умение прогнозировать последствия	9				● 81	○ 27				● 81		● 81			○ 27
3. Владение информационными технологиями	7				● 63		○ 21	● 63					Δ 7		
4. Организация работы коллектива исполнителей	9	● 81							● 81			● 81			● 81
5. Принятие управленческих решений	11	○ 33							● 99			○ 33	○ 33		● 99
6. Создание математических и физических моделей	7		● 63		○ 21	○ 21	Δ 7	○ 21		Δ 7		○ 21			○ 21
7. Разработка оптимальных технологий изготовления	7		Δ 7	○ 21		● 63	● 63				● 63			● 63	
8. Разработка программ и методик испытаний	7		● 63		● 63	● 63		○ 21		○ 21		Δ 7			
9. Эффективное использование материалов	9							● 81			● 81		● 81		
10. Практические навыки работы на производстве	9			● 81			● 81		○ 27					● 81	
11. Творческие способности	9		● 81											● 81	
12. Профессиональная ответственность	9		○ 27			○ 27	● 81	● 81					● 81	● 81	● 81
Суммарная оценка		114	241	108	297	201	253	267	207	109	144	286	202	306	351
Приоритетность, %		3	7	3	9	6	8	8	6	3	4	9	6	9	11
2															
3															
4		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Выяснение требований потребителей начинается с анализа рынка труда. Далее определяется выборка потенциальных потребителей, которая хорошо представляет все множество потенциальных потребителей в определенном рыночном сегменте. Затем в рамках выборки проводится опрос с тем, чтобы на основе его результатов определить, какими качествами, с точки зрения потребителей, должен обладать будущий специалист. Достоинство выборочного метода анализа рынка состоит в том, что он сокращает время исследований при статистически вероятных результатах. Выборка должна быть репрезентативной (представительной) и несмещенной, т. е. представлять всех возможных потребителей.

2. *Выделение приоритетных потребительских требований.* В результате опроса получается список требований потребителей (ТП). Количество высказанных пожеланий потребителя, а следовательно, и развернутых требований может быть достаточно обширным. Более того, эти требования часто бывают противоречивыми. Учесть все требования практически невозможно. Поэтому целесообразно выбрать наиболее важные и чаще других встречаемые пожелания потребителя. Оценку важности (веса, рейтинга) того или иного требования, как правило, возлагают на того же потребителя, так как его слово – закон. В завершение данного этапа строится часть матрицы «дома качества».

3. *Перевод требований потребителя в показатели качества образовательной деятельности.* Задача этой стадии технологии QFD – найти ответ на вопрос «как?», т. е. какими показателями качества (ПК) обеспечить выполнение потребительских требований. Для образовательной услуги существует множество показателей качества. С позиций компетентностного подхода интегральным показателем качества в контексте модернизации образования рассматривается компетентность специалиста, которая определяется не через определенную сумму знаний и умений, а характеризует умение человека мобилизовать в конкретной ситуации полученные знания и опыт. Чтобы стать компетентным в профессиональной деятельности, необходимо овладеть ключевыми компетенциями, к которым относят специальную, общепрофессиональную и личностную [1].

4. *Выявление тесноты связи (корреляции) между требованиями потребителей и показателями качества образовательной деятельности.* На четвертой стадии требуется выявить наличие и тесноту связи между требованиями потребителей и показателями качества образовательной деятельности. Теснота этой связи зависит от того, насколько существенный вклад вносит тот или иной показатель качества в удовлетворение конкретного пожелания потребителя. Инструментом для выявления важности различных связей является матрица связей, которая является сердцем QFD-методологии. Матрица связей определяет имеющуюся силу взаимосвязи между ожиданиями потребителей (записанными в каждой строке матрицы связей) и показателями качества образовательной деятельности (записанными в каждом столбце этой же матрицы связей), а также показывает степень (силу) зависимости. При заполнении элементов (ячеек) матрицы связей для описания силы взаимосвязей используются символы: Θ – сильная (9); O – средняя (3); Δ – слабая (1) [2].

Отсутствие какого-либо символа на пересечении строк и столбцов матрицы связей означает, что нет взаимосвязи между соответствующими ожиданиями потребителей и показателями качества образовательной деятельности.

5. *Определение абсолютной и относительной важности показателей качества образовательной деятельности.* Значение абсолютной важности (АВ) какого-либо показателя качества получается как сумма по вертикали произведений баллов влияния ПК на ранги соответствующих ТП:

$$AB_i = \sum_{j=1}^m K_j R_j,$$

где $i...n$ – показатели качества (ПК); $j...m$ – требования потребителей (ТП); K_j – коэффициент весомости, характеризующий силу связи между ТП и ПК; R_j – ранг важности ТП.

Относительная важность (ОВ) каждого показателя качества определяется по формуле

$$OB_i = \frac{AB_i 100}{AB}.$$

Относительная важность ПК является одним из ключевых показателей, поскольку отражает важность показателя качества с точки зрения потребителя. После завершения данного этапа часть «дома» имеет вид матрицы.

6. *Установление корреляционных связей между показателями качества образовательной деятельности.* Определение взаимовлияния (корреляционных связей) показателей качества выполняют в виде матрицы, разрезанной по диагонали, которая размещается выше показателей качества и напоминает крышу. QFD-анализ очень часто называют «домом качества» именно из-за «крыши», в которой проставляются взаимосвязи между самими показателями качества.

Показатели качества могут быть разнонаправленными и, соответственно, противоречить друг другу. Выделяют четыре вида взаимовлияния ПК друг на друга, если такое влияние вообще прослеживается: сильная положительная; слабая положительная; сильная отрицательная; слабая отрицательная. Положительной считается зависимость, когда с улучшением одного показателя другой тоже улучшается, отрицательной – когда с улучшением одного ПК другой ухудшается. Этот тип взаимозависимости особенно важно выявить, чтобы оптимизировать процесс обучения. Сила взаимосвязи между показателями качества деятельности отображается в элементах треугольной матрицы связей, образующей «крышу», с использованием символов.

7. *Построение профиля образовательного учреждения (бенчмаркинг).* Содержание этого этапа – учет уровня конкурентов. Сравнение своей деятельности с деятельностью образовательного учреждения являющегося образцом называется процедурой бенчмаркинга. При разработке показателей качества образовательное учреждение должно сравнивать свои показатели и степень удовлетворенности потребителей с аналогичными показателями конкурентов, т. е. проводить бенчмаркинг. Для наглядного представления о положении дел с конкурентами обычно используют графические способы: в виде диаграмм, графиков и др.

Результаты бенчмаркинга расположены справа от центральной матрицы на продолжении строк требований потребителей. Кроме бенчмаркинга по степени удовлетворенности требований потребителей можно проводить бенчмаркинг по показателям качества об-

разования. Такой график располагают ниже основной матрицы. Результаты бенчмаркинга, так же как и относительная важность ТП, являются данными, на основе которых в дальнейшем можно выявить направления совершенствования образовательной деятельности.

8. *Определение относительной трудности улучшений показателей качества.* Методика QFD-анализа предусматривает учет трудностей улучшений показателей качества. Поэтому в «доме качества» предусмотрена строчка матрицы, где проставляют экспертные оценки относительной трудности улучшения тех показателей качества, которых в наибольшей степени требуют потребители. Как правило, относительную трудность улучшений показателей качества оценивают по пятибалльной системе – чем больше балл, тем трудней реализация.

9. *Принятие решения о направлениях улучшений и вложении инвестиций.* На заключительном этапе QFD-анализа принимаются решения о направлениях улучшения образовательной деятельности. На основании полученных данных: относительной важности показателей качества, относительной трудности улучшений показателей качества и бенчмаркинговых исследований необходимо принять решение – какие из показателей качества необходимо в первую очередь улучшать при осуществлении процесса обучения. Вариантов принятия решений по имеющимся данным может быть много.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галимов Ф. М., Мифтахутдинова Ф. Р. Методология проведения QFD-анализа образовательных учреждений. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011.
2. Ефимов В. В. Улучшение качества проектов и процессов. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2004.

F. M. Galimov, F. R. Miftakhutdinova

APPLICATION OF QFD-ANALYSIS FOR THE INCREASE OF QUALITY OF EDUCATIONAL ACTIVITY

The approach is considered, allowing to provide preparation of experts of such quality which would conform to expectations of the enterprises.

Quality, structure of quality, educational activity, quality function deployment

УДК 504.03:316; 504:34

Н. Ю. Виноградова

ОБРАЗ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА КАК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКТОР СОЦИАЛЬНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Рассматривается образ жизни как качественно-количественный показатель жизнедеятельности людей при реализации стратегии социального менеджмента. Раскрываются основные принципы, функции, задачи и организационные формы социального менеджмента.

Образ жизни, уровень жизни, социальный менеджмент, общественное здоровье, медико-социальные услуги, некоммерческие организации, социальная эффективность, спонсорская поддержка, негосударственные ресурсы, миссия социального менеджмента, социальная ответственность

Исследование образа жизни человека – это практическое исследование всех видов человеческой жизнедеятельности, построение и анализ поведенческой функции индивидов в зависимости от множества параметров, образующих материальные и духовные условия их жизни. Иначе говоря, образ жизни можно представить как пространственно-временную модель дея-

тельности индивида или группы индивидов. В качестве исходных могут выступать следующие характеристики: пол, возраст, место проживания, социальная принадлежность, условия труда, профессия, денежный доход, семейное положение, характер жилища и т. д. В качестве производных характеристик могут служить: отношение индивида к труду, повышению его продуктивности; отношение к совершенствованию своего культурно-образовательного и профессионального уровня; активность участия в общественной жизни; отношение к процессу использования своего рабочего и вне рабочего времени; поведение индивида в процессе потребления и т. п.

Сочетание общего со специфическим, единичного с типичным является характерным в исследовании динамики образа жизни. Образ жизни как качественно-количественный показатель жизнедеятельности людей не определен бизнес-планом или статистическими формами. За его динамику не несет ответственность какое-либо конкретное министерство или ведомство, но он служит продуктом нашей общественно-экономической системы, а потому может и должен исследоваться наукой.

Динамика образа жизни в целом менее подвижна, чем динамика отдельных, составляющих его показателей, например уровня жизни. Это объясняется тем, что качественному сдвигу в образе жизни должно предшествовать накопление количественных изменений. В свою очередь, количественные изменения в образе жизни людей во многом отражены именно в показателях уровня жизни. Но по достижении определенного порога в уровне жизни и в соответствии со зрелостью общественных отношений происходят затем и качественные сдвиги во всем образе жизни (в отношении к труду, в личном потреблении, социальной активности, досуге).

Причем о совершенствовании образа жизни в масштабе общества можно говорить лишь тогда, когда прогрессивные изменения касаются жизнедеятельности всех социальных групп населения, составляющих данное общество.

Такой процесс весьма характерен для общества с рыночной, точнее недоразвитой рыночной экономикой, где социально-экономическое развитие идет скачкообразно, сопровождается кризисами, определяется конъюнктурой рынка, противоречиями между наемным трудом и капиталом и т. п. Здесь весьма характерна ситуация, при которой высокий уровень жизни меньшинства населения сочетается с низким уровнем благосостояния его большинства. Все это наглядно проявляется сейчас в России, где общественно-экономические отношения нуждаются в решительном реформировании – усилении социальной составляющей [1].

Соотношение между категориями уровня и образа жизни – важная и сложная методологическая проблема. По мнению автора настоящей статьи, уровень жизни – это система характеристик условий жизнедеятельности людей, уровня их благосостояния, органично вплетающаяся в понятие образа жизни, дополняющих его. Уровень жизни скорее категория конкретной экономики, ибо процессы, определяемые ею, имеют количественную определенность и фигурируют как показатели социального развития. Другое дело – образ жизни. Общественные науки не могут исходить только из количественной определенности того или иного явления, а потому, используя метод научной абстракции, другие научные методы, они исследуют общественное развитие с позиций качественных изменений.

Современные процессы, протекающие в России, весьма нуждаются не в идеологической оценке или признании, а в большей степени и в целях позитивного реформирования. Они нуждаются в беспристрастном изучении всех сторон общественной жизни. При этом путь, выбираемый для ее совершенствования, может пролегать только через прогресс в образе жизни большинства населения.

Социальный менеджмент – явление самого последнего времени. Концепция социального менеджмента порождена сомнениями относительно соответствия концепции менеджмента нашему времени с его ухудшением качества окружающей среды, нехваткой природных ресурсов, стремительным приростом населения, всемирной инфляцией и запущенным состоянием социальной сферы. Изменение социально-экономических отношений вызывает дальнейшее развитие концепции менеджмента, ориентиром которого становится человек. Таким образом, эволюция менеджмента привела к возникновению его новейшей концепции – социального менеджмента. Социальный менеджмент логически появился в ходе развития менеджмента и является дальнейшим перспективным этапом его развития. При анализе стадий развития менеджмента через прохождение им различных концепций становится очевидным, что первоначально организации основывали свои управленческие решения главным образом на соображениях извлечения прибыли, затем они стали осознавать стратегическую значимость удовлетворения покупательских потребностей. На современном этапе при принятии решений многие организации думают и об интересах общества, т. е. руководствуются концепцией социального менеджмента. Поскольку теория менеджмента является универсальным инструментом управления рыночными процессами, вполне правомерно встает вопрос о возможности ее использования для решения определенных социальных задач, в том числе в социальной сфере общества [2].

Общественная потребность в социальном менеджменте возникла по нескольким причинам. Прежде всего это ускорение социальных инноваций в обществе, необходимость быстрого воплощения в жизнь новых социальных идей и ценностей. Все больше людей в различных странах стремятся к социальным переменам – переменам в образе жизни, в экономической и социальной системе, в стиле жизни, в идеалах и ценностях. Воплощение в жизнь новых социальных идей ведет к принципиальным изменениям в важнейших социальных институтах общества – семье, культуре, искусстве, образовании и особенно в здравоохранении.

Сохранение и улучшение здоровья человека – одна из наиболее актуальных проблем в современном мире. Она находится в поле зрения как естественных, так и общественных наук, в том числе социального менеджмента. Задача последнего – это поиск наиболее оптимальных управленческих решений при использовании ограниченных ресурсов в процессе удовлетворения важнейшей потребности человека.

Общественное здоровье выражает определенные черты социального организма и показывает степень влияния общественно-экономических отношений, сложившихся в стране на уровне образа жизни населения. Оно отражает способность общества, государства реализовать определенные механизмы воспроизводства населения.

Общественное здоровье, являясь реальным результатом социально-экономического развития, выступает в то же время естественным условием дальнейшего роста общественного организма. Это проявляется во многих моментах. Улучшение здоровья населения ведет, с од-

ной стороны, к уменьшению потерь рабочего времени и трудовых ресурсов в связи с заболеваемостью, инвалидностью, преждевременной смертностью; с другой – к росту производительности труда, что связано с лучшими условиями воспроизводства человека, его рабочей силы, определяет потенциал личного фактора производства, увеличивает человеческий капитал.

С этих позиций необходимо четко различать два понятия: охрана здоровья населения и оказание медицинской помощи населению. Охрана здоровья населения предполагает реализацию соответствующих мер по обеспечению нормальных жилищно-бытовых условий, безвредных и безопасных условий труда, охраны окружающей среды, социально-экономических условий для оздоровительных мероприятий, занятий физкультурой, спортом, полноценного питания и т. д. Эти мероприятия являются общегосударственной задачей, которая решается соответствующими органами государственной законодательной и исполнительной власти, предпринимателями, различными собственными структурами, неприбыльными организациями, непосредственно самим населением.

Специфика системы медико-социальных услуг населению как объекта приложения социального менеджмента проявляется через различия подходов на разных организационных уровнях данной системы. Первый уровень – учрежденческий. Деятельность любого медико-социального учреждения осуществляется в соответствующей микросреде и макросреде. Влияние внутренних факторов этой среды, как правило, можно изменить, воздействие же внешних факторов необходимо учитывать при организации деятельности, но активно влиять на них силами одной или нескольких организаций не представляется возможным. Основным объектом внимания на первом уровне являются услуги социальной сферы по охране здоровья населения. Направления менеджмента на этом уровне зависят от особенностей реализуемых услуг: сила выраженности внешних эффектов, используемые способы ценообразования.

Второй уровень – уровень организаций, имеющих отношение к охране здоровья населения, подразумевает принятие решений при координации деятельности нескольких учреждений социальной сферы на отдельном участке территории, например муниципальном округе, административном районе и т. д. При этом важно учесть сильные и слабые стороны той или иной организации, правильно рассчитать риск ее деятельности на рынке. Управление системой медико-социального обслуживания населения предполагает координацию деятельности достаточно большого числа учреждений социальной сферы, обслуживающих сотни тысяч и даже миллионы человек населения.

В отношении развития профилактических мероприятий социальный менеджмент позволяет использовать программы пропаганды и образования в области охраны здоровья, ориентированные на анализ сил, влияющих на поведение людей, способы общения с целевыми группами и на варианты изменения их поведения. Программы, пропагандирующие здоровый образ жизни или обучающие оздоровительным изменениям, подходят под определение социальных программ.

Таким образом, менеджмент в системе медико-социальных услуг населению в условиях развития рынка предполагает возникновение и развитие новых экономических субъектов-посредников – страховые фонды, компании и общественные организации, которые обеспечивают систему связей между учреждениями социальной сферы и потребителями ее услуг, аккумулируют средства для оплаты услуг, собирают и анализируют поступающую с рынка услуг информацию и передающие ее в учреждения социальной сферы.

Основной целью системы медико-социальных услуг является восстановление, поддержание и улучшение здоровья населения страны. Менеджмент в сфере медико-социальных услуг – это система гибкого предпринимчивого управления, направленная на эффективное регулирование положения всех участников данной сферы деятельности [3].

Сегодня актуальными являются задачи по реформированию системы предоставления социальных услуг с целью переориентации работы органов социальной защиты на работу с малообеспеченными гражданами. Для этого необходимо создание специализированных подразделений в органах социальной защиты, организация эффективного взаимодействия всех органов, предоставляющих социальную помощь, формирование единых баз данных о получателях медико-социальной помощи. Необходимо также решить задачу реструктуризации и построения многоуровневой системы медико-социальной помощи. Одним из этапов такой реструктуризации является система патронажа. В развитых странах мира, особенно, где лечебная сеть принадлежит государству и работает в условиях жестких финансовых ограничений (Канада, Великобритания, Италия, Испания, Норвегия и др.), добились существенного сокращения расходов на стационарное обслуживание путем развития сети отделений краткосрочного пребывания и стационаров на дому.

Одна из особенностей менеджмента в сфере медико-социальных услуг – менеджмент некоммерческих организаций. Некоммерческие организации, являясь важной составляющей социальной сферы, обычно преследуют стратегические социальные цели, признаваемые всем обществом, финансируемые за счет средств государственного и местного бюджетов и не ставящие своей целью получение прибыли. Многие неприбыльные организации предоставляют свои услуги на бесплатной основе и в качестве платежного средства для них выступают предпочтение потребителей или формирование у потребителей желаемых навыков социального поведения [4].

Некоммерческие организации, имеющие высокий престиж в обществе и широкую спонсорскую и донорскую поддержку, должны являться своего рода полигоном для различного рода социальных экспериментов и субъектом апробации новых социальных идей. Поэтому должно происходить быстрое обновление многих видов социальных услуг, поскольку именно через некоммерческие организации реализуются новые социальные идеи, прежде чем они получают широкую общественную поддержку и государственную дотацию или напротив, станут объектом внимания со стороны коммерческих структур.

Поскольку большинство некоммерческих организаций создает условия для реализации отдельных социальных идей, то в своей деятельности данные организации концентрируются на очень узких или неприбыльных сегментах, потребности которых не удовлетворяются коммерческими организациями. От неприбыльных организаций часто ожидают или даже требуют обслуживания рыночных сегментов, которые коммерческие организации считают невыгодными. Это может создавать преимущества для коммерческих организаций, поскольку они могут концентрировать свои усилия на наиболее прибыльных сегментах рынка. Данное обстоятельство делает неконкурентоспособными некоммерческие организации по отношению к коммерческим в случае отсутствия или снижения государственной дотации или спонсорской помощи. Причем подобное финансирование служит как для развития необходимой сети социальных услуг, так и для поддержания цены на них на приемлемом уровне.

В неприбыльном сегменте сферы медико-социальных услуг целевыми аудиториями являются в большинстве случаев проблемные по разным основаниям, что уменьшает полноту их включения в процесс производства услуги. В этой связи менеджменту некоммерческих организаций приходится применять разнообразные методы привлечения целевых групп к решению проблем и искать у них приемлемые мотивы и способы участия. Для успешного выполнения миссии в неприбыльном секторе принципиально важно понимание того, что только в том случае, если сами получатели медико-социальной помощи (услуги) будут включены в процесс решения их собственной проблемы (прямо или косвенно, глобально или локально, постоянно или одноразово и т. п.) и управлять этим процессом. Это важно для многих видов деятельности, в частности, в области здравоохранения и реабилитации, т. е. тех, где качество конечного результата напрямую зависит от самого потребителя социальной услуги. Менеджеры должны учитывать все особенности целевой группы для наиболее полного привлечения ее членов к созданию неприбыльного продукта.

Если рассматривать социальный менеджмент как инструмент повышения эффективности принимаемых управленческих решений, то для некоммерческой организации в первую очередь важно таким образом организовать управление всеми имеющимися в ее распоряжении ресурсами, чтобы максимально успешно реализовать ту социальную миссию, ради которой эта организация была создана. И в этой связи перед менеджментом стоит актуальная задача определения критериев оценки эффективной деятельности. В некоммерческих организациях в качестве возможного инструмента оценки успешности деятельности применяется критерий достижения цели каждого отдельного реализуемого проекта, которая, в свою очередь, может представлять собой качественное описание изменения проблемной ситуации и не иметь не только стоимостного, но и просто квантифицированного индикатора. Поскольку сложно дать денежную оценку результата деятельности, то затруднена и оценка эффективности расходования ресурсов, количественная характеристика которых значительно проще поддается учету, но не может быть сопоставлена с результатом из-за разных показателей оценки (качественные для результата, количественные для затрат). Задачи определения социальной эффективности работы некоммерческих организаций решаются через критерий полноты достижения поставленных целей при максимально возможной экономии затрачиваемых ресурсов [5].

Специфика управления в некоммерческом секторе обусловлена и внешними факторами, а именно сложностью планирования вследствие невозможности заранее определить объем и состав ресурсов, поступающих из разных источников. Эта неопределенность связана с приоритетами и реальными возможностями жертвователя, который выбирает наиболее приемлемый для него вариант пожертвования, и организация не всегда может повлиять на этот выбор. Таким образом, менеджмент в некоммерческом секторе ощущает серьезную зависимость от внешней среды, когда спонсоры определяют правила игры, в какой именно форме будет оказана эта поддержка, определяет сам жертвователь. В частности, помощь может быть реализована в форме социального контакта, позволяющего выйти на новые полезные связи и неожиданные формы сотрудничества. В этом случае в системе менеджмента появляется некое связующее звено, функции которого достаточно размыты, что также затрудняет возможность ресурсного планирования и управления. Таким образом, особенностью менеджмента неком-

мерческих организаций является высокая степень риска при принятии решений, обусловленная неопределенностью контактов с внешней средой.

Таким образом, использование в социальной политике социального менеджмента имеет ряд преимуществ:

- привлечение дополнительных негосударственных ресурсов;
- повышение социальной ответственности производителей социальных благ и услуг;
- обеспечение социальной направленности предоставляемых благ и услуг;
- повышение удовлетворенности потребностей широких слоев населения.

Поэтому, планируя мероприятия социальной политики, ее субъекты могут опираться на использование специфических методов менеджмента некоммерческих организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиборова И. В. Современная организация и финансирование здравоохранения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009.
2. Иванов В. Н. Социальный менеджмент. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2008. С. 201–205.
3. Иванов С. А., Тишин Е. В. Стандарты качества жизни в системе социального управления. СПб.: Изд-во ИСЭП РАН, 2008.
4. Назаренко Г. И. Управление качеством медицинской помощи. М.: Медицина, 2005.
5. Управление социальной сферой / Под ред. В. Э. Гордина. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2008. С. 56–58.

N. Y. Vinogradova

STYLE OF PEOPLE'S LIFE AS ECONOMICAL SOCIAL MANAGEMENT FACTOR

We consider life stily as a qualitative-quantitative life of people in the strategy of social management implementing. The article describes the basic principles, functions, tasks and social management organizational forms.

Lifestyle, quality of life, social management, public health, medical and social services, nonprofit organizations, social efficiency, sponsorships, non-state resources, the mission of social management, social responsibility



УДК 81'367.32

Ю. В. Перлова

КОМПРЕССИЯ КАК КОСВЕННЫЙ СПОСОБ ВЫРАЖЕНИЯ ПОБУДИТЕЛЬНОЙ ИНТЕНЦИИ

Изучаются прагматические основания косвенного выражения побуждения. Особое внимание уделено анализу компрессированных цепочек речевых актов.

Косвенность, побудительная интенция, косвенный речевой акт, релевантность, компрессированные цепочки речевых актов

В настоящей статье представлены результаты исследования косвенного выражения побуждения с помощью косвенных речевых актов и компрессированных цепочек речевых актов. Исследование проведено в рамках прагмалингвистической парадигмы, обращение к которой отражает актуальные тенденции современной науки о языке.

В лингвистике известно разграничение способов выражения речевой интенции на открытые (эксплицитные) и скрытые (имплицитные). В речи значительная доля информации остается невыраженной, присутствует в скрытом виде. Терминологически выделяют такие скрытые способы выражения смысла, как *пресуппозиции* [1], *презюмции* [2], *семиоимпликационные значения*, *консуппозиции*, *постсуппозиции* [3], *логическую полисемию* [4], *импликатуры* (конвенциональные и конверсационные) [5], *инференции* [6], *конвенциональные и неконвенциональные скрытые смыслы* [7], [8]. Говорящие успешно декодируют данный вид информации, что свидетельствует о том, что способы выражения скрытых смыслов конвенционализируются. В языке вырабатываются определенные приемы, закрепляющие выражения тех или иных смыслов. Изучение механизма смыслопорождения, поликодовости, техники декодирования скрытых смыслов, дешифровки интенции при помощи обращения к различным семиотическим кодам; исследование динамики психологической составляющей коммуникативного акта, техники вербальной и невербальной объективации социальной когниции составляют одну из актуальных проблем современной лингвистики, в центре внимания которой сегодня – реальное человеческое общение как эффективная социальная интеракция.

Традиционно по характеру коммуникативной установки высказывания делятся на три основных класса: утверждение, вопрос и побуждение. При реализации побудительной интенции автор речи может выбрать либо прямой, либо косвенный способ выражения,

причем, как показывают наблюдения, в английском языке косвенные способы значительно преобладают над прямыми: по нашим подсчетам, это соотношение составляет 70 к 30 %. С учетом данных современных исследований по когнитивной и прагмалингвистике, фокус которых сосредоточен на выявлении когнитивно-прагматических оснований языковой концептуализации, преобладание косвенных способов побуждения над прямыми может быть представлено как одна из закономерностей интеракционных принципов формирования языковых высказываний.

Дискурс побуждения имеет чрезвычайно сложную структуру. При порождении побудительного высказывания говорящий должен принять во внимание множество разнообразных факторов, касающихся личности собеседника, произвести мониторинг его эмоционального состояния, оценить ситуацию общения и с учетом вышеперечисленных пунктов осуществить выбор средств для реализации своего коммуникативного намерения. Чем деликатнее ситуация, тем выше уровень косвенности используемых средств.

При прямой реализации побудительной интенции побуждение к посткоммуникативному действию легко распознается адресатом, так как носит кодифицированный характер. К прямым способам выражения побуждения относятся высказывания с императивом (1) и перформативные побудительные высказывания (2):

1. Call me, please!
2. I'm asking you to call me.

К косвенным способам выражения побуждения традиционно относят косвенные речевые акты (КРА), определяемые как речевые действия, осуществляемые с помощью высказываний, которые имеют в своей структуре явный показатель одной иллокутивной функции, но при этом их подлинная иллокутивная функция является иной. Проблема КРА является одной из центральных в прагмалингвистике. Несмотря на множество работ, посвященных выявлению различий между прямыми и косвенными речевыми актами, и попыток объяснить сам факт существования последних, до сих пор не сформирован единый взгляд на природу косвенных речевых актов, их порождение и интерпретацию.

Рассмотрим классический пример КРА, обладающего иллокутивной силой просьбы: *Could you pass me the salt?* Формально это предложение является вопросом, фактически – просьбой, причем этот тип выражения просьбы в языке конвенционализировался. В связи с этим мы предлагаем ввести термин *иллокутивное выветривание*, который обозначает процесс и результат смещения одной иллокутивной силы в сторону другой. В случае КРА первоначальная иллокутивная сила «выветривается», в результате того, что в системе языка за определенными формами закрепляются новые функции, вытесняющие первоначальные. Проиллюстрируем вышесказанное с помощью примеров:

1. "I think I'll get a coffee", I say self-consciously, and get up from my seat.
"Could you get me one?" says Artimis looking up briefly [9, с. 71–72].
2. "Would you mind coming up to my office for a moment?" [9, с. 141].
3. "(...) But we need one person to stay behind and man the phones". His gaze falls on me.
"Emma. You can stay".
"What?" I say blankly.
"You can stay and man the phones", says Paul. "OK?" [9, с. 252].

При анализе косвенных способов выражения смысла И. Б. Шатуновский проводит разграничение между КРА и компрессированными цепочками речевых актов (КомпРА) [8]. На основе того, что в случае КРА только производное, вторичное значение является релевантным, а в случае КомпРА опущены некоторые звенья дискурса, которые в процессе коммуникации должны быть восстановлены, автор делает вывод о разной логико-семантической природе высказываний, часто относимых к одному логико-семантическому классу. КомпРА возникают в тех случаях, когда какое-то высказывание, полностью сохраняя свое значение в данном дискурсе, «запускает» коммуникативно-логический вывод некоторого имплицитного речевого акта, возникающего в данном пункте дискурса. Рассмотрим пример такого речевого акта:

The air hostess with a French plait is smiling down at me.

“We have landed”. [9, с. 34].

В этом примере стюардесса обращается к героине романа в ситуации, когда остальные пассажиры уже покинули борт самолета. Формально это высказывание является сообщением – мы приземлились, но оно вызывает в сознании реципиента коммуникативно-логический вывод – не могли бы вы покинуть борт самолета. Можно предположить, что главной интенцией продуцента высказывания было именно косвенное побуждение, но при этом оно сохраняет свою релевантность и в качестве сообщения. Помимо прямого значения, т. е. кодифицированной знаковой информации, речь служит источником разнообразной дополнительной информации. Эта информация не является собственной принадлежностью знаков как таковых, она не вытекает из знаний самого языка, а усваивается из знания мира и знаковой деятельности людей, не из знаковых, а импликационных связей речевых фактов [3]. В компрессированных цепочках речевых актов мы имеем дело с прагматической полисемией, при которой происходит приписывание высказыванию различных окказиональных смыслов. При этом адресат пытается вычислить истинный смысл, восстанавливая компрессированную часть высказывания логико-инференциальным путем, в процессе чего вектор иллокуции смещается в сторону той или иной иллокутивной силы. Инференционная модель коммуникации в рамках теории релевантности была разработана Д. Спербером и Д. Уилсон [6]. Эта теория утверждает, что любое высказывание вызывает в получателе ожидания релевантности, уместности и автоматически передает ему презумпцию своей собственной оптимальной релевантности. Коммуниканты неосознанно стремятся к максимальной релевантности, т. е. к максимальному когнитивному эффекту при минимальных усилиях при переработке. Наиболее важный тип когнитивного эффекта – контекстуальная импликация, под которой понимается заключение, выводимое дедуктивно из вводимых данных и контекста в их совокупности. Проиллюстрируем вышесказанное с помощью примера:

“Lunch is ready!”(a)

“Thanks”, I say (b). “We’re just coming”. [9, с. 55].

Сохраняя свою релевантность в качестве сообщения, высказывание (a) представляет собой КомпРА, целью которой является не только сообщение, но и побуждение к посткоммуникативному действию. В процессе декодирования высказывания (a) реципиент неосознанно пытается обнаружить его максимальную релевантность, что ведет к восстановлению компрессированной части. В результате реципиент реагирует на высказывание (a)

именно как на побуждение или приглашение (b), а не просто сообщение. Можно смоделировать ситуацию, в которой изменение контекста повлечет за собой и изменение прагматического смысла высказывания (a). Допустим, кто-то поспорил на 10 долларов, что приготовит обед за полчаса, и ему это удалось – в этом случае высказывание (a) «запустит» в сознании реципиента совершенно иную цепочку речевых актов нежели предыдущий пример: “Lunch is ready – I won the bet – You should pay me 10 dollars”, т. е. в случае компрессии речевых актов слушающий производит определенные логические операции и декодирует побуждение как логически вытекающее из высказывания говорящего и широкого коммуникативно-прагматического контекста. Этот контекст складывается из явного и скрытого контекстов. Явный (эксплицитный) контекст включает то, что подлежит непосредственному наблюдению. Он делится на вербальный и невербальный компоненты. Скрытый (имплицитный) контекст – это то, что не поддается непосредственному наблюдению: мотивы, цели, установки коммуникантов, их личностные характеристики (уровень образования, социальная принадлежность, темперамент и т. д.).

В КомпРА на уровне семантики мы имеем дело с компрессивной асимметрией, которая, по мнению А. А. Кретьева, «имеет своей ведущей причиной закон экономии усилий, состоящий в том, что при прочих равных говорящий стремится затратить как можно меньше усилий для передачи того же количества информации» [10, с. 10]. Помимо этого продуцент речи использует КомпРА, чтобы избежать прямого давления на реципиента, поскольку это может привести к возникновению конфликтной ситуации и коммуникативная цель не будет достигнута. Компрессия высказываний продуцентом речи и развертывание компрессированной части в сознании реципиента тесно связаны с контекстом и социокультурными фоновыми знаниями коммуникантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фреге Г. Смысл и денотат // Семиотика и информатика. 1977. Вып. 8. С. 181–210.
2. Падучева Е. В. Понятие презумпции в лингвистической семантике // Семиотика и информатика. 1977. Вып. 8. С. 91–124.
3. Никитин М. В. Пресуппозиция в языке и языкознании // *Studia Linguistica* – 4. Языковая система и социокультурный контекст: сб. ст. / Отв. ред. В. М. Аринштейн, Н. А. Абиева. СПб.: Тригон, 1997. С. 6–26.
4. Pustejovsky J. The semantics of lexical underspecification // *Folia Linguistica*. 1998. Vol. 32, № 3. P. 323–348.
5. Grice P. H. Logic and conversation // *Syntax and Semantics* / Ed. by P. Cole, J. L. Morgan. 1975. Vol. 3: *Speech Acts*. P. 41–58.
6. Sperber D., Wilson D. *Relevance: Communication and Cognition*. Oxford: Basil Blackwell, 1986. 279 p.
7. Масленникова А. А. Скрытые смыслы и способы их актуализации // Актуализация предложения: в 2 т. СПб., 1997. Т. 1: Категории и механизмы. С. 145–224.
8. Шатуновский И. Б. 6 способов косвенного выражения смысла // Семантика и прагматика языковых единиц: сб. ст. Калуга: КГУ, 2004. С. 262–274.
9. Kinsella S. Can you keep a Secret? London: Black Swan Edition, 2003. 268 p.
10. Кретьев А. А. Асимметрия в лингвистике // Вестн. ВГУ. 2010. № 2. С. 5–11. Сер. Лингвистика и межкультурная коммуникация.

J. V. Perlova

COMPRESSION AS THE MEANS FOR INDIRECT EXTERNALIZATION OF IMPERATIVE INTENTION.

The article deals with the pragmatic aspects of indirect externalization of imperative intention. The attention is focused on analyzing the compressive series of speech acts.

Indirectness, imperative intention, indirect speech acts, relevance, compressive series of speech acts

ЭТНИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАННОГО ФЕНОМЕНА В СОЦИОЛОГИИ США

Представлена проблема определения концептов «этнический» и «предпринимательство» в историческом плане и в современных исследованиях. На данный момент в социологии не существует единого понимания этих феноменов. Наиболее полно рассмотрены миграционные процессы и их связь с предпринимательской деятельностью в работах американских ученых. Анализ некоторых исследований этнического предпринимательства, выполненных социологами в США, позволяет сделать вывод о том, что бизнес мигрантов и меньшинств является собой сложную и изменяющуюся структуру. Теоретические концепции этнического предпринимательства как специфического способа организации и ведения бизнеса миграционных сообществ (диаспор) в численно доминирующей инонациональной среде осмыслены в трудах таких ученых, как И. Лайт, Э. Бонасич, Р. Уолдингс, Х. Олдрич и мн. др.

Этническое предпринимательство, социология предпринимательства, этнос, миграционные процессы, мигранты, иммигранты, предпринимательство мигрантов, этническая экономика, национальные меньшинства, самозанятость

Социология этнического предпринимательства является развивающейся отраслью науки, требующей осмысления и обобщения результатов эмпирических исследований, а также новых концептуальных подходов. Само по себе возникновение и развитие этнического предпринимательства уходит корнями в далекое прошлое. За последние десятилетия в условиях глобализации, характеризующейся огромным потоком товаров, средств массовой информации, капитала, внедрением новых технологий, активностью по развитию производства, миграционными процессами, значительно укрепились позиции этнического бизнеса во всех развитых странах.

По данным ООН за 2010 г. большинство работоспособных международных мигрантов (от 20 до 64 лет) сконцентрировано в развитых странах. В этом году 96 млн, т. е. 62 %, иммигрантов работоспособного возраста находились в странах Европы, Северной Америки, Австралии, Японии и Новой Зеландии¹. При этом предпринимательская активность иммигрантов по сравнению с коренным населением значительно выше (И. Лайт и С. Голд определяют, что 41 % рабочей силы США работает в этнической экономике [1, с. 52]).

Феномен этнического предпринимательства наиболее глубоко исследован в работах американских ученых. В связи с историческими причинами формирования государства и постоянным притоком мигрантов из разных стран, особенно Мексики, существует множество эмпирических исследований данного явления, первые из которых датируются началом XX в. (Чикагская социологическая школа). По данным отделения ООН по народонаселению (The United Nations Population Division – UNPD) в 2010 г. США занимает первое место в мире по количеству мигрантов, в частности, мексиканцев – 38.9 млн чел. На втором месте – РФ (12.1 млн чел.), затем идет Германия (10.1 млн чел.) и Украина (6.8 млн чел.) [1]. В Европе повышенный интерес к этой проблеме, вызванный наплывом иммигрантов в развитые страны, проявился только в 1970–1980-е гг.

¹ Population Facts. United Nations Department of Economic and Social Affairs // Population Division. 2006. № 6. <http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/publications.htm>.

Методологические основы изучения данного явления были заложены в работах М. Вебера и Г. Зиммеля, которые уделили значительное внимание причинам и последствиям экономического поведения и предпринимательской этики религиозных и этнических групп (общностей). Концепции «двойной этики» и «торговца как чужака» («dual ethic», «trader as a stranger») оказали огромное влияние на развитие западной социологии. В некоторых исследованиях сильно влияние теорий Й. Шумпетера. «По традиции Шумпетера предпринимательство ассоциируется с поиском новых возможностей у фирм, которые намеренно готовы принять на себя высокие риски, включаясь в постоянный обучающий процесс инноваций и “созидательного разрушения”» [2, с. 77].

Этническое предпринимательство является фактором взаимопроникновения культур, что, с одной стороны, открывает новые возможности для развития региона, но с другой – приводит к социальным разногласиям и напряжению на принимающей территории.

Проблема дефиниции концепта этнического предпринимательства. В 1994 г. И. Лайт и С. Карагеоргис дают определение этнической экономики: этническая экономика – это область, экономики, в которой члены этнических групп открывают собственный бизнес и самостоятельно обеспечивают работой себя и своих родственников (как правило, работающих без зарплаты), а также нанимают работников той же этнической группы [3, с. 647]. В методологическом плане данное определение недостаточно для современных исследований и анализа существующей предпринимательской активности мигрантов, постоянно возрастающей в количественном отношении и принимающей новые формы. В настоящее время это определение подходит только для описания экономики этнической собственности. Спустя десятилетие исследователи пришли к выводу, что на основании только статистических данных невозможно получить реальную картину занятости мигрантов, описать происходящие процессы и определить существующие и возможные тенденции. С одной стороны, можно констатировать возрастающую роль социологических исследований, с другой – необходимо совершенствовать методологические основы. Было предложено более широкое понимание, где наряду с экономикой собственности следует учитывать этнически контролируемую экономику, а также все сферы нелегального бизнеса национальных меньшинств. Под этнически контролируемой экономикой понимается определяющее длительное влияние этнических групп на предприятиях, не являющихся их собственностью, обусловленное количеством, концентрацией и организацией работников или внешней политической и экономической властью. Одним из простых примеров является профсоюз, где доминирует этническая группа (профсоюзы определяют политику по найму и заработной плате на предприятии). Абсолютный контроль может быть достигнут в случае, когда все работники принадлежат к одной этнической группе [4].

В современной западной социологии предпринимательство – это широко понимаемый сложный концепт, определение которого зависит в основном от точки зрения принимаемого исследования. Западные социологи, определяя данный концепт, уделяют внимание таким проблемам, как мотивация и ориентация этнических предпринимателей, идентификация различных систем ценностей, предпочтений, целей, стратегий и управленческих стилей этнических предпринимателей, определение роли общественной политики. С одной стороны, исследователи пытаются определить вклад этнического предпринимательства в инновации, рост и занятость населения развитых стран, с другой – узнать, ка-

ким образом этническое предпринимательство влияет на доступ меньшинств к экономическим ресурсам. Этническое предпринимательство рассматривается с точки зрения мотивации и ориентации; условий труда и капитала; потребительских отношений; половых, возрастных и культурных различий.

Не существует однозначной трактовки и использования термина «этнический». В общем смысле слова это понятие может обозначать принадлежность к одной группе вновь прибывающих иммигрантов, меньшинства, проживающего длительное время на территории принимающего государства, а также доминирующее большинство. Например, наиболее представленная этническая группа в США – мексиканцы – в исследованиях могут быть обозначены как собственно «мексиканцы», так и «латиноамериканцы» или «испаноговорящие». Если учесть, что в данной группе есть чернокожие, то часть мексиканцев попадает в число опрашиваемых в работах, посвященных проблемам черного и белого населения. Многонациональных эмигрантов из Китая на принимающей территории маркируют как «китайцев», «азиатов» или по названию конкретной малой этнической группы, а выходцы из различных юго-восточных стран представлены как «азиаты».

Для обозначения концепций этнического предпринимательства и предпринимательства мигрантов существуют различные подходы в зависимости от цели исследования и разнообразные термины, определяющие объект исследования: предприниматели-иммигранты (*immigrant entrepreneurs*), этнические предприниматели (*ethnic entrepreneurs*) и предприниматели групп меньшинств (*minority entrepreneurs*). Последний концепт не имеет под собой теоретической базы, он служит для практических целей, например, в государственных программах поддержки. Предпринимателей-иммигрантов определяют как людей, которые сразу после приезда открывают свое дело, используя свои индивидуальные связи с бывшими иммигрантами и неиммигрантами из той же страны. Этнические предприниматели, по определению Р. Уолдингера [5, с. 3], создают «группу связей и определенные модели интеракции между людьми с общим происхождением или опытом миграции». Предприниматели групп меньшинств – это владельцы собственного бизнеса, не принадлежащие к доминирующему большинству.

Существует также направление в социологии, рассматривающее иммиграцию саму по себе как «предпринимательский акт» (*entrepreneurial act*). Например, Р. Г. ДельКампо и Д. И. Томас в 2009 г. обобщали литературу по предпринимательству американцев мексиканского происхождения и их социальным сетям [6]. В этой работе рассмотрены отношения между иммиграцией и вовлеченностью в предпринимательскую деятельность (*entrepreneurial endeavors*). Авторами исследуется степень успешности и стремления к предпринимательской активности иммигрантов из Мексики, а также влияние их деятельности на экономику обоих государств.

Некоторые аспекты исследования феномена этнического предпринимательства в США. В США исследователи этнического предпринимательства отмечают, что с 1990-х гг. был замечен значительный рост представителей национальных меньшинств на рынке труда США и, как результат, быстрый рост предпринимательской активности среди чернокожих, испаноговорящих и выходцев из Азии по сравнению с белыми американцами.

Большое внимание исследователями уделялось зависимости между расовыми различиями и моделями самозанятости. Среди них можно отметить таких авторов, как Т. Бейтс, Дж. Борхас и С. Бронарс, У. Р. Фейрли, Б. Мейера, М. Хоут и Х. С. Розен, И. Лайт и К. Розенштайн и др. Используя различные источники информации, эти авторы исследуют раз-

личия в уровне вовлеченности в предпринимательскую деятельность (самозанятость и владение бизнесом) у различных этнических и расовых групп в США. С заметной регулярностью чернокожие и испаноговорящие американцы показывают более низкий уровень самозанятости, чем другие этнические группы.

Современные исследования можно условно разделить на две основные группы. Одни исследователи считают, что за некоторым исключением большинство этнических групп принадлежит к низшим социальным слоям в основном из-за нехватки образования или профессиональных навыков. И это тяжелое социально-экономическое положение побуждает этнические группы к занятию предпринимательской деятельностью. Данная тенденция носит название этнического (или миграционного) предпринимательства. В экономической жизни города предприниматели-мигранты с их огромным потенциалом создания рабочих мест, с одной стороны, показывают различные стили управления и взаимодействия, основанные на этнических различиях. С другой стороны, они предоставляют новые возможности возрождения или развития местной экономики города, увеличивая его экономическое и культурное многообразие, снижая безработицу и социальное обособление, смягчая проблему занятости молодежи в этническом сегменте и повышая уровень жизни этнических групп. Тем не менее их бизнес остается мелким и малоприбыльным. Другие исследователи (как в США, так и в Европе) рассматривают этническое предпринимательство как развивающуюся структуру, включающую в себя не только малые, но и средние финансово-устойчивые фирмы.

Последние исследования показывают огромный потенциал предпринимателей-иммигрантов в создании и развитии высокотехнологичных производств. Подавляющее большинство (80 %) компаний, основанных этническими предпринимателями, принадлежит к двум индустриальным сферам: программное обеспечение и инновации. Среди компаний США, основанных с 1995 по 2005 гг. и работающих в сфере инжиниринга и технологий, 25.3 % фирм имеют, по крайней мере, одного из основателей – иностранца. Оборот этих компаний по продажам в 2005 г. составил 52 млрд дол., и они создали чуть меньше 450 000 рабочих мест. Наиболее представлены здесь предприниматели из Индии – 26 %. Склонность мигрантов к инновациям заметна и по впечатляющей тенденции роста запатентованных в США открытий. Процент изобретателей, не являющихся гражданами этой страны, вырос с 7.3 % в 1998 г. до 24.2 % в 2006 г. Крупнейшей группой представлены выходцы из Китая, затем следуют индийцы, канадцы и британцы².

Два наиболее обсуждаемых в США вопроса – это влияние глобализации и иммиграции на национальную экономику. Глобализация ускоряется, и до сих пор не ясно, будет ли такая тенденция, как аутсорсинг, способствовать усилению конкурентоспособности страны и обеспечит ли долгосрочные выгоды. Центральным вопросом дискуссий об иммиграции является трудное положение миллионов профессионально неподготовленных мигрантов, нелегально прибывших в США. Несмотря на значительный вклад иммигрантов в развитие высокотехнологичной экономики принимаемой страны и наличие не только малого, но и среднего бизнеса, принадлежащего этническим группам, большая часть переселенцев (легальных и нелегальных) является источником нарастающих социальных проблем, решение которых в ближайшее время не представляется возможным ни в теоретическом, ни в практическом плане.

² Wadhwa V., Saxenian A. L., etc. America's New Immigrant Entrepreneurs. www.ilw.com/articles/2007,0117-wadhwa.pdf.

Иммигранты различаются в зависимости от человеческого капитала, которым они обладают (уровень образования, навыки и т. д.). Анализируя результаты длительного исследования, проведенного с 1990 по 2006 гг., трех поколений мигрантов различных этнических групп (китайцев, кубинцев, филиппинцев, гаитян, камбоджийцев, мексиканцев, никарагуанцев, вьетнамцев и др.), А. Портес, П. Фернандес-Келли и У. Холлер говорят о том, что если бы все современные мигранты состояли из профессионалов и предпринимателей, то большинство негативных последствий, связанных с нисходящей ассимиляцией (downward assimilation), исчезли бы [7]. Однако этого не случится, так как существует постоянный и растущий спрос на низкооплачиваемую рабочую силу в отдельных отраслях экономики США, например, в сельском хозяйстве, строительстве и бытовых услугах. Этот спрос вызывает наплыв новых бедных иммигрантов. Учитывая, что они привозят с собой свои семьи, будут существовать проблемы, связанные с низким человеческим капиталом родителей и негативным способом ассимиляции (negative mode of incorporation).

Следующая проблема связана с тем, к каким результатам приводят сложные исходные условия. Из опрошенных подростков-американцев мексиканского происхождения 40 % уже имеют детей; 20 % молодых людей, родители которых родом из Мексики, Центральной Америки и др., уже были за решеткой. Лишь менее 1 % опрашиваемых утверждают, что им удалось преодолеть последствия неблагополучного детства. В долгосрочной перспективе эти удручающие результаты приведут к увеличению неравенства в обществе, расширению бедных районов, ассоциируемых с отдельными этническими группами, и увеличению преступности [7].

Результаты исследований, приведенные в таблице, иллюстрируют модель вариантов мобильности в зависимости от поколения. Эта тенденция подвергает сомнению классическую теорию ассимиляции, ведущей к потере личной этничности (по М. М. Гордону). Условия выживания большинства иммигрантов способствуют ее сохранению. В той степени, в которой экономики этнического анклава получают большие доходы, этническое предпринимательство препятствует ассимиляции.

Факторы происхождения (background determinants)	Первое поколение	Второе поколение	Третье и последующие поколения
Человеческий капитал. Состав семьи	Вариант 1: достижение статуса среднего класса, основанное на высоком уровне человеческого капитала. Вариант 2: принадлежат к рабочему классу, но обладают сильными этническими связями.	Занятие профессиональной или предпринимательской деятельностью и полное вхождение в культуру (full acculturation). Частичное вхождение в культуру (selective acculturation)*, достижение статуса среднего класса с помощью повышения образовательного уровня.	Полная интеграция в экономическую и социальную жизнь доминирующего общества. Полное вхождение в культуру (full acculturation) и интеграция в доминирующее общество.
Способы ассимиляции (modes of incorporation)	Вариант 3: принадлежат к рабочему классу, но обладают слабыми этническими связями.	Негармоничное вхождение в культуру (dissonant acculturation)** и низкий образовательный уровень.	А. Стагнация на низкооплачиваемых работах. В. Нисходящая ассимиляция, переходящая в девиантное поведение.

* Определяется как сохранение языка родителей и элементов родительской культуры наряду с принятием английского языка и американского образа жизни.

** Определяется как отрицание культуры родителей и прекращение общения между поколениями [7, с. 4].

Благодаря глобализации то, что раньше было местной этнической экономикой, сейчас все больше включается в международные сети производства и распределения. Раньше этнические магазинчики продавали местные продукты другим этническим группам, а теперь товар все чаще проходит через сеть соотечественников, продающих товар по всему миру. Многие товары не являются экзотическими, не связаны с какой-либо конкретной культурой. Например, китайские, южно-азиатские международные сети производят, транспортируют и распространяют компьютеры и программное обеспечение. В подавляющем большинстве этот вид деятельности принадлежит и организуется соответствующими этническими группами. Проведенные опросы на данную тему показывают, что из всех респондентов (128 опрошенных) не было ни одного, для которого его этническая принадлежность была бы не важна в его экономической деятельности [8].

На наш взгляд, этническое предпринимательство на уровне среднего класса и выше в сохраняющихся условиях глобализации может привести к возникновению бикультурных сообществ, в которых не утрачивается собственная этничность при одновременном принятии культуры доминирующего общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Light I., Gold S. *Ethnic Economies*. San Diego: Academic Press, 2000.
2. Masurel E., Nijkamp P., Vindigni G. Breeding places for ethnic entrepreneurs: a comparative marketing approach // *Entrepreneurship & Regional Development*. 2004. № 16. P. 77–86.
3. Light I., Karageorgis S. N. *The Ethnic Economy* // *The Handbook of Economic Sociology* / N. Smelser and R. Swedberg (eds.) Princeton: Princeton University Press, 1994. P. 647–671.
4. Light I. *Economías étnicas* // *Empresariado étnico en España* / Beltran J. (coord.) etc. Barcelona, 2007. 320 p.
5. *Ethnic Entrepreneurs: Immigrant Business in Industrial Societies*. California: Sage Publications, 1990.
6. DelCampo Robert G., Thomas Douglas E. Mexican-American entrepreneurship and social networks: A review and vision for the future. // *International journal of business research*. 2009. Vol. 9, № 6. P. 120–127.
7. Portes A., Fernández-Kelly P., Haller W. The Adaptation of the Immigrant Second Generation in America: A Theoretical Overview and Recent Evidence // *J. of Ethnic and Migration Studies*. 2009. Vol. 35, № 7. P. 1077–1104.
8. Lever-Tracy C., Ip D., Tracy N. Old ties abroad, new friends at home: Networks of Australian Chinese entrepreneurs. *Asian Migration: Pacific Rim Dynamics*. Taipei: National Taiwan University, 1999. P. 97–116.

E. L. Samarina

ETHNIC ENTREPRENEURSHIP AND SOME RESEARCH PROBLEMS OF THE PHENOMENON IN SOCIOLOGY OF THE USA

The article shows a definition problem of the concepts «ethnic» and «entrepreneurship» taken historically and in contemporary researches. Nowadays there are different approaches to defining of these phenomena. Migration process and its connection to entrepreneurial activity have been investigated the most by scholars in the USA. Analysing some researches on ethnic entrepreneurship made in the USA we can come to a conclusion that migrants and minorities' business has a complex and changing structure. Theories of ethnic entrepreneurship as a specific way of organisation and running business by migrants groups (diasporas) in a dominating host culture can be found in the works of Light, Bonacich, Waldinger, Aldrich and many others.

Ethnic entrepreneurship, sociology of entrepreneurship, ethnic group, migration process, migrants, immigrants, migrants entrepreneurship, ethnic economy, national minorities, self-employment



УДК 621.37 – 621.396 (091)

Л. И. Золотинкина, Н. В. Скрицкий

НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ СКРИЦКИЙ – ПРОФЕССОР ЭТИ И ЛЭТИ

Н. А. Скрицкий – пионер отечественной радиотехники, ученик А. С. Попова, профессор (1916). Окончил МГУ (1901), ЭТИ (1907). Участник и руководитель строительства ряда мощных радиостанций в России (1911–1936) и за рубежом (1921–1923). Один из организаторов радиотехнического образования в России. Преподавал в ЭТИ (1907–1917), а затем в ЛЭТИ (1924–1930). Репрессирован в 1930–1931 гг. Преподавал в Ташкенте (1934–1937), в Саратове (1938–1951). Автор более 30 научных работ по вопросам радиотелеграфии, радиотелеграфных измерений, вакуумной техники.

Беспроволочная телеграфия, радиотелеграфия, радиотехническое образование, Электротехнический институт, ЛЭТИ, мощное радиостроение, междуведомственный радиотелеграфный комитет, электронная лампа, Музейный комплекс СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Николай Александрович Скрицкий родился 5 декабря 1878 г. в селе Погорельцы Духовщинского уезда Смоленской губернии [1]. После окончания Московского университета с дипломом первой степени (1901) по рекомендации проф. В. И. Вернадского он был оставлен в университете для подготовки к профессорскому званию [2]. Однако молодой ученый принял другое решение – поступил в 1901 г. в Петербургский электротехнический институт сразу на третий курс. Имея солидную теоретическую и научную подготовку, Н. А. Скрицкий стал одним из ближайших учеников и помощников А. С. Попова. С 1906 г. он работал в Управлении Санкт-Петербургского почтово-телеграфного округа. В июне 1907 г. Н. А. Скрицкий получает диплом № 254 об окончании ЭТИ и звание инженера-электрика 1-го разряда [3].

Еще в декабре 1905 г. Николай Александрович как специалист в области беспроволочной телеграфии был назначен начальником дворцовых радиостанций, оборудованных в Зимнем дворце в Петербурге и в Александровском парке в Царском Селе. Эти две радиостанции функционировали до 5 февраля 1909 г. [4, с. 319]. В этом же году была упразднена и опытная радиостанция на Крестовском острове, построенная при участии А. С. Попова, аппаратуру которой передали в Электротехнический институт с условием, «чтобы при установке в институте была сохранена схема соединений приборов и по возможности их внешний вид», как память об изобретателе радио. Работой по организации в ЭТИ в 1909 г. лаборатории по беспроволочному телеграфированию при кафедре электрических

телеграфов занимался Н. А. Скрицкий. Еще в июле 1908 г. предписанием Главного управления почт и телеграфов (ГУПиТ) он был откомандирован в ЭТИ на кафедру электрических телеграфов *«для подготовки к преподавательской деятельности и в помощь по учебной части»*. Решение принимал проф. П. С. Осадчий (1866–1943), являвшийся заведующим кафедрой электрических телеграфов и одновременно заместителем начальника ГУПиТ. Совместно с П. С. Осадчим Н. А. Скрицкий стал организатором радиотехнического образования в России для гражданских ведомств [1], [5].

Летом 1909 г. Николай Александрович находился в первой научной заграничной командировке (Германия, Швейцария, Голландия, Франция, Италия). Возвратившись, он доложил результаты изучения вопроса о состоянии современной авиации за границей на специальном межеведомственном совещании представителей армии и флота. Видимо, и в дальнейшем он принимал участие в решении вопросов развития отечественной авиации, поскольку весной 1917 г. был назначен постоянным членом Технического комитета Управления военного воздушного флота.

С 1 августа 1910 г. Н. А. Скрицкий утверждается в ЭТИ в должности младшего сверхштатного лаборанта в лабораторию беспроводного телеграфа *«с поручением преподавания и проектирования»*. Он готовит ряд статей по теории ударного возбуждения колебаний, выступает с докладами на научных конференциях и в совете ЭТИ. В 1910 г. им подготовлено литографированное издание «Краткий курс беспроводного телеграфа» (на 357 страницах) с большим числом чертежей и иллюстраций. За заслуги в декабре 1911 г. ему был пожалован орден Св. Анны 3-й степени [3].

В июне 1912 г. высочайшим указом создается Межеведомственный радиотелеграфный комитет (МРК), председателем которого был назначен П. С. Осадчий, в сентябре того же года Н. А. Скрицкий назначается делопроизводителем МРК [5].

В 1912 г. в Санкт-Петербурге впервые в России были открыты гражданские радиотелеграфные курсы (Лиговский пр., д. 143) для подготовки младших специалистов по эксплуатации радиотелеграфных станций.

Летом 1912 г. Н. А. Скрицкий был в командировке в Лондоне на Международной радиотелеграфной конференции по беспроволочной телеграфии от Почтово-телеграфного ведомства России в качестве делопроизводителя делегации, которая работала под руководством П. С. Осадчего [4, с. 154].

В 1913 г. МРК издал очень обстоятельный «Очерк развития радиотелеграфных сообщений в России и за границей». Работой по его подготовке занимались штатные сотрудники МРК – делопроизводитель инженер-электрик Н. А. Скрицкий и его помощник – выпускник ЭТИ 1913 г. инженер-электрик Имант Георгиевич Фрейман (1890–1929) [5]. Близкое знакомство со всеми достижениями в области радиотехники позволило Николаю Александровичу подготовить ряд первых печатных отечественных курсов по беспроволочной телеграфии, а именно: «Общий курс беспроводного телеграфа» (1913) на 464 страницах и «Радиотелеграфные измерения» (1914) на 268 страницах. Последнее произведение было особенно ценным, так как это был первый на русском языке обзорный труд по этой весьма важной как для физиков, так и для инженеров проблеме. 25 января 1915 г. Николай Александрович защитил диссертацию и приказом по МВД с 1 марта 1915 г. был назначен штатным преподавателем ЭТИ.

Появление электронной лампы дало импульс новому направлению научных исследований Н. А. Скрицкого. Одним из пионеров в этой области был инженер-электрик (выпускник ЭТИ 1909 г.) В. И. Коваленков (1884–1960), преподаватель ЭТИ, также ученик А. С. Попова. Совместно они разработали ряд патентных заявок на устройство электронной лампы. Однако на эти изобретения патенты не были получены. Более удачной оказалась судьба заявки «Электрод для катодной трубки», поданной Николаем Александровичем совместно с инженером Института путей сообщения А. Шварцем в том же 1915 г. Привилегия была получена 31 марта 1917 г. В ней отмечено, что «...настоящее предложение представляет новую конструкцию и более целесообразное расположение электродов для катодных трубок, применяемых в качестве усилителей токов, телефонных и других реле, выпрямителей, генераторов колебаний высокой частоты и трансформаторов частоты»¹. На рис. 1. приведены чертежи к заявке.

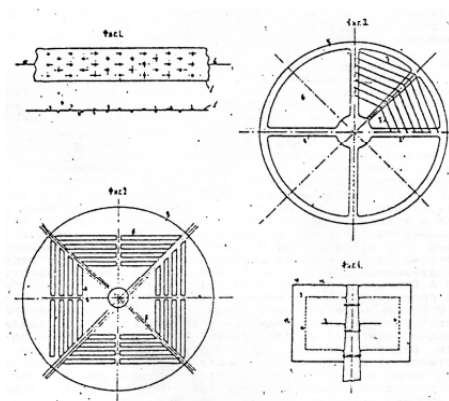


Рис. 1



Рис. 2

Активно занимаясь вопросами вакуумной техники, в 1916 г. Николай Александрович выступал на совете ЭТИ с предложением о создании рентгеновской лаборатории.

На фотографии (рис. 2) мы видим Н. А. Скрицкого в форме служащего Почтово-телеграфного ведомства (1916).

31 декабря 1915 г. на специальном заседании совета ЭТИ с участием делегатов организаций, учредивших в 1906 г. премию им. А. С. Попова, Н. А. Скрицкий выступил с докладом о значении открытия А. С. Попова и успехах радиотелеграфии за 10 лет, прошедших после смерти изобретателя радио. На этом же заседании премия им. А. С. Попова была вручена В. И. Коваленкову за создание первой в мире ламповой телефонной трансляции.

Приказом по ГУПиТ МВД № 105 от 26 декабря 1916 г. инженер-электрик Н. А. Скрицкий был утвержден экстраординарным профессором с оставлением в должности делопроизводителя МРК [3].

В 1915 г. Н. А. Скрицкий совместно с И. Г. Фрейманом, назначенным его помощником, приступил к проектированию сверхмощной радиостанции (300 кВт) для нужд флота на Дальнем Востоке. В течение 1916–1917 гг. Н. А. Скрицкий и И. Г. Фрейман по очереди выезжают на Дальний Восток. Последний раз Николай Александрович направился туда в декабре 1917 г. уже с поручением Н. В. Крыленко, Наркома по военным и морским делам нового правительства, срочно достраивать радиостанцию для связи с центром. Однако интервенция нарушила все

планы, и Николай Александрович с семьей «застрял» во Владивостоке. Американский десант демонтировал оборудование, которое много позже в 1922 г. было возвращено России.

¹ Описание электрода для катодных трубок к привилегии инженера-электрика Н. Скрицкого и инженера путей сообщения А. Шварца, в Петрограде, заявленной 8 июня 1915 г. (охран. св. № 66903). Привилегия № 29162, класс 21г, выдана 31 марта 1917 г.

Несмотря на такие сложные условия, в 1919 г. Н. А. Скрицким была написана и издана книга «Радиотелеграфное дело» (185 страниц). С июня 1920 по май 1921 г. он был заведующим кафедрой электротехники, а затем и деканом механического факультета Владивостокского политехнического института.

С 1921 по 1923 г. Н. А. Скрицкий, судя по его записи в автобиографии, «спроектировал, построил в Индонезии на местных заводах и частично установил несколько раций. Там же спроектировал, изготовил и установил ряд ответственных частей сверхмощной радиостанции (2400 кВ) и организовал прием Европы подземной радиосетью».

Н. А. Скрицкий обращался с просьбой в совет ЭТИ о содействии его возвращению в родной институт. В феврале 1924 г. по ходатайству совета института Н. А. Скрицкому было разрешено вернуться в Советскую Россию, в Ленинград.

К этому времени в институте на базе лаборатории по беспроволочной телеграфии была создана кафедра радиотехники, которой руководил проф. И. Г. Фрейман, защитивший в 1921 г. магистерскую диссертацию.

10 марта 1924 г. Николай Александрович подал заявление в совет ЛЭТИ с просьбой о восстановлении его в должности профессора радиотехники. Он также привел объяснения причин, мешавших его своевременному (до 1 сентября 1920 г.) возвращению в институт. 2 мая 1924 г. было принято решение разделить на две части электровакуумную лабораторию, созданную в 1921 г. на электрофизическом факультете (ЭФФ). Руководство частями электровакуумной лаборатории было возложено на профессоров М. М. Глаголева (рентгенотехника, кафедра физики) и Н. А. Скрицкого (электровакуумная техника, кафедра радиотехники) [5].

Курс радиотехники непрерывно усложнялся, возрастало число новых дисциплин, которые вела кафедра радиотехники. В 1925 г. были организованы две кафедры: «Общая радиотехника» (проф. Н. А. Скрицкий) и «Специальный курс радиотехники» (проф. И. Г. Фрейман). Николай Александрович с большим энтузиазмом включился в учебный процесс: в 1924–1925 гг. он – проректор ЛЭТИ по учебной работе, в 1928–1930 гг. – декан ЭФФ. В переходный период в 1924 г. после ухода с должности директора ЛЭТИ проф. Г. О. Графтио и до выборов директором проф. А. А. Смурова Н. А. Скрицкий исполнял обязанности директора института (практически весь весенний семестр).

На фотографии (рис. 3) Н. А. Скрицкий – профессор ЛЭТИ (1930).

Большой популярностью у студентов пользовались курсы лекций Н. А. Скрицкого «Радиотехника» – конспект лекций по общему курсу (200 страниц, 1926, изд-во КУБУЧ) и «Электронные лампы. Физика явлений, начала теории и расчета» (1928, изд-во КУБУЧ) (рис. 4). Последняя была настоящей энциклопедией по электровакуумной технике. В ней очень тщательно, с использованием математи-



Рис. 3



Рис. 4

ки, были рассмотрены проблемы электронной эмиссии; конструкции всех типов электродов; вопросы, связанные с пространственным зарядом; двух-, трех- и многоэлектродные лампы и их применение. В предисловии к последней книге Николай Александрович особо поблагодарил слушателей военного отделения ЛЭТИ, составивших хороший конспект его лекций, что и помогло подготовить данное пособие. В отношении к студентам он был весьма требователен.

Н. А. Скрицкий был одним из организаторов празднования 30-летия изобретения радио А. С. Поповым, которое проводилось во всероссийском масштабе (юбилейные издания, выставка достижений радиопромышленности и выставка работ радиолюбителей). Торжественное заседание, посвященное 30-летию изобретения радио, прошло в ЛЭТИ в мае 1925 г. [6].

Наряду с педагогической и научной деятельностью Н. А. Скрицкий часто выступал перед специалистами. В это время он увлекся короткими волнами, вел консультационную работу в Управлении связи Ленинградской области. С 1925 г. был помощником заведующего по научной части и заместителем председателя научного совета Ленинградской экспериментальной электротехнической лаборатории (ЛЭЭЛ) НТО ВСНХ. Работа в ЛЭЭЛ и ЛЭТИ давала возможность проведения экспериментов.

В 1927–1930 гг. Н. А. Скрицким были разработаны получившие широкое практическое применение усилители звука для тугоухих (его младший сын Владимир был практически глухим) [1].

В 1929–1930 гг. Н. А. Скрицкий – главный инженер на строительстве мощной радиостанции в Колпино под Ленинградом. В ноябре 1930 г. его арестовали по ложному доносу о вредительстве на строительстве Колпинской радиостанции. В декабре 1931 г. он был освобожден за отсутствием состава преступления. Возвращение в ЛЭТИ, работа в Ленинграде были невозможны. За этот год Николай Александрович потерял жену и старшего сына. Начинается долгий и мучительный путь скитаний. Н. А. Скрицкий поступает на работу в Наркомат путей сообщения на должность заместителя начальника стройконторы радиосвязи и вплоть до декабря 1938 г. работает на строительстве коротковолновых радиостанций. Это – Москва, Ташкент, Ашхабад, Вязьма. Наконец, ему удалось найти постоянное место работы в Саратовском автодорожном институте (САДИ) им. В. М. Молотова. Ему предложили занять должность заведующего кафедрой физики. В декабре 1938 г. он переезжает в Саратов, начинает активную преподавательскую и научную деятельность, продолжавшуюся до 26 марта 1951 г. [7].

Можно только гадать, какие новые прекрасные учебники и книги были бы им созданы, если бы не печальные события 1930 г. В 1954 г. на запрос сына (от второго брака) Александра Скрицкого об отце архив ЛЭТИ выслал справку, свидетельствующую о том, что такого преподавателя в ЛЭТИ не было [3]!

Н. А. Скрицкий всегда был ищущим и увлекающимся ученым, инженером и педагогом, оперативно реагирующим на самые новые открытия в науке и технике. Так было с радио, авиацией, электронной лампой и короткими волнами. Везде он умел видеть перспективу, стремился использовать достижения науки в практических целях. Он был пропагандистом науки, как и те, кому довелось работать с А. С. Поповым, выступал перед различными аудиториями с докладами об истории изобретения радио, защищал приоритет А. С. Попова в изобретении радио, рассказывал о работах своего учителя, о возможностях и перспективах применения радиотехники.

Историческая комиссия ученого совета СПбГЭТУ в октябре 2011 г. приняла решение о помещении портрета проф. Н. А. Скрицкого в галерею выдающихся ученых и деятелей нашего университета.

Авторы благодарят В. А. Урвалова за предоставленную дополнительную информацию об Н. А. Скрицком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрицкий Н. В. Один из первых радиоинженеров Н. А. Скрицкий: биограф. очерк. М., 1998. 28 с.
2. Вернадский В. И. Дневники 1935–1941: в 2 кн. М.: Наука, 2006. Кн. 2. С. 170.
3. Фонд Николая Александровича Скрицкого. Формулярный список Н. А. Скрицкого. Архив Мемориального музея А. С. Попова. ф. 2.7.3.
4. Глущенко А. А. Место и роль радиосвязи в модернизации России (1900–1917). СПб.: ВМИРЭ, 2005. С. 319.
5. Золотинкина Л. И., Шошков Е. Н. Иммануил Георгиевич Фрейман. Л.: Наука, 1989. 144 с.
6. О праздновании 30-летия изобретения проф. А. С. Попова. Архив Мемориального музея А. С. Попова. ф. 2.1.6. д. 749.
7. Золотинкина Л. И., Скрицкий Н. В. Николай Александрович Скрицкий – один из первых отечественных радиоинженеров // Электросвязь. История и современность. 2006. № 2. С. 25–29 (Прил. к журн. 2006. № 7).

L. I. Zolotinkina, N. V. Skrizky

NICKOLAI ALEXANDROVICH SKRIZKY – PROFESSOR OF ETI AND LETI

N. A. Skrizky is a pioneer of national radio engineering and A. S. Popov's student. He graduated from the Moscow State University in 1901 and the Electrotechnical Institute in 1907. Under his guidance and with his active participation a number of powerful radio stations were built both in Russia (1911–1936) and abroad (1921–1923). He is one of the organizers of radio engineering education in Russia. He delivered lectures in ETI (1907–1917) and was made professor at ETI in 1916. He worked as a lecturer of LETI (1924–1930). Skrizky was repressed in 1930–1931. He was teaching in Tashkent (1934–1937), in Saratov (1938–1951). He is the author of over 30 scientific papers on the problems of radio telegraphy, radio telegraphy measurements, vacuum technology.

Wireless telegraphy, radiotelegraphy, radio engineering education, Electrotechnical institute, LETI, a powerful radio industry, interdepartmental radiotelegraph committee, a vacuum valve, The Museum Complex of St. Petersburg ETU «LETI»

Сведения об авторах

Аббакумов Константин Евгеньевич

Зав. кафедрой электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ, профессор, д-р техн. наук.

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

Аль-Рахми Рамзи Яхья

Аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (951) 652-06-08. E-mail: ryms84@mail.ru.

Барченко Владимир Тимофеевич

Доцент кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

E-mail: VTBarchenko@mail.eltech.ru.

Большаков Владимир Павлович

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

Тел.: +7(921) 321-62-52. E-mail: V_P_B_@mail.ru.

Большев Александр Константинович

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 935-88-42. E-mail: key@timeold.ru.

Бондин Василий Михайлович

Студент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 187-97-35. E-mail: bazil.m.bondin@gmail.com.

Васильев Андрей Алексеевич

Студент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 923-90-29. E-mail: anvslv@gmail.com.

Вендик Ирина Борисовна

Профессор кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры СПбГЭТУ, д-р физ.-мат. наук.

Тел.: +7 (812) 346-08-67. E-mail: ibvendik@rambler.ru.

Виноградова Наталья Юрьевна

Доцент кафедры менеджмента таможенного и страхового сервиса Санкт-Петербургского государственного университета сервиса и экономики, канд. экон. наук.

Тел.: +7 (921) 435-84-05. E-mail: natvin89@mail.ru.

Волчек Александр Олегович

Главный конструктор ОАО «НПО «Прибор»».

Тел.: +7 (921) 432-50-93.

Галимов Фарид Мисбахович

Зав. кафедрой стандартизации, сертификации и технологического менеджмента КНИТУ-КАИ, д-р техн. наук.

Тел.: (843) 236-65-75. E-mail: far-galim@yandex.ru.

Горячев Александр Вадимович
Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

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

Замешаева Евгения Юрьевна

Аспирантка кафедры микрорадиоэлектроники и технологий радиоаппаратуры СПбГЭТУ.

Тел.: (812) 346-08-67. E-mail: evgzameshaeva@yandex.ru.

Золотинкина Лариса Игоревна

Директор Мемориального музея А. С. Попова СПбГЭТУ, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник.

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

Коновалов Роман Сергеевич

Ассистент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ, аспирант.

Тел.: (812) 234-37-26. E-mail: RSKononov@rambler.ru.

Кондратьева Татьяна Александровна

Инженер ЗАО «Научное и технологическое оборудование» (СПб).

Тел.: +7(961) 802-99-78. E-mail: Kondratyeva_taty@mail.ru.

Корнилов Николай Александрович

Аспирант кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 257-71-28. E-mail: Koliak23@yandex.ru.

Кочелаев Евгений Александрович

Инженер II категории ОАО «НПО «Прибор»», аспирант (заочная форма обучения) кафедры инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (960) 239-35-51. E-mail: kochelaev@bk.ru.

Кравчук Дмитрий Константинович

Магистрант кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ.

Тел.: +7(911) 780-92-50. E-mail: dk.kravchuk@gmail.com.

Крупальник Константин Маркович

Аспирант кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 371-45-46. E-mail: k.spektr@gmail.com

Крупович Николай Викторович

Аспирант кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ.

E-mail: knv85@inbox.ru.

Лавров Андрей Александрович

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: +7(921) 892-54-11. E-mail: @lavrov.vn.

Леута Алексей Александрович

Генеральный директор компании ОАО «Миландр Электрик ». Доцент кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ», канд. техн. наук.

Тел.: (812)952-87-37. E-mail: leuta@mail.ru.

Митягин Сергей Александрович

Аспирант кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (905) 267-25-36. E-mail: smityagin@list.ru.

Мифтахутдинова Фарида Равиловна

Доцент кафедры стандартизации, сертификации и технологического менеджмента КНИТУ-КАИ, канд. пед. наук.

Тел.: (843) 236-65-75. E-mail: mift-f@mail.ru.

Морозова Александра Александровна

Инженер ЗАО «Научное и технологическое оборудование».

Тел.: +7 (952) 243-69-50.

Нгуен Минь Дык

Аспирант кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 230-40-34. E-mail: nguyenminhduc@mail.ru.

Нгуен Чунг Чау

Аспирант кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (952) 230-40-34. E-mail: Muchey140580@yahoo.com.

Новакова Наталия Евгеньевна

Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7(921) 314-26-05. E-mail: nnovakova@mail.ru.

Перлова Юлия Витальевна

Ассистент кафедры иностранных языков СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 976-67-80. E-mail: perlova_julia@mail.ru.

Плешивец Антон Олегович

Студент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (904) 555-81-62. E-mail: anton@emby.ru.

Пыко Сергей Михайлович

Доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологий СПбГЭТУ, канд. техн. наук.

Тел.: +7 (921) 313-95-99. E-mail: sergey.pyko@gmail.com.

Пыко Светлана Анатольевна

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

Тел.: +7(921)799-90-09. E-mail: svet.pyko@gmail.com.

Самарина Екатерина Леонидовна

Аспирантка кафедры социологии и политологии СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 773-81-42. E-mail: katsam@mail.ru.

Семенов Дмитрий Сергеевич

Студент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (950) 027-76-54. E-mail: demon588@mail.ru.

Сепп Юрий Иосифович

Доцент кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.

Тел.: +7 (921) 993-27-13. E-mail: yurij.sepp@gmail.com.

Сидоренко Владимир Михайлович

Зав. кафедрой инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (911) 771-82-55. E-mail: vmsidorenko@mail.ru.

Скрицкий Николай Владимирович

Ведущий инженер ОАО ГСКБ «Антей-Алмаз».

E-mail: nik-scritsky@yandex.ru.

Удовиченко Сергей Юрьевич

Заместитель директора НИИ прикладных наук ТюмГУ.

E-mail: udotgu@mail.ru.

Цехановский Владислав Владимирович

Доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.

Тел.: (812) 234-27-73. E-mail: vvcehanovsky@mail.ru.

Чагина Анна Владимировна

Ассистент кафедры инженерной компьютерной графики НИУ ИТМО.

Тел.: +7 (921) 327-16-62. E-mail: annazoja@mail.ru.

Чертовской Владимир Дмитриевич

Профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, д-р техн. наук, профессор.

Тел.: (812) 234-27-73. E-mail: vdchertowsky@mail.ru.

Шестаков Василий Сергеевич

Ассистент кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ.

Тел.: +7 (921) 325-67-92. E-mail: shestakov.vasily@gmail.com.

Якушенко Евгений Сергеевич

Аспирант кафедры биотехнических систем СПбГЭТУ, магистр.

Тел.: +7 (952) 352-99-54. E-mail: yakushenko_es@mail.ru.

Правила представления рукописей авторами

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

- файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):
 - рукопись статьи;
 - сведения об авторе(ах);
- документы на листах формата А4 (1 экз.):
 - рукопись статьи (статья должна быть объемом 4–8 маш. с., обзорная статья – до 16 маш. с.);
 - сведения об авторе(ах);
 - рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
 - экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
 - сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Сведения об авторах должны содержать:

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

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

Правила оформления текста статьи

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

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

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Times New Roman» 14 pt; межстрочный интервал одинарный); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

Перечень авторов разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Times New Roman» 12 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзачный отступ справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman» 14 pt; жирный; выравнивание по левому краю; отступы слева и справа 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него – 12 pt; межстрочный интервал одинарный).

Аннотация содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.75 см; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал одинарный).

Ключевые слова состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 6 pt, после него 9 pt; межстрочный интервал одинарный).

Далее следует текст статьи.

После основного текста следует библиографический список, который включает:

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

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

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

Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 8 pt, «символ» 14 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив; интервалы: перед формулой 6 pt, после нее 6 pt.

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

Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом; интервалы: перед таблицей 4 pt, после нее 4 pt.

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

Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и

обозначения на рисунке даются шрифтом размером 10 pt, индексы 8 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок и номер рисунка даются курсивом. Буквенные обозначения фрагментов рисунка (шрифт «Times New Roman», курсив, 10 pt) ставятся внизу фрагмента; интервалы: перед рисунком 6 pt, после него 6 pt.

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

Перечень основных тематических направлений журнала:

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

Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.

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