

9' 2008

Известия
СПБГЭТУ "ЛЭТИ"

Ежемесячный журнал



Содержание

Редакционный совет:

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

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Барченко В. Т., Задера А. В. Исследование предельных режимов протекания тока в разряде с двойным контрагированием 3

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Балтрашевич В. Э., Васильев А. В., Жукова Н. А., Ильина И. В. Система идентификации телеметрических параметров на основе алгоритмов интеллектуального анализа данных 11

Даугавет А. И., Колодяжный А. Н., Постников Е. В. Оценка оптимального размера окна сглаживания неравноточных измерений 16

Капун Д. И., Суян А. Ю. Синтез нерекурсивных цифровых фильтров без умножений 24

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Самохвалов Д. В. Об учете квантования сигналов микроконтроллера в методике проектирования усилительно-преобразовательного устройства вентильного двигателя 33

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование импульсного режима работы тонкостенного пьезокерамического цилиндра с электрической нагрузкой 45

БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Дмитриева И. В., Маркузина Н. Н. Литийселективные твердоконтактные электроды на основе электропроводящего полимера – полианилина 49

Захаров И. С., Голядкин С. В. Перспективы применения термотаксиса микроорганизмов как тест-реакции для биотестовых систем 54

Насырова Г. Р. Диагностика опорно-двигательного аппарата человека по сигналам вибрации опоры 59

* * *

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Караулова И. Б., Мелешкова Г. И., Виноградова Л. Е. Проблема и концепция управления качеством профессионального воспитания студентов технических университетов 63

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

Байкова О. М., Яценко В. В. Применение инструментов менеджмента качества в сбалансированной системе показателей 71

Ефимов А. М., Салкуцан С. В. Управление маркетингом в каналах распределения 80

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Доклад А. С. Попова "О телеграфировании без проводов" в Электротехническом институте 19 октября 1897 г. 85

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,
Н. В. Рощина, И. Г. Скачек*
Комп. верстка:
*Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, Л. П. Смолянчук*

Подписано в печать 21.11.08 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 12,0.

Тираж 300 экз. Заказ 96.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

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

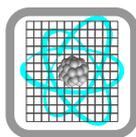
Уважаемые авторы!

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

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

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России



УДК 621.38

В. Т. Барченко, А. В. Задера

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОТЕКАНИЯ ТОКА В РАЗРЯДЕ С ДВОЙНЫМ КОНТРАГИРОВАНИЕМ

Рассматриваются результаты исследования предельных режимов протекания тока через диафрагмированный промежуток в газоразрядной камере плазменного источника типа дуоплазмотрон. Показано, что предельная энергия электронов в предобрывном состоянии при протекании тока в разряде с контрагирующим электродом определяется начальным давлением газа в области контрагирования.

Дуоплазмотрон, контрагирующий электрод, предельный режим протекания, обрыв тока разряда

При разработке плазменного источника ионов (ИИП) любой конструкции важным является определение предельных возможностей источника по току ионного пучка, который из него можно получать в непрерывном режиме. Одним из факторов, определяющих предельный ток ионного пучка, является максимальный ток разряда, допустимый для конкретной конструкции генератора плазмы ИИП. Ток разряда наряду с интенсивностью определяет также массовый и зарядовый составы формируемого в ИИП пучка.

Характерной особенностью ИИП типа плазмотрон и дуоплазмотрон является контрагирование разряда за счет использования сжимающего электрода, а в дуоплазмотроне и магнитного поля [1]. В связи с этим максимальный стабильный ток разряда в ИИП данных типов сверху ограничен явлениями неустойчивого токопрохождения, а в предельном случае – и обрывом тока разряда [1]. При токах разряда, меньших критического, сужение играет положительную роль, так как в контрагированной прианодной плазме концентрация плазмы на 1–2 порядка превышает таковую в области катода. Возникающий перед сужением

со стороны катода двойной электрический слой ускоряет катодные электроны до энергии в десятки электрон-вольт. За счет этой группы электронов возрастает скорость генерации ионов вблизи анодного отверстия (режим работы плазмотрона или дуоплазмотрона выбирается так, чтобы длина свободного пробега электрона, ускоренного в двойном электрическом слое, по отношению к процессам ионизации была примерно равна расстоянию от места локализации двойного слоя до анода). Компонентный состав плазмы вблизи анодного отверстия определяется энергиями группы электронов, ускоренных в двойном электрическом слое, и средней энергией максвеллизированных электронов прианодной плазмы, а также количественным соотношением между группами.

При рассмотрении процессов в сжимающем электроде и прианодной плазме дуоплазмотрона следует учесть наличие магнитного поля в области сужения, которое резко уменьшает диффузию ионов из прианодной плазмы и плазмы разряда в сужении на стенки сжимающего электрода, а также учитывать, что ионизация в области сужения осуществляется в основном электронами прианодной плазмы.

Обрыв тока в разряде с сужением связывают с эффектом выдувания газа из области сужения потоком электронов, движущихся в направлении от катода к аноду, наличием максимума на зависимости сечения ионизации атома электронным ударом, ростом ионных оболочек у стенок сжимающего электрода. Все эти эффекты сказываются на скоростях генерации заряженных частиц в области сужения и ухода из его объема. В рассматриваемой модели необходимо будет учесть и такой экспериментальный факт, как зависимость средней энергии плазменных электронов от режима работы генератора плазмы ИИП.

Ввиду того, что скорость ионизации будет определяться энергией электронов в плазме сужения, сначала будет приведен расчет частот ионизации усредненных по функции распределения плазменных электронов, а затем будет получено условие обрыва тока разряда применительно к дуоплазмотрону.

При расчете средних частот ионизации рассмотрим случай сложной аппроксимации вероятности ионизации [2], предложенной Моргулисом.

Частота столкновений электронов с атомами газа, находящимися в единичном объеме, определяется формулой

$$Z_i = \frac{n_e v_e}{\lambda_e}, \quad (1)$$

где n_e – концентрация электронов; v_e – скорость электрона; λ_e – длина свободного пробега электрона в газе.

Функция распределения электронов по скоростям при максвелловском законе распределения имеет вид

$$F(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} v^2 \left(\frac{m_e}{2kT_e} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{-m_e v^2}{2kT_e} \right), \quad (2)$$

где m_e – масса электрона; k – постоянная Больцмана; T_e – температура электронов.

Используя формулу (1) и учитывая закон распределения электронов по энергиям (2), среднюю частоту ионизации можно вычислить по формуле

$$\tilde{Z}_i = \int_{v_i}^{\infty} \omega_i \frac{n_e v^3}{\lambda_e} \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_e}{2kT_e} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2kT_e}\right) dv, \quad (3)$$

где $v_i = \sqrt{\frac{2eU_i}{m_e}}$ (U_i – потенциал ионизации); ω_i – вероятность ионизации.

Заменив в (3) переменную интегрирования v на энергию $-eU_i$, получим

$$\tilde{Z}_i = \int_{eU_i}^{\infty} \omega_i \frac{n_e}{\lambda_e} \frac{2\sqrt{2}e^2}{\sqrt{m_e\pi}} U kT_e^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{eU_e}{kT_e}\right) dU. \quad (4)$$

При сложном законе аппроксимации (аппроксимация по Моргулису) вероятность ионизации определяется по формуле

$$\omega_i = A_i (U - U_i) \exp\left(-\frac{U - U_i}{\beta_i}\right), \quad (5)$$

где A_i и β_i – коэффициенты, приведенные в справочных данных [2].

В этом случае выражение (4) с учетом (5) запишется в следующем виде:

$$\tilde{Z}_i = \int_{U_i}^{\infty} A_i n_e n_a \delta_a \frac{2\sqrt{2}e^2}{\sqrt{m_e\pi}} (kT_e)^{-\frac{3}{2}} U (U - U_i) \exp\left(\frac{U_i}{\beta_i} - \frac{U(kT_e + e\beta)}{\beta kT_e}\right) dU. \quad (6)$$

Интегрирование (6) дает выражение для определения усредненной частоты ионизации электронами атомов газа, находящихся в единичном объеме:

$$\tilde{Z}_i = A_i e^2 \beta_i^2 n_e n_a \delta_a \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} (kT_e + e\beta)^{-2} \left(U_i + \frac{2\beta kT_e}{kT_e + e\beta} \right) \exp\left(-\frac{eU_i}{kT_e}\right). \quad (7)$$

Необходимым условием существования разряда является выполнение условия баланса ионов, образующихся в разрядном промежутке, и ионов, уходящих из разряда. При нарушении этого условия разряд резко изменяет форму, что получило название обрыва тока разряда низкого давления. В рассматриваемой модели процессов, приводящих к обрыву тока в дуоплазматроне, принимается, что первопричиной цепочки явлений, приводящих, в конечном счете, к нарушению протекания тока через сжимающий электрод, является выдувание газа из области сужения за счет упругих соударений потока электронов, движущихся от катода к аноду. Доминирующее влияние этого фактора в случае дуоплазматрона обусловлено тем, что плотность направленного тока электронов в сужении может достигать 50...70 А/см².

Запишем условие баланса ионов в газовом разряде при следующих условиях:

- процессы рекомбинации заряженных частиц в объеме положительного столба отсутствуют;
- диффузионные потери через боковую поверхность положительного столба отсутствуют из-за наличия аксиального магнитного поля.

Плотность потока ионов, образовавшихся в плазме положительного столба, можно определить по формуле

$$\frac{j_{ik}}{e} = \tilde{Z}_i L, \quad (8)$$

где j_{ik}/e – поток ионов, уходящих из положительного столба; \tilde{Z}_i – средняя частота ионизации электронами атомов газа, заключенных в единичном объеме; L – длина разрядного промежутка, занятого положительным столбом.

Рассматривая разряд низкого давления в коротком межэлектродном промежутке, учтем, что часть электронов, эмитированных из катодной плазмы, попадает на анод, не испытав столкновений с атомами газа. Вторая часть, взаимодействуя с атомами газа, рассеивается и вместе с электронами, образовавшимися в результате ионизации атомов газа, образует группу «хаотических» электронов. Прямопролетные электроны попадают на анод, не участвуя в актах ионизации. Ионизация атомов газа в положительном столбе происходит благодаря взаимодействию с атомами газа группы электронов, пришедших из прикатодной плазмы и испытывающих столкновения в плазме положительного столба, и группы «хаотических» электронов.

Хаотическая составляющая в электронном компоненте тока разряда может быть определена по формуле

$$j_{ex} = j_{ek} \left[1 - \exp\left(-\frac{L}{\lambda_e}\right) \right], \quad (9)$$

где L – длина промежутка; λ_e – длина свободного пробега электрона. Тогда концентрация «хаотических» электронов в плазме положительного столба при условии максвелловского распределения электронов по скоростям может быть определена по формуле

$$n_{ex} = \frac{4 j_{ek} \left[1 - \exp\left(-\frac{L}{\lambda_e}\right) \right]}{e} \left(\frac{\pi m_e}{8 k T_e} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Если подставить выражения (7)–(10) в уравнение баланса, то получим уравнение, которое связывает энергию электронов и плотность тока разряда в момент обрыва

$$\frac{j_a}{p} = \frac{1}{C\sqrt{U}} - \frac{e^2 \exp\left(\frac{2U_i}{U}\right) (U + 2\beta_i)^3}{4ACp(U_i U + 2U_i \beta_i + \beta_i U) \sqrt{U}}, \quad (11)$$

где $U = \frac{kT_e}{e}$ – потенциал, определяющий среднюю энергию плазменных электронов в прианодной плазме; $A = \frac{4}{kT_a} L \left(1 - \exp\left(-\frac{L}{\lambda_e}\right) \right) \left(\frac{m_i}{m_e} \right)^{\frac{1}{2}} A_i e^2 \beta_i^2 \delta_a$; $C = 4,23 \cdot 10^{-6} \left(1 - \exp\left(-\frac{L}{\lambda_e}\right) \right)$.

Выражение (11) позволяет оценить изменение средней энергии плазменных электронов от плотности тока разряда при заданном начальном давлении нейтралов в области сжимающего электрода. Но наибольший интерес представляет определение критических плотностей тока и энергии электронов, соответствующих предобрывному состоянию разряда, так как по данным [3], [4] в этом режиме дуоплазмотрон является наиболее эффективным генератором однозарядных и многозарядных ионов, получаемых из металлов и сложных веществ.

Для нахождения предельных параметров, соответствующих предобрывному состоянию разряда в дуоплазмотроне необходимо найти экстремум выражения (11), для чего его нужно продифференцировать и приравнять нулю. Таким образом, получим трансцендентное уравнение вида

$$\frac{1}{2C\sqrt{U^3}} - \frac{e^2 \exp\left(\frac{2U_i}{U}\right) (U + 2\beta_i)^2}{4ACpU (U_i U + 2U_i \beta_i + \beta_i U)^2} \times$$

$$\times \left[1,5(U_i + \beta) \sqrt{U^3} - (2U_i^2 + 3\beta^2) \sqrt{U} - (8U_i + 6\beta_i) \frac{U_i \beta}{\sqrt{U}} - \frac{8U_i^2 \beta_i^2}{\sqrt{U^3}} \right] = 0. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) было выполнено на ЭВМ. Результаты проведенных расчетов показаны на рис. 1–3 (плазмообразующий газ – аргон; температура газа 400 К; $d_{a-c.э}$ – расстояние «анод – сжимающий электрод», мм).

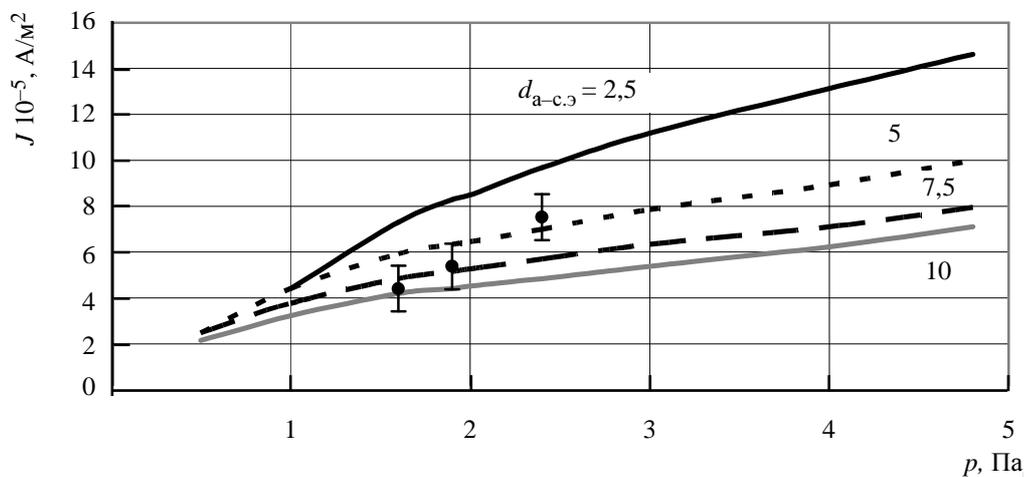


Рис. 1

Зависимости плотности тока обрыва разряда от давления также исследовались экспериментально. В ходе эксперимента задавался требуемый расход рабочего газа, затем возбуждался разряд в ИИП. Сила тока разряда медленно увеличивалась до достижения момента обрыва тока. При помощи измерительного прибора фиксировалось максимально достижимое значение тока в ИИП. Полученные данные усреднялись по нескольким измерениям. По полученным средним значениям и известным размерам сужения в контрагирующем электроде вычислялась плотность тока обрыва в ИИП. Полученные экспериментальные данные находятся в удовлетворительном согласии с результатами, полученными расчетным путем.

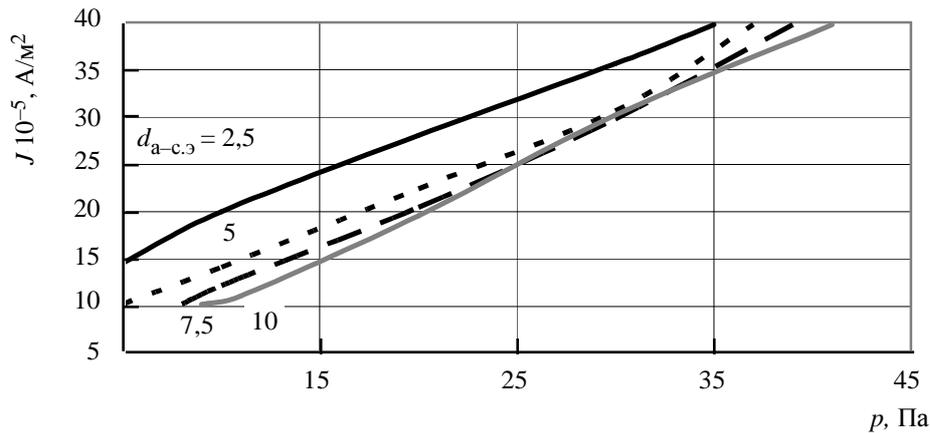


Рис. 2

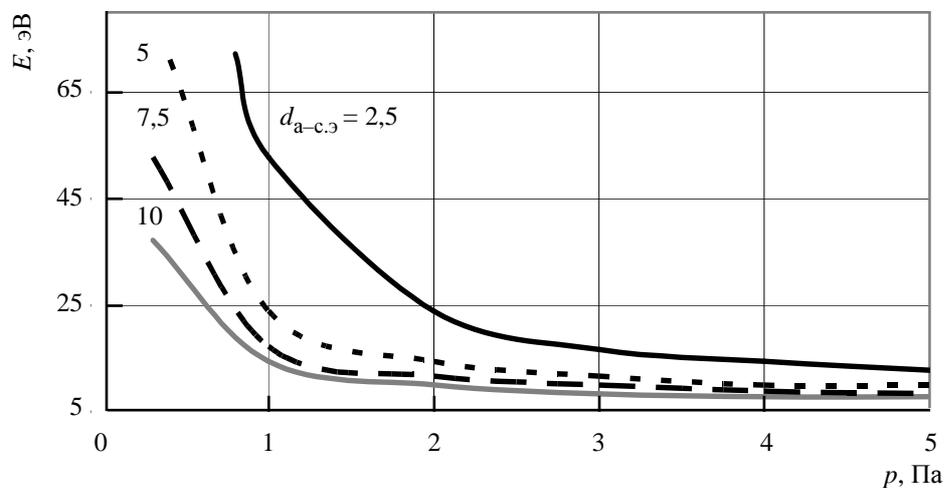


Рис. 3

Анализ выражения (12) показывает, что при заданном давлении зависимость плотности тока от энергии имеет максимум. Физически это объясняется тем, что плотность тока разряда с ростом энергии электронов не может увеличиваться до бесконечности, так как при определенном значении тока нарушается баланс скорости образования и потерь ионов в разряде, в результате уменьшения концентрации нейтралов в плазме разряда и уменьшения по этой причине скорости образования заряженных частиц. Формальный анализ полученных зависимостей показывает, что увеличение энергии электронов выше значений, соответствующих максимуму тока в сужении, приводит к уменьшению вычисляемых значений

плотности тока. При этих значениях плотности тока и энергии электронов также выполняется условие баланса образования и потерь ионов и уравнение (12) не накладывает запрета на существование второй формы разряда, характеризующейся той же самой плотностью тока в сужении, но более высокой энергией электронов. Для данной ветви кривой, связывающей энергию электронов и плотность тока, характерна обратная по отношению к первой ветви зависимость энергии от тока разряда: энергия электронов увеличивается при уменьшении плотности тока разряда. Однако данная форма энергетически менее выгодна и не является по этой причине устойчивой. Физически реализуются только режимы, соответствующие первой части кривой, описывающей поведение разряда при увеличении плотности тока от минимального до максимально возможного значения.

Причем максимум зависимости соответствует предобрывному состоянию, и, вычисляя положение максимума, можно определить максимально достижимые энергию электронов и плотность тока в разряде.

Характер зависимостей (рис. 3) показывает, что с ростом давления энергия электронов, соответствующая моменту обрыва тока разряда, падает. При качественном анализе зависимости можно заключить, что энергия электронов, соответствующая обрыву тока разряда, не должна зависеть от давления. До момента обрыва тока должны реализоваться все стадии развития разряда, связанные с уменьшением концентрации нейтралов в объеме положительного столба. При этом обрыв должен был бы наступить при той же самой энергии электронов, как и в случае более низкого начального давления в области сужения (или даже при несколько большей плотности в силу более интенсивного притока нейтралов в объем положительного столба со стороны окружающего газа). Наблюдаемое явление можно объяснить тем, что в случае высоких давлений достигаются более высокие концентрации заряженных частиц, чем при низком давлении. Это приводит к тому, что баланс давлений электронного и нейтрального компонентов плазмы положительного столба, с одной стороны, и давления окружающего положительный столб газа – с другой, достигается в случае высокого начального давления газа при более низкой энергии электронов, чем в случае низкого давления. Так как момент баланса давлений соответствует стадии обрыва тока разряда, то в случае высоких начальных давлений момент перехода разряда в неустойчивую форму происходит при более низких энергиях электронов. Таким образом, предельная энергия электронов в предобрывном состоянии при протекании тока в разряде с контрагирующим электродом определяется начальным давлением газа в области контрагирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крестов Н. А., Полякова О. И. К вопросу об устойчивости токопрохождения через диафрагмированные промежутки в водородном разряде низкого давления // Электронная техника. Сер. 3. Газоразрядные приборы. 1980. Вып. 2. С. 22–26.
2. Левитский С. М. Сборник задач и расчетов по физической электронике. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1964.
3. Габович М. Д. Физика и техника плазменных источников ионов. М.: Атомиздат, 1972.
4. Физика и технология источников ионов / Под ред. Я. Брауна. М.: Мир, 1998.

V. T. Barchenko, A. V. Zadera

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ANOD PLASMA IN DUOPLASMATRON

Experimental results of limit current flow into the iris-equipped gas discharge chamber of duoplasmatron ion source are considered. Interrelation of electron energy limitation with initial gas pressure into the contracting electrode is shown when discharge current is close to breaking limit magnitude.

Duoplasmatron, limit current flow contracting electrode, initial gas pressure



УДК 681.3.06(075.08)

*В. Э. Балтрашевич, А. В. Васильев,
Н. А. Жукова, И. В. Ильина*

СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Описывается задача вторичной обработки телеметрических параметров. Рассматривается возможность использования алгоритмов интеллектуального анализа данных для процесса идентификации. Представлено описание прототипа автоматизированной системы идентификации телеметрических параметров с применением технологии web-сервисов.

Обработка телеметрической информации, интеллектуальный анализ данных, автоматизированная система идентификации телеметрических параметров, технология web-сервисов, распределенная обработка данных

Для обработки телеметрической информации (ТМИ) используется информационно-телеметрический комплекс (ИТК), в состав которого входит бортовая, приемно-регистрирующая и аппаратура обработки информации. Процесс обработки информации включает в себя этап первичной обработки и этап вторичной обработки. Основными операциями первичной обработки телеметрической информации являются дешифровка данных, отбраковка ошибок, усреднение отсчетов, выделение экстремальных значений параметров и др. [1]. На этапе вторичной обработки формируются данные, необходимые эксперту для анализа состояния объекта, с которого поступает телеметрическая информация. Одной из ключевых проблем вторичной обработки ТМИ является идентификация телеметрируемых параметров.

Процесс анализа состояния и функционирования объекта и его систем, процесс идентификации телеметрируемых параметров представляет собой сложную задачу, решение которой в полном объеме сопряжено со значительными трудностями, затрагивающими как знания, умения и навыки эксперта, так и вычислительные мощности. В связи с этим актуальной является задача разработки автоматизированной системы, позволяющей эксперту точно и быстро обрабатывать большие объемы поступающих данных за приемлемое время.

Подходы к решению задач идентификации и вторичной обработки ТМИ связаны с анализом конструктивных особенностей объекта, характера функционирования его систем, представления отдельных параметров, о поведении которых имеются статистические данные, результаты моделирования. Анализ состояния и функционирования объекта и его подсистем заключается в сравнении фактических значений параметров состояния и характеристик систем с их требуемыми и расчетными или допустимыми значениями и выработке рекомендаций по устранению выявленных причин имеющихся отклонений. Перспективным направлением развития средств и технологий обработки измерительной информации является переход от обработки данных к обработке знаний, что требует наличия эффективных методов и средств выделения знаний. Этого можно достичь с помощью технологий и алгоритмов интеллектуального анализа данных (ИАД) [2]. При решении задачи идентификации возникает необходимость разработки самообучающихся алгоритмов распознавания данных на основе рассмотрения сигналов поведения эталонных параметров ТМИ, полученных при испытаниях объектов. Процесс построения и анализа моделей телеметрических сигналов можно представить в виде последовательности этапов:

1. Предварительная обработка, формирование набора признаков. Исходной информацией для решения задач идентификации являются результаты декодирования параметров, представленные в виде графиков изменения значений параметров во времени в телеметрической шкале.

2. Применение методов ИАД. Данный этап включает в себя решение нескольких задач. Алгоритмы сегментации используются для выявления границ изменения свойств временного ряда. Кластерный анализ на основе полученных сегментов решает задачу объединения близких по свойствам сегментов в один класс. Задача процесса классификации сводится к определению класса объекта по его характеристикам. Множество классов, к которым может быть отнесен объект, определяется на этапе кластерного анализа. Интерпретация класса осуществляется экспертом. В качестве методов сегментации могут быть использованы алгоритмы: алгоритм с дырами (algorithmes a trous) [3], SAX [4] и др. В качестве методов кластерного анализа целесообразно применять методы EM, AVP, K-Means, Fuzzy K-Means, CobWeb [5] и др., а в качестве методов классификации – методы C4.5, Cart и пр. [2].

3. Анализ результатов. Данный этап предполагает обработку результатов, полученных с помощью алгоритмов ИАД. Анализ результатов предусматривает интерпретацию построенных моделей, визуализацию (графики, таблицы, диаграммы, деревья), в том числе путем понижения их размерности (метод главных компонент, многомерное шкалирование).

4. Интерпретация полученных результатов. На данном этапе эксперты анализируют полученные результаты с возможностью некоторой корректировки. Далее полученная информация используется как знания, приобретенные о данном объекте.

Основными требованиями при обработке поступающей информации являются оперативность и точность, поэтому успешная организация процесса, в котором участвуют территориально удаленные исполнители, невозможна без их согласованной работы и целенаправленных действий по анализу данных. Точность оценивается для систем средней, высокой и очень высокой точности среднеквадратическими погрешностями 3...5 %, 1...2 %, 0.1...0.5 % соответственно.

Новые тенденции в развитии программного обеспечения, базирующиеся на объектно-ориентированном программировании и распределенных параллельных вычислениях, привели к появлению ряда новых технологий: COM, DCOM, RMI, CORBA, web-сервисов и др., являющихся наиболее популярным программным обеспечением класса промежуточных программных продуктов в настоящее время. Технологии COM/DCOM, RMI и CORBA обладают рядом общих ограничений: ориентация на двоичную связь, зависимость от платформы или языка программирования, сложность, отсутствие универсального стандарта для представления. Кроме того, активно используется технология web-служб, представляющая собой компонентную технологию*. Основными отличиями данной технологии являются: четко описанный интерфейс, выполняющий определенный контракт, который фиксирует выполняемую службой функцию; независимость контракта от платформы; асинхронный вызов служб; независимость служб, возможность использования в различных комбинациях; кросс-платформенность и независимость от языка программирования; возможность динамического обнаружения и обращения в сети и др.

Концепция web-сервисов реализуется при помощи определенного набора стандартизованных консорциумом World WideWeb Consortium (W3C) технологий [6]:

- Extensible Markup Language (XML) – язык разметки и представления данных;
- Simple Object Access Protocol (SOAP) – протокол обмена сообщениями;
- Web Services Description Language (WSDL) – язык определения web-сервисов, описание возможностей сервисов;
- Universal Description, Discovery, and Integration (UDDI) – реестр web-сервисов, публикация сервисов, поиск сервисов.

К системе идентификации параметров ТМИ, проектируемой с использованием технологии web-сервисов, предъявляются следующие требования:

- распределение и обеспечение удаленного доступа к данным через локальную сеть;
- обеспечение распределенной обработки телеметрических параметров посредством организации функционирования системы и предоставления доступа в виде web-сервисов;
- автоматизация процесса обработки ТМИ за счет автоматической настройки необходимых параметров и выбора соответствующих методов интеллектуального анализа данных;
- оперативность обрабатываемой информации;
- возможность одновременного приема и обработки большого числа разнообразных параметров (от нескольких десятков до нескольких тысяч) – объем принимаемых данных до 1 Гбайт;
- возможность распределения обработки по нескольким процессорам и машинам для достижения инкрементной масштабируемости;
- предварительная обработка входных данных по их принадлежности и типу;
- работоспособность и доступность системы, целостность данных независимо от наличия сбоя, возможность автоматического восстановления на момент зафиксированной контрольной точки;
- обеспечение точности и достоверности результатов обработки;

* Официальный сайт консорциума (W3C <http://www.w3.org>).

- обеспечение возможности эффективного хранения, доступа и модификации информации о результатах обработки на каждом этапе анализа;
- наглядность визуализации результатов анализа;
- сохранение результатов в специализированной базе данных.

На основе качественного анализа возможных программных сред проектирования были выбраны: в качестве web-сервера – сервер Apache Tomcat, в качестве систем управления базами данных – Apache Derby, в качестве языка программирования – Java.

Система идентификации телеметрических параметров позволяет пользователям-экспертам работать в следующих режимах: ручная обработка, полуавтоматический и автоматический режимы обработки. При выборе последовательности алгоритмов обработки происходит динамическое выстраивание цепочек из web-сервисов. Выбранная последовательность реализуется на языке BPEL. Автоматическое выстраивание используемых последовательностей web-сервисов происходит на основе подробного описания предметной области, представленного в виде онтологии. На выходе пользователю выдается отчет с подробным описанием результатов анализа. Для идентифицируемых параметров, в исходных данных которых произошли изменения, указывается временной интервал, на котором начались расхождения с эталонными результатами. На рис. 1 представлена организация процесса идентификации телеметрических параметров.



Рис. 1

Базовые и известные стандарты построения и развертывания web-служб (WSDL, SOAP и UDDI) не затрагивают вопросы синхронизации работы нескольких web-служб (возможно параллельно и асинхронно). Для обеспечения целостности при совместной работе нескольких служб могут использоваться технологии WS-Transactions и WS-BusinessActivity*, по-

* Официальный сайт консорциума (W3C <http://www.w3.org>).

строенные на основе WS-Coordination. Эта же задача может решаться с помощью средств, помогающих строить приложения на основе композиции web-служб или их «оркестровки» (Web services orchestration) [6]. Один из таких подходов связан с использованием BPEL (Business Process Execution Language, язык исполнения бизнес-процессов).

При определении в BPEL описания бизнес-процесса определяется новый web-сервис как объект, составленный из существующих сервисов. Интерфейс нового BPEL-составленного web-сервиса использует набор типов портов, через которые он осуществляет операции, как и любой другой web-сервис. Для вызова бизнес-процесса, описанного BPEL, нужно вызвать результирующий составной web-сервис.

Обобщенная схема функционирования системы показана на рис. 2. Каждый эксперт имеет возможность запустить новый процесс, указав его входные параметры. Для создания экземпляра BPEL-процесса направляется запрос к определенному web-сервису и на его вход передаются указанные данные. Каждый сервис, предоставляемый BPEL-процессом, имеет собственный адрес и интерфейс взаимодействия, описанный в WSDL-файле.

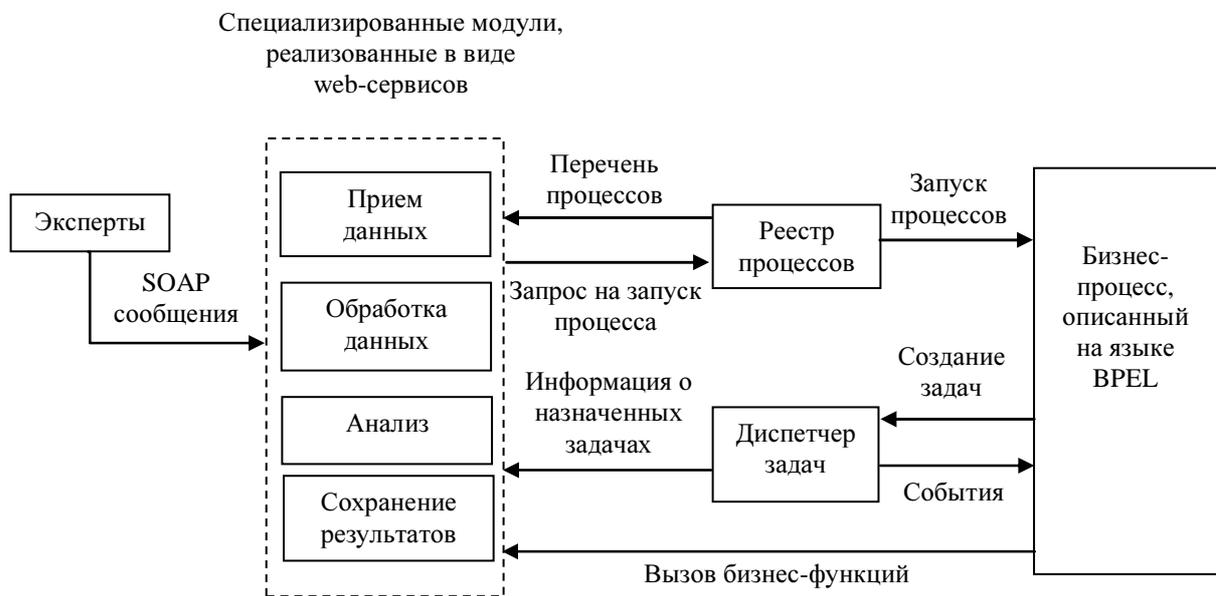


Рис. 2

Решение задач интеграции и распределенной обработки данных с помощью технологии web-сервисов является перспективным решением, поскольку позволяет организовывать эффективный доступ к информационным системам через унифицированный интерфейс.

Разработанный прототип системы идентификации телеметрических параметров на основе интеллектуального анализа данных позволяет за счет организации параллельной распределенной обработки параметров сократить время пропорционально числу групп параметров, обрабатываемых экспертами одновременно. Количество исследуемых параметров составляло ~1000. В качестве вычислительной среды выступали ПЭВМ Intel Core 2 Duo с частотой процессора каждого ядра 2 ГГц. Проведенные испытания показали, что исходный телеметрируемый параметр с файлом исходных данных порядка 8...10 Мбайт подвергается процедуре сегментации в течение не более 20 с. Кластерный анализ длится 3...5 с. Проведение этапа классификации позволяет обработать данные за 8 с. В итоге предложенный подход сокращает общее время обработки в 3–4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная телеметрия в теории и на практике / А. В. Назаров, Г. И. Козырев, И. В. Шитов и др. СПб.: Наука и техника, 2007.
2. Zhukova N., Oreshko N., Ecalo A. Segmentation and cluster analysis of piecewise constant random processes on the base of spectral characteristics by using wavelet technology // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. P. 388–391.
3. Малла С. Вейвлеты в цифровой обработке сигналов. М.: Мир, 2005.
4. An Online Algorithm for Segmenting Time Series / E. Keogh, S. Chu, D. Hart, M. Pazzani // Proc. of IEEE Intern. Conf. on Data Mining, 2001. P 289–296.
5. Witten H. J., Frank E. Data Mining: concepts and techniques / Morgan Kaufman Publishers, 2005.
6. Vasiliev Y. SOA and WS-BPEL. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2007.

V. E. Baltrashevich, A. V. Vasilyev, N. A. Zhukova, I. V. Ilina

TELEMETRY PARAMETERS IDENTIFICATION SYSTEM ON THE BASIS OF INTELLECTUAL DATA ANALYSIS ALGORITHMS

Problems of the secondary telemetry parameters processing are analyzed. The applicability opportunity of algorithms of the intellectual data analysis for the identification process is considered. The prototype description of the automated telemetry parameters identification system with application of Web-services technology is submitted.

Telemetry information processing, intellectual data analysis, automated telemetry parameters identification system, web-services technology, distributed data processing

УДК 519.65

А. И. Даугавет, А. Н. Колодяжный, Е. В. Постников

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ОКНА СГЛАЖИВАНИЯ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассматривается задача оценивания оптимального размера окна полиномиального сглаживания неравноточных измерений. Получены оценки оптимальных окон при сглаживании полиномами первой, второй и третьей степеней.

Сглаживание, полиномиальные сглаживания, неравноточные измерения, скользящее окно

Методы полиномиального сглаживания широко используются при обработке измерений для решения задач фильтрации случайной измерительной погрешности [1]. Для устранения эффекта «полиномиального раскачивания» [2] степень сглаживающего полинома выбирают не более пятой. Чаще всего используется полином третьей степени. Для уменьшения влияния методической погрешности на качество сглаживания при заданной степени сглаживающего полинома требуется выбрать оптимальный размер окна сглаживания или количество измерений, по которым определяются коэффициенты сглаживающего полинома [3]. При этом обычно предполагают, что измерения равноточные. Если же измерения в разных точках неравноточные, то задача оптимального сглаживания существенно усложняется. В настоящей статье приводятся оценки оптимальных окон сглаживания при использовании полиномов до третьей степени включительно.

Постановка задачи и общие соотношения. Пусть измерения y_i представляют собой значения функции времени $f(x)$ с аддитивными случайными ошибками v_i , которые имеют среднеквадратические отклонения σ_i и не коррелированы во времени. Таким образом, измерения $y_i = f(x_i) + v_i$.

Требуется оценить значение функции в некоторой точке x^* , выбранной на интервале измерений сглаживанием последних полиномом заданной степени m . При этом возникает вопрос о выборе оптимального набора измерений, которые следует привлекать к получению этой оценки.

Воспользуемся для представления функции формулой Тейлора порядка m в окрестности точки $x^* \in [x_1; x_n]$ с остаточным членом в форме Лагранжа. Тогда каждое измерение

$$y_i = f(x^*) + f'(x^*)(x_i - x^*) + \dots + \frac{f^{(m)}(x^*)}{m!}(x_i - x^*)^m + \frac{f^{(m+1)}(\xi_i)}{(m+1)!}(x_i - x^*)^{m+1} + v_i, \quad (1)$$

где ξ_i – некоторые значения между x^* и x_i .

Объединив все измерения в вектор из n компонент, перепишем (1) в виде

$$\bar{\mathbf{y}} = f(x^*)\bar{\mathbf{E}} + f'(x^*)\bar{\mathbf{T}}_1 + \dots + \frac{f^{(m)}(x^*)}{m!}\bar{\mathbf{T}}_m + \frac{M_{m+1}}{(m+1)!}(\theta\bar{\mathbf{T}}_{m+1}) + \bar{\mathbf{v}}, \quad (2)$$

где $\bar{\mathbf{E}}$ – вектор из единиц (векторы здесь и далее рассматриваются как строки); $M_{m+1} = \max(|f^{(m+1)}(x)|)$ – верхняя оценка модуля производной $(m+1)$ -го порядка на промежутке $[x_1, x_n]$; $\bar{\mathbf{y}}$ – вектор измерений; $\bar{\mathbf{T}}_k$ – вектор, состоящий из разностей $(x_i - x^*)^k$ для всех моментов i ; $\theta = \text{diag}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ – матрица, элементы которой обеспечивают равенство остаточных членов в (1) и (2), $|\theta_i| \leq 1$.

В соответствии с методом наименьших квадратов измерение y_i имеет вес $p_i = \frac{1}{\sigma_i}$.

Пусть \mathbf{P} – диагональная матрица с элементами p_i . Умножив (2) на \mathbf{P} , получим

$$\bar{\mathbf{y}}\mathbf{P} = f(x^*)\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P} + f'(x^*)\bar{\mathbf{T}}_1\mathbf{P} + \dots + \frac{f^{(m)}(x^*)}{m!}\bar{\mathbf{T}}_m\mathbf{P} + \frac{M_{m+1}}{(m+1)!}(\theta\bar{\mathbf{T}}_{m+1})\mathbf{P} + \bar{\mathbf{v}}\mathbf{P}. \quad (3)$$

Для получения оценки значения $f(x^*)$ используется вектор $\bar{\mathbf{Z}}$, ортогональный ко всем $\bar{\mathbf{T}}_i\mathbf{P}$, $i = 1, \dots, m$ ($m < n$). Умножив обе части (3) скалярно на такой вектор, получим равенство

$$(\bar{\mathbf{y}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}) = f(x^*)(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}) + \frac{M_{m+1}}{(m+1)!}(\bar{\mathbf{Z}}, \theta\bar{\mathbf{T}}_{m+1}\mathbf{P}) + (\bar{\mathbf{v}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}),$$

откуда следует оценка для $f(x^*)$:

$$a_{0m} = \frac{(\bar{\mathbf{y}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})}{(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})}. \quad (4)$$

Случайная погрешность этой оценки

$$\xi_m = \frac{(\bar{\mathbf{v}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})}{(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})}.$$

Поскольку, благодаря соответствующему выбору весов, случайный вектор $\bar{\mathbf{v}}\mathbf{P}$ имеет единичную ковариационную матрицу, дисперсия данной погрешности

$$\sigma_m^2 = \frac{\|\bar{\mathbf{Z}}\|^2}{(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})^2}.$$

Методической погрешностью оценки (4) является величина

$$\delta_m = \frac{M_{m+1}}{(m+1)!} \frac{(\bar{\mathbf{Z}}, \theta \bar{\mathbf{T}}_{m+1}\mathbf{P})}{(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})},$$

для которой справедлива очевидная оценка

$$|\delta_m| \leq \Delta_m = \frac{M_{m+1}}{(m+1)!} \frac{\|\bar{\mathbf{Z}}\| \|\bar{\mathbf{T}}_{m+1}\mathbf{P}\|}{|(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})|}. \quad (5)$$

Введем обозначение

$$S_k = \sum_{i=1}^n p_i^2 (x_i - x^*)^k,$$

тогда $(\bar{\mathbf{T}}_j\mathbf{P}, \bar{\mathbf{T}}_k\mathbf{P}) = S_{j+k}$.

Потребуем выполнения равенства $S_1 = 0$, тогда $\sum_{i=1}^n p_i^2 (x_i - x^*) = 0$, откуда в качестве x^* следует взять величину

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^2 x_i}{\sum_{i=1}^n p_i^2}. \quad (6)$$

Для определения вектора $\bar{\mathbf{Z}}$ будем использовать процесс ортогонализации Грамма–Шмидта:

$$\bar{\mathbf{Z}}_k = \bar{\mathbf{T}}_k\mathbf{P} - \sum_{j=1}^{k-1} \frac{(\bar{\mathbf{T}}_k\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}_j)}{\|\bar{\mathbf{Z}}_j\|^2} \bar{\mathbf{Z}}_j, \quad k = 1, \dots, m.$$

На завершающем шаге

$$\bar{\mathbf{Z}} = \bar{\mathbf{E}}\mathbf{P} - \sum_{k=1}^m \frac{(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}_k)}{\|\bar{\mathbf{Z}}_k\|^2} \bar{\mathbf{Z}}_k.$$

Заметим, что из способа построения вектора $\bar{\mathbf{Z}}$ следует положительность величины $(\bar{\mathbf{E}}\mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})$, поэтому знак модуля в знаменателе оценки (5) можно опустить.

Случай полинома первой степени. Для случая $m=1$ получаем: $\bar{Z}_1 = \bar{T}_1 P$, $\bar{Z} = \bar{E}P - \frac{(\bar{E}P, \bar{T}_1 P)}{(\bar{T}_1 P, \bar{T}_1 P)} \bar{T}_1 P = \bar{E}P - \frac{S_1}{S_2} \bar{T}_1 P$.

Таким образом, учитывая, что $S_1 = 0$, $\bar{Z} = \bar{E}P$.

По формуле (5) верхней оценкой методической погрешности является величина

$$\Delta_1 = \frac{M_2 \|\bar{Z}\| \|\bar{T}_2 P\|}{2! (\bar{E}P, \bar{Z})},$$

где $\|\bar{Z}\| = \sqrt{(\bar{E}P, \bar{E}P)} = \sqrt{S_0}$, $\|\bar{T}_2 P\| = \sqrt{(\bar{T}_2 P, \bar{T}_2 P)} = \sqrt{S_4}$, $(\bar{E}P, \bar{Z}) = (\bar{E}P, \bar{E}P) = S_0$.

Таким образом,

$$\Delta_1 = \frac{M_2}{2!} \sqrt{\frac{S_4}{S_0}}.$$

Оценка значения функции

$$a_{01} = \frac{(\bar{y}P, \bar{Z})}{(\bar{E}P, \bar{Z})} = \frac{(\bar{y}P, \bar{E}P)}{S_0} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^2 y_i}{\sum_{i=1}^n p_i^2}.$$

Дисперсия этой оценки

$$D(a_{01}) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^4 \sigma_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n p_i^2\right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}}{\left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}\right)^2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}} = \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}\right)^{-1}.$$

Случай полинома второй степени. Для случая $m=2$ получаем:

$$\bar{Z}_1 = \bar{T}_1 P, \quad \bar{Z}_2 = \bar{T}_2 P - \frac{(\bar{T}_2 P, \bar{T}_1 P)}{(\bar{T}_1 P, \bar{T}_1 P)} \bar{T}_1 P = \bar{T}_2 P - \frac{S_3}{S_2} \bar{T}_1 P,$$

$$\|\bar{Z}_2\|^2 = (\bar{T}_2 P, \bar{T}_2 P) - 2 \frac{S_3}{S_2} (\bar{T}_1 P, \bar{T}_2 P) + \left(\frac{S_3}{S_2}\right)^2 (\bar{T}_1 P, \bar{T}_1 P) = S_4 - 2 \frac{S_3^2}{S_2} + \frac{S_3^2}{S_2} = S_4 - \frac{S_3^2}{S_2},$$

$$\bar{Z} = \bar{E}P - \frac{(\bar{E}P, \bar{T}_1 P)}{(\bar{T}_1 P, \bar{T}_1 P)} \bar{T}_1 P - \frac{(\bar{E}P, \bar{Z}_2)}{\|\bar{Z}_2\|^2} \bar{Z}_2.$$

Учитывая, что $(\bar{E}P, \bar{T}_1 P) = S_1 = 0$, получаем

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \bar{E}P - \frac{(\bar{E}P, \bar{T}_2 P - \frac{S_3}{S_2} \bar{T}_1 P)}{S_4 - \frac{S_3^2}{S_2}} \left(\bar{T}_2 P - \frac{S_3}{S_2} \bar{T}_1 P \right) = \bar{E}P - \frac{S_2}{S_4 - \frac{S_3^2}{S_2}} \left(\bar{T}_2 P - \frac{S_3}{S_2} \bar{T}_1 P \right) = \\ &= \bar{E}P - \frac{S_2^2}{S_4 S_2 - S_3^2} \left(\bar{T}_2 P - \frac{S_3}{S_2} \bar{T}_1 P \right). \end{aligned}$$

Верхняя оценка методической погрешности

$$\Delta_2 = \frac{M_3}{3!} \frac{\|\bar{\mathbf{Z}}\| \|\bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P}\|}{(\bar{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})} = \frac{M_3}{3!} \frac{\|\bar{\mathbf{Z}}\| \sqrt{S_6}}{(\bar{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})}.$$

Проведя дальнейшие вычисления с помощью пакета Maple, получим:

$$\|\bar{\mathbf{Z}}\|^2 = \frac{S_0 S_4^2 S_2^2 - S_2^4 S_4 + S_0 S_3^4}{S_4^2 S_2^2 + S_3^4},$$

$$(\bar{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}) = \frac{S_2^3 + S_3^2 S_0 - S_4 S_0 S_2}{S_3^2 - S_4 S_2},$$

$$\Delta_2 = \frac{M_3}{6} \frac{\sqrt{\frac{S_0 S_4^2 S_2^2 - S_2^4 S_4 + S_0 S_3^4}{S_4^2 S_2^2 + S_3^4}} S_6}{S_2^3 + S_3^2 S_0 - S_4 S_0 S_2} (S_3^2 - S_4 S_2).$$

Оценка значения функции

$$a_{02} = \frac{(\bar{\mathbf{y}} \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})}{(\bar{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^2 y_i - \frac{S_2^2}{S_4 S_2 - S_3^2} \left(\sum_{i=1}^n p_i^2 t_i^2 y_i - \frac{S_3}{S_2} \sum_{i=1}^n p_i^2 t_i y_i \right)}{(S_2^3 + S_3^2 S_0 - S_4 S_0 S_2) / (S_3^2 - S_4 S_2)}.$$

Дисперсия этой оценки

$$D(a_{02}) = \frac{\|\bar{\mathbf{Z}}\|^2}{(\bar{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}})^2} = \frac{S_0 S_4^2 S_2^2 - S_2^4 S_4 + S_0 S_3^4}{S_4^2 S_2^2 + S_3^4} \left(\frac{S_3^2 - S_4 S_2}{S_2^3 + S_3^2 S_0 - S_4 S_0 S_2} \right)^2.$$

Случай полинома третьей степени. Для случая $m = 3$ получаем

$$\bar{\mathbf{Z}}_1 = \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P}, \quad \bar{\mathbf{Z}}_2 = \bar{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{(\bar{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P}, \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P})}{(\bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P}, \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P})} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} = \bar{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P},$$

$$\bar{\mathbf{Z}}_3 = \bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P} - \frac{(\bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P}, \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P})}{(\bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P}, \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P})} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} - \frac{(\bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P}, \bar{\mathbf{Z}}_2)}{(\bar{\mathbf{Z}}_2, \bar{\mathbf{Z}}_2)} \bar{\mathbf{Z}}_2.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{Z}}_3 &= \bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P} - \frac{S_4}{S_2} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} - \frac{\left(\bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P}, \bar{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} \right)}{(\bar{\mathbf{Z}}_2, \bar{\mathbf{Z}}_2)} \left(\bar{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} \right) = \\ &= \bar{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P} - \frac{S_4}{S_2} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} - \frac{S_5 - \frac{S_3}{S_2} S_4}{S_4 - \frac{S_3}{S_2}} \left(\bar{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \bar{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} \right) = \end{aligned}$$

$$= \frac{\overline{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P} (S_2 S_4 - S_3^2) - \overline{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} (S_2 S_5 - S_3 S_4) - \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} (S_4^2 - S_3 S_5)}{S_4 S_2 - S_3^2},$$

$$\overline{\mathbf{Z}} = \overline{\mathbf{E}} \mathbf{P} - \frac{(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P})}{(\overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P}, \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P})} \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} - \frac{(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{Z}}_2)}{\|\overline{\mathbf{Z}}_2\|^2} \overline{\mathbf{Z}}_2 - \frac{(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{Z}}_3)}{\|\overline{\mathbf{Z}}_3\|^2} \overline{\mathbf{Z}}_3.$$

Проведя дальнейшие вычисления с помощью пакета Maple, получим:

$$\|\overline{\mathbf{Z}}_3\|^2 = (\overline{\mathbf{Z}}_3, \overline{\mathbf{Z}}_3) =$$

$$= \frac{2S_2 S_4^2 S_3 S_5 + S_4^3 S_3^2 + S_6 S_2^2 S_4^2 - S_4 S_2^2 S_5^2 - 2S_6 S_2 S_4 S_3^2 - S_2 S_4^4 + S_6 S_3^4 + S_2 S_3^2 S_5^2 - 2S_3^3 S_4 S_5}{S_3^4 + S_2^2 S_4^2 - 2S_2 S_4 S_3^2}.$$

Учитывая, что $(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P}) = S_1 = 0$, получим:

$$\overline{\mathbf{Z}} = \overline{\mathbf{E}} \mathbf{P} - \frac{\left(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} \right)}{S_4 - \frac{S_3^2}{S_2}} \left(\overline{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} \right) - \frac{(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{Z}}_3)}{\|\overline{\mathbf{Z}}_3\|^2} \overline{\mathbf{Z}}_3 =$$

$$= \overline{\mathbf{E}} \mathbf{P} - \frac{S_2}{S_4 - \frac{S_3^2}{S_2}} \left(\overline{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} - \frac{S_3}{S_2} \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} \right) -$$

$$- \frac{(2S_4 S_2 S_3 - S_3^3 - S_5 S_2^2)}{(S_4 S_2 - S_3^2)^2} \left[\overline{\mathbf{T}}_3 \mathbf{P} (S_2 S_4 - S_3^2) - \overline{\mathbf{T}}_2 \mathbf{P} (S_2 S_5 - S_3 S_4) - \overline{\mathbf{T}}_1 \mathbf{P} (S_4^2 - S_3 S_5) \right] \times$$

$$\times \frac{S_3^4 + S_2^2 S_4^2 - 2S_2 S_4 S_3^2}{2S_2 S_4^2 S_3 S_5 + S_4^3 S_3^2 + S_6 S_2^2 S_4^2 - S_4 S_2^2 S_5^2 - 2S_6 S_2 S_4 S_3^2 - S_2 S_4^4 + S_6 S_3^4 + S_2 S_3^2 S_5^2 - 2S_3^3 S_4 S_5}.$$

Верхняя оценка методической погрешности

$$\Delta_3 = \frac{M_4}{4!} \frac{\|\overline{\mathbf{Z}}\| \|\overline{\mathbf{T}}_4 \mathbf{P}\|}{(\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{Z}})} = \frac{M_4 \|\overline{\mathbf{Z}}\| \sqrt{S_8}}{24 (\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{Z}})}.$$

$$\text{Величина } (\overline{\mathbf{E}} \mathbf{P}, \overline{\mathbf{Z}}) = \frac{S_6 S_2^3}{S_6 S_3^2 + S_4^3 + S_2 S_5^2 - 2S_4 S_3 S_5},$$

$$\|\overline{\mathbf{Z}}\|^2 = \frac{S_4 S_5 S_3^5 + S_3^2 S_2 S_4^4 + S_6^2 S_2^4 S_4 - 2S_4^3 S_3^4}{-4S_4 S_5 S_3^3 S_6 + 2S_4^3 S_6 S_3^2 + S_2^2 S_5^4 + 4S_4^2 S_3^2 S_5^2 - 4S_4^4 S_3 S_5 + S_4^6 + S_6^2 S_3^4} =$$

$$= S_4 \frac{S_5 S_3^5 + S_3^2 S_2 S_4^3 + S_6^2 S_2^4 - 2S_4^2 S_3^4}{-4S_4 S_5 S_3^3 S_6 + 2S_4^3 S_6 S_3^2 + S_2^2 S_5^4 + 4S_4^2 S_3^2 S_5^2 - 4S_4^4 S_3 S_5 + S_4^6 + S_6^2 S_3^4}.$$

Отсюда

$$\Delta_3 \cong \frac{M_4}{24} \left[\frac{\sqrt{S_4 S_8 \frac{S_5 S_3^5 + S_3^2 S_2 S_4^3 + S_6^2 S_2^4 - 2 S_4^2 S_3^4}{-4 S_4 S_5 S_3^3 S_6 + 2 S_4^3 S_6 S_3^2 + S_2^2 S_5^4 + 4 S_4^2 S_3^2 S_5^2 - 4 S_4^4 S_3 S_5 + S_4^6 + S_6^2 S_3^4}}}{S_6 S_2^3} \right] \times \\ \times (S_6 S_3^2 + S_4^3 + S_2 S_5^2 - 2 S_4 S_3 S_5) .$$

Оценка значения функции

$$a_{03} = \frac{(\bar{\mathbf{yP}}, \bar{\mathbf{Z}})}{(\bar{\mathbf{EP}}, \bar{\mathbf{Z}})} = \left(\bar{\mathbf{yP}}, \bar{\mathbf{EP}} - \frac{S_2}{S_4 - \frac{S_3^2}{S_2}} \left(\bar{\mathbf{T}_2 \mathbf{P}} - \frac{S_3}{S_2} \bar{\mathbf{T}_1 \mathbf{P}} \right) - \frac{(2 S_4 S_2 S_3 - S_3^3 - S_5 S_2^2)}{(S_4 S_2 - S_3^2)} \right) \times \\ \times \left[\bar{\mathbf{T}_3 \mathbf{P}} (S_2 S_4 - S_3^2) - \bar{\mathbf{T}_2 \mathbf{P}} (S_2 S_5 - S_3 S_4) - \bar{\mathbf{T}_1 \mathbf{P}} (S_4^2 - S_3 S_5) \right] \times \\ \times \frac{S_3^4 + S_2^2 S_4^2 - 2 S_2 S_4 S_3^2}{2 S_2 S_4^2 S_3 S_5 + S_4^3 S_3^2 + S_6 S_2^2 S_4^2 - S_4 S_2^2 S_5^2 - 2 S_6 S_2 S_4 S_3^2 - S_2 S_4^4 + S_6 S_3^4 + S_2 S_3^2 S_5^2 - 2 S_3^3 S_4 S_5} \times \\ \times \frac{S_6 S_3^2 + S_4^3 + S_2 S_5^2 - 2 S_4 S_3 S_5}{S_6 S_2^3} = \\ = \left[\sum_{i=1}^n p_i^2 y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_i^2 t_i^2 y_i S_2 - \sum_{i=1}^n p_i^2 t_i y_i S_3 \right) S_2}{S_4 S_2 - S_3^2} - \frac{(2 S_4 S_2 S_3 - S_3^3 - S_5 S_2^2)}{(S_4 S_2 - S_3^2)} \right] \times \\ \times \left(\sum_{i=1}^n p_i^2 t_i^3 y_i (S_2 S_4 - S_3^2) + \sum_{i=1}^n p_i^2 t_i^2 y_i (S_2 S_5 - S_3 S_4) + \sum_{i=1}^n p_i^2 t_i y_i (S_4^2 - S_3 S_5) \right) \times \\ \times \frac{S_3^4 + S_2^2 S_4^2 - 2 S_2 S_4 S_3^2}{2 S_2 S_4^2 S_3 S_5 + S_4^3 S_3^2 + S_6 S_2^2 S_4^2 - S_4 S_2^2 S_5^2 - 2 S_6 S_2 S_4 S_3^2 - S_2 S_4^4 + S_6 S_3^4 + S_2 S_3^2 S_5^2 - 2 S_3^3 S_4 S_5} \times \\ \times \frac{S_6 S_3^2 + S_4^3 + S_2 S_5^2 - 2 S_4 S_3 S_5}{S_6 S_2^3} .$$

Дисперсия этой оценки

$$D(a_{03}) = \frac{\|\bar{\mathbf{Z}}\|^2}{(\bar{\mathbf{EP}}, \bar{\mathbf{Z}})^2} = S_4 \frac{S_5 S_3^5 + S_3^2 S_2 S_4^3 + S_6^2 S_2^4 - 2 S_4^2 S_3^4}{-4 S_4 S_5 S_3^3 S_6 + 2 S_4^3 S_6 S_3^2 + S_2^2 S_5^4 + 4 S_4^2 S_3^2 S_5^2 - 4 S_4^4 S_3 S_5 + S_4^6 + S_6^2 S_3^4} \times \\ \times \left(\frac{S_6 S_3^2 + S_4^3 + S_2 S_5^2 - 2 S_4 S_3 S_5}{S_6 S_2^3} \right)^2 .$$

Учитывая все изложенное, можно предложить следующий алгоритм определения оптимального набора неравнооточных измерений для построения сглаживающего полинома заданной степени m ($m=1, 2, 3$), который аппроксимирует измеряемую функцию в окрестности некоторой точки x_0 :

1. Выбрать $n = m + 1$ измерений таким образом, чтобы вычисляемое по формуле (6) значение x^* было как можно ближе к x_0 . В качестве Q_{n-1} выбрать значение, заведомо превышающее возможные ошибки оценок.

2. Используя n выбранных измерений рассчитать x^* , $D(a_{0m})$ и Δ_m по приведенным ранее формулам.

3. Найти оценку суммарной погрешности $Q_n = \sqrt{D(a_{0m}) + \Delta_m^2}$.

4. Если $Q_n < Q_{n-1}$, то добавить еще одно измерение, ближайшее по времени к x_0 , увеличить n на 1, положить $Q_{n-1} = Q_n$ и перейти к п. 2. Иначе перейти к п. 5.

5. Убрать последнее добавленное измерение. Получившийся набор измерений будет оптимальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М.: Сов. радио, 1978.
2. Ермаков С. М., Жиглявский А. А. Математическая теория оптимального эксперимента. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.
3. Даугавет А. И., Колодяжный А. Н., Постников Е. В. Оценка оптимального размера окна сглаживания равнооточных измерений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2006. Вып. 3. С. 91–100.

A. I. Daugavet, A. N. Kolodyagny, E. V. Postnikov

THE ESTIMATE OF THE OPTIMAL SMOOTHING WINDOWS SIZE FOR AN UNEQUAL OBSERVATIONS

The problem of a choice of the optimal smoothing windows size for an unequal observations is considered. The estimates of the optimal number observations at use of smoothing by polynoms 1-th, 2-d and 3-d degree are obtained.

Smoothing, polynomial approximation, unequal observations, running window

СИНТЕЗ НЕРЕКУРСИВНЫХ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ БЕЗ УМНОЖЕНИЙ

Рассмотрен новый подход к проектированию цифровых фильтров нижних частот с линейными фазочастотными характеристиками. Показана возможность синтеза специального класса фильтров с конечными импульсными характеристиками (КИХ) произвольного порядка без умножений. Приведен алгоритм вычисления коэффициентов при синтезе КИХ-фильтров нового класса. Исследованы закономерности, показывающие влияние структуры синтезированного фильтра на его основные параметры. Предложены методики синтеза фильтров без умножений с оптимальными параметрами.

Цифровые фильтры, нерекурсивный фильтр, КИХ-фильтр, элементарное звено, задержка, сумматор, импульсная характеристика, амплитудно-частотная характеристика, порядок фильтра

В связи с возросшей в последние годы интенсивностью радиообмена необходим жесткий контроль радиообстановки в реальном масштабе времени в очень широком частотном диапазоне. Радиосигналы могут присутствовать в эфире непрерывно или появляться на очень короткое время. Для минимизации возможных потерь информации и повышения качества ее обработки системы обработки сигналов должны обеспечивать возможность быстрой работы с большими блоками данных. Это, в свою очередь, требует уменьшения времени вычислений, обеспечивающих, в том числе, и выполнение операций цифровой обработки сигналов. Таким образом, скорость обработки должна быть предельно высокой.

В операциях цифровой обработки сигналов особое внимание уделяется цифровой фильтрации, которая по объему вычислений в среднем занимает от 20 до 60 %. В узком смысле цифровой фильтр – это частотно-избирательная цепь, обеспечивающая селекцию цифровых сигналов по частоте [1]. После выполнения цифровой фильтрации, как правило, получают требуемый сигнал, т. е. сигнал, несущий полезную информацию в виде, удобном для последующей обработки. Соответственно, к параметрам цифровых фильтров в современных системах цифровой обработки сигналов начинают предъявляться повышенные требования. Порядки фильтров нередко достигают тысячи и более. Это ведет к увеличению объема вычислений, а значит, и к резкому росту аппаратных затрат. При синтезе цифровых фильтров наибольшие затраты времени и оборудования приходятся на операции умножения [1]. Таким образом, задача минимизации времени вычислений и уменьшения аппаратных затрат сводится к минимизации количества умножений, требуемых для вычисления очередного отфильтрованного отсчета.

Структура фильтра. Как известно, классический цифровой фильтр описывается выражением [2]:

$$y(n) = \sum_{i=0}^N b_i x(n-i) - \sum_{i=1}^N a_i y(n-i), \quad (1)$$

где $y(n)$ – сигнал на входе фильтра; $x(n)$ – сигнал на выходе фильтра; a_i, b_i – коэффициенты фильтра.

Все цифровые фильтры делятся на 2 обширных класса: нерекурсивные – фильтры с КИХ, и рекурсивные – фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) [3]. Будем рассматривать только КИХ-фильтры, фазовая характеристика которых, в отличие от БИХ-фильтров, линейна. Для КИХ-фильтров выражение (1) принимает следующий вид [2]:

$$y(n) = \sum_{i=0}^N b_i x(n-i). \quad (2)$$

Таким образом, задача синтеза КИХ-фильтра сводится к вычислению коэффициентов b_i .

Проблема минимизации количества операций умножения может быть решена различными путями. Один из них – использование неклассических структур цифровых фильтров, которые бы описывались выражениями, отличными от (2), и в которых операция умножения исключена вообще. Такие структуры позволяют для некоторых классов цифровых фильтров обеспечить улучшенные характеристики при их реализации. Рассмотрим одну из упомянутых структур. В ее основе – субструктура, изображенная на рис. 1 [3].

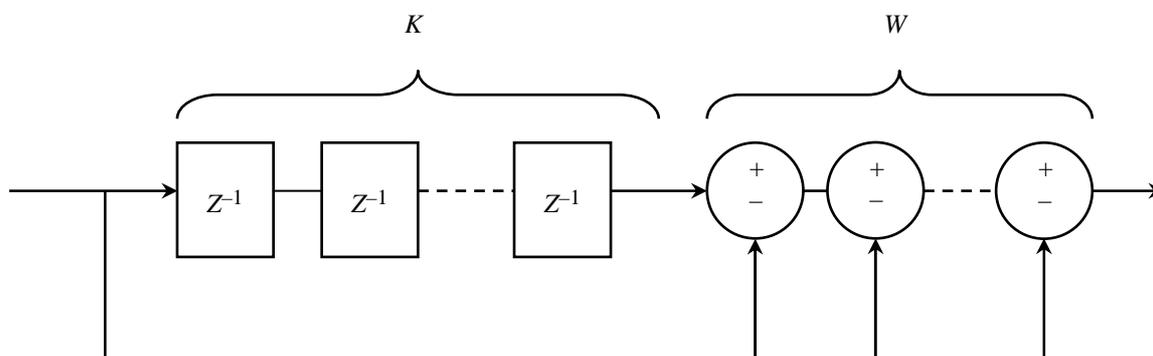


Рис. 1

Здесь K – количество задержек; W – весовой коэффициент (количество сумматоров). Каскадным соединением таких субструктур можно синтезировать фильтры, обладающие различными амплитудно-частотными характеристиками, которые бы удовлетворяли заданным требованиям по таким критериям, как ширина полосы пропускания фильтра, подавление боковых лепестков, прямоугольность и т. д.

Коэффициенты фильтра. Попробуем получить аналитическое выражение для коэффициентов фильтра. Рассмотрим каскадное соединение описанных ранее звеньев. Возьмем 3 звена, у каждого из которых $W = 1$, $K = 1$ и суммирование. Тогда на выходе первого звена получим:

$$y_1(n) = x(n) + x(n-1). \quad (3)$$

На выходе второго звена:

$$y_2(n) = y_1(n) + y_1(n)x(n-1) = x(n) + 2x(n-1) + x(n-2). \quad (4)$$

На выходе третьего звена:

$$y_3(n) = y_2(n) + y_2(n)x(n-1) = x(n) + 3x(n-1) + 3x(n-2) + x(n-3). \quad (5)$$

Значит, исходя из (3)–(5), сигнал на выходе очередного каскада определяется по формуле

$$y_i(n) = y_{i-1}(n) + y_{i-1}(n)x(n-k)$$

или, если произвести Z -преобразование и перейти в Z -область [2]:

$$H(Z) = H_{i-1}(Z) + H_{i-1}(Z)Z^{-k},$$

где k – число задержек последнего звена; $H_{i-1}(Z)$ – Z -преобразование предыдущего передаточного звена.

Для коэффициентов же b_i данного фильтра будет справедливо выражение

$$b_{i,n} = b_{i-1,n} \pm b_{i-1,n-k},$$

где i – порядковый номер каскада; k – число задержек в i -м звене.

Как известно, b_i представляют собой коэффициенты импульсной характеристики фильтра [1]. График импульсной характеристики для каскадного соединения четырех звеньев с $K = 1$ приведен на рис. 2. Очевидно, что при добавлении звеньев количество «ступенек» импульсной характеристики, соответствующих коэффициентам передаточной функции фильтра, будет расти.

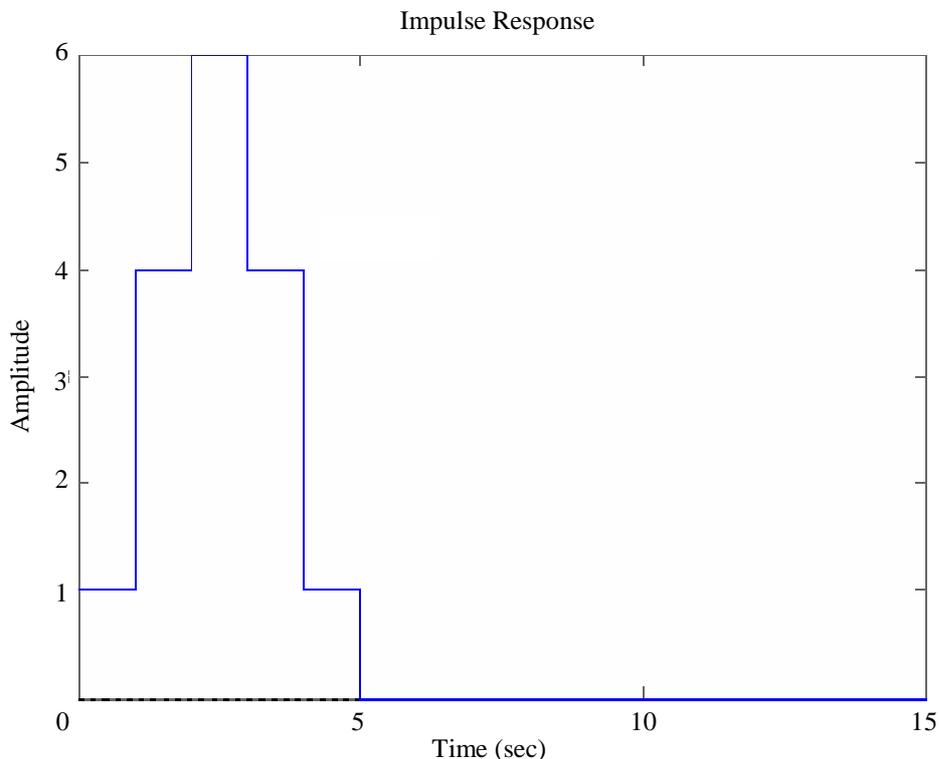


Рис. 2

Покажем, что при добавлении элементарного звена с вычитанием появляются отрицательные коэффициенты. На рис. 3 приведен график импульсной характеристики каскадного соединения четырех звеньев с $K = 1$ и одного звена с вычитанием, у которого $K = 1$.

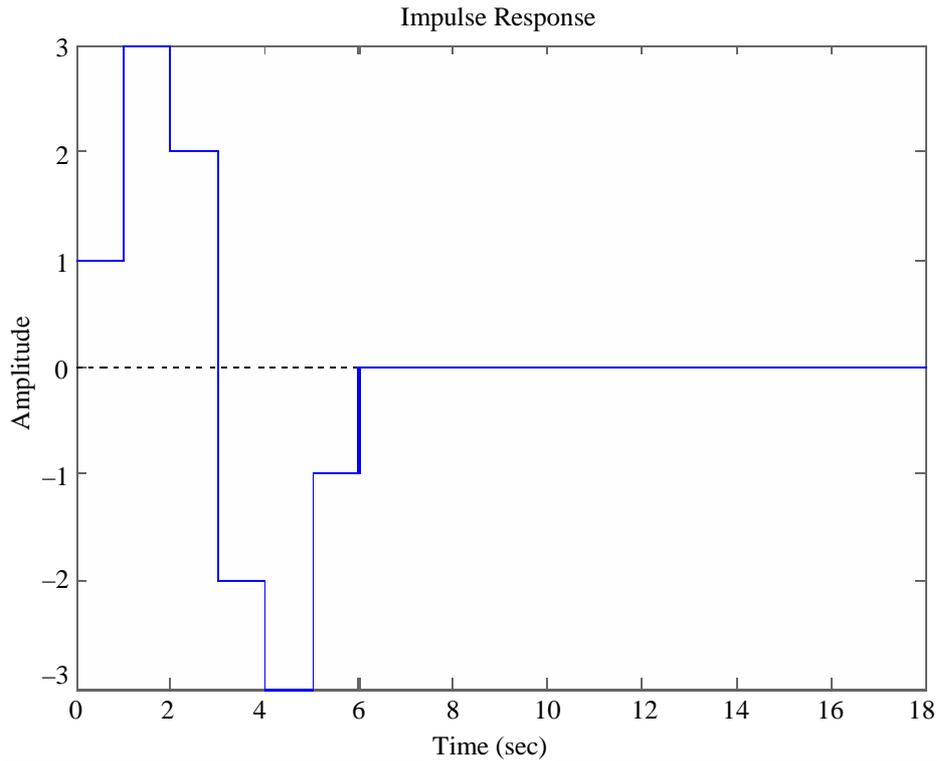


Рис. 3

Влияние структуры на параметры фильтра. Обратимся к амплитудно-частотным характеристикам (АЧХ) элементарных звеньев. В логарифмическом масштабе при каскадном соединении звеньев их АЧХ будут складываться. Значит, задача получения нужной АЧХ будет сводиться к сложению АЧХ типовых структур с различными параметрами.

Покажем, как при изменении каждого из трех параметров элементарного звена изменяется его АЧХ. На рис. 4 представлен график АЧХ элементарного звена, для которого $K = 1$, $W = 1$. С ростом количества задержек пропорционально ему происходит увеличение экстремумов АЧХ. При этом частотный диапазон делится на равные части в соответствии

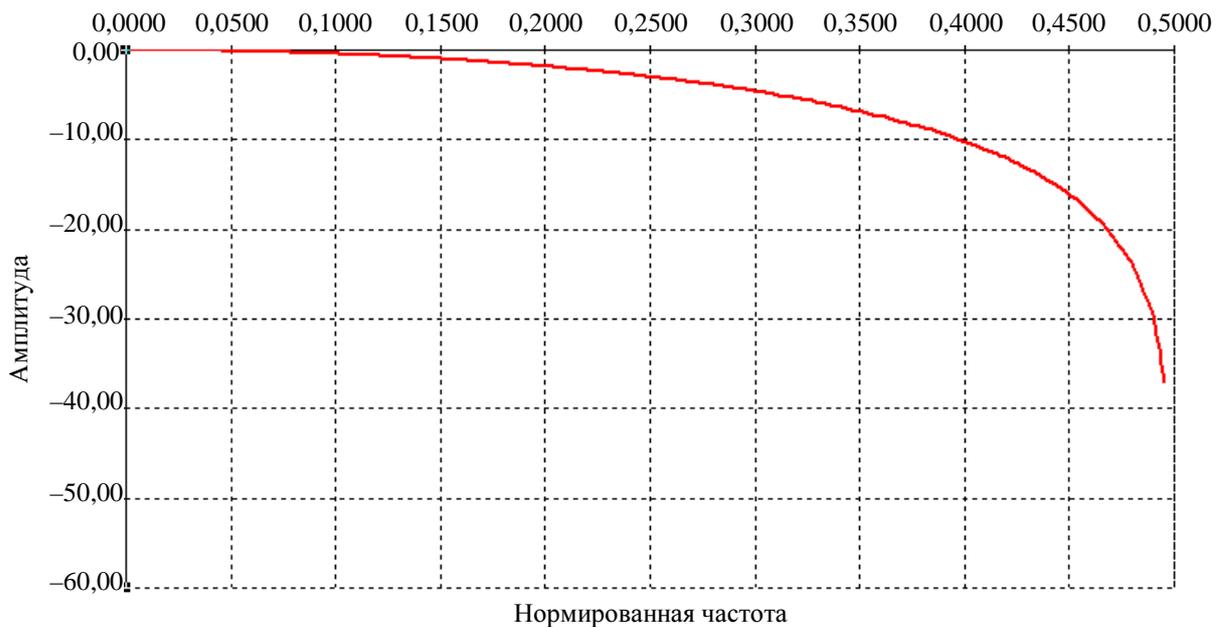


Рис. 4

с количеством задержек. Максимумы и минимумы АЧХ в данном случае чередуются через одинаковые частотные промежутки. На рис. 5 и 6 приведены примеры элементарных звеньев с $K = 2$ и 4 соответственно.

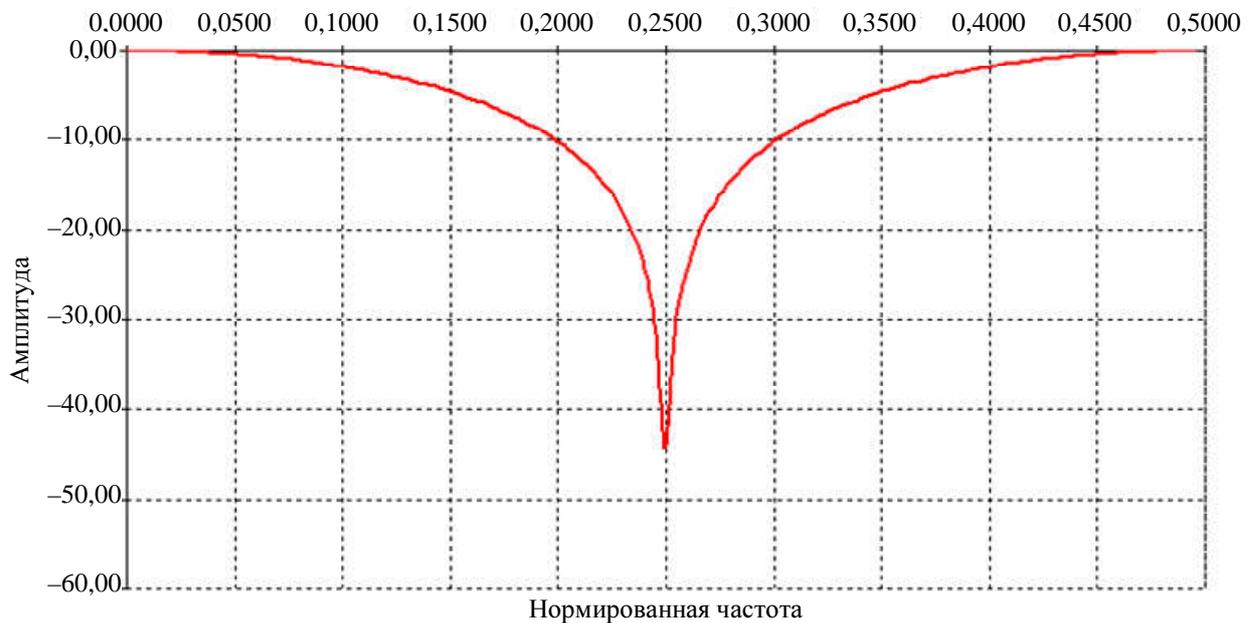


Рис. 5

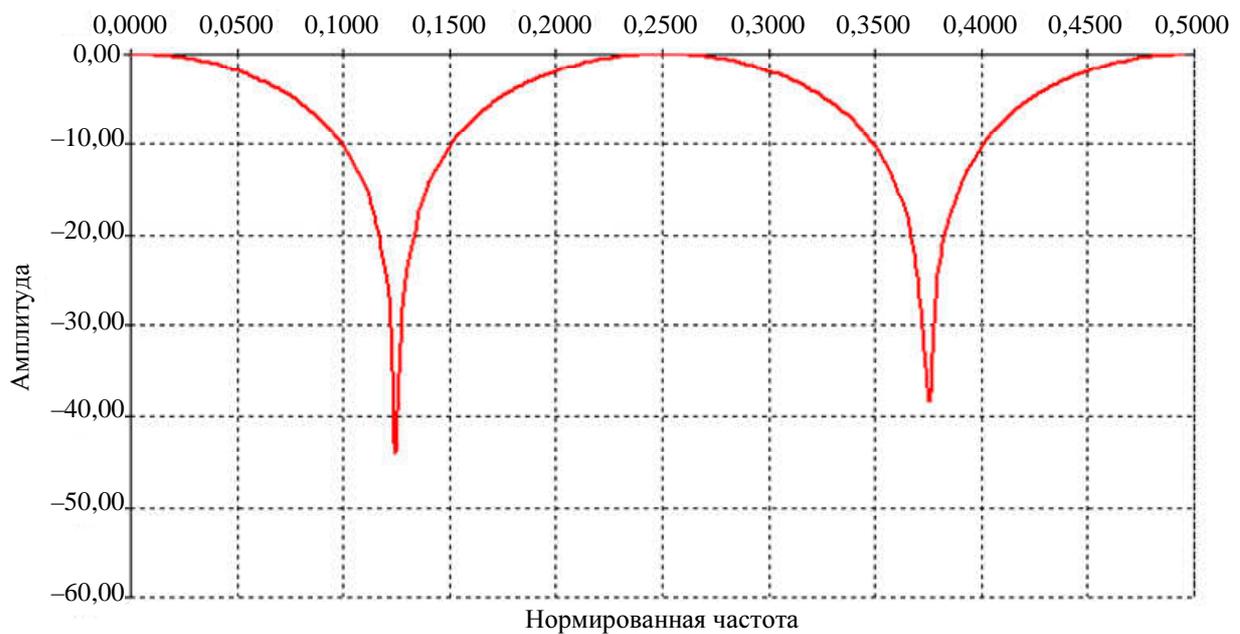


Рис. 6

Данные рисунки позволяют определить структуру фильтра нижних частот (ФНЧ). Сначала синтезируется звено с самым большим количеством задержек. Тогда задача синтеза ФНЧ сводится к уничтожению всех частот, лежащих правее полученной.

Изменение знака сумматора с плюса на минус приводит к появлению экстремума в области нулевой частоты и так называемому дифференцированию АЧХ. После точки перегиба АЧХ становится монотонно возрастающей. Это свойство позволяет синтезировать полосовые фильтры. На рис. 7 и 8 приведены примеры элементарного звена с вычитанием, у которого $K = 1$, а также каскадного соединения элементарных звеньев с $K = 1, 2, 4$ и вычитанием, у которого $K = 1$.

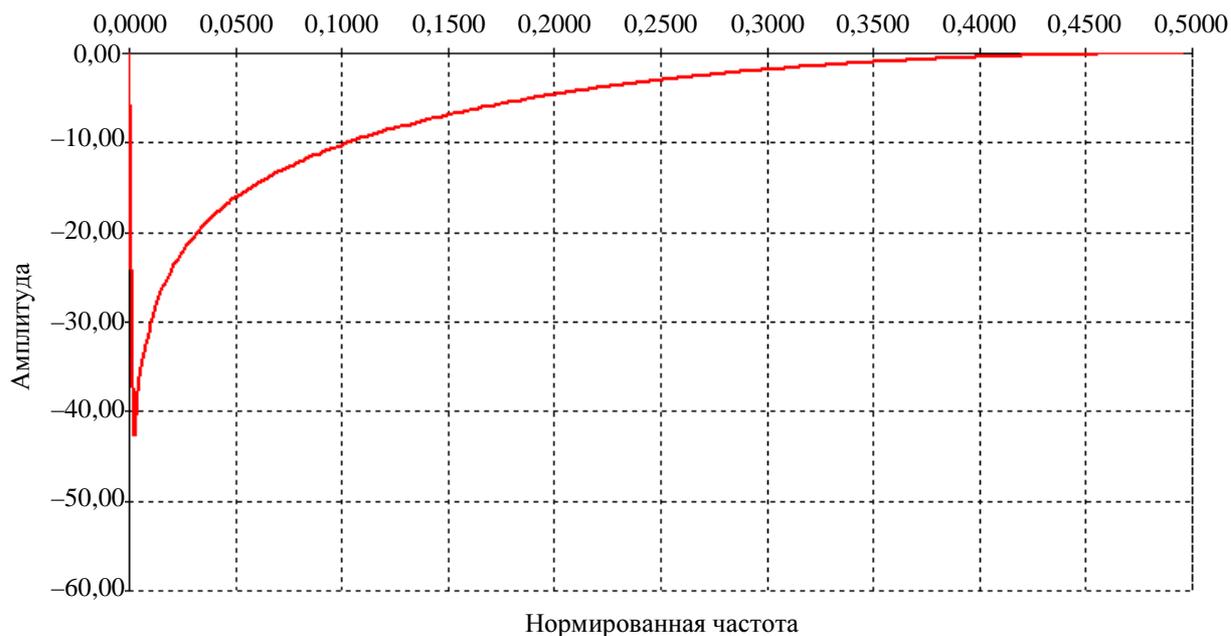


Рис. 7

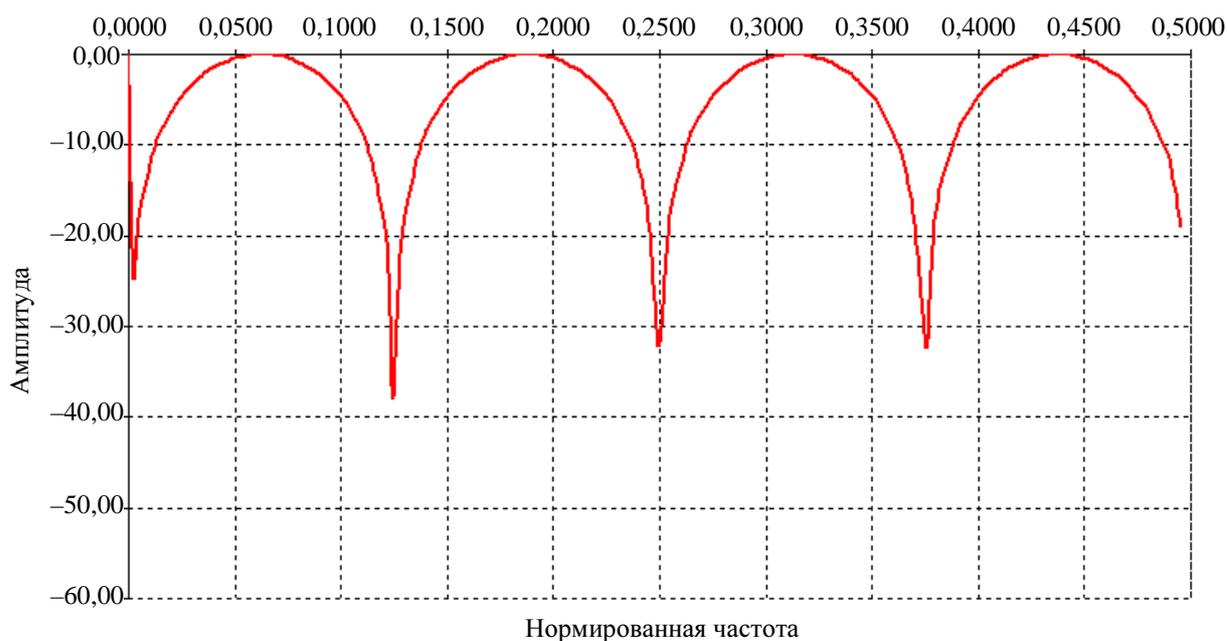


Рис. 8

Фактически, увеличение числа сумматоров добавляет к заданному звену дополнительные элементарные звенья, у которых $K = 0$, т. е. это звенья без задержек. АЧХ при увеличении числа сумматоров становится менее крутой, но ее форма существенно не изменяется. На рис. 9 приведен пример элементарного звена с $W = 2$ и $K = 4$.

Соответственно требуемый фильтр получается соединением элементарных звеньев с разными параметрами, подобранными так, чтобы обеспечить наилучшие заданные характеристики фильтра.

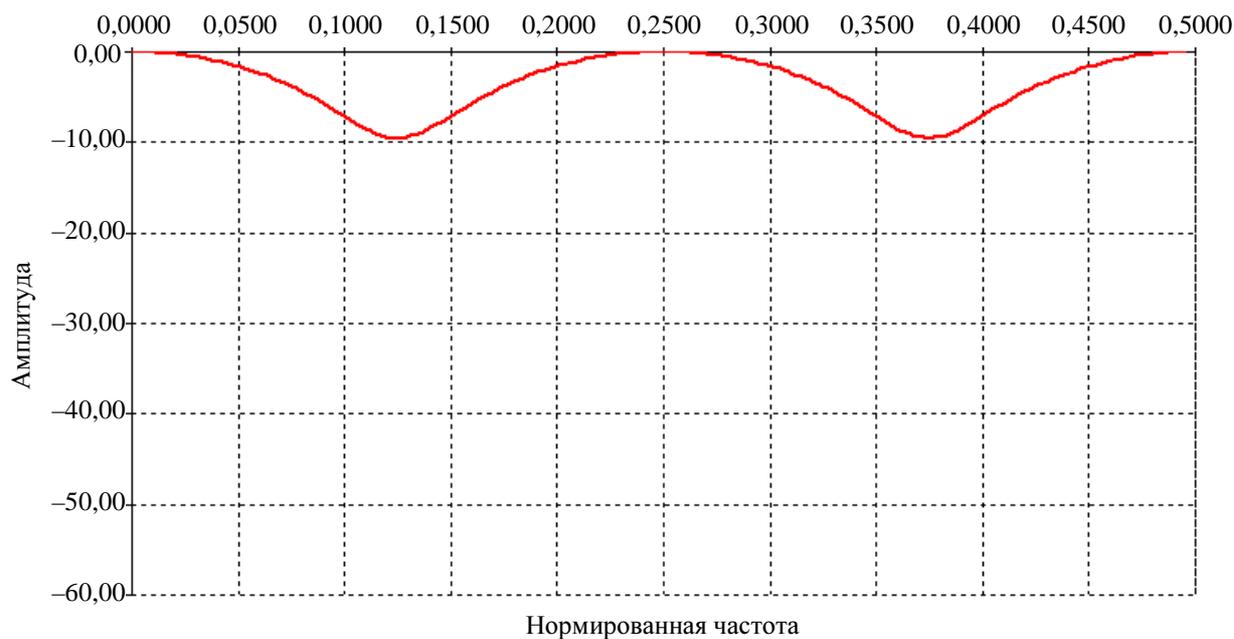


Рис. 9

Синтез фильтров с оптимальными параметрами. Как показано ранее, чтобы получить эффективный для определенного рода задач фильтр, необходимо знать параметры составляющих его элементарных звеньев, а также их количество. Эту задачу можно решать двумя путями.

Первый – перебор возможных комбинаций элементарных звеньев для получения фильтра с требуемыми параметрами. В этом случае задаются наиболее приоритетные параметры фильтра – один или несколько, значения которых и будут являться критериями для перебора. В качестве ограничения при переборе можно использовать максимальное число элементарных звеньев или задержек.

Другой путь – изначальное задание точек АЧХ фильтра и получение по ним его структуры, т. е. комбинации элементарных звеньев с известными АЧХ. Естественно, что сделать это точно не всегда возможно, и структура фильтра может быть получена с некоторыми допущениями и приближениями. Кроме того, в силу рассмотренных особенностей элементарных звеньев, этот путь применим не для всех классов фильтров.

Рассмотрим фильтр, полученный каскадным соединением элементарных звеньев, подобранных из соображений получения максимального подавления его боковых лепестков. АЧХ этого фильтра представлена на рис. 10.

Как видно, получен ФНЧ с КИХ. У этого фильтра количество элементарных звеньев равно 44. Ширина полосы пропускания по критерию 3 дБ равна 0,062 ω . Подавление боковых лепестков 109 дБ.

Синтезируем фильтр с перечисленными параметрами с помощью утилиты Filter Design среды Matlab.

Получился ФНЧ с КИХ, порядок которого равен 74. Параметры и АЧХ фильтра представлены на рис. 11.

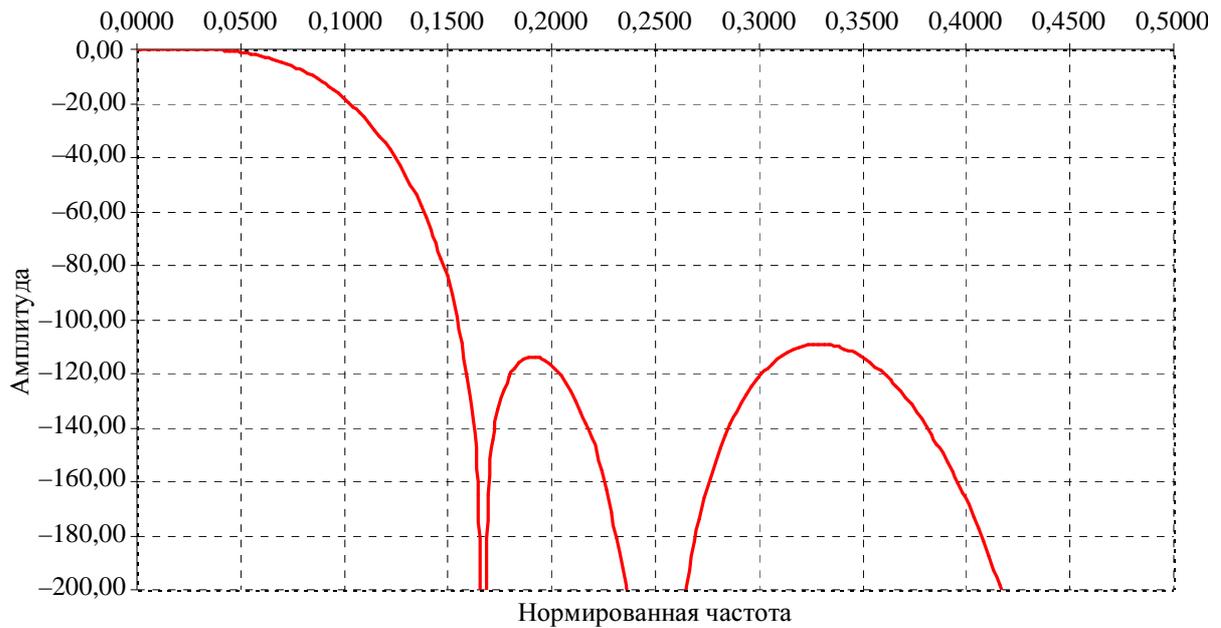


Рис. 10

Current Filter Information

Structure: Direct-Form FIR
Order: 74
Stable: Yes
Source: Designed

Store Filter ...
Filter Manager ...

Magnitude Response (dB)

Response Type

Lowpass
 Highpass
 Bandpass
 Bandstop
 Differentiator

Design Method

IIR Butterworth
 FIR Equiripple

Filter Order

Specify order: 10
 Minimum order

Options

Density Factor: 20

Frequency Specifications

Units: Normalized (0 to 1)
Fs: 48000
wpass: 0.062
wstop: 0.14

Magnitude Specifications

Units: dB
Apass: 3
Astop: 109

Design Filter

Рис. 11

Сравнивая полученные результаты можно сделать несколько выводов о достоинствах и применимости нового класса фильтров:

1. Фильтры этого класса имеют строго определенные частоты подавления, равные $1/2 \omega$, $1/3 \omega$, $1/4 \omega$, $1/6 \omega$ и т. д.

2. Увеличение числа звеньев приводит к практически неограниченному росту подавления в указанных точках. Таким образом, теоретически становится возможным получение любого заданного значения подавления в этих точках.

3. Изменение знака сумматора с плюса на минус может быть использовано для расширения полосы пропускания фильтра. Кроме того, каскадным соединением элементарных звеньев с вычитанием можно получить эффективные полосовые фильтры, для которых справедливы пп. 1, 2.

На всех графиках приведена нормированная частота ω/ω_D .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций: / А. И. Солонина, Д. А. Улахович, С. М. Арбузов и др. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978.
3. Еремеев В. П., Матвеев А. Г., Ануфриева А. В. Новый класс нерекурсивных цифровых фильтров без умножений // 3-я Междунар. конф. DSPA-2000, 1999.

D. I. Kaplun, A. J. Soupian

SYNTHESIS OF NONRECURSIVE DIGITAL FILTERS WITHOUT MULTIPLICATIONS

This paper describes a new method for design lowpass digital filters. This technique presents possibility of special class synthesis of arbitrary order Finite Impulse Response (FIR) filters implemented without multiplications. There is an algorithm for computation coefficients of new class FIR-filters. Synthesized filters have unified structure components and any order filters provide wide dynamic range of processing data, and also have high computational efficiency and increase of the computation speed. The filter's structure has a great influence on main parameters of synthesized filter. As a result methods of synthesis filters without multiplications with optimal parameters are given.

Digital filters, nonrecursive filter, FIR-filter, elementary link, delay, adder, impulse response, magnitude response, filter order



УДК (621.313.392 + 62-83)

Д. В. Самохвалов

ОБ УЧЕТЕ КВАНТОВАНИЯ СИГНАЛОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В МЕТОДИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Предлагается способ учета квантования микроконтроллера при вычислении пульсаций фазных напряжений вентильного двигателя. Учитывается влияние конечного быстройдействия микроконтроллера.

Вентильный двигатель, непрерывное управление, микроконтроллер, дискретизация сигнала, ряд Фурье

Вентильные двигатели (ВД) являются наиболее перспективными для создания высокоточных глубокорегулируемых электроприводов (ЭП). Для достижения равномерности момента ВД применяется непрерывный способ управления ВД [1]– [4].

Наиболее широкое распространение в работах отечественных авторов, посвященных ВД с непрерывным управлением, получила схема ВД с аналоговым устройством управления [1]–[6], показанная на рис. 1, где М – модулятор; ГОН – генератор опорного напряжения; ВТ – синусно-косинусный вращающийся трансформатор; ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель; Ф – фильтр нижних частот; «–1» – блок инверсии фазы (инвертирующий повторитель); УМ – усилитель мощности; СЭМП – синхронный электромеханический преобразователь.

Блоки М, ГОН, ВТ, ФЧВ и Ф, которые осуществляют преобразование входного напряжения в фазные напряжения u_A , u_B , образуют усилительно-преобразовательное устройство (УПУ). ВТ одновременно используется в качестве преобразователя координат (ПК) и датчика положения ротора (ДПР). Данная структура ВД является классической структурой аналогового ВД с непрерывным управлением.

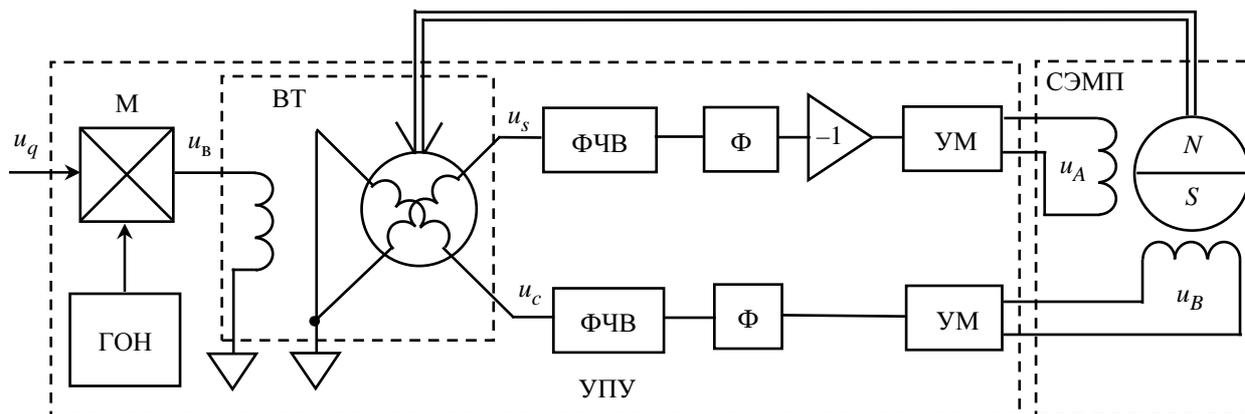


Рис. 1

Для повышения надежности, точности, повторяемости параметров ЭП при реализации непрерывного управления ВД применяются цифровые микроконтроллеры (МК) [2], [3], [7]. При цифровом управлении ВД имеет структуру, показанную на рис. 2. Микроконтроллер в составе ЭП с ВД позволяет реализовать корректирующие звенья (регуляторы и фильтры) и обеспечивает позиционную обратную связь, необходимую для работы синхронной машины в режиме ВД [2], [3], [7].

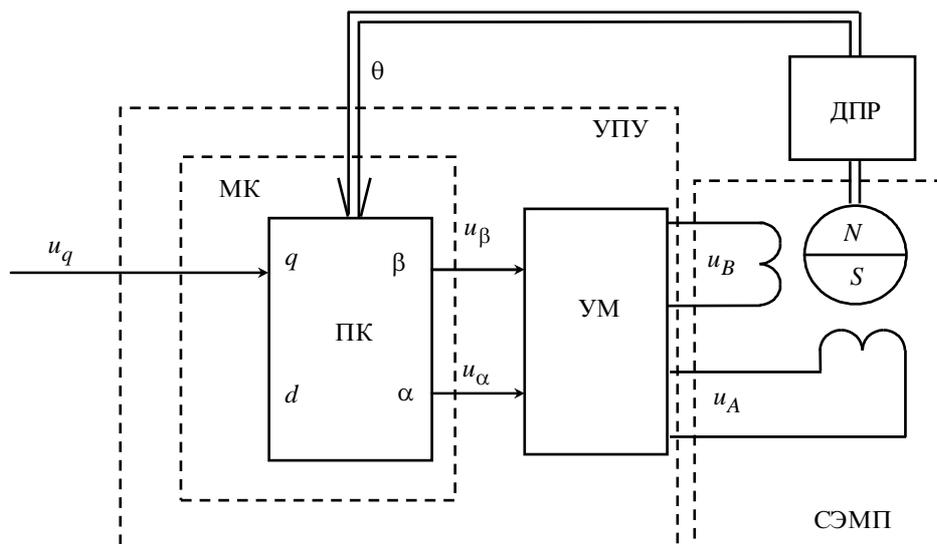


Рис. 2

При проектировании УПУ ВД с непрерывным управлением, использующих вместо фазочувствительных выпрямителей (ФЧВ) и фильтров нижних частот (ФНЧ) МК, известная методика [5], [6] изменяется:

1. Вместо выбора схем ФЧВ и ФНЧ предлагается процедура выбора МК.
2. Расчет параметров ФЧВ (постоянной времени ФЧВ и частоты возбуждения СКВТ) заменяется расчетом периода программного цикла.

3. Изменяется расчет пульсаций напряжения на входе усилителя мощности. Если в ВД с ФЧВ и ФНЧ пульсации зависят от частоты возбуждения СКВТ и параметров ФЧВ и ФНЧ, то при применении МК пульсации определяются величиной квантования управляющих сигналов.

4. В случае применения в качестве усилителя мощности широтно-импульсного преобразователя (ШИП) учитываются пульсации сигнала, обусловленные ШИМ синусоидальных сигналов управления.

В настоящей статье решается задача определения пульсаций фазных напряжений синхронного электромеханического преобразователя (СЭМП). При этом на вход ШИП подается синусоидальный ШИМ-сигнал. Период дискретизации сигналов управления ВД определяется временем программного цикла МК, а на величину пульсаций влияют период дискретизации и разрядность МК. При учете разрядности МК в расчете учитывается не только разрядность операционных регистров МК, приводимая в спецификациях, но и разрядность АЦП и ШИМ-генератора. Методика, описанная в статье, обеспечивает выбор такого МК, обусловленного конечной разрядностью МК, для которого можно пренебречь влиянием на пульсации управляющих сигналов квантования по сравнению с влиянием дискретизации, обусловленным конечным быстродействием МК.

Учет производится при следующих допущениях:

1. Считается, что для сигнала управления МК является линейной системой, а квантование по времени приводит к фазовому запаздыванию сигнала управления.

2. Влияние квантования сигналов в МК и в ШИП учитывается при определении пульсаций фазных токов путем разложения дискретизованной синусоиды с периодом дискретизации, равным периоду дискретизации МК и периоду ШИМ, в ряд Фурье.

3. Не учитывается влияние на величину пульсаций амплитудной ошибки, обусловленной квантованием МК.

Оценка времени вычислений, производимых микроконтроллером. Анализ существующих МК [2], [7], [8] показал, что для управления ВД наибольший интерес представляют встраиваемые микроконтроллеры (ВМК)¹ [2]. В работе [8] для сравнения эффективности различных МК при управлении ВД предлагается вычислять время программного цикла T_p суммированием времен выполнения математических операций, используемых в алгоритме управления:

$$T_p = n_{\text{add}}t_{\text{add}} + n_{\text{sub}}t_{\text{sub}} + n_{\text{mul}}t_{\text{mul}} + n_{\text{div}}t_{\text{div}} , \quad (1)$$

где n_{add} , n_{sub} , n_{mul} , n_{div} – количества операций сложения, вычитания, умножения и деления; t_{add} , t_{sub} , t_{mul} , t_{div} – времена выполнения соответствующих команд. Однако формула (1) неприменима для оценки значения временной задержки, вносимой МК, поскольку не учитывает временные затраты, необходимые для решения следующих вспомогательных задач:

- 1) преобразования форматов данных и диапазонов изменения переменных;
- 2) организации логических переходов с числом ветвей, большим двух;
- 3) распределения информации (для пространственно-временной коммутации периферийных модулей и задания режимов их работы);

¹ 8XC196MC, 8XC196MD, 8XC196MH Microcontroller User`s Manual. Intel Corporation, 2004; Microcontrollers. C166 Family. 16-Bit Single-Chip Microcontroller C164. V 2.0, User`s Manual. Infineon Technologies, 1999-09.

4) обращения к внешней памяти (в случае хранения управляющей программы и данных во внешней памяти).

Задача распределения информации решается [9] с помощью чтения-записи управляющих слов и данных и механизма прерываний периферийных модулей. Значение времени t_{int} между событием, вызывающим прерывание, и началом выполнения подпрограммы обработки прерывания примерно одинаково для всех источников прерывания.

С учетом необходимости выполнения задач статической и динамической коррекции, защиты и диагностики период программного цикла T_p , отводимый для выполнения основного алгоритма управления ВД (преобразование координат и ввод-вывод информации), не должен превышать 10 % от общего времени программного цикла T_p [3]. Отсюда следует, что предварительную оценку периода дискретизации МК целесообразно производить по формуле

$$T_0 = 10(T_p + nt_a + mt_{\text{int}}), \quad (2)$$

где T_p вычисляется по формуле (1); n – суммарное количество операций сложения, вычитания, умножения и деления в численном алгоритме управления ВД; t_a – время доступа к внешней памяти МК; m – количество различных источников диспетчерских прерываний, задействованных в программе; t_{int} – время реакции на запрос прерывания.

Выражения (1), (2) дают возможность оценивать величину программной задержки на этапе выбора МК без написания алгоритма на языке микроконтроллера и без ознакомления с языком программирования и системой команд.

Условия пренебрежения влиянием конечной разрядности микроконтроллера. Квантование гармонического сигнала происходит в следующих блоках МК: АЦП, на вход которого поступает сигнал положения ротора; операционных регистрах; ШИМ-генераторе (или модуле ЦАП), сигнал с выхода которого подается на ШИП или линейный УМ.

При допущении, что разрядность АЦП и разрядность ШИМ-генератора равны, и при условии равенства диапазонов изменения напряжения на выходе ШИМ-генератора и на входе АЦП их коэффициенты передачи будут обратно пропорциональны:

$$K_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{K_{\text{АЦП}}}. \quad (3)$$

Примем еще одно допущение: будем считать, что трансформированной погрешностью [9], вносимой МК, можно пренебречь:

$$\delta_{\text{тр}} = 0. \quad (4)$$

В этом случае в качестве устройств, подвергающих сигналы фазных напряжений квантованию, можно рассматривать только АЦП и ШИМ-генератор. При условиях (3), (4) модель с несколькими квантователями сводится к модели с одним квантователем. При равенстве разрядности устройств эффект квантования может быть учтен в любом из них. Если же присутствуют несколько устройств, разрядность которых различается, то эффект квантования необходимо учитывать для устройства с минимальной разрядностью [10].

Найдем условия, при которых можно пренебречь влиянием разрядности МК на пульсации сигнала управления по сравнению с влиянием дискретизации (квантования по времени).

В дальнейшем считаем, что МК, управляющий ВД, содержит один квантователь с числом уровней квантования

$$N = 2^n - 1,$$

где n – разрядность квантователя.

В случае ВД с синусно-косинусным датчиком положения ротора

$$n = \min(n_{\text{АЦП}}, n_{\text{ШИМ}}). \quad (5)$$

При использовании в качестве датчика угла энкодера

$$n = n_{\text{ШИМ}}, \quad (6)$$

что верно для случая, когда разрядность энкодера больше разрядности ШИМ-генератора.

На рис. 3 показаны гармонический сигнал u_α , поступающий на вход МК (на АЦП) от ДПР; сигнал u_α^* на выходе МК (на выходе ЦАП); первая гармоника u'_α сигнала, формируемого на выходе МК; период дискретизации по времени T_0 ; эквивалентное время чистого запаздывания τ , вносимое МК. В общем случае выходной сигнал u'_α формируется либо ЦАП, либо ШИМ-генератором.

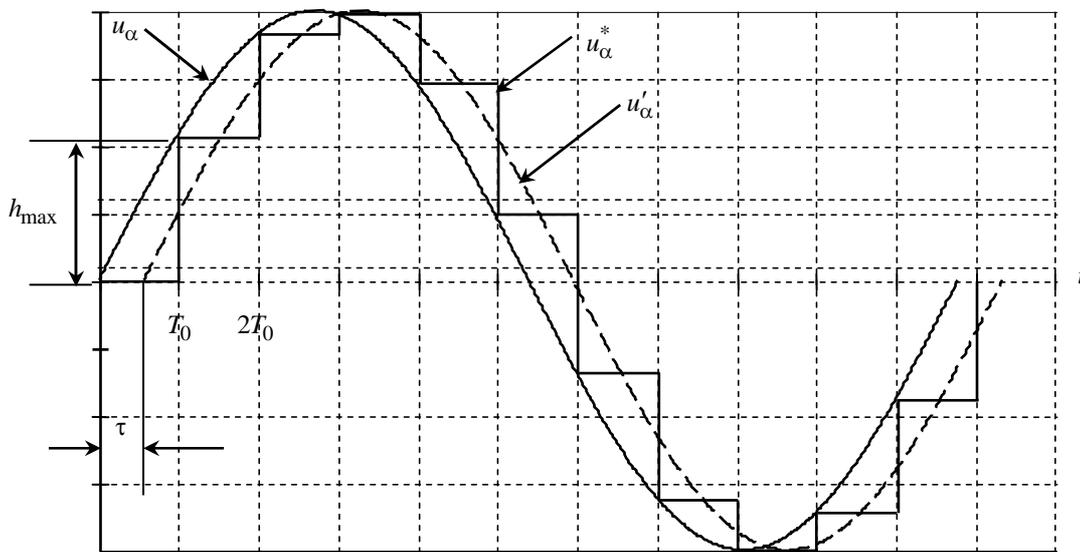


Рис. 3

Рисунок справедлив для случая, когда коэффициент передачи МК равен единице. При прохождении гармонического сигнала u_α через МК сигнал подвергается дискретизации, причем период дискретизации T_0 не может быть меньше времени программного цикла T_p . В течение времени однократного выполнения всех вычислений МК не осуществляет выборку входного сигнала u_α , поскольку к этому моменту не получен результат вычислений, произведенных по результатам предыдущей выборки. Таким образом, с мо-

мента захвата в течение времени, равного периоду выборки T_0 , значение цифрового сигнала остается постоянным. При восстановлении сигнала модулем ЦАП (или ШИМ-генератором) на выходе МК получается кусочно-постоянный сигнал, показанный на рис. 3 сплошной линией. Штриховой линией показана первая гармоника цифрового сигнала, которая и является полезным выходным сигналом u'_α .

Разрешенные уровни квантования определяются разрядностью квантователя (АЦП или ШИМ-генератора). Значению периода дискретизации МК T_0 соответствует максимальная высота ступеньки дискретизированной синусоиды

$$h_{\max} = \omega_1 T_0 \Delta V, \quad (7)$$

где ω_1 – угловая частота синусоидального сигнала, ΔV – диапазон изменения напряжения на входе АЦП или выходе ШИМ-генератора. Математическое ожидание погрешности квантования, вызванной разрядностью АЦП или ШИМ-генератора, определяется как

$$\Delta_{\text{кв}} = \frac{\delta}{2},$$

где δ – величина кванта напряжения АЦП или ШИМ-генератора, измеренная в вольтах и равная отношению диапазона ΔV к количеству уровней квантования N_{\max}

$$\delta = \frac{\Delta V}{N_{\max}} = \frac{\Delta V}{2^n - 1}, \quad (8)$$

где n – разрядность АЦП или ШИМ-генератора.

Считаем, что в МК выполняется условие

$$h_{\max} \gg \delta. \quad (9)$$

Условие (9) позволяет пренебречь величиной $\Delta_{\text{кв}}$ по сравнению с амплитудой $A_{\text{п}}$ пульсаций, вызванных дискретизацией синусоиды.

Подставив (7) и (8) в (9), получаем

$$\omega_1 T_0 \gg \frac{1}{2^n - 1}. \quad (10)$$

Для определенности запишем (10) в виде

$$\omega_1 T_0 \geq \frac{10}{2^n - 1}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) получаем выражение для минимально допустимой разрядности

$$n_{\min} = \log_2 \left(\frac{10}{\omega_1 T_0} + 1 \right). \quad (12)$$

Формула (12) справедлива и для АЦП и для ШИМ-генератора.

Вычислим для примера необходимую разрядность ШИМ-генератора при следующих параметрах: диапазон изменения скорости ВД 1...10 об/мин, числа пар полюсов ВД и ДПР равны $p = 8$, частота дискретизации сигнала от ДПР $f_0 = 4$ Гц. Минимальная

частота изменения синусоидального сигнала на входе АЦП $\omega_{1\min} = \frac{P_{\Pi} 2\pi}{60} n_{2\min} = 0,8$ рад/с.

Разрядность ШИМ-генератора должна быть не менее $\log_2 \left(10 / (0,8 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}) + 1 \right) = \log_2 (50001) = 11$ разрядов.

В случае выбора 8-разрядного МК для приведенного примера получаем относительную величину кванта $1/(2^n - 1) = 1/(2^8 - 1) = 1/255 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ и относительную высоту ступеньки дискретизированной синусоиды $\omega_{\min} T_0 = 0,8/4000 = 0,2 \cdot 10^{-3}$.

Уравнение (12) и расчеты показывают, что пульсации, вызванные квантованием АЦП или ШИМ-генератора, могут превышать пульсации, обусловленные дискретизацией сигнала управления во времени.

Период T_0 опорного сигнала ШИМ-генератора равен произведению содержимого внутреннего счетчика C на длительность T_{clk} тактовых импульсов, поступающих на вход ШИМ-счетчика:

$$T_0 = CT_{\text{clk}}. \quad (13)$$

Разрядность внутреннего счетчика определяет разрядность ШИМ-генератора, приводимую в спецификациях МК¹. Для МК Infineon 167² период тактовых импульсов составляет 50 нс, максимальное значение 16-разрядного счетчика равно 65 535. Таким образом, максимальный период опорного сигнала равен $T_0 = 65535 \cdot 50 \cdot 10^{-9} = 3,28$ мс, что соответствует частоте 305 Гц. Для ВД малой мощности значение несущей частоты ШИМ составляет, как правило, 10...20 Гц. Из (13) видно, что для увеличения опорной частоты ШИМ-генератор должен производить сброс счетчика при C , равном

$$C = \frac{T_0}{T_{\text{clk}}}, \quad (14)$$

то есть при опорной частоте 20 кГц сброс счетчика будет происходить при достижении значения 1000. Таким образом, формула (14) определяет количество уровней квантования первой гармоники сигнала на выходе ШИМ-генератора. В результате, фактическая разрядность \hat{n} ШИМ-генератора должна вычисляться по формуле:

$$\hat{n} = \log_2 (C + 1) = \log_2 \left(\frac{T_0}{T_{\text{clk}}} + 1 \right). \quad (15)$$

Из (15) следует, что при увеличении опорной частоты с 305 Гц до 20 кГц разрядность ШИМ-генератора МК Infineon уменьшается с 16 до 10.

Формулу (15) целесообразно использовать для вычисления \hat{n} фактической разрядности ШИМ-генератора.

Рассмотрение работы ШИМ-генератора с использованием уравнения (15) показывает, что его фактическая разрядность \hat{n} меньше разрядности МК, указываемой в его параметрах

¹ 8XC196MC, 8XC196MD, 8XC196MH Microcontroller User`s Manual.

² Microcontrollers. C166 Family. 16-Bit Single-Chip Microcontroller C164. V 2.0, User`s Manual.

[7Ошибка! Ошибка связи.. Отсюда следует, что квантованием ШИМ-генератора в общем случае пренебречь нельзя, поскольку при уменьшении разрядности ШИМ-генератора уменьшается число уровней квантования гармонического сигнала и, как следствие, при неизменной амплитуде синусоиды возрастает уровень пульсаций и фазовое запаздывание сигнала.

Для пренебрежения величиной квантования по уровню, обусловленного конечной разрядностью МК, по сравнению с величиной квантования, вызванного дискретизацией по времени, при выборе МК для управления ВД необходимо обеспечить выполнение условия

$$n \geq n_{\min}. \quad (16)$$

Выражения (5), (6), (15), (16) необходимо применять для выбора МК, разрядность которого не будет оказывать существенного влияния на пульсации сигналов управления.

Учет влияния дискретизации сигналов датчика положения на пульсации напряжения на выходе усилителя мощности. Рассмотрим случай равномерной дискретизации, когда считывание информации от ДПР производится циклически с постоянным периодом выборки T_0 .

Существующая методика проектирования ВД [5], [6] включает расчет относительной амплитуды пульсаций ФЧВ и выбор постоянной времени ФНЧ и частоты возбуждения СКВТ исходя из допустимого значения пульсаций напряжения на входе УМ (0,2...0,3). При включении в структуру ВД МК необходим учет влияния квантования на значение пульсаций.

Для корректного суммирования высших гармоник, наличие которых обусловлено влиянием квантования в МК и ШИП, обязательным является учет фазы каждой из гармоник. Для нахождения фазы ν -й гармоники ступенчатого сигнала, показанного на рис. 3, следует учитывать фазы гармоник порядка ν , имеющих в спектральном составе каждой ступеньки [11], [12]. Для обеспечения суммирования пульсаций, даваемых различными блоками ВД, применим разложение ступенчатого сигнала (рис. 3) в ряд Фурье во временной области [12]. При допущении, что МК и УМ являются линейными звеньями учет пульсаций, даваемых ими, ведется с использованием принципа суперпозиции [13].

Представим ступенчатый сигнал, показанный на рис. 3, в виде суммы прямоугольных импульсов, число которых равно числу N интервалов дискретизации, приходящихся на период гармонического сигнала u_α . Каждой ступеньке соответствует один импульс. Импульс с номером k существует в интервале времени от t_1 до t_2 :

$$t_1 = kT_0, t_2 = (k+1)T_0. \quad (17)$$

Высота h_k k -го импульса равна значению функции $\sin \omega t$ в момент времени $t_1 = kT_0$, то есть

$$h_k = \sin(\omega kT_0). \quad (18)$$

При разложении в ряд Фурье k -й импульс представляется в виде бесконечной суммы гармоник

$$x_k(t) = \sum_{\nu=1}^{\infty} x_{k\nu}(t), \quad (19)$$

где $x_{k\nu} = A_\nu \sin(\nu\omega t + \varphi_\nu)$ – гармоника ν -го порядка, которую содержит k -й импульс. Гармоника $x_{k\nu}(t)$ представляется в виде суммы [14]:

$$x_{k\nu}(t) = a_{k\nu} \cos(\nu\omega t) + b_{k\nu} \sin(\nu\omega t), \quad (20)$$

Сумма гармоник (19) дает наилучшее приближение к k -му импульсу, то есть средняя квадратическая погрешность является минимальной при условии, что ν -я гармоника k -го импульса $x_{k\nu}(t)$ (20) вычисляется с использованием коэффициентов $a_{k\nu}$, $b_{k\nu}$ по формулам:

$$a_{k\nu} = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} f_k(t) \cos(\nu\omega t) dt, \quad (21)$$

$$b_{k\nu} = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} f_k(t) \sin(\nu\omega t) dt. \quad (22)$$

После подстановки (17)–(19) в (21), (22) и интегрирования для $f_k = h_k$ получаем

$$a_{k\nu} = \frac{A}{\nu\pi} \left\{ \sin[\nu\omega(k+1)T_0] - \sin(\nu\omega kT_0) \right\},$$

$$b_{k\nu} = \frac{A}{\nu\pi} \left\{ -\cos[\nu\omega(k+1)T_0] + \cos(\nu\omega kT_0) \right\}.$$

Поскольку при разложении импульса в ряд Фурье каждая из гармоник представляется в виде суммы квадратурных сигналов $a_{k\nu} \cos(\nu\omega t)$, $b_{k\nu} \sin(\nu\omega t)$, то соотношение между значениями коэффициентов $a_{k\nu}$ и $b_{k\nu}$ определяет величину $\varphi_{k\nu}$ сдвига фаз ν -й гармоники относительно синусоиды $\sin(\nu\omega t)$

$$\varphi_{k\nu} = \arctg \frac{b_{k\nu}}{a_{k\nu}}.$$

Представление ν -й гармоники каждого импульса в виде суммы квадратурных сигналов позволяет найти фазу гармоники ν -го порядка для суммы импульсов. Действительно, амплитуды квадратурных сигналов, соответствующих сумме N -импульсов, для гармоники порядка ν определяются суммированием амплитуд квадратурных сигналов, найденных для отдельных импульсов:

$$a_\nu = \sum_{k=0}^{N-1} a_{k\nu}; \quad b_\nu = \sum_{k=0}^{N-1} b_{k\nu},$$

а угол фазового сдвига гармоники ν -го порядка находится по формуле $\varphi_\nu = \arctg \frac{b_\nu}{a_\nu}$.

Амплитуда ν -й гармоники от суммы k импульсов равна

$$A_\nu = \sqrt{a_\nu^2 + b_\nu^2}.$$

Для оценки величины пульсаций напряжения на выходе цифрового блока управления используется коэффициент несинусоидальности [15]:

$$K_H = \frac{\sqrt{\sum_v^n A_v^2}}{A_1}, \quad (23)$$

где n – количество учтенных гармоник.

Значение K_H из (23) сравнивается с заданным допустимым значением (в методике [5], [6] допустимое значение пульсаций задано 0,2...0,3).

Совместный учет дискретизации в МК и квантования в ШИП. При использовании в качестве усилителя мощности ШИП квантование управляющих сигналов ВД осуществляется в последовательно включенных блоках МК и ШИП, которые имеют различные значения частоты дискретизации. Частота полезного гармонического сигнала при прохождении через эти блоки не изменяется. В то же время, каждому блоку соответствует свое число выборок на период синусоидального сигнала. Обозначим эти числа как N_1 и N_2 . При этом коэффициенты ряда Фурье для каждого из блоков определяются следующим образом:

$$a_{v1} = \sum_{k=0}^{N_1-1} a_{kv1}, \quad b_{v1} = \sum_{k=0}^{N_1-1} b_{kv1};$$

$$a_{v2} = \sum_{k=0}^{N_2-1} a_{kv2}, \quad b_{v2} = \sum_{k=0}^{N_2-1} b_{kv2},$$

где a_{v1} , b_{v1} – коэффициенты ряда Фурье для v -й гармоники, вносимой МК; a_{v2} , b_{v2} – коэффициенты ряда Фурье для v -й гармоники, вносимой ШИП; a_{kv1} , b_{kv1} – коэффициенты ряда Фурье для v -й гармоники k -й ступеньки дискретизации, выполняемой МК; a_{kv2} , b_{kv2} – коэффициенты ряда Фурье для v -й гармоники k -й ступеньки дискретизации, выполняемой ШИП.

В общем случае, когда статический коэффициент k_2 передачи ШИП зависит от частоты и ШИП описывается апериодическим звеном первого порядка, зависимость коэффициента передачи от частоты имеет вид

$$k_2(\omega) = \frac{k_2}{\sqrt{1 + \omega^2 T_y^2}}. \quad (24)$$

Из (24) получаем значения коэффициента передачи для каждой из гармоник:

$$k_2(v) = \frac{k_2}{\sqrt{1 + (2\pi v f)^2 T_y^2}}.$$

Значения $k_2(v)$ используем для приведения амплитуды гармоник, вносимых МК, к выходу ШИП:

$$A_{v12} = k_2(v) A_{v1}. \quad (24)$$

Так как коэффициенты a_{v1} , b_{v1} являются амплитудами гармонических сигналов, сумма которых дает v -ю гармонику, имеющую амплитуду A_{v1} , то формула (25) эквивалентна следующим двум формулам:

$$\begin{aligned} a_{v12} &= k_2(v)a_{v1}, \\ b_{v12} &= k_2(v)b_{v1}. \end{aligned} \quad (26)$$

Для нахождения суммарных пульсаций на ШИП суммируем амплитуды a_{v2} , b_{v2} гармоник второго блока со значениями амплитуд a_{v12} , b_{v12} гармоник первого блока, приведенными к выходу ШИП:

$$\begin{aligned} a_v &= a_{v12} + a_{v2}, \\ b_v &= b_{v12} + b_{v2}. \end{aligned}$$

Откуда с учетом (26) получаем:

$$\begin{aligned} a_v &= k_2(v)a_{v1} + a_{v2}, \\ b_v &= k_2(v)b_{v1} + b_{v2}. \end{aligned}$$

Для нахождения коэффициентов a_{v2} , b_{v2} используются формулы, аналогичные (21), (22), в которых подынтегральная функция существует в месте существования k -го импульса ШИМ. Нижний и верхний интегральные пределы представляют собой временные координаты переднего и заднего фронтов k -го импульса. Местоположение и длительность импульсов синусоидальной ШИМ зависит от вида модуляции [14], [16].

Описанная в статье методика обеспечивает учет высших гармоник, обусловленных квантованием в микроконтроллере и в ШИП, и применимость известной методики [5], [6] к вентильным двигателям с цифровым управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколовский Г. Г., Постников Ю. В., Егоров В. А. Математическая модель бесконтактного моментного привода // Изв. ЛЭТИ. Сб. науч. тр. Л., 1989. Вып. 416. С. 45–50.
2. Джанхотов В. В. Исследование и разработка следящих электроприводов на базе вентильных двигателей с управлением от сигнального процессора для шагающего робота: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.
3. Мордовченко Д. Д. Разработка и исследование бесконтактных моментных приводов с использованием микропроцессорной техники: Дис. ... канд. техн. наук / ИТМО. СПб., 1995.
4. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.
5. Беленький Ю. М., Микеров А. Г. Выбор и программирование параметров бесконтактного моментного привода / ЛДНТП. Л., 1990.
6. Мартынов А. А. Проектирование электроприводов: Учеб. пособие / СПбГУАП. СПб., 2004.
7. Козаченко В., Анучин А., Дроздов А. Сигнальные микроконтроллеры Texas Instruments для управления двигателями и автоматизации промышленности // Электрон. компоненты. 2004. № 7. С. 91–95.
8. Опыт применения цифровых процессоров обработки сигналов для управления электроприводом / А. А. Горилловский, С. Г. Костенко, А. А. Кузнецов и др. / ЛДНТП. Л., 1988.
9. Крайников А. В., Курдинов Б. А. Вероятностные методы в вычислительной технике. М.: Высш. шк. 1986.
10. Байдаков В. А. Разработка и исследование регуляторов координат микропроцессорного электропривода для оборудования с ЧПУ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ЛЭТИ. Л., 1989.
11. Сиберт У. М. Цепи, сигналы, системы: В 2 ч. Ч. 1/ Пер. с англ. М.: Мир, 1988.
12. Хемминг Р. В. Численные методы (для научных работников и инженеров) / Пер. с англ.; Под ред. Р. С. Гутера. 2-е изд., испр. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1972.

13. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1975.
14. Марков В. В., Слядзевская К. П. Индексная табличная ШИМ в автономном инверторе напряжения // Электротехника. 2000. № 1.
15. ГОСТ 23875-79. Качество электрической энергии. М.: Изд-во стандартов, 1980.
16. Pulse Width Modulation For Power Converters. Principles and Practice // D. G. Holmes, Lipo T. IEEE Series on Power Engineering. IEEE Press, 2003.

D. V. Samokhvalov

*ON SYGNAI QUANTIZATION ACCOUNTING IN THE DESIGN PROCEDURE
FOR AMPLIFICATION-TRANSFORMATION UNIT OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR*

*Method of microcontroller quantization accounting attached to calculation of PMSM
sygnal ripples are proposed in the item. Finite speed operation of microcontroller are taking
into account.*

**Permanent Magnet Synchronous Motor, Continuous Control, Microcontroller, signal quantization,
Finite Fourier Series**



УДК 681.883.67.001.24

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТОНКОСТЕННОГО ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Рассмотрена работа преобразователя в виде тонкостенного пьезоцилиндра с электрической корректирующей цепью. Акустической нагрузкой является вода. По методике, изложенной в предшествующих работах, исследован импульсный режим работы данного излучателя. Для конечных цилиндров различных волновых размеров получены конкретные оценки длительностей излучаемых импульсов. Показано, что при оптимальных значениях параметров, характеризующих каждый из рассматриваемых излучателей, возможно существенное сокращение длительностей излучаемых акустических сигналов.

Акустический импульс, пьезокерамический цилиндр, корректирующая электрическая цепь

В ряде предшествующих работ авторами исследовано влияние электрических нагрузок на длительность акустического импульса, излучаемого пьезопластиной в жидкие и твердые среды [1]–[6]. При этом для различных вариантов подключения электрических цепей найдены оптимальные значения их параметров, позволяющие получить максимально короткие акустические импульсы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке аппаратуры, предназначенной для решения задач ультразвуковой дефектоскопии и медико-акустической диагностики.

Применительно к задачам гидроакустики определенный интерес может представить исследование импульсного режима работы тонкостенного пьезоцилиндра, нагруженного на жидкость (воду). Актуальность решения задач подобного типа зачастую продиктована требованиями повышения разрешающей способности проектируемой аппаратуры и точности определения координат подводных объектов.

В данной статье рассмотрен воздухозаполненный излучатель в виде тонкостенного цилиндра из пьезокерамики ЦТСНВ-1, возбуждаемый импульсом электрического напряжения $U(t)$. В качестве акустической нагрузки выбрана вода. На рис. 1 представлена геометрия задачи. В принятых обозначениях $R_{\text{ср}}$, H являются средним радиусом и высотой

цилиндра соответственно, а δ – толщиной стенки. Для характеристики относительной толщины стенки цилиндра введем параметр $\alpha = \delta/R_{cp}$. При нагрузке на воду сопротивление излучения рассматриваемого преобразователя имеет вид $Z_S = (\rho c)_B S(x + jy)$, где

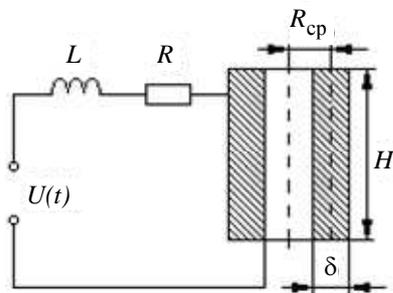


Рис. 1

$(\rho c)_B$ – удельное акустическое сопротивление воды, а x и y – безразмерные коэффициенты. Введем параметр A таким образом, чтобы $A = H/2R_{cp}$. Числовое значение этого параметра определяет выбор кривых, представленных в работе [7], характеризующих частотные зависимости коэффициентов x и y для случая цилиндра конечной высоты.

Будем считать, что корректирующая цепь представляет собой последовательное соединение RL -элементов и включена последовательно между генератором электрического напряжения и преобразователем. При этом индуктивность L может быть охарактеризована через резонансную частоту $\omega_{эл}$ контура, образованного элементом L и собственной емкостью C_0 механически заторможенного излучателя:

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

Сопротивление R можно охарактеризовать параметром Q , имеющим смысл добротности:

$$Q = \frac{\omega_{эл}L}{R}.$$

Пусть ω_0 – резонансная частота преобразователя. Тогда параметр $n = \omega_{эл}/\omega_0$ будет характеризовать настройку электрического контура.

Задачу исследования импульсного режима работы рассматриваемого излучателя можно решить аналогично тому, как это сделано в предшествующих работах. Первоначально методом эквивалентных схем определяется частотная характеристика преобразователя. Далее, задавшись формой импульса электрического возбуждения и определив его спектральную плотность, обратным преобразованием Фурье можно определить временную зависимость изменения колебательной скорости на выходе преобразователя, т. е. форму излучаемого акустического импульса. Решение задачи сводится к определению значений параметров n и Q , при которых наблюдается минимальная длительность излучаемого сигнала.

Зададимся импульсом электрического возбуждения в виде одного полупериода синусоиды на частоте радиального резонанса цилиндра. Введем безразмерное время T так, чтобы $T = t/(T_0/2)$, где T_0 – период колебаний преобразователя на частоте радиального резонанса, а t – реальное время. Это позволит оценивать длительность акустических импульсов числом полупериодов колебаний на резонансной частоте колебаний цилиндра. Будем определять длительность излучаемого сигнала промежутком времени, прошедшим от его начала до момента снижения амплитуды в 10 раз по сравнению с максимальным значением амплитуды в импульсе.

Перейдем к рассмотрению результатов численных расчетов, иллюстрирующих возможность снижения длительностей акустических сигналов, излучаемых рассматриваемым преобразователем. В настоящей статье представлены расчетные данные, относящиеся к «длинному» пьезоцилиндру ($A = 2,5$) и «короткому» ($A = 0,5$). Для определенности выберем следующие варианты относительной толщины стенки: $\alpha = 0,15; 0,25; 0,35$. Дальнейшее увеличение параметра α не позволит считать цилиндр тонкостенным.

На первоначальном этапе решения задачи с помощью многочисленных систематических расчетов (методом последовательного перебора) определяются примерные области значений параметров n и Q , при которых наблюдается существенное снижение длительностей излучаемых импульсов. В дальнейшем эти значения уточняются. В результате определяются пары оптимальных значений параметров n и Q , при которых длительность излучаемых сигналов минимальна. В случае «длинного» цилиндра ($A = 2,5$) они составляют: $n = 1,25$ и $Q = 1,5$ (для $\alpha = 0,15$); $n = 1,1$ и $Q = 1,5$ (для $\alpha = 0,25$); $n = 1,1$ и $Q = 1,5$ (для $\alpha = 0,35$). Аналогично для «короткого» цилиндра ($A = 0,5$): $n = 1$ и $Q = 1,5$ (для $\alpha = 0,15$); $n = 0,95$ и $Q = 2$ (для $\alpha = 0,25$); $n = 1$ и $Q = 2$ (для $\alpha = 0,35$).

Использование корректирующей электрической цепи с оптимальными параметрами позволяет, как показал расчет, существенно снизить длительность акустического сигнала на выходе преобразователя. Так, например, при $A = 2,5$ для $\alpha = 0,15$ длительность импульса, излучаемого цилиндром, составляет $\tau = 4,3$ полупериода (при этом без корректирующей цепи $\tau = 5,2$). Увеличение параметра α до значения $\alpha = 0,25$ позволяет получить длительность сигнала $\tau = 5,3$ полупериода (без электрической коррекции $\tau = 7,0$). Дальнейшее возрастание α приводит к еще более ярко выраженному результату: при $\alpha = 0,35$ $\tau = 6$ (при отсутствии коррекции $\tau = 9,9$). Аналогичная тенденция наблюдается и при $A = 0,5$ (случай «короткого» цилиндра). При $\alpha = 0,15$ длительность сигнала τ уменьшается от 12 полупериодов до 6,8; при $\alpha = 0,25$ – от 15,8 до 6,6; при $\alpha = 0,35$ – от 20 до 6,5.

Стоит отметить, что применение электрической цепи с оптимально подобранными параметрами способствует увеличению амплитуды излучаемого сигнала примерно на 20...25 %.

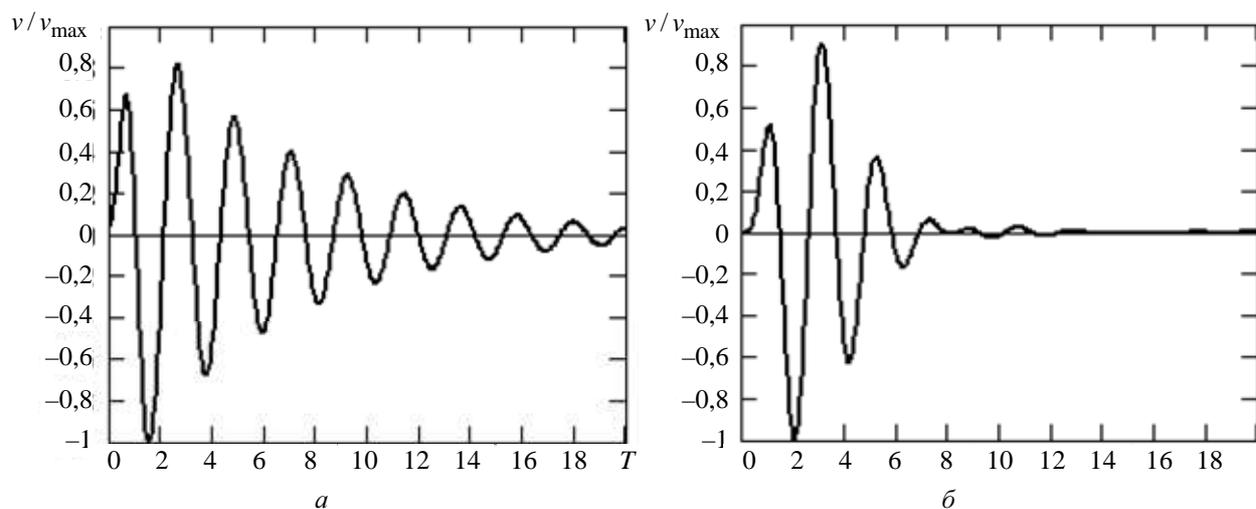


Рис. 2

На рис. 2 в качестве примера положительного воздействия корректирующей цепи с оптимально подобранными параметрами представлен вид акустических импульсов, излучаемых цилиндром, имеющим $A = 0,5$ и $\alpha = 0,25$. При этом рис. 2, а соответствует случаю отсутствия электрической коррекции, а рис. 2, б – ее применению. По осям абсцисс отложено безразмерное время T , по осям ординат – нормированные к единице значения колебательной скорости в импульсе v/v_{\max} . Видно, что длительность импульса может быть уменьшена примерно в 2,4 раза.

Таким образом, с помощью численного расчета исследован импульсный режим работы тонкостенного цилиндрического преобразователя при его нагрузке на воду. Показано, что правильный подбор параметров корректирующей цепи позволяет существенно снизить длительность излучаемых акустических импульсов. При этом с ростом относительной толщины стенки цилиндра эффект воздействия цепи на длительность сигнала является более выраженным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Сокращение длительности импульса пьезоизлучателя при различных вариантах включения компенсирующих RL -цепей // Дефектоскопия. 2008. № 5. С. 79–87.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Возможность излучения многослойным преобразователем короткого импульса в твердую среду при использовании демпфирования или электрической нагрузки // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. № 3. С. 64–72.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Импульсный режим работы пьезоизлучателя с корректирующей RL -цепочкой // Акуст. журн. 2008. Т. 54, № 4. С. 682–685.
4. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние электрической нагрузки на длительность акустического импульса, излучаемого пьезопластиной // Акуст. журн. 2004. Т. 50, № 1. С. 129–130.
5. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование возможности получения короткого акустического импульса при подключении индуктивно-резистивной цепи на вход излучателя, нагруженного на твердое тело через контактный слой // Дефектоскопия. 2004. № 11. С. 15–21.
6. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Оптимизация параметров электрической нагрузки пьезопластины для излучения короткого акустического импульса // Дефектоскопия. 2004. № 4. С. 15–19.
7. Шендеров Е. Л. Излучение и рассеяние звука. Л.: Судостроение, 1989.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko

INVESTIGATION OF PULSED MODE OF A THIN-WALLED PIEZOCERAMIC CYLINDER HAVING A CORRECTIVE ELECTRIC CIRCUIT

An electroacoustic transducer in the form of a thin-walled piezoceramic cylinder is considered. The transducer has a corrective electric circuit and is loaded on water. On the base of the method used in a number of preceding papers, pulsed mode of the transducer is investigated. The specific estimates of durations of emitted pulses for different ratios height to diameter of cylinder are obtained. It has been found that under optimal parameters of corrective circuits, substantial decrease of durations of emitted pulses is possible.

Acoustic pulse, piezoceramic cylinder, corrective electric circuit



УДК 541.135.5

Н. Н. Маркузина, И. В. Дмитриева

ЛИТИЙСЕЛЕКТИВНЫЕ ТВЕРДОКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОНОПРОВОДЯЩЕГО ПОЛИМЕРА – ПОИАНИЛИНА

Разработаны литийселективные твердоконтактные электроды на основе полианилина в качестве ионэлектронного трансдьюсера. Исследованы пределы выполнения электродной функции, селективность и стабильность потенциометрического отклика электродов.

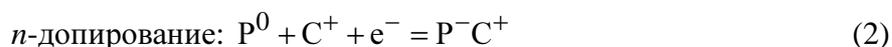
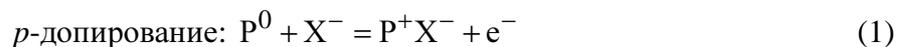
Литийселективные твердоконтактные электроды, электропроводящие полимеры, полианилин, электродная функция, селективность, стабильность потенциала

Для определения качественного и количественного состава растворов используются химические, физические и физико-химические методы анализа. Наиболее распространенным физико-химическим методом анализа является потенциометрический метод, который основан на использовании ионоселективных электродов (ИСЭ). ИСЭ применяются для анализа природных и сточных вод на содержание различных ионов и поверхностно-активных веществ, для контроля жесткости воды, для иных аналитических целей; в фармакологии – при производстве лекарственных препаратов.

На практике часто используют ионоселективные электроды без внутреннего жидкостного заполнения – твердоконтактные электроды (ТКЭ). Такие электроды имеют ряд существенных преимуществ: отсутствие внутреннего раствора прежде всего упрощает транспортировку ТКЭ и позволяет их использовать в военных и полевых условиях. Однако ТКЭ могут проявлять нестабильность электродного потенциала во времени, в связи с чем возникает необходимость проведения калибровки таких электродов перед каждым измерением.

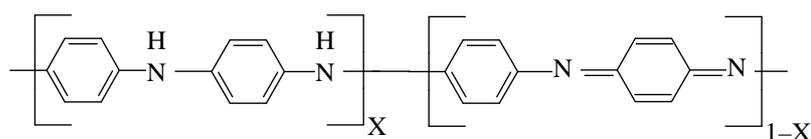
В последнее десятилетие для стабилизации потенциала ТКЭ применяются растворимые электропроводящие полимеры (ЭП). Такие полимеры вводят в состав слоя, промежуточного между мембраной и токоотводом. Электронная проводимость ЭП обусловлена мобильностью делокализованных π -электронов в сопряженной структуре полимера. Электропро-

водящие полимеры становятся электрон-ионными трансдьюсерами¹ в результате процессов допирования², которые схематически можно проиллюстрировать реакциями (1) и (2):



Недопированные ЭП являются полупроводниками с невысоким уровнем проводимости [1]–[3].

В данной работе исследованы литийселективные ТКЭ на основе электропроводящего полимера – полианилина в качестве ионо-электронного трансдьюсера:



Недопированный полианилин в форме emeraldine base (EB) плохо растворим в органических растворителях. Однако полианилин можно допировать функциональными протонными кислотами. Результатом допирования является электропроводящая форма полианилина: emeraldine salt (ES), которая хорошо растворима в некоторых органических растворителях. В данной работе полианилин был допирован ди(2-этилгексил)гидрофосфорной кислотой (ДЭГГФ).

Раствор полианилина в тетрагидрофуране (ТГФ) получали по методике [4], которая заключается в следующем: 0,02 г полианилина в форме EB добавляли к раствору 0,05 М ДЭГГФ в ТГФ (2 мл). В этой смеси молярное соотношение между ДЭГГФ и повторяющейся единицей полианилина было равно 0,5. Смесь оставляли на 3 суток, после чего нерастворимая фракция отделялась путем фильтрации, а растворимая фракция полианилин-ДЭГГФ в ТГФ (полианилин в форме ES) использовалась при изготовлении твердоконтактных электродов.

Литийселективная мембранная композиция имела следующий состав: литийселективный ионофор 1,3,5-трис[(N,N-дициклогексилкарбамил)-метокси]циклогексан в концентрации $5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг, обменник тетрапарахлорфенилборат калия в концентрации $5 \cdot 10^{-3}$ моль/кг (т. е. соотношение литийселективного ионофора и обменника было 1:1), жидкий пластификатор – бис(1-бутилпентил)адипинат. Матрицей мембраны служил поливинилхлорид (ПВХ). Данные компоненты мембраны были растворены в ТГФ.

В данной работе были изготовлены и исследованы три типа литийселективных твердоконтактных электродов:

1 тип ТКЭ: мембрана ТКЭ состояла из двух слоев, последовательно нанесенных на подложку из электропроводящего композита (ЭК) состава ПВХ:сажа:ДОФ = 1:1:0,5. Первый слой представлял собой мембранную композицию, содержащую полианилин, до-

¹ Ионоэлектронный трансдьюсер – соединение, которое обеспечивает обратимый переход от ионной проводимости (здесь – ионоселективной мембраны) к электронной в токоотводе; в данной работе это электронный композит (графитовый стержень).

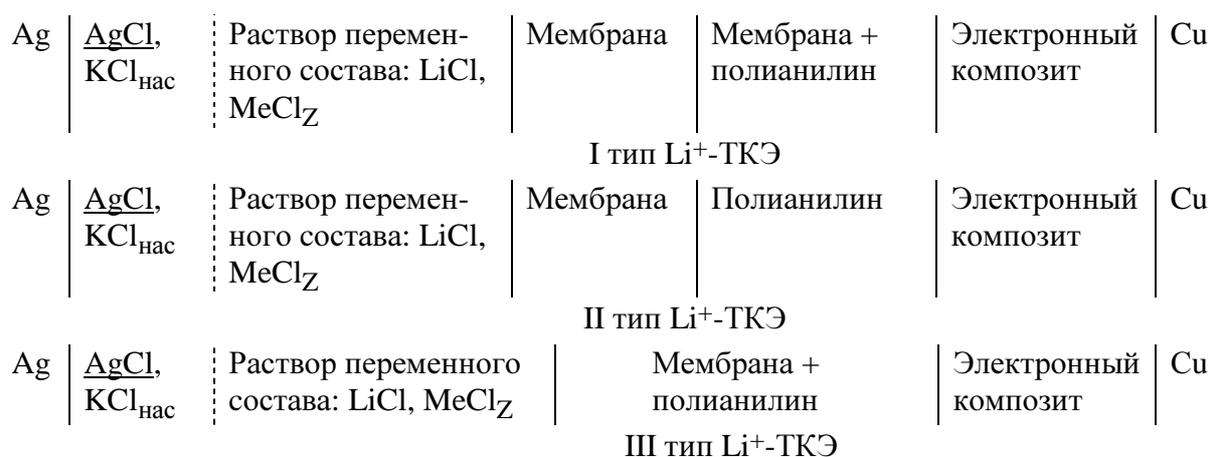
² Допирование – добавление дополнительных веществ в состав полимерной композиции с определенной целью (от слова *dope* – активировать).

пированный ДЭГГФ. При этом полианилин вводили к количеству 1 % (по массе) по отношению к мембранной композиции. Второй слой, контактирующий непосредственно с водным раствором содержал только мембранную композицию.

II тип ТКЭ: мембрана ТКЭ также состояла из двух слоев, при этом внутренний слой содержал только полианилин, внешний – только мембранную композицию.

III тип ТКЭ: мембрана ТКЭ являлась однослойной и содержала мембранную композицию, в которую был введен 1 % допированного полианилина.

Рассмотрим полученные экспериментальные результаты. Прежде всего, в работе была исследована Li^+ -функция всех трех типов ТКЭ в чистых растворах LiCl . Для этого измеряли ЭДС гальванических элементов с переносом, построенных по следующим схемам:



Параллельно для получения сравнительных результатов проводились измерения ЭДС для Li -селективных электродов с внутренним жидкостным заполнением. Полученные данные представлены на рис. 1.

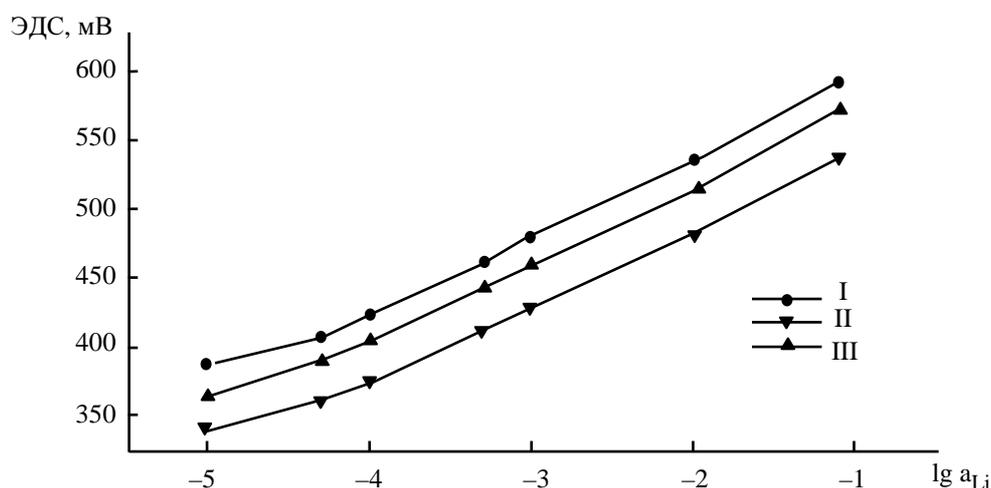


Рис. 1

Видно, что для всех трех типов Li^+ -ТКЭ диапазон Li^+ -функции в чистых растворах LiCl составил $1 \cdot 10^{-1}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а угловой коэффициент – 58...59 мВ/pLi. Такие же результаты были получены и для соответствующих электродов с внутренним жидкостным заполнением. Следует отметить, что электродная функция для электродов типов I и II (с двухслойными мембранами) сохранялась в течение месяца, а для электродов типа III (с од-

нослойной мембраной) начинала ухудшаться уже через 10 суток после замачивания (сокращался диапазон выполнения электродной функции, уменьшался угловой коэффициент, увеличивалось время отклика).

Кроме того, была изучена селективность всех трех типов ТКЭ к литию в присутствии мешающих катионов-конкурентов. Исследование проводили методом бионных потенциалов в растворах соответствующих хлоридов 0,1 моль/л. Коэффициенты селективности ТКЭ ($\lg K_{Li/M}$), рассчитанные по уравнению Никольского, приведены в таблице.

Селективность ($\lg K_{Li/M}$) Li^+ -ТКЭ

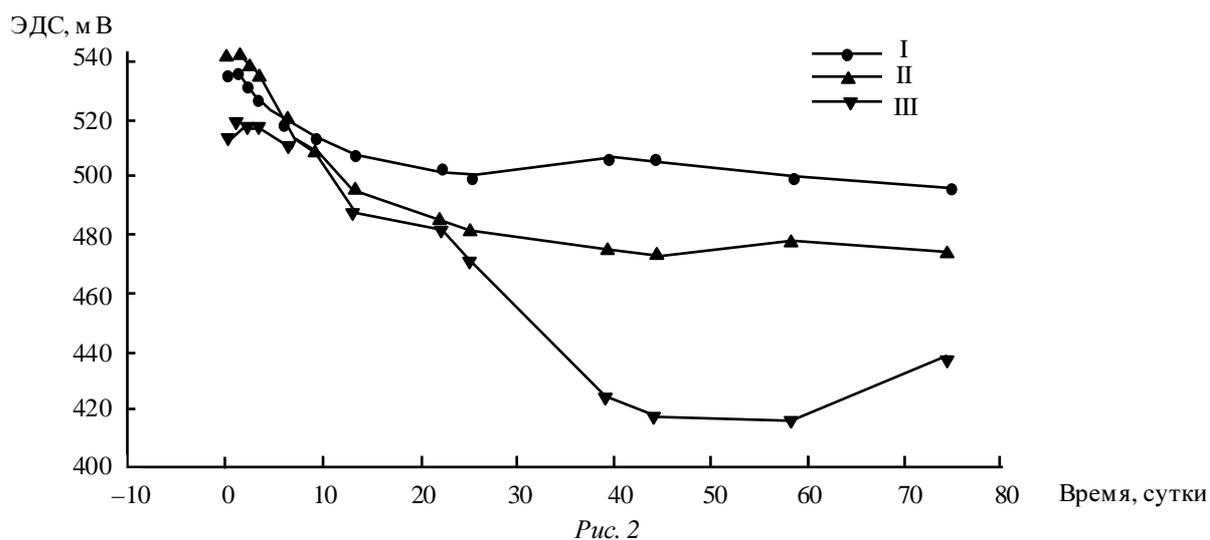
Электрод	$\lg K_{Li/M}$					
	Na^+	K^+	NH_4^+	H^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
I тип ТКЭ	-1,57	-3,17	-3,21	-1,78	-2,23	-2,88
II тип ТКЭ	-1,57	-2,91	-2,83	-1,48	-2,08	-2,5
III тип ТКЭ	-1,47	-2,90	-2,79	-1,28	-2,27	-2,45
Жидкостной электрод	-1,74	-3,51	-3,34	-2,33	-2,48	-3,02

В таблице для сравнения приведены коэффициенты селективности электродов с внутренним жидкостным заполнением. Видно, что все ТКЭ по своей селективности к ионам лития в присутствии ионов натрия, калия, аммония, кальция и магния практически не отличаются от электродов с внутренним жидкостным заполнением. Однако следует отметить, что с течением времени селективность ТКЭ к литию уменьшается. Вероятно, это можно связать с диффузией электродноактивных компонентов из внешнего слоя в подложку, которая содержит пластификатор.

Следует отметить, что все ТКЭ обладают более низкой, по сравнению с соответствующими электродами с внутренним жидкостным заполнением, селективностью к литию в присутствии ионов водорода. По влиянию pH на Li^+ -селективность электроды можно расположить в ряд: жидкостной электрод < I тип ТКЭ < II тип ТКЭ < III тип ТКЭ.

Кроме того, с течением времени селективность всех ТКЭ в системе литий-водород значительно уменьшается. По-видимому, влияние катионов водорода на селективность ТКЭ обусловлена pH-чувствительностью полианилина. Необходимо отметить, что данные результаты согласуются с результатами по калийселективным твердоконтактным электродам на основе полианилина [5].

В ходе работы была исследована стабильность потенциалов твердоконтактных литийселективных электродов в растворах LiCl концентрации 0,01 моль/л. Полученные данные представлены на рис. 2. Видно, что стабильность потенциала зависит от типа ТКЭ. Электроды с однослойной мембраной (III тип) менее стабильны, а электроды с двухслойными мембранами (I и II типы) – более стабильны. Так, для электродов III типа дрейф потенциала продолжался в течение всего времени наблюдения (80 суток), а для электродов I и II типов в первые 20 суток составил 4 мВ/сут, затем стабилизировался.



Таким образом, на основании полученных экспериментальных результатов видно, что лучшими электродными свойствами (Li^+ -функции, селективность, стабильность потенциала) обладают электроды с двухслойными мембранами (типы I и II). Данные твердо-контактные электроды можно рекомендовать для практического использования в различных научных и практических целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivaska A. *Electroanalysis*. 1991. Vol. 3. P. 247–254.
2. All solid-state Poly (vinylchloride) Membrane Ion-selective Electrodes With Poly(3-octylthiophene) Solid Internal Contact / J. Bobacka, M. McCarrick, A. Levenstam, A. Ivaska. // *Analyst*. 1994. Vol. 119. P. 1985–1991.
3. Single-Piece All-Solid-State Ion-Selective Electrode / J. Bobacka, T. Lindfors, M. McCarrick et al. // *Analytical Chemistry*. 1995. Vol. 67, №. 20. P. 3819–3824.
4. *Analytica Chimica / Acta*. T. Lindfors, P. Sjoberg, J. Bobacka et al. // 1999. Vol. 385. P. 163–173.
5. Калийселективные твердоконтактные электроды на основе электропроводящих полимеров / Н. Н. Маркузина, К. Н. Михельсон, Е. В. Молодкина, А. Левенстам // *Журнал прикладной химии*. 2001. Т. 74. Вып. 3. С. 409–412.

N. N. Markuzina, I. V. Dmitrieva

SOLID-CONTACT LITHIUM-SELECTIVE ELECTRODES BASED ON ELECTROCONDUCTIVE POLYMER POLYANILINE

Solid-contact lithium-selective electrodes with polyaniline as an ion-to-electron transducer have been prepared. Electrode properties (dynamic range, response slope, selectivity) have been studied.

Solid-contact lithium-selective electrodes, electroconductive polymer, polyaniline

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОТАКСИСА МИКРООРГАНИЗМОВ КАК ТЕСТ-РЕАКЦИИ ДЛЯ БИОТЕСТОВЫХ СИСТЕМ

Проанализированы современные исследования термотаксиса у биообъектов. Обоснована перспективность термотаксиса как тест-реакции и предложена структура биотехнической системы на основе реакции термотаксиса.

Термотаксис, биотестирование, нематода, амеба, инфузория, прибор, модель

Развитие методов тестирования предполагает системный биологический контроль качества среды после воздействия вредного фактора, что возможно обеспечить расширением круга тест-реакций, отражающих состояние различных подсистем организма, которые обеспечивают его выживание в среде.

Этологические реакции микроорганизмов на основе локомоций, (например, таксисы) позволяют контролировать биологическую вредность факторов.

В области биотестирования водных сред применяются хемотаксис и гальванотаксис инфузорий, основанные на перемещении их популяций под действием градиента химического вещества и разности потенциалов [1], [2].

Данная статья посвящена обзору современных биологических исследований термоэффектов у организмов и выявлению подходов к их моделированию и измерению для применения в качестве тест-реакции при биотестировании качества водных сред.

Температура является одним из факторов, определяющим выживание организма во внешней среде. Важную роль в жизни растений играет *термотропизм* – простейшая этологическая реакция: изгиб растущих частей растений, например кончиков корней или стеблей, в ответ на действие теплового раздражителя; этот эффект подробно описан К. А. Тимирязевым [3]. Особую проблему в микробиологии представляет исследование *термофильных* микроорганизмов: сообществ, развивающиеся в районах современной вулканической активности, которые рассматриваются как аналоги древнейших биоценозов Земли [4]. В настоящей статье основное внимание будет уделено современным исследованиям *термотаксиса* организмов, преимущественно микроскопических размеров, отражающего восприятие ими температурных градиентов, как возможной удобно регистрируемой тест-реакции.

Анализ литературы показал, что исследования термотаксиса проводятся в крупнейших научных центрах ведущих мировых держав. Исследования сконцентрированы на следующих направлениях: изучение механизма нейронных сетей, процесса оплодотворения, факторов развития эпидемий, изучение синергетических процессов, выявление механизмов терморцепции. Специализированные терморцепторы есть лишь у некоторых кровососов типа пиявок, способных обнаруживать жертву по исходящему от нее теплу [5]. Для задач биотестирования важно знать, какие структуры микроорганизмов могут воспринимать изменения температуры, как они управляются и как связаны со структурой многоклеточных организмов.

Изучение механизма нейронных сетей, проводимое на нематодах вида *C.elegans* – круглых червях микроскопических размеров, обитателях бентоса (придонного слоя), объясняется их температурными реакциями [6]. *C.elegans* обладает нейронной сетью из 32 нейронов и эффектом запоминания температуры культивации $t_{cult}^{\circ C}$ (табл. 1).

Таблица 1

Температура	Тип движения нематоды <i>C.elegans</i>
$t^{\circ C} < t_{cult}^{\circ C}$	Не зависит от градиента температуры
$t^{\circ C} \approx t_{cult}^{\circ C}$	Вдоль изотерм
$t^{\circ C} > t_{cult}^{\circ C}$	От температурного градиента (криофилическое)

При воздействии повреждающих факторов на нейронную сеть, путем разрыва связей между нейронами с помощью импульсов инфракрасного лазера фемтосекундной длительности под контролем флуоресцентной микроскопии, температурная реакция нематоды *C.elegans* менялась. Это позволяет изучать роль различных видов нейронов в терморегуляции.

Последовательность эксперимента приведена на рис. 1.

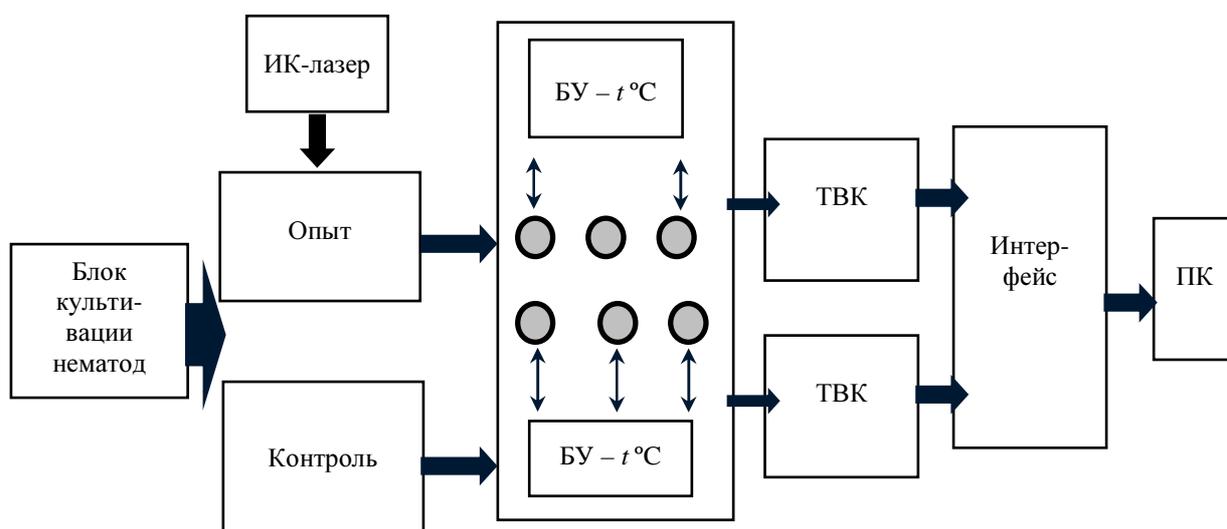


Рис. 1

С помощью блока управления температурой (БУ – $t^{\circ C}$) в чашечках из сапфира, куда помещались нематоды, создавался изменяющийся во времени температурный градиент.

Реакция нематоды фиксировалась с помощью телевизионных камер (ТВК), подключенных через интерфейс к компьютеру (ПК). Обработка изображений проводилась в пакете LabView.

Последовательность обработки изображений показана на рис. 2. Кристофилическое движение характеризовалось более сильными изгибами червя, что позволяло проводить выделение фаз движения.

Сначала подсчитывалось число организмов изменивших положение в теплой и холодной фазах N_w и N_c , по ним рассчитывался термотаксический индекс:

$$K_{TT} = (N_w - N_c) / (N_w + N_c).$$

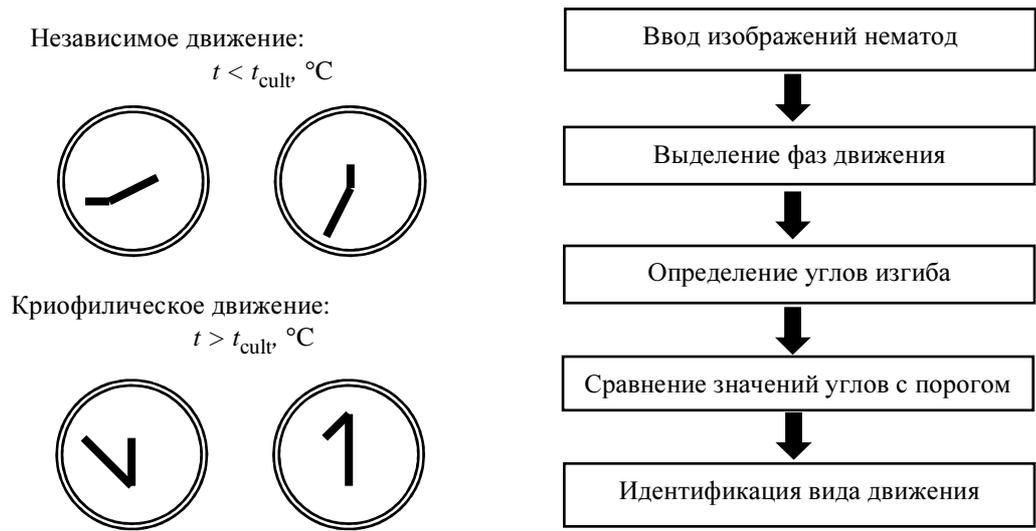


Рис. 2

Исследование термотаксиса сперматозоидов связано со сложной проблемой изучения оплодотворения млекопитающих, а именно того, как клетки сперматозоидов находят яйцеклетку. В [7] сообщается, о свойствах сперматозоидов человека и кролика реагировать на разность температур, которая существует при овуляции между местами оплодотворения и аккумуляции в яйцеводе и обуславливает термотаксис.

Термотаксис как популяционная реакция живого может обусловить массовое развитие эпидемий. В [8] приведена концепция о положительном термотаксисе личинок *O. Si-lantiewi* в качестве пускового фактора азиатской чумы, приводящего к заражению сурков – разносчиков эпидемической инфекции.

Группа работ посвящена термотаксису амёб-слизевиков типа *Dictostellium*, которые проявляют синергетическую самоорганизацию [9]. При недостатке корма амёбы образуют слаг (slug) – единое плодовое тело, перемещающееся по поверхности, с функционально специализированными органами рецепции и движения. Эти организмы описаны в работах Г. Хакена [10].

Миграции слагов направляются температурными градиентами. В результате слаг всегда стремится мигрировать к поверхности почвы, где образует плодовое тело в условиях наилучшего рассеяния спор.

Для моделирования процесса термотаксиса амёб-слизевиков была применена модель клеточного автомата, позволяющая описывать сразу несколько разнородных процессов: агрегации амёб, специализации и ориентации.

Основным элементом модели клеточного автомата являются цифровые часы, состоящие из генератора импульсов и счетчика, который сбрасывается в нуль после Z-отсчетов [11]. В общем виде правило перехода можно представить следующим образом:

$$X^t_i = F\left(X^{t-1}_i, [X^{t-1}_q]\right),$$

где X^t_i – значение определенного параметра i -й ячейки на шаге t , а $\{q\}$ – некоторое множество ячеек, соседних с i -й.

Пространство, где ползает слаг, моделировалось $2D$ клеточным полем. Каждая клетка представляла автомат, т. е. точку сетки, и имела нумерацию PDE. Каждой амebe присваивался идентификационный номер σ , значение $\sigma = 0$ показывает среду. Амеба также помечалась символом τ , который определял тип ее специализации в слагe: $\tau \in \{p, t, a\}$.

Автоматы, окружающие амeбу, т. е. 8 соседних клеток, являлись свободными энергетическими узлами. Величина этих связей зависела от типа клетки, к которой они подключены. Энергетические связи амeб определялись функциями, задающими величину свободной энергии.

Не имея возможности опираться на информацию о специфических температурных рецепторах амeб, авторы работы приняли высказываемую микробиологами гипотезу о том, что температура вызывает изменение концентрации NH_3 – продукта разложения органики. И промоделировали движение слага при разных температурных градиентах, и влиянии температурных шумов, задавая различную чувствительность амeб к NH_3 .

Проблеме выявления специфических рецепторов температуры посвящены работы по изучению термотаксиса мух-дрозофил, у которых выявлялись виды генов, ответственных за передачу способности к термотаксису. Авторами работы [12] для идентификации генов, включенных в механизм температурного ответа, было проанализировано свыше 27 тыс. мутантных видов дрозофилы. В результате было доказано, что дефекты в генах белка, отвечающих за гистаминную сигнализацию, вызывают нарушение температурной реакции. Выявлены пары генов, включающие интерцеребральные нейроны и нейроны циркадных ритмов, существенно влияющие на возникновение термотаксиса. Мутанты с нарушенными гистаминовыми рецепторами характеризуются уменьшенной толерантностью к высоким температурам и повышенной толерантностью к низким. Результаты работ показывают, что гистаминовая сигнализация играет важную роль в управлении толерантностью к низким и высоким температурам.

Большое внимание уделяется изучению термотаксиса инфузорий, особенно инфузории-туфельки – *P. caudatum* [13], [14]. Методами электрофизиологии было показано, что при охлаждении и при нагреве среды с инфузорией была зафиксирована деполяризация мембраны. Результаты экспериментов показали, что *P. caudatum* имеет активируемые теплом и холодом Ca^{2+} -ионные каналы с разной ионной селективностью и кальций-зависимой инактивацией. Характеристики реакции инфузории на холод и тепло приведены в табл. 2.

Таблица 2

$t, ^\circ\text{C}$	Деполяризация мембраны	Проницаемость ионных каналов	Блокирование ионного тока
Тепло	Длительная	$\text{Ca}^{2+}, \text{Ba}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$	Ni^{2+}
Холод	Кратковременная	$\text{Ca}^{2+}, \text{Ba}^{2+}, \text{Sr}^{2+}$	$\text{Co}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$

Исследования терморепции инфузорий открывают новые перспективы в познании механизмов многоклеточных организмов [15]: «Открытие температурно-чувствительных ионных каналов внесло вклад в исследование механизма клеточных ресничек. У парамеций были обнаружены термосенсорные медиаторы (простагландин I_2). Можно предполагать, что термочувствительные нейроны ведут себя как одноклеточные организмы, когда они не способны двигаться: посылают сигналы для интеграции с другими такими же клетками всего организма для нормализации изменяющийся температуры внешней среды и сохраняя информацию о температурной топографии».

Собранная информация об исследовании термотаксиса позволяет сделать вывод о ее распространенности у многих видов живого, экологической значимости и взаимосвязи механизмов термотаксиса одноклеточных и многоклеточных организмов. Это дает возможность обоснования возможности применения данной реакции в качестве тест-реакции для создания биотестовой аппаратуры контроля водных сред. Имеющаяся техника весьма сложна для целей экологического биомониторинга, она предназначена для биофизических исследований.

Биотехническая система биотестирования водных сред на основе реакции термотаксиса может быть представлена структурой, приведенной на рис. 3, где П – проба, ТО – тест-объект, ТР – тест-реакция, БФТР – блок формирования тест-реакции, БУТ – блок управления температурой, К – кювета, УКР – устройство контроля реакции, О-И – оператор-исследователь.

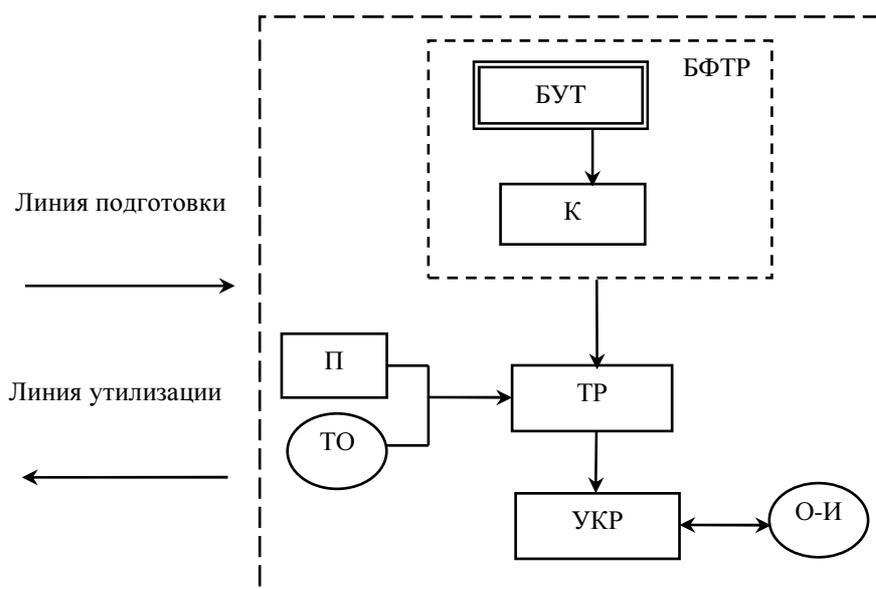


Рис. 3

В заключение можно сделать вывод, что в целом данная БТС может быть представлена как модификация биотестовой системы с источником внешних стимулов физиологической нагрузки, где в качестве тест-объекта может применяться инфузория-туфелька, тест-реакция термотаксиса которой отражает важные свойства структур многоклеточных организмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров И. С., Пожаров А. В., Папутская Н. И. Качество воды – качество жизни // Мониторинг. М.: 1995. № 1. С. 6–9.
2. Биотехническая биотестовая система с использованием реакции гальванотаксиса / Захаров И. С., Пожаров А. В., Ковалевская А. С., Голядкин С. В. // Изв. СПбГЭТУ Сер. «Биотехнические системы в медицине и экологии». 2005. Вып. 1. С. 44–48.
3. Тимирязев К. А. Жизнь растения. М.: Научгиз, 1936.
4. Экология микроорганизмов: Учебник / Е. А. Бонч-Осмоловская, В. И. Горленко, М. В. Иванов и др.; Под ред. В. А. Нетрусова. М.: ИЦ «Академия». 2003.
5. Фабри К. Э. Основы зоопсихологии. М.: «Российское психологическое общество». 1999.
6. The role of the AFD neuron in *C.elegans* thermotaxis analyzed using femtosecond laser ablation / S. H. Chung, D. A. Clark, C. V. Gabel et al. // BMC Neuroscience. 2006. P. 7–30.
7. Bahat A., Eisenbach M., Tur-Kaspa I. Perioviulatory increase in temperature difference within the rabbit oviduct // Human reproduction. 2005. Vol. 20, № 8. P. 2118–2121.
8. Сунцов В. В., Сунцова Н. И. Чума. Происхождение и эволюция эпизоотической системы. М.: КМК, 2006.
9. Marée A. F. M., Panfilov A. V., Hogeweg P. Migration and Thermotaxis of *Dictyostelium discoideum* Slugs, a Model Study // Journal of theoretical Biology. 1999. № 199. P. 297–309.

10. Хакен Г. Синергетика. М. 1980.
11. Беркович С. Я. Клеточные автоматы как модель реальности: поиски новых представлений физических и информационных процессов / Пер. с англ. М.: Изд-во МГУ, 1993.
12. Histamine and its receptors modulate temperature-preference behaviors in *Drosophila* / S-T. Hong, S. Bang, D. Paik et al. // *Journal of Neuroscience*. 2006. Vol. 26, № 5 July. P. 7245–7256.
13. Inoue T., Nakaoka Y. Cold-sensitive responses in *Paramecium* membrane // *J. Membr. Biol.* 1996. Vol. 154, № 2 Nov. P. 163–167.
14. Imada C., Oosawa Y. Thermorecognition of *Paramecium*: Different Ca²⁺ channels were activated by heating and cooling // *J. Membr. Biol.* 1999. Vol. 168, № 3. P. 283–287.
15. K. E. Cooper *Molecular Biology of Thermoregulation* // *J. Appl. Physiol.* 2002. Vol. 92. P. 1717–1724.

I. S. Zakharov, S. V. Golyadkin

PERSPECTIVES OF APPLYING MICROORGANISMS' THERMOTAXIS AS BIOASSAY FOR BIOTEST SYSTEM

Modern investigations of thermotaxis are analyzed. Perspectives of thermotaxis bioassay are founded. Structure of biotest system with thermotaxis bioassay are developed.

Thermotaxis, bioassay, nematode, ameba, infusoria, device, model

УДК 519.22

Г. Р. Насырова

ДИАГНОСТИКА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ ВИБРАЦИИ ОПОРЫ

Группой специалистов разработан аппаратно-программный комплекс для диагностики опорно-двигательного аппарата человека по сигналам вибрации опоры. При исследовании с помощью разработанного комплекса человек не имеет контакта с измерительной аппаратурой. Комплекс позволяет оценить параметры естественной походки человека путем обработки сигналов вибрации опоры, по которой он проходит. В статье представлена методика применения указанного комплекса.

Опорно-двигательный аппарат, аппаратно-программный комплекс, методика диагностики, вибрация, параметры походки

Нарушения работы опорно-двигательного аппарата (ОДА) человека являются одной из серьезных медицинских проблем в настоящее время. Количество людей, страдающих заболеваниями ОДА, непрерывно растет. В настоящее время от заболеваний ОДА страдает в среднем 20 % населения, после 55 лет процент возрастает до 80 %. Более того, с каждым годом неуклонно возрастает число больных и инвалидов с нарушениями функций ОДА в молодом трудоспособном возрасте, что приводит к тяжелым последствиям как для отдельных людей, так и для общества в целом. Таким образом медицинская проблема перерастает в социальную.

Лечение любого заболевания наиболее эффективно при ранней диагностике. В области лечения врожденной или приобретенной патологии ОДА особое место занимает проблема диагностики нарушений его функций, важнейшей из которых является функция движения. Вместе с тем, на сегодняшний день, по имеющейся у автора информации, в России отсутствуют адекватные и доступные средства диагностики двигательной функции пациента в целом и его ходьбы в частности. Зарубежная аппаратура имеет слишком высокую стоимость для ее широкого применения. Разработка недорогой отечественной системы для диагностики состояния ОДА человека является чрезвычайно актуальной.

Группой специалистов, включая автора статьи, был разработан аппаратно-программный комплекс для диагностики патологий ОДА человека. Человек проходит по опоре (например, полу). Опора вибрирует. Сигналы вибрации опоры регистрируются трехкомпонентными акселерометрами, передаются в компьютер, где оцениваются их параметры, связанные с признаками патологий, формируется вектор признаков патологии ОДА. Решение о патологии принимает врач.

Принципиальная новизна работы в том, что разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет оценить параметры естественной походки человека путем обработки сигналов вибрации опоры, по которой он проходит. Пациент не имеет контакта с измерительной аппаратурой. Одно из достоинств данного комплекса в том, что он, в отличие от существующих на сегодняшний день комплексов, не требует для своей реализации дорогостоящего оборудования. Комплекс изображен на рис. 1, где 1 – акселерометры; 2 – коммутационный блок; 3 – устройство сбора данных; 4 – персональный компьютер.

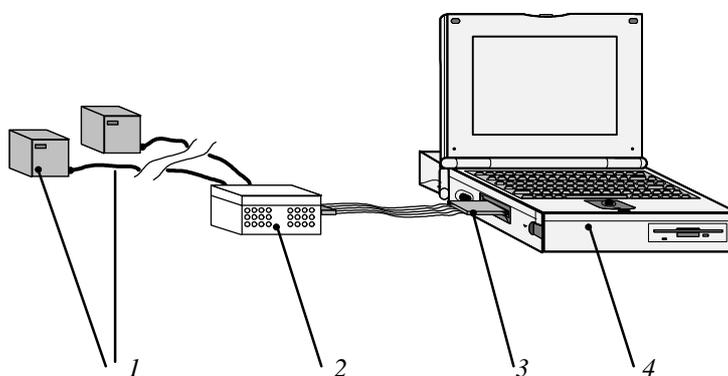


Рис. 1

Статистический анализ позволяет выделить вектор параметров сигналов, которые имеют наибольшую статистическую связь с параметрами походки и связаны с признаками патологии [1]. Автором статьи найдено соответствие параметров походки, используемых для диагностики патологий, параметрам сигналов реакции опоры, зарегистрированных акселерометрами.

Диагностическими признаками при нарушениях походки являются временные, динамические и пространственные параметры походки. Все они находят свое отражение в параметрах сигналов реакции опоры и переходят в параметры сигналов [2].

Для автоматизации процессов регистрации и обработки сигналов разработаны и отлажены программы ввода сигналов вибрации опоры, зарегистрированных акселерометрами; программы предварительной обработки и визуализации как исходной, так и обработанной информации в виде, удобном для сравнительного анализа; программы оценки параметров сигналов и расчета характеристик походки.

Методика применения аппаратно-программного комплекса для диагностики патологий опорно-двигательного аппарата человека должна учитывать особенности как решаемой задачи, так и принципа работы комплекса.

Исследования, проводимые с помощью комплекса, могут быть разделены на несколько этапов.

Первый этап – *подготовка помещения и аппаратуры.*

Помещение, в котором проводится эксперимент, должно иметь минимальный уровень внешних шумов. Во время проведения записи сигналов необходимо исключить любые резкие звуки.

Размер помещения выбирается не менее 15–20 м в длину и 2 м в ширину. Такой размер обусловлен необходимостью получения статистически устойчивых оценок. Покрытие пола должно иметь хорошие вибрационные свойства. Акселерометры устанавливаются на расстоянии 1,5–3 м друг от друга вдоль линии прохода в шахматном порядке. Расстояние выбирается исходя из необходимого отношения сигнал/шум и зависит от вибрационных свойств опоры (пола). Количество акселерометров в комплексе зависит от решаемой задачи.

Второй этап – *подготовка пациента.*

Одежда пациента должна исключать возникновение посторонних звуков при проходе.

До начала исследования врач инструктирует пациента о том, как он должен идти: естественной походкой, в конце прохода остановиться и ждать команды окончания записи, после чего ему можно вернуться.

Третий этап – *регистрация сигналов реакции опоры во время прохода пациента и запись их в компьютер.*

Время регистрации прохода пациента составляет 10–20 с. в зависимости от длины прохода. После регистрации запись сигнала необходимо просмотреть – разработанное программное обеспечение позволяет это сделать. Если во время проведения записи произошли какие-либо сбои, то проход необходимо повторить. В результате проведенных исследований будет сформирована база данных, включающая в себя фамилии пациентов, все медицинские данные, дату и время проведения исследования, записи сигналов.

Четвертый этап – *анализ полученных данных.*

В процессе этой работы с помощью специального программного обеспечения производится оценка параметров походки и формируется таблица в формате Excel, содержащая информацию о пациенте, номер его истории болезни, параметры его походки за все время обследований. Этот этап может быть проведен в любое удобное для врача время.

По разработанной методике проводилась апробация комплекса в различных медицинских учреждениях, таких как восстановительный центр детской ортопедии и травматологии «Огонек» (г. Стрельна), больница Святого Георгия, Военно-медицинская академия (г. Санкт-Петербург). С помощью разработанного аппаратно-программного комплекса можно диагностировать состояние ОДА как у взрослых, так и у детей.

Одним из применений комплекса является периодическое обследование пациентов для своевременной корректировки проводимого лечения.

Рассмотрим результаты обследования одного из пациентов, полученные с помощью разработанного комплекса. Обследование проводилось 31.03.05, 07.04.05, 28.04.05. Записи сигналов сопровождалась видеосъемкой цифровой камерой, так как это дает дополнительную информацию для оценки параметров ходьбы пациента и расширяет диагностические возможности комплекса. В таблице представлены оценки параметров походки пациента при обследованиях, проводимых в процессе лечения (ДО/ЦШ – отношение двойной опоры к циклу шага; К – коэффициент асимметрии нагрузки; КРХ – коэффициент ритмичности ходьбы).

Параметр походки	Норма	Дата обследования		
		31.03.2005	07.04.2005	28.04.2005
ДО/ЦШ, %	20	16,5	16,8	18,1
К	1	0,94	0,95	0,95
КРХ	1	0,85	0,88	0,9
Темп ходьбы, шаг/с	Индивидуально	1,92	2,03	2,10

Из данных таблицы видно, что в процессе лечения параметры походки стали ближе к норме, что соответствует процессу выздоровления, который наблюдался у данного пациента. Из таблицы видно, что комплекс позволяет отслеживать то, как проходит процесс лечения у пациента. Всего была рассмотрена динамика лечения 58 человек; результаты анализа полученных данных доказывают эффективность применения комплекса для периодического контроля состояния пациента.

Комплекс предполагается использовать как средство диагностики и определения функционального состояния ОДА в качестве инструмента для функциональной диагностики ОДА; средства контроля результатов проведенного лечения и реабилитации; способа оценки качества лечения и степени восстановления патологически измененной функции ОДА; способа оценки результатов операции; средства контроля качества и адекватности протезирования.

Данный комплекс позволит врачу провести диагностику патологии ОДА человека; определить количественные и качественные показатели нарушенной функции; осуществлять периодический контроль проводимого лечения для своевременной корректировки; планировать процесс лечения и реабилитации; прогнозировать результат лечения и оценить результат. Комплекс обеспечивает возможность массового обследования людей в максимально короткие сроки, с небольшими трудовыми и финансовыми затратами при высокой точности результатов обследования.

Комплекс предназначен для использования в больницах, госпиталях, реабилитационных центрах, на предприятиях, занимающихся изготовлением протезов.

Разработанный метод и аппаратно-программный комплекс диагностики ОДА обеспечивают высокую информативность получаемых показателей состояния ОДА пациента; простоту выполнения всех методических приемов по подготовке пациента и технических средств к обследованию. Комплекс не требует для своей реализации дорогостоящего оборудования, поэтому может быть использован в широкой клинической практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974.
2. Скворцов Д. В. Клинический анализ движений. Анализ походки / Научно-медицинская фирма «МБН». М., 1996.

G. R. Nasirova

DIAGNOSTICS STATE OF HUMAN LOCOMOTOR APPARATUS WITH HELP FLOOR VIBRATION SIGNAL

The software and hardware complex for diagnostics state of human locomotor apparatus with help floor vibration signal was developed by the group of specialist. A patient have not contact with measuring system during checkup with help this complex. The complex allowed to determine natural gait parameters properly signal processing of floor vibration. The application methodic of this complex present in this article.

Locomotor apparatus, software and hardware complex, methodic of diagnostic, vibration, gait parameters



УДК 378.1

И. Б. Караулова, Г. И. Мелешкова, Л. Е. Виноградова

ПРОБЛЕМА И КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВОСПИТАНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

В статье рассматривается управление качеством профессионального воспитания студентов и духовно-нравственного развития личности. Предлагается концепция решения указанной проблемы, построенная на основе полимодального мониторинга, проводимого в СПбГУТД. Приводятся требования работодателей к выпускникам. Сформулированы приоритетные направления в системе управления качеством профессионального воспитания студентов.

Управление качеством, мониторинг, профессиональное воспитание, духовно-нравственный потенциал

Основная задача высшего профессионального образования, представленная в Программе модернизации российского образования, законе РФ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования – формирование творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самомотивации, самообразованию и инновационной деятельности. В связи с этим возникает необходимость управления качеством профессионального воспитания и подготовки студентов технических университетов. Эта проблема рассматривается нами как наиболее значимая для понимания всеми участниками образовательного процесса федеральных государственных требований к организации учебно-воспитательной работы, уровню профессиональной подготовки выпускников российских вузов. Одним из оптимальных и наиболее эффективных методов решения названной проблемы является внутривузовский мониторинг образовательного процесса – одна из главных составляющих системы менеджмента качества (СМК) вуза. Следует учитывать, что профессиональное воспитание студентов является обобщающим фактором как для самого учебно-воспитательного процесса, так и для его ближайших и отдаленных результатов.

На настоящий момент федеральные государственные требования к качеству высшего профессионального образования определены изменениями, внесенными в отдельные законодательные акты Российской Федерации: во-первых, «в целях предоставления объединениям работодателей права участвовать в разработке и реализации государственной политики в области профессионального образования»; во-вторых, «по вопросам интеграции образования и науки», и, в-третьих, «в части изменения понятия и структуры государственного образовательного стандарта» (№ 307-ФЗ, 308-ФЗ, 309-ФЗ, приняты Государственной думой 13–14 нояб. 2007 г., одобрены Советом Федерации 23 нояб. 2007 г., утверждены президентом Российской Федерации В. Путиным 1 декаб. 2007 г., № 309-ФЗ опубликован в Российской газете 5 декаб. 2007 г.). Сущность закона Российской Федерации «Об образовании» в новой редакции заключается в том, что федеральные государственные требования к учебно-воспитательному процессу в системе российского непрерывного образования предъявляются ко всем его этапам и звеньям; к обучающим и обучающимся; к содержанию и формам; к документации, обеспечивающей образовательные технологии (от федеральных государственных образовательных стандартов до календарных графиков и методических материалов каждого преподавателя); к инновационно-педагогической деятельности профессорско-преподавательского состава, основанной на современных достижениях научного знания; и к конечному результату – выпускнику вуза. Кроме того, информация, необходимая для управления качеством профессионального воспитания студентов, содержится в Постановлении правительства РФ от 14 февр. 2008 г. № 71 «Об утверждении Типового положения об образовательном учреждении высшего профессионального образования». Следует отметить, что современная политика в системе качества российского высшего образования направлена на то, чтобы научно-педагогическое сообщество выработало правила, по которым должна жить высшая отечественная профессиональная школа.

В перестроечный период – 90-е г. XX в. – преподаватели-новаторы, несмотря на социально-экономические потрясения, успешно разрабатывали и внедряли в учебный процесс авторские образовательные технологии, нетрадиционные формы и методы обучения, неклассическую социологию и постклассическую дидактику, теоретико-методологические обоснования инновационной педагогической деятельности; в вузах стали разрабатываться и внедряться системы менеджмента качества образования [1], [2]. Профессорско-преподавательский корпус российских вузов и научно-педагогические сообщества продолжали обмениваться опытом посредством публикаций и выступлений на международных и всероссийских конференциях, съездах, конгрессах, симпозиумах. По нашему мнению, флагманами в вопросах управления качеством профессионального воспитания специалистов в Петербурге являются Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), Международный банковский институт (МБИ), Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна (СПГУТД) [3], [4].

Как показал опыт последнего десятилетия развития российских университетов, обеспечение только профессиональной подготовки выпускников вуза не гарантирует успеха, во-первых, в достижении искомого педагогического результата и целей инновационных технологий, во-вторых, в реализации планов развития национальной экономики и реше-

нии социальных задач в сфере государственной политики, направленной на сохранение и накопление человеческого капитала с его природным (биологическим), духовно-нравственным, интеллектуальным и сугубо профессиональным потенциалом. Мониторинг трудоустройства и успешности трудовой деятельности выпускников вуза показывает, что высокий профессионализм не является достаточным условием для решения кризисных ситуаций в развитии российского общества и безопасности жизнедеятельности его граждан. Реально перед всеми участниками высшего профессионального образования, включая университетское, встает проблема интеграции здорового образа жизни, духовно-нравственного развития и профессионального становления личности. Поскольку профессиональное воспитание – это основная педагогическая задача более высокого уровня, чем профессиональная подготовка, то в системе университетского образования в целом и профессиональной подготовки в частности необходимо найти психолого-дидактические, социально-акмеологические, нравственно-этические, правовые и экономические механизмы, позволяющие при условии своего гармонического сочетания обеспечить развитие обучающегося как личности и субъекта деятельности с накоплением и реализацией его физического, интеллектуального, духовно-нравственного, гражданского и профессионального потенциалов. Каждый участник учебно-воспитательного процесса в системе российского университетского образования должен понимать и уметь развивать вышеназванные основы своей индивидуальности, ее востребованности и самореализации. Индивидуальное и общественное понимание человеческой сущности позволяет организовать учебно-воспитательный процесс на качественно новом уровне, соответствующем современной государственной политике в системе непрерывного российского образования, включая высшее профессиональное.

Как правило, подготовка специалистов в технических университетах осуществляется с учетом следующих требований работодателей:

- без длительного запаздывания включиться в практическую деятельность фирм и компаний;
- уметь работать в команде;
- продемонстрировать хорошие навыки межличностного общения;
- легко, успешно общаться (устно и письменно);
- уметь взять на себя ответственность за выполнение определенной работы;
- исполнять свои обязанности эффективно;
- обеспечивать личный вклад в развитие фирм и компаний.

Исследования, проводившиеся в СПГУТД на основе анализа результатов обратной связи с выпускниками и работодателями, а также данных информационных источников, показали необходимость наличия у выпускников следующих параметров в общей структуре профессионализма личности:

- теоретических знаний;
- практических/профессиональных навыков и умений, знания всей технологической цепочки и воздействия изменений на конечный продукт;
- экономических знаний;
- владения вопросами безопасной жизнедеятельности;
- уверенности выпускника в том, что он владеет профессионально важными личностными качествами и коммуникативными навыками.

Современные федеральные государственные требования к высшему профессиональному и непрерывному образованию мотивируют профессорско-преподавательский состав и администрацию университетов к созданию инновационных образовательных технологий, конечная цель которых – обеспечение высокого качества выпускника вуза как личности, субъекта деятельности и индивидуальности (с психолого-дидактической позиции), профессионала, гражданина и свободного человека с глубоким чувством ответственности, рационализма и достоинства (с социально-этической, правовой и экономической позиций).

В отечественной педагогике проблема воспитания человека в системе образования с учетом природных основ психики сформулирована и раскрыта великим русским педагогом К. Д. Ушинским в его трудах, включая уникальную книгу «Человек как предмет воспитания». Основное достижение и научное предвидение нашего великого соотечественника заключается в детальном и системном обосновании антропологического принципа как руководства к искусству воспитания человека с его профессиональными и гражданскими качествами [5]. К сожалению, великий педагог и ученый из-за тяжелой болезни не успел написать третий том своей фундаментальной работы, а именно: «Духовное воспитание человека». Однако научное предвидение русским педагогом значимости духовно-нравственного начала в человеке для его гражданского и профессионального становления приобрело в настоящее время в системе высшего профессионального образования особую актуальность. Спустя 100 лет после выхода в свет работы К. Д. Ушинского «Человек как предмет воспитания», выдающийся ученый-психолог XX столетия Б. Г. Ананьев в 1968 г. опубликовал свою монографию «Человек как предмет познания». В своих лекциях, публичных выступлениях и научных публикациях он неоднократно подчеркивал колоссальное значение трудов К. Д. Ушинского для развития не только отечественной, но и европейской педагогики, включающей в себя антропологию как самостоятельную естественнонаучную дисциплину и основу теории воспитания. Это было особенно важно для педагогов и психологов, так как труды К. Д. Ушинского в XX в. не переиздавались и незаслуженно были забыты.

Многоуровневый подход к познанию психики человека, предложенный Б. Г. Ананьевым, так же, как и антропологический принцип К. Д. Ушинского в создании теории и совершенствовании искусства воспитания, имеет неопределимое научно-практическое значение для развития системы российского образования и обеспечения качества образовательных процессов на самом высоком уровне. Рассматривая человека как субъект деятельности, Б. Г. Ананьев дал основу не только психологам и педагогам, но и всем современным специалистам помогающих профессий и всем, кто работает в образовательных системах, для понимания механизма объединения культурно-исторического и антропологического принципов в решении вопросов воспитания студентов и как профессионалов, и как духовно-нравственных граждан Отечества [6]. Неслучайно в кризисной социокультурной ситуации в России, сложившейся в начале XXI в. вслед за экономическим кризисом, возрос интерес социума к познанию биологических и духовно-нравственных особенностей человека, включая его субъектные свойства. В системе высшего профессионального образования данный интерес проявляется в инновационно-педагогической и организационно-методической деятельности всех участников образовательного процесса: например, в формировании и утверждении новых педагогических и медико-биологических направлений, инновацион-

ных систем, парадигм, технологий и методов самопознания, в частности, таких как педагогика понимания, педагогика сотрудничества, психологическая, медико-биологическая и социокультурная безопасность образовательной среды, интерактивные методы обучения, развития и воспитания, субъективная семантика, адаптивно-развивающие образовательные модели, эдукологическая аксиология. Однако огромный объем научной информации и интенсивность научно-педагогической деятельности профессорско-педагогического состава и администрации вуза сами по себе не являются факторами качества воспитания и профессиональной подготовки участников образовательного процесса в российских университетах. Нам представляется, что приоритетными направлениями в управлении качеством профессионального воспитания студентов являются следующие моменты:

- психолого-дидактическое обеспечение обучающихся средствами развития активности в целях формирования самомотивации, самореализации и самовоспитания на основе знаковых систем с разработкой их смыслового значения. Источниками информации и научными предпосылками для решения этого вопроса могут быть данные субъективной семантики, моделирование знаний, академическая риторика, использование закономерностей развития способностей к построению внутреннего диалога и формированию умений представить свои знания и индивидуальные качества в социуме, теория представления знаний, композиционные построения занятий, опирающиеся на интеллектуальные и духовно-нравственные потребности студента и его психоэмоциональное состояние [7], [8];
- организационно-методическое обеспечение внедрения во все формы учебно-воспитательного процесса (индивидуальные, поточные, групповые) интерактивных методов;
- материально-техническое обеспечение реализации инновационных образовательных технологий.

На основе анализа учебно-воспитательного процесса в СПГУТД службой качества и сотрудниками Управления по воспитательной работе со студентами, включая психологов, предлагаются следующие критерии духовно-нравственного воспитания студентов:

- научное обоснование феноменов духовности и нравственности в образовательном процессе, представленное в концепциях и программах воспитания студентов;
- ориентация всех участников образовательного процесса на такие источники знаний о духовности и нравственности человека, как наука, художественная литература, произведения искусства, религия, культурно-исторический опыт социума, индивидуальные мнения авторитетных участников образовательного процесса;
- наличие антропологического и культурно-исторического принципов в проектах инновационных систем воспитания;
- профессиональная компетентность преподавателей в вопросах духовно-нравственного воспитания студентов;
- многоаспектное психологическое консультирование в вузе;
- наличие психологической службы профессионального образования и психолого-акмеологического мониторинга;
- наличие аудиторного фонда, оснащенного аудиовизуальными средствами и дидактическими материалами, необходимыми для реализации интерактивных методов в учебно-воспитательном процессе;

- наличие службы качества в вузе как коллективного эксперта по оценке и управлению качеством образования, включая профессиональное и духовно-нравственное воспитание обучающихся;

- мнение всех участников образовательного процесса об эффективности и качестве систем и мероприятий духовно-нравственного воспитания.

Данная концепция и программа ее реализации построена на основе фактического материала полимодального мониторинга, организованного в СПГУТД 10 лет назад и включающего в свою структуру три составляющие: мониторинг трудоустройства выпускников и профессионального становления личности студента, мониторинг профессионализма преподавателей и лонгитюдный мониторинг социально-акмеологических параметров всех участников образовательного процесса университета, отражающих академическую и профессиональную успешность, уровень развития и самореализации личности, здоровьесбережение в коллективе. Для реализации разработанной программы в университете в 2007 г. создано Управление по воспитательной работе со студентами, в состав которого входит Центр социально-психологической и акмеологической службы СПГУТД на организационно-функциональных началах. Управление проводит большую работу по профилактике появления деструктивных форм поведения и деградации нравственности в студенческой среде. В университете реализуются музыкальный, театральный, выставочный проекты, участвуя в которых студенты имеют возможность реализовать свои организаторские и творческие способности. Большое внимание уделяется участию студентов университета в донорском движении, эта работа также дает возможность проведения позитивной профилактики асоциального поведения. В университете активно действует студенческий совет как форма студенческого самоуправления. Привлечение студентов для участия во всех мероприятиях, проектах, событиях жизни университета имеет большое воспитательное значение, помогает студентам реализовать свой потенциал и приобрести навыки, которые помогут им в ближайшем и отдаленном будущем.

В соответствии с федеральными государственными требованиями к системе высшего профессионального образования и выпускникам российских университетов, с одной стороны, и данными внутривузовского полимодального мониторинга, с другой, экспертами вместе с профессорско-преподавательским корпусом предлагаются и корректируются правила и критерии оценки учебно-воспитательного процесса и результатов воспитания выпускников высших учебных заведений. Эти критерии выполняют диагностическую, контролирующую, ориентирующую и стимулирующую функции в развитии внутривузовской системы менеджмента качества, то есть тех правил, по которым должны жить российские университеты.

Примером управления качеством профессионального воспитания и подготовки специалиста на новом уровне является организация учебно-воспитательного процесса на основе разработанной в СПГУТД совместно с факультетом дизайна и искусств университета Де Монтфорт, Великобритания, совместная магистерская образовательная программа «Дизайн костюма с элементами мерчендайзинга». Программа была успешно валидирована университетом Де Монтфорт в марте 2007 г., то есть содержание, методика преподавания, система менеджмента качества программы признаны соответствующими требованиям Британской стороны. Подготовка магистров по совместной программе – новый этап в подготовке дизайнера костюма высшей квалификации.

Образовательная цель этой магистерской программы – сформировать специалиста высшей квалификации, способного на высоком профессиональном уровне вести творческую, исследовательскую работу и обладающего знаниями в области компьютерного проектирования, навыками успешного продвижения товаров на рынке, навыками ведения деловых переговоров, в том числе с иностранными партнерами, что будет обеспечено свободным владением английским языком. Учебный план магистерской программы включает в себя дисциплины, которые гармонично и всесторонне формируют студента как специалиста-дизайнера, способного не только проектировать, но и обладающего необходимыми знаниями в области маркетинга, менеджмента, мерчендайзинга. Дисциплины учебного плана программы учитывают, что дизайнер в соответствии с позиционированием брэнда на рынке должен уметь планировать общую визуальную концепцию марки, образ сезонной коллекции, разрабатывать ассортиментные линии и работать в сотрудничестве с конструкторами и технологами. В учебный план включены усиленные курсы английского языка, блок экономических дисциплин, введены курсы дисциплин, способствующие более легкой адаптации молодого специалиста на предприятии.

Система менеджмента качества (СМК) совместной образовательной программы учитывает требования федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности «Дизайн костюма», требования к аккредитации и лицензированию программы и требования к валидации магистерской образовательной программы в Великобритании.

Документы СМК образовательной программы включают следующие компоненты: учебный план программы, оформленный с использованием кредитно-модульной системы, описывающий содержание программы, сформулированные образовательные цели программы и образовательные результаты; рабочие программы по дисциплинам учебного плана, оформленные по специальным формам; экзаменационную процедуру; руководство для студента, которое представляет собой справочно-поисковую систему по организации учебного процесса на программе; положение о внешнем экзаменаторе; положение о системе оценки компетенций студентов.

Основными параметрами контроля качества программы являются требования к поступающим на обучение, требования к портфолио (совокупности представленных творческих работ поступающего), процедура приема студентов на обучение по программе, требования к преподавателям, работающим в программе, процедура приема преподавателей. В программе предусмотрено расширение перечня дисциплин, по которым проводятся письменные экзамены, активное внедрение института оценки деятельности (peer review) преподавателя коллегами, оценки работы студентов студентами, тьюторства (системы индивидуальных консультаций) и др. Обучение по программе будет вестись с использованием интерактивных методов, предполагается, что конкретные заказы предприятий студенты будут выполнять в качестве своих курсовых и дипломных работ [9]. Совместная магистерская образовательная программа «Дизайн костюма с элементами мерчендайзинга» позволит воспитать специалиста, обладающего профессиональными и коммуникативными компетенциями, необходимыми для работы на современном производстве, сформировать чувство ответственности, творческий подход к делу, ориентировать на успешную деятельность и профес-

сиональную самомотивацию. Приобретенные за время учебы знания позволят выпускнику программы стать востребованным на рынке труда специалистом, успешно реализовать свой личностный, интеллектуальный и духовно-нравственный потенциал. Таким образом, наш опыт взаимодействия с зарубежными коллегами может помочь вузам в решении проблемы управления качеством профессионального воспитания выпускника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев С. И., Субетто А. И. Основы неклассической социологии // Новые тенденции развития культуры социологического мышления на рубеже XX–XXI веков. Барнаул: Изд-во АРНЦСОРАО, 2000.
2. Ашнин Н. М., Мелешкова Г. И., Калинина Т. Н. Основы неклассической дидактики в системе высшего технического образования: Учеб.-методич. пособие. СПб.: СПГУТД, 2003.
3. Мат. XIV междунар. конф. «Современное образование: содержание, технологии, качество»: В 2 т., Санкт-Петербург, СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 23 апр. 2008 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2008.
4. Тр. V науч. междунар. конф. «Управление качеством в современном вузе». 21–22 июня 2007 г. Вып. 5. СПб.: Изд-во МБИ, 2007..
5. Ушинский К. Д. Педагогические сочинения: В 6 т. / Редкол.: Н. И. Кондаков (гл. ред.) и др.; АПН СССР. М.: Педагогика, 1988–1990.
6. Ананьев Б. Г. Человек как предмет познания. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1968.
7. Харзеева С. Э. Адаптивно-развивающее обучение естественнонаучным дисциплинам в техническом университете: Монография. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2001.
8. Кроль В. М. Психология и педагогика: Учеб. пособие для техн. вузов. М.: Высш. шк., 2001.
9. Караулова И. Б., Новоселов Г. А. Система менеджмента качества валидированной образовательной программы // Мат. XII междунар. конф. «Современное образование: содержание, технологии, качество». Т. 1. Санкт-Петербург и СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 20–21 апр. 2006 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2006. С. 126–128.

I. B. Karaulova, G. I. Meleshkova, L. E. Vinogradova

PROBLEM AND CONCEPTION OF QUALITY MANAGEMENT OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS' PROFESSIONAL EDUCATION

The paper deals with the problem of quality management of undergraduates' professional education and spiritual and moral development of their personality. Authors propose a conception of this problem solving which is based on the data of polymodel monitoring that takes place at their University. The requirements of employers to university graduates are given in the article. Priority trends in quality management of students' professional education are formulated by authors.

Quality management, monitoring, professional education, graduates' competence, spiritual and moral potential



УДК 65.011

О. М. Байкова, В. В. Яценко

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Состоит из двух блоков, первый из которых содержит обзор и анализ основных литературных изданий, посвященных сбалансированной системе показателей, а второй – предложения по преодолению выявленных в первом блоке затруднений.

Сбалансированная система показателей, инструменты менеджмента качества, внедрение ССП, применение инструментов менеджмента качества, выбор показателей, установление целевых значений

Сбалансированная система показателей (ССП) на сегодняшний день является одним из самых цитируемых подходов к реализации стратегии компаний. Описанию этой методологии посвящено огромное количество изданий, однако большинство из них, включая те, которые описывают самостоятельное внедрение ССП, по ряду причин не могут быть применены в качестве практического руководства. В настоящей статье дается обзор и анализ основных литературных изданий, посвященных сбалансированной системе показателей [1]–[6], а также предложен подход к преодолению затруднений, встречающихся при внедрении ССП.

В статье проведен сравнительный анализ двух, по мнению авторов, наиболее характерных для ССП библиографических источников – [1] и [2]. Первый был выбран для анализа, так как является первоисточником данной методологии, а второй – является русскоязычным переводом с немецкого книги компании «Horváth & Partners». Последний, в свою очередь, рассматривает ССП уже через призму более чем десятилетнего опыта внедрения системы компаниями. Далее рассматриваются аспекты, присущие каждому из источников, затрудняющие, по мнению авторов, внедрение ССП в практику компаний.

Разработка ССП, предложенная Нортонем и Капланом. Первое, что бросается в глаза при изучении книги Нортон и Каплана [1], это то, что практически полностью она посвящена описанию четырех перспектив ССП и пользе, приносимой ССП в компанию. Сама по себе система сбалансированных показателей действительно полезна для реализации стратегии. Отрицать это невозможно, особенно с учетом ее широчайшего распростра-

нения по всему миру и результатов, достигнутых с ее помощью компаниями. Основным объектом изучения и анализа приводимого в статье явилась не сама система, а этапы ее разработки и внедрения собственными силами компании, но об этом чуть позже.

Огромное внимание авторов книг по ССП уделено успешному внедрению системы в многочисленных организациях различных отраслей. Однако только в конце книги [1] на десяти страницах (почти из 300) указана последовательность самостоятельного внедрения ССП. Конечно, в этом есть некоторый смысл – дать поработать коллегам-консультантам, потому что, хотя книга и претендует на то, чтобы быть помощником при самостоятельном построении ССП, практически это сделать невозможно.

Рассмотрим все этапы внедрения системы подробно.

Рекомендованный подход внедрения в своей основе содержит последовательную разработку целей перспектив, начиная с проекции «Финансы» и заканчивая «Потенциалом». В этом все источники, посвященные ССП, схожи между собой, и это действительно разумно. Но как только подходит к концу глава с описанием той или иной перспективы и уже описаны ее основные универсальные цели, можно было бы ожидать связующего звена, а именно предложения какого-либо, хотя бы одного, инструмента для преобразования или согласования целей с целями последующей перспективы. По мнению авторов статьи, момент перехода от одной перспективы к последующей может вызвать наибольшие трудности и ошибки при построении системы, однако именно этот переход так старательно избегается авторами ССП. Наиболее ценным указанием авторов [1] можно счесть то, что каждая компания должна разработать собственные цели, показатели и мероприятия для реализации своей уникальной стратегии. Возникает вопрос: как, даже если в компании нет недостатка с креативными менеджерами, идеями и предложениями, отсеять из их многообразия те двадцать стб́ящих, которые будут реализовывать все – от работников до топ-менеджеров? Только в одиннадцатой главе [1] предложено использовать корреляционный анализ для оценки стратегии и ее реализации при помощи ССП. Но когда система построена, существует огромное многообразие средств для оценки ее эффективности, однако перед этим ее надо создать. Тот же корреляционный анализ стоило предложить еще на стадии выявления взаимосвязей целей как внутри одной перспективы, так и между соседними перспективами, не говоря уже о том, что состояние современных информационных технологий позволяет накапливать и проводить сиюминутный многомерный анализ самых разнообразных данных (например, системы OLAP).

Только в приложении [1] описано, как построить и внедрить сбалансированную систему показателей собственными силами. Рассмотрим более подробно это приложение.

• Во-первых, необходимо **определить структуру показателей**. Недостатком описания данного этапа является отсутствие анализа стратегии как подготовительного этапа построения и внедрения системы, что может не только препятствовать реализации стратегии, но и погубить фирму, в случае если принятая стратегия не соответствует условиям функционирования компании. Перед тем как определять структуру показателей, необходимо тщательно проанализировать саму стратегию. Для этого можно было бы воспользоваться, например, *самооценкой*, построить *диаграмму «паутина»* или провести сравнительный *бенчмаркинг*, *анализ силового поля*. Забегая вперед, отметим, что в книге [2] этот момент проработан намного лучше.

● На втором этапе надо *достичь согласия относительно стратегических целей*. На данном этапе команде по внедрению призван помочь первый тур собеседований. Архитектор проекта должен предварительно собрать сведения о данной отрасли промышленности и конкурентной среде, в том числе о тенденциях рынка, предложениях конкурентов, предпочтениях клиентов и технологических достижениях. К сожалению, авторы просто перечисляют эти подготовительные этапы, не предлагая воспользоваться устоявшимися для подобных случаев методами. К ним также можно было бы отнести *диаграмму «паутина», матричную диаграмму, а также бенчмаркинг и анализ силового поля*. Помимо этого, сама по себе процедура каскадирования ССП проработана очень поверхностно – авторы лишь указывают на его необходимость. В данном случае может легко возникнуть ситуация непонимания или незнания требований отдела-потребителя отделом-поставщиком. В результате в обоих отделах возникает огромное количество ненужной работы. Этого с легкостью можно было бы избежать, применив *матричную диаграмму* на всем этапе построения целей от перспективы «Финансы» до перспективы «Потенциал», включая дальнейшее каскадирование.

● В качестве следующего этапа предложена очередная, на этот раз *итоговая конференция*. В данном случае было бы уместным использование следующих инструментов: *диаграмм аффинности, взаимосвязей, возможно диаграммы Исикавы, картирования зависимостей*.

Для выбора приоритетных направлений здесь своевременным и актуальным мог бы стать такой метод, как *диаграмма Парето*, хотя, безусловно, она требует соответствующих исходных данных. Вместо обычного голосования можно было бы также предложить использовать *метод номинальных групп* или *диаграмму сродства*, возможно, *гистограмму, тестирование критериев*.

Наиболее важным недостатком этого этапа, в частности, и вообще всей системы согласования и постановки целей является *отсутствие критериев и ограничений для указания целевых значений*. В данном случае подразумевается, что полностью отсутствует упоминание о необходимости корректной работы с процессами и их стабильностью. При постановке целей авторы ни разу не ссылаются на то, что поставленные цели могут быть недостижимыми для существующей системы. В результате персонал либо окажется перегруженным, либо снизится мотивация. В худшем случае произойдет и то и другое. В книге Нортон и Каплана не было сказано ни слова о том, что при постановке целей не стоит забывать о реальных возможностях своей системы, ее процессов.

● Следующий этап построения системы посвящен *выбору и разработке показателей*. И опять авторы предлагают использовать для этого совещания, семинары и метод «мозгового штурма», что, впрочем, практически одно и то же. Сама последовательность действий, описанная в [1], «просит» применить такие инструменты, как *анализ коренной причины, диаграмму Исикавы и граф связей, матричную диаграмму, FMEA*, не говоря уже о *корреляционной диаграмме*.

Ситуацию предложено спасти «*опытному архитектору*», но где его найти, если мы впервые строим систему? Остается только приглашать специалиста. Только тогда возникает вопрос: зачем руководителю тратить свое драгоценное время на изучение данной книги? – проще пригласить знающего все консультанта, пусть он и внедряет систему, дик-

тует что делать. Комментируя данную ситуацию, обратимся к книге компании [2], в которой разработка BSC, делегированная третьим лицам, рассматривается как один из факторов, существенно затрудняющих внедрение и использование ССП.

● Пропуская этап информирования персонала о принятых решениях, перейдем к последней стадии – после формирования плана реализации необходимо **«интегрировать ССП в общую концепцию менеджмента компании и разработать информационную систему для поддержки ССП»**. Только если представить себя на месте руководителя, которому на стол положили стратегическую карту и все необходимые сопутствующие документы, становится не совсем ясно – а дальше-то что с этим делать? Слово «интеграция» привычное, но ее реализация – задача ни чуть не проще разработки самой ССП, а вероятно, даже сложнее. Разработка информационной системы, подходящей именно данной компании, также является проектом, сравнимым с построением и внедрением ССП.

Подводя итоги, хотелось бы отметить, что предложенные в основном к использованию методы «мозгового штурма», семинаров и прочие, в соответствии с Б. Андерсеном, относятся к одной из завершающих стадий в процессе совершенствования, а отнюдь не к этапам разработки.

Модель построения сбалансированной системы показателей, предложенная компанией «Horváth & Partners». Книга [2], начиная с оглавления, отличается от предыдущей в положительную сторону – во второй главе сразу дано краткое описание предлагаемых этапов построения ССП и их сути. Такой подход позволяет изначально структурировать для себя последующую информацию. Также сразу дается ссылка на применение диаграмм корреляции. В отличие от Нортон и Каплана, авторы [2] сразу указывают на то, что *«принципиальная сложность определения целевого значения того или иного показателя состоит в том, чтобы найти реально достижимый уровень»*. Однако ссылки на статистическое управление процессами, которое могло бы дать четкий ответ, опять нет. Поднятая проблема конфликта целей остается нерешенной. Хотя использование таких инструментов как *структурирование функции качества*, а в частности его «крыши», могло бы проиллюстрировать данную проблему и помочь выбрать компромиссное решение для конфликтующих целей. Также в выборе целей могли бы помочь *тестирование критериев и матрица показателей*.

Предложенный авторами подход в целом имеет следующую последовательность: 1) принципиальное выяснение стратегии, ее агрегирование до так называемой базовой стратегической ориентации; 2) разработка стратегических целей; 3) определение показателей, присвоение им целевых значений; 4) разработка стратегических мероприятий. В дальнейшем анализ [2] будет производиться в последовательности, предложенной авторами модели.

● *На первом этапе* компании предстоит: 1) определить архитектуру BSCЖ; 2) построить проектную организацию (группу); 3) организовать работы по выполнению проекта; 4) проработать аспекты информации, коммуникации и участия; 5) стандартизировать и информировать о методах и содержании персонал; 6) проанализировать критические факторы успеха.

Первые три мини-этапа подробно не рассматриваются, так как они неплохо укладываются в стандартные функции проектного менеджмента. Для них можно было бы воспользоваться диаграммами *«проблема-решение»* и *«план-сетка»*.

На этапе организации работ по выполнению проекта также предложено использовать SWOT-анализ, технику портфельного анализа, анализ жизненного цикла, анализ ключевых компетенций и/или анализ создания ценности. К указанным методам могли бы быть добавлены такие инструменты, как *самооценка* и *анализ силового поля* для наглядности.

● *Этап 2 – проведение стратегического анализа.* Хотя в содержании главы и заявлены к описанию методы проведения стратегического анализа, практически они обнаружены не были. В лучшем случае к ним можно отнести таблицу с возможными стратегическими концепциями. Косвенно, ссылки на какие-либо методы можно найти, подробно изучив рисунок с требованиями к информации при разработке ССП.

При оценке стратегии в шесть шагов стоит использовать такие средства, как *контрольные листы* и *гистограммы* для обработки и представления результатов структурированных интервью, а также *диаграммы сродства* и «*паутину*», *тестирование критериев*, *матрицу показателей*, результаты самооценки.

Модель достижения удовлетворенности клиентов или модель Кано предложено использовать для анализа стратегии. Однако для структуризации требований потребителей и их перевода в технические требования нужно использовать *матричную диаграмму*.

При выборе стратегии предлагается оценить разработанные варианты при помощи как количественных, так и альтернативных параметров. Только инструменты для такой оценки, к сожалению, не указаны. В данной ситуации имеет смысл вспомнить, к примеру, про Парето-оптимальные решения и вообще про принятие решений в условиях неопределенности.

● *Этап 3 – разработка BSC,* состоит: из определения стратегических целей, построения причинно-следственных связей, выбора показателей, установления целевых значений показателей и определения стратегических мероприятий. Именно этот этап и подвергся наибольшей критике.

Авторы [2] предлагают определять стратегические цели в ходе внутрифирменного семинара. По мнению авторов [2], на семинаре можно лишь обсуждать и согласовывать уже тщательно подготовленные и обоснованные цели. В данном случае метод разработки предложений приравнен «мозговому штурму», что полностью лишает его какого-либо подкрепления фактическими данными и структурированности. Просто необходимыми здесь являются такие инструменты как *матричная диаграмма* и *матрица показателей*, *диаграмма «портфолио»* и *диаграмма сродства*, *тестирование критериев*, возможно применение *FMEA* при определении показателей и установлении целевых значений.

Далее переходим к построению стратегической карты. Главное на этом этапе – выявить существующие и предполагаемые связи между целями. Для этого опять организуется семинар. В данном случае к инструментам авторы отнесли физические вещи, такие как проектор, «пиннборд» и т. п. К методам же были причислены различные варианты определения целей. Разница между ними заключалась в последовательности определения связей как между перспективами, так и внутри них. В любом случае, эта ситуация может привести к победе мнения более влиятельного в компании человека, а не к победе истины. С точки зрения инструментов, рассматриваемых в данной статье, это не имеет большого значения. Далее существует ненавязчивая ссылка на применение корреляционного анализа, но ни слова более. В то же время, здесь прекрасно могли бы подойти *диаграмма взаимосвязей* и *графы связей*, *диаграмма Исикавы*; *анализ коренной причины* и *картирование взаимосвязей*.

Даже если остановиться на семинаре как способе определения связей, то нужно применять методы, нивелирующие ранговые различия между участниками, такие как метод номинальных групп, метод анкетирования Кроуфорда. Не стоит забывать и о том, что наилучший результат может принести совместное и последовательное применение методов. Так, данные анкетирования можно преобразовать в контрольные листы, затем в гистограмму и диаграмму Парето.

Корреляционные диаграммы также помогут сосредоточиться на действительно сильных связях, которые должны быть отражены на стратегической карте.

После выявления причинно-следственных связей можно приступить к выбору показателей. Предлагаемые методы снова призывают использовать семинар, к которому либо следует готовиться, либо нет. Другие, предлагаемые для использования на том же семинаре, методы отсутствуют.

Метод «мозгового штурма» для генерации идей новых показателей и способов их получения, по мнению авторов статьи, именно здесь является наиболее ценным, однако авторы [2] про него не упоминают. В данном случае актуальными также являются анализ коренной причины и матричная диаграмма, которая может подсказать многие показатели.

Последующий этап – *определение целевых значений*. Так же, как и в книге Нортон и Каплана, этот раздел вызывает наибольшее количество вопросов и нареканий. На данном шаге полностью отсутствует работа с процессами. Для постановки целей рекомендовано использовать сравнительные величины, такие как данные настоящего и прошлого периодов, данные бенчмаркинговых исследований, результаты опросов. Если компания не работает с процессами и не имеет представления об их характере и вариациях, то анализ трендов ничего не сможет ей дать [4]. Вмешательство в стабильный процесс и невмешательство в нестабильный может лишь ухудшить ситуацию. Только после того, как процесс настроен (работа над особыми причинами) и уменьшена его вариабельность (работа с общими причинами), можно ставить для него какие-либо цели по улучшению.

Возвращаясь к изначальной теме, можно видеть, что разработать стратегические мероприятия авторы [2] рекомендуют на внутрифирменных совещаниях и семинарах. Складывается впечатление, что это единственный способ решения любых проблем и задач. Вспомним, что решения необходимо принимать на основе фактов, которые могут появиться в результате применения различных методов и инструментов на том же семинаре. Так, разработка мероприятий может быть, во-первых, параллельна выработке целей – все зависит от «высоты полета», во-вторых, идеи могут рождаться даже при построении причинно-следственной диаграммы. Диаграмма Парето, выявившая наиболее важные проблемы, может указать на возможные способы решения. Древовидная диаграмма и диаграмма «проблема-решение» помогут спланировать разработанные мероприятия.

• *Этап 4 – управление каскадированием* будет оставлен без отдельных комментариев, поскольку каждая компания самостоятельно выберет для себя наиболее подходящие формы и методы каскадирования. Среди недостатков источника отметим полное отсутствие инструментария. Однако на данном этапе стоило бы воспользоваться матричной диаграммой, что позволило бы четко сформулировать взаимные требования различных отделов и структур.

Последний этап построения модели проработан авторами [2] достаточно подробно, поэтому в данной статье он рассмотрен не был. Единственное, что здесь можно отметить, это спорность положительного эффекта от привязки системы мотивации к ССП.

Таким образом, были проанализированы два источника, посвященных описанию ССП, и выявлены существующие в них недостатки.

Представленная таблица соответствует модели разработки системы, предложенной компанией «Horváth & Partners». Содержащаяся в ней информация структурирует предложенные способы устранения выявленных недостатков подходов к созданию ССП при помощи указанных инструментов. Более подробно остановиться на применении каждого предлагаемого инструмента не позволяет формат настоящей статьи.

Инструмент	Этап разработки ССП				
	Определение целей в области качества	Построение стратегической карты	Выбор показателей	Определение целевых значений	Разработка стратегических мероприятий
Анализ коренной причины		+	+		
Бенчмаркинг	+			+	
Гистограмма		+			
Граф связей		+			
Диаграмма «паутина»	+			+	
Диаграмма взаимосвязей		+			
Диаграмма Исикавы	+	+	+		+
Диаграмма корреляции		+			
Диаграмма Парето		+			
Диаграмма «проблема-решение»					+
Диаграмма сродства	+	+	+		
Древовидная диаграмма					+
Картирование взаимосвязей		+			
Контрольный листок		+			
Линейный график				+	
Матрица показателей	+				
Матричная диаграмма	+		+	+	
FMEA анализ			+		
Метод номинальных групп			+		
«Мозговой штурм»	+		+		
Самооценка	+		+		
SPC	+		+	+	
Тестирование критериев	+				

Далее в качестве примера будет описано применение диаграммы Исикавы и афинности для преобразования положений политики компании в ее цели на примере СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Этап определения целей в области качества повторяется от начала до конца ровно столько раз, сколько перспектив выделено в организации. В настоящей статье применение инструментов будет описано только один раз.

Итак, цели в области качества должны быть тесно связаны, сформулированы в соответствии с политикой организации в области качества. Рассмотрим, как диаграмма Исикавы поможет выстроить цели организации в соответствии с данным требованием.

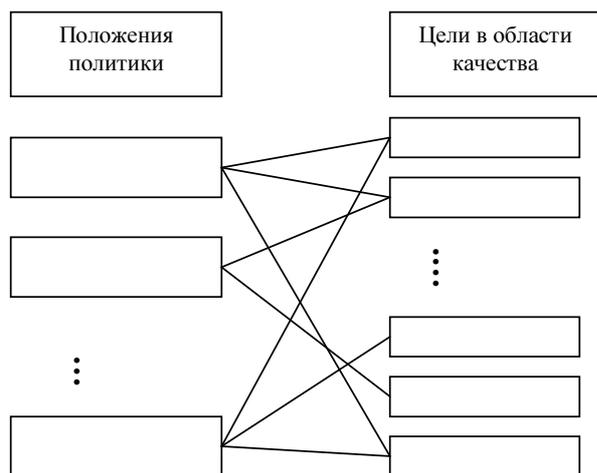


Рис. 1

Каждому положению политики может соответствовать несколько целей в области качества, способствующих его реализации. Графически это может быть отображено в форме, представленной на рис. 1.

Возьмем одно из положений политики – «повысить имидж вуза» и построим для него диаграмму Исикавы. Все возможные причины и способы повышения имиджа вуза формируются в процессе мозгового штурма. Окончательный вид диаграммы представлен на рис. 2. В данном случае было рассмотрено только одно положение политики, поэтому все возможные причины

достаточно обозримы, но даже на их примере можно показать, каким образом их можно структурировать и сгруппировать при помощи *диаграммы сродства* (аффинности).

Диаграмма аффинности предназначена:

- для организации утверждений в группы близких по смыслу;
- выработки формулировки требований, полноценно заменяющих собой всю группу или ее часть;
- перехода от начальной совокупности утверждений к значительно меньшей по объему, но состоящей из существенно различающихся между собой требований.

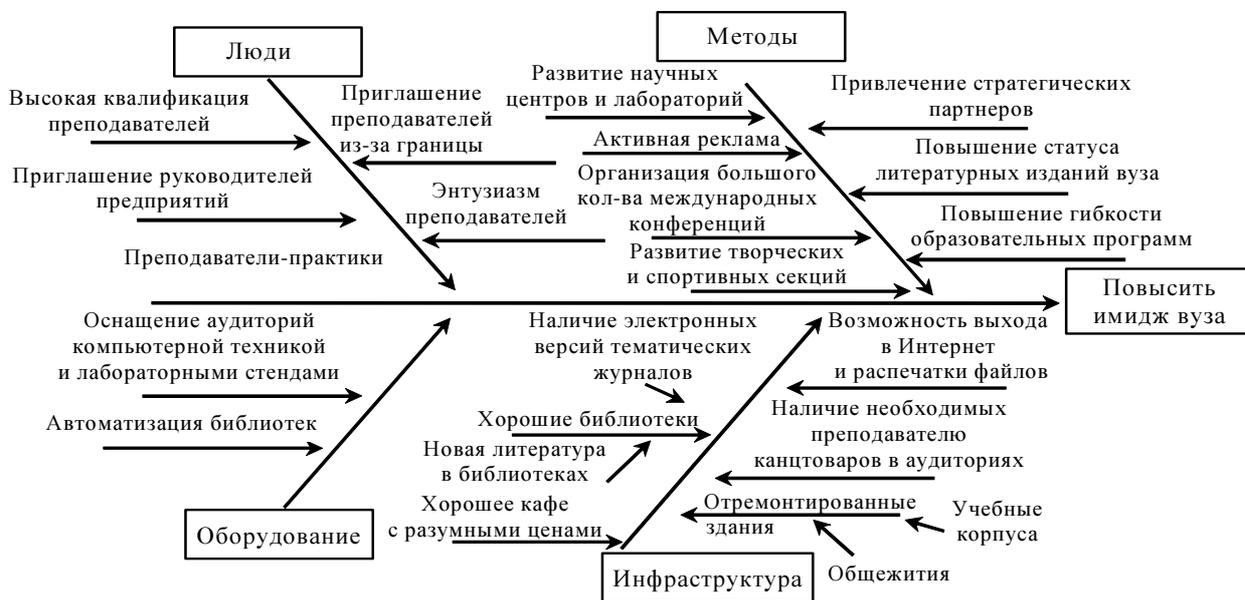


Рис. 2

В данном случае результат построения диаграммы сродства представлен на рис. 3.

В дальнейшем с помощью диаграммы аффинности цели в области качества будут распределены по перспективам сбалансированной системы показателей. На следующей диаграмме несколько изменена формулировка целей – она преобразована либо в сочетание «глагол + существительное», либо в глагольный оборот, в соответствии с требованиями к формулировке целей по модели ССП (рис. 4).



Рис. 3



Рис. 4

Как можно видеть из рис. 4, две перспективы остались незаполненными. Это произошло в результате того, что было рассмотрено только одно положение политики. При рассмотрении всех положений, несомненно, наполняемость перспектив повысится. В то же время некоторые из целей перспективы «Процессы» могут быть на этом шаге продублированы в перспективе «Гарантии качества/социальная ответственность». В дальнейшем они останутся лишь в той перспективе, к которой они после дальнейшей проработки (определения показателей и целевых значений) относятся в большей степени.

Таким образом, авторами настоящей статьи на конкретном примере было проиллюстрировано, как рассмотренные существующие недостатки разработки и внедрения ССП организацией могут быть нивелированы при помощи хорошо известных инструментов менеджмента качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. – 2-е изд., испр. и доп. / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2004. – 320 с.: ил.
2. Внедрение сбалансированной системы показателей / Horváth & Partners; Пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 478 с. – (Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций»).
3. Андерсен Бьёрн. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Пер. с англ. С. В. Ариничева; Науч. ред. Ю. П. Адлер. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 272 с., ил. – (Серия «Практический менеджмент»).
4. Нив Генри Р. Пространство доктора Деминга: Принципы построения устойчивого бизнеса / Генри Р. Нив; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 370 с.
5. Толкач В. От «счетчика гороха» к внутрифирменному советнику с помощью системы Balanced Scorecard [Электронный ресурс] – www.ipm.by/pdf/Peach_calc.pdf.
6. Коробков А. Balanced Scorecard – показатели эффективности вместо финансовых коэффициентов [Электронный ресурс] – <http://balancedscorecard.ru>.

O. M. Baikova, V. V. Yaschenko

IMPLEMENTATION OF QUALITY MANAGEMENT TOOLS IN BALANCED SCORECARD

The article consists of two parts. First one is dedicated to the books survey and analysis and second one contains suggestions on how to overcome difficulties discussed in the first part.

Balanced scorecard (BSC), quality management tools and implementation of them, BSC implementation, indicators selection, goal-setting

УДК 339.187

А. М. Ефимов, С. В. Салкуцан

УПРАВЛЕНИЕ МАРКЕТИНГОМ В КАНАЛАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Проанализированы существующие подходы к управлению каналами распределения, выявлены их недостатки. Предложен собственный подход к управлению каналами распределения, целесообразность которого показана.

Управление маркетингом, канал распределения, стратегия, динамическое соответствие целей, планирование, отбор участников, мониторинг, оптимизация

Вопросам организации системы распределения заслуженно отводится одно из наиболее важных мест в планировании маркетинга организации, но подавляющее большинство исследователей отмечают стандартные очевидные этапы построения канала, не предлагая каких-либо конкретных методов и подходов для решения задачи организации канала на каждом из предлагаемых этапов (рис. 1).



Рис. 1

В специализированной литературе большое количество авторов высказывают свое мнение относительно порядка организации и способа управления каналами распределения. Однако детальное изучение печатных изданий показало наличие всего нескольких специальных методов (табл. 1), основы предложений [1]–[6]:

Таблица 1

Методы управления каналом распределения

Авторы и основные элементы методов						
Штерн	Розенблум	Берман	Котлер	Винкельманн	Ролницки	Горчелс
Обзор существующих наработок, исследование каналов	Формулирование проблемы, которая должна решаться посредством будущей структуры канала	Формирование целей каналов	Анализ требований клиентов по отношению к продуктам и услугам	Определение формы продажи	Определение нового рынка или нового товара	Как соотносится общее направление деятельности компании с задачами канала распределения
Изучение существующей системы реализации товаров	Определение цели, достижение которой осуществляется посредством формирования канала	Оценка ширины и глубины каналов; изучение типов промежуточных требований	Формирование целей и ограничений, связанных с каналами	Определение торговых организаций	Подтверждение необходимости создания нового или реорганизации существующего канала	Определение требований к каналу и его охвату рынка
Мастерские/интервью, посвященные существующим каналам	Формирование набора задач, реализующих поставленную цель	Оценка рынка, продуктов компании и промежуточных факторов, влияющих на протяженность канала	Выявление главных опций каналов	Управление сбытом с помощью систем CRM, CAS	Оценка общей ситуации на рынке и анализ конкурентных каналов сбыта	Разработка структуры канала
Проведение анализа каналов конкурентов	Формирование и оценка альтернативных структур канала	Распределение заданий между участниками канала	Оценка главных опций каналов		Исследование и ранжирование потребностей покупателей/конечных потребителей	Выбор подходящих партнеров по каналу
Оценка ближайших возможностей существующих каналов	Окончательный выбор оптимальной структуры канала	Выбор конкретных ресейлеров для каналов	Выбор, наблюдение и контроль за партнерами по каналу		Выделение и ранжирование задач, которые должны решать партнеры по каналу	Определение взаимных ожиданий относительно результатов деятельности
Разработка плана действия на ближайшее время	Оценка и отбор участников	Пересмотр структуры каналов			Исследование всех возможных каналов системы дистрибуции	Повышение эффективности канала
Проведение качественного анализа потребителей, их требований					Выбор лучших партнеров по каналу	Мониторинг деятельности канала и его корректировка
Анализ отраслевых аналогов и формирование «идеальной» системы каналов					Обеспечение поддержки в своей корпорации	
Анализ несоответствий и разработка стратегических решений					Обеспечение контакта с wybranнми дистрибьюторами, разработка и подписание соглашений с ними	
Формирование оптимальных каналов					Осуществление мониторинга и оценки структуры канала сбыта	

- метод Луиса Штерна и др.¹ [5];
- метод Берта Розенблума [4], [6];
- метод Барри Бермана;
- подход Филиппа Котлера [1];
- подход Петера Винкельманна;
- метод Кеннета Ролницки [2];
- метод Линды Горчелс и др.² [3].

Анализ представленных методов управления каналами распределения показал наличие ряда недостатков:

- 1) отсутствие анализа пригодности участников и работоспособности структуры в динамике;
- 2) отсутствие мониторинга в системе распределения;
- 3) стандартные этапы решения любой проблемы без учета особенностей систем распределения;
- 4) недостаточная определенность процесса создания канала;
- 5) не прописаны механизмы по отбору участников в соответствии с целями канала (нет взаимосвязей целей и критериев).
- 6) отсутствие практической направленности предложений.

В результате проведенного исследования была разработана модель управления каналом распределения, представленная на рис. 2.

В качестве преимуществ разработанной модели можно выделить следующие:

1. Последовательность шагов является более полной, так как была разработана после тщательного изучения уже существующих моделей. Она включает дополнительные действия, которые анализируются с помощью статей и других источников. К данной последовательности шагов добавлены некоторые инструменты экономической теории, транзакционных издержек, трансфертного ценообразования, не применяемые в других моделях планирования.

2. В данной модели выделяется этап анализа способа организационно-правового взаимодействия с участниками каналов.

3. Предлагаемая модель учитывает:

- а) потребности канала в целом, что не характерно для многих моделей;
- б) требования конечных потребителей и посредников к каналу.

4. Предлагаемая модель организует структуру канала и отбирает участников с первоочередной ориентацией на потребности конечного потребителя, что делает весь канал более конкурентоспособным.

5. Данная методика направлена на снижение дисбаланса между отдельными участниками канала в вопросе распределения прибыли/рентабельности участников.

¹ Луис В. Штерн, Адель И. Эль-Ансари, Энн Т. Кофлан.

² Линда Горчелс, Эд Мариен, Чак Уэст.



Рис. 2

Таким образом, разработанная модель предлагает новый взгляд на существующую специализированную литературу и может быть использована в предпринимательских структурах, разрабатывающих структуру распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент / Пер. с англ.; Под ред. Л. А. Волковой, Ю. Н. Каптуревского. СПб.: Питер, 2002.
2. Ролницки К. Управление каналами дистрибуции / Пер. с англ. М.: Добрая книга, 2006.
3. Горчелс Линда, Мариен Эд, Уэст Чак. Управление каналами распределения. М.: Издательский Дом Гребенникова, 2005.
4. Управление продажами: Учебник / Д. И. Баркан; Высшая школа менеджмента СПбГУ. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007.
5. Штерн Льюис В., Эль-Ансари Адель И., Кофлан Энн Т. Маркетинговые каналы / Пер. с англ. 5-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002.
6. Rosenblom В. Marketing Channels. Fort Worth: The Dryden Press, 1995.

A. M. Efimov, S. V. Salkutsan

MARKETING MANAGEMENT IN DISTRIBUTION CHANNELS

This research contents analyses of existing approaches to a distribution channel management, imperfections of these methods are detected. New approach to a distribution channel management is offered. Expediency is approved.

Marketing management, distribution channel, strategy, dynamic objectives conformity, planning, participant selection, monitoring, optimization



УДК 621(091)

*К 150-летию со дня рождения
изобретателя радио А. С. Попова*

ДОКЛАД А. С. ПОПОВА «О ТЕЛЕГРАФИРОВАНИИ БЕЗ ПРОВОДОВ»

Приводится текст доклада А. С. Попова, прочитанного 19 (31) октября 1897 г. в ЭТИ (ныне СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)¹. Ученый рассказывает о своих экспериментах и о подобных экспериментах Маркони. Изложение предмета ясное и понятное, более того – достаточно современное, несмотря на то, что с тех пор прошло уже 110 лет. Подробно описаны экспериментальные установки Попова и направление их совершенствования с целью получения больших дальностей действия. Из доклада ясно видно, что демонстрация действующей установки «беспроводного телеграфа» Попова (1895 г.) опередила подобную демонстрацию установки Маркони по крайней мере на год.

Попов, Эдисон, Прис, Маркони, Бранли, Лодж, Герц, Риги, П. Н. Рыбкин, электромагнитные волны, вибратор, искровой разряд

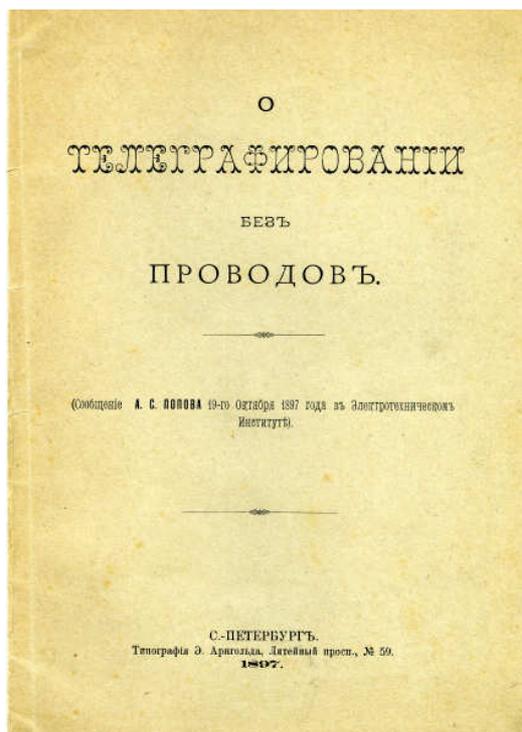
Милостивые государи!

Я являюсь перед вами посреди своей работы и занятого времени, так что все, что я сюда привез, было собрано наскоро и имеет скорее значение схематического опыта для разъяснения принципов, которые лежат в основе столь много теперь нашумевшего вопроса о телеграфировании без проводников.

Вопрос о телеграфировании без проводников явился у пылких голов с тех пор, как только познакомились с электрическими и электромагнитными действиями на расстоянии. Историю вопроса, как она ни интересна, я оставляю в стороне, а подчеркну две попытки практического осуществления телеграфа без проводников, предшествующие способу, теперь нас занимающему². Одна попытка была сделана в Америке и приписывается

¹ Лекция с демонстрацией опытов А. С. Попова в Электротехническом институте была организована VI (электротехническим) отделом РГО. Организаторы лекции преследовали цель привлечь к изобретению А. С. Попова внимание широких кругов электротехников и дать возможность всем желающим узнать о работах по беспроволочной телеграфии от самого изобретателя радио.

² Об этих работах см. «Почтово-телеграфный журнал» (1889, июль, с. 495–496; 1892, март, с. 340–341; 1895, май, с. 483), а также в книге «Из предьистории радио» (Изд-во АН СССР, 1948, с. 459). – *Здесь и далее примечания А. И. Берга.*



Эдисону, а другая, примерно того же времени, относится к опытам Приса в Англии, который много участвовал и в позднейших опытах Маркони.

Действие на расстоянии может быть возбуждено двумя весьма различными приемами: сильным зарядом, периодически появляющимся и исчезающим и возбуждающим переменное электростатическое поле, или электромагнитными действиями прерывистого или переменного тока. Первый способ телеграфирования был осуществлен Эдисоном в следующем виде.

Высокая мачта, снабженная большим шаром, соединена была со специальным генератором вроде трансформатора Тесла, возбуждаемого действием прерывистого тока, и затем другая мачта, снабженная также шаром, соединена через телефон с землей. Заряды первого шара могли отзываться электростатической индукцией на втором шаре.

Другой способ основан на взаимном действии параллельных проводников. Этот способ осуществлен Присом, который был на толкнут на эти опыты тем фактом, что прерывистые телеграфные токи в отдаленном даже проводнике возбуждают настолько сильные индукционные токи, что можно слышать в телефоне действие телеграфа.

Прис пытался воспользоваться этим на практике, и на Чикагском конгрессе он сделал доклад о достигнутых результатах. Однако же, эти два способа не имеют прямого отношения к современному способу телеграфирования без проволоки, основанного на особом явлении, известном под именем электрического колебания. Это не будет прерывистый ток, а явление особого рода. Об этом явлении я скажу несколько слов и затем рассмотрю некоторые приборы, которыми можно пользоваться для возбуждения электрических колебаний. Далек в подробности этого явления входить трудно, и я позволю себе только указать, на какие стороны явления нужно обратить внимание.

Остановимся на каком-нибудь общепонятном неэлектрическом колебании, например возьмем маятник. Если маятник мы выведем из положения равновесия, мы, поднимая, сообщим ему потенциальную энергию; если отпустить его, то маятник начнет двигаться, и потенциальная энергия постепенно будет переходить в кинетическую; когда же он поднимается на другую сторону, кинетическая энергия вновь превращается в потенциальную. Что благоприятствует и что препятствует продолжительности явления? Понятно, значительная величина первоначального запаса энергии, т. е. высота первоначального поднятия, определяющая размах, и масса маятника играют здесь первую роль. Препятствующим обстоятельством будет сопротивление движению. Вся энергия по пути превратилась бы не в потенциальную, а в тепловую, если бы мы пустили маятник, например в воде, и колебаний мы совсем не получили бы. Чтобы колебания долго не прекращались, надо, чтобы трата посторонняя была мала: сопротивления движению механическому должны

быть по возможности ничтожны. Эти два обстоятельства имеют место во всяком колебании без исключения, какое бы мы движение ни взяли.

Посмотрим, как можно осуществить переход энергии потенциальной в кинетическую и обратно в электрических явлениях. Если мы возьмем два хорошо изолированные и разноименно заряженные тела, то они неопределенно долго могут сохранять свой заряд. Они будут обладать потенциальной энергией. Если эти два тела соединить прямолинейным проводником, то начнется электрический ток. Проявится особый род кинетической энергии.

Если мы возьмем два шара и между ними прямолинейный проводник с перерывом, то ток наступает тогда, когда заряд шаров достигнет разности потенциалов, при которой электрические силы будут в состоянии разрушить целостность изолятора. До тех пор пока не перейдена прочность этого изолятора, пока не наступил разряд, происходит накопление потенциальной энергии. С наступлением разряда, пока ток идет, например, сверху вниз, является вблизи прямолинейного проводника магнитное поле с линиями сил, расположенными концентрическими кругами около этого проводника. Это магнитное поле есть какой-то вид кинетической энергии. Как только потенциалы шаров сравняются, ток должен бы прекратиться, как следствие причины, которая его возбуждала, но движение не прекратится, точно так же как и в маятнике прекратится действие тяжести, но он еще не остановится; здесь за счет запасенной в виде энергии магнитного поля ток поддержится в том же направлении и будет заряжать шары, но в противоположном прежнему заряду направлению. Затем все явления будут повторяться, и за мгновение, в которое мы видим искру, может произойти несколько тысяч таких колебаний.

Прибор для возбуждения электрических колебаний, не быстро прекращающихся, должен удовлетворять некоторым условиям. На концах проводника, в котором возбуждаются колебания, помещаются шары или листы, обладающие значительной электрической емкостью. Чтобы начальный запас энергии был большой, надо возбудить большую разность потенциалов; для того же, чтобы происходил колебательный разряд, т. е. чтобы взаимные превращения энергии не скоро прекратились, надо, чтобы побочные затраты энергии, помимо электростатической и электромагнитной, были возможно малы. Каждый раз, как ток идет по проводнику, часть энергии превращается в тепловую, проводник поэтому должен иметь возможно малое сопротивление. Чтобы в искре энергии тратилось мало, она не должна превосходить известной длины. Для того чтобы запастись большой потенциальной энергией, можно увеличить длину перерыва, в котором происходит разряд, но тогда легко может случиться, что мы совсем не получим колебаний.

Такой источник электрических колебаний впервые был осуществлен Генрихом Герцем в конце восьмидесятых годов, опубликовавшим ряд работ над электрическими колебаниями, которые положили начало новому, теперь уже широко развившемуся отделу учения об электричестве, имеющему первостепенное значение в науке и в практических приложениях.

Посмотрим теперь, что происходит в пространстве, окружающем источник электрических колебаний? Не пытаясь проникнуть в сущность явления, мы можем сказать, что во всякой точке пространства вблизи проводника тока возбуждается магнитное поле, вблизи же электрических тел существует электростатическое поле; если же мы имеем изменяющиеся величины и направления тока или величины и знаки заряда в источнике, то и в среде, окружающей источник электрических колебаний, будут периодически изменяться ве-

личины напряженности магнитного и электрического поля: мы говорим, что в среде возбуждается электромагнитная волна.

Электромагнитная волна распространяется от источника по всем направлениям. Как обнаружить ее на расстоянии? Понятно, что для сигнализации мы будем посылать электромагнитную волну и присутствие ее должны как-нибудь обнаружить.

Сам Герц наблюдал прямое явление индукции; он ставил прямолинейный проводник параллельно линии разряда; при небольших расстояниях можно было и в этом проводнике вызвать столь энергичные колебания, что, перервав его посередине, можно наблюдать в этом перерыве искру. Это – способ Герца. В позднейшее время появлялось много различных способов обнаружения электромагнитной волны. Мы остановимся на способе Бранли.

Во время исследований сопротивления тонких металлических слоев Бранли случайно заметил, что в то время, когда у него на мостике было уравновешено некоторое сопротивление, вдруг мгновенно изменилось равновесие в мостике, в этот момент по соседству был произведен разряд электрофорной машины. Он уловил этот факт и показал, что тонкие слои металла обладают свойством мгновенно изменять свое сопротивление, если до них достигнет электромагнитная волна; сопротивление при этом уменьшается. Таким же свойством обладает металлический порошок; отдельные зерна металла, составляющие порошок, настолько слабо прикасаются друг к другу, что ток небольшого числа элементов не проходит через него, но как только электромагнитная волна достигнет массы порошка, порошок мгновенно делается хорошо проводящим. Это можно демонстрировать простыми средствами. Составим цепь из обыкновенного звонка и двух-трех элементов (батарей), присоединив к ее концам две металлические пластинки. Прикосновением пластинок мы замкнем цепь и заставим звонок действовать. Если же мы положим на столе обе пластинки рядом, не касаясь друг друга, и заполним пространство между ними железными опилками, то, хотя цепь звонка и будет замкнута через опилки, сопротивление цепи будет весьма велико, и звонок не будет звонить. Но если по соседству будет произведен колебательный разряд в каком-либо вибраторе, то электромагнитная волна тотчас же установит связь между разъединенными частичками порошка, сопротивление цепи уменьшится, и звонок начинает действовать. Эта связь может быть снова разрушена, если встряхнуть порошок.

Чтобы выяснить сущность явления, я сделаю другой аналогический опыт. Замкнем 2 элемента через звонок и металлическую цепочку: звонок звонит; будем постепенно увеличивать число звеньев цепочки, введенных в цепь, – звонок скоро перестает работать. Натянув цепочку, мы опять вызываем звон. Электрическая волна делает то же, что прямое нажатие. Встряхнем цепочку, ток опять прерывается.

Может быть, причина увеличения проводимости чисто механическая, так как под влиянием электромагнитных волн отдельные частички наэлектризовываются и притягиваются между собою, или же, что вероятнее, здесь должно произойти в контакте выделение электрической энергии и достаточно интенсивное молекулярное движение, чтобы произвести соединение, вроде сваривания. Опыт с цепочкой позволяет подчеркнуть некоторые элементы явления. Не делая опытов, я укажу, что если бы я прибавил элемент, то оказалось бы, что число звеньев, которое прежде служило изолятором для 3 или 4 элементов, перестанет быть изолятором. Надо число контактов увеличить. Если имеем дело с

опилками, нужно раздвинуть пластинки, на которые насыпан порошок. Если мы возьмем малое расстояние, источник надо слабый; если мы желаем изменить источник, мы должны также увеличивать или уменьшать число звеньев этой цепи. Подбирая число звеньев цепочки в соответствии с электродвижущей силой источника тока, можно достигнуть высокой чувствительности, но она не будет постоянна; после действия нескольких разрядов вибратора чувствительность цепочки делается грубее. Постоянства чувствительности можно достигнуть большим параллельным числом цепочек, или употребляя порошок, в котором и образуется ряд параллельных цепей. Если мы возьмем мелкий порошок, то много частичек пойдет в цепь последовательно. Поэтому приходится подбирать крупность зерна порошка, расстояние между пластинками и число вольт источника. Эти все элементы весьма важны для достижения постоянства чувствительности. Только с большой и постоянной чувствительностью можно переходить к практическим приложениям.

Два рода рассмотренных нами явлений и служат основанием для телеграфирования без проводников.

На одной станции мы имеем источник электрических колебаний, возбуждающий в пространстве электромагнитные волны; эти волны, достигнув проводников другой станции, возбуждают на них также электрические колебания. Эти колебания, распространяясь до опилок, замыкают ток местной батареи на принимающей станции.

Однако только что описанные приборы не будут обладать еще одним существенным свойством, которое необходимо для сигнализации. Вы видели, что действие электромагнитной волны приводит к тому, что цепь **местной** батареи замыкается и затем ток уже не прекращается. Для того чтобы было возможно телеграфировать, нужно сделать дальнейший шаг, который и был сделан в моем приборе в 1895 г.

Бранли, Лодж и другие пользовались простым механическим сотрясением для того, чтобы нарушить связь опилок и разомкнуть цепь, но можно сделать так, чтобы замыкание местной цепи автоматически вызвало и сотрясение опилок, в таком случае ток замкнется только на мгновение. Достигнуто это было самыми простыми средствами. Внутри стеклянной трубочки наклеены две платиновые пластинки и на них насыпан порошок. Эта трубочка помещается на пружине, так что слабым ударом можно вызвать ее сотрясение и встряхнуть опилки. Автоматического встряхивания опилок я достигаю следующим расположением. Ток от батареи 2–6 В проводится последовательно через трубку с порошком и обмотку телеграфного реле; пока опилки находятся в обыкновенном состоянии, в цепи циркулирует ток чрезвычайно слабый и якорь реле остается не притянутым, но как только до опилок достигнет электромагнитная волна, тотчас сопротивление всей цепи уменьшится, якорь реле притянется и замкнет побочную цепь звонка. Звонки тотчас же произведет удар, и вместе с тем молоточек его встряхнет трубку с опилками, вследствие чего цепь реле разомкнется, так как опилки опять перестанут хорошо проводить ток, и якорь реле будет оттянут назад.

Таким образом, мы имеем возможность всякую волну, достигшую трубки, отметить электрическим звонком. Прежде всего я воспользовался своим прибором для того, чтобы решить вопрос, есть ли в нашей атмосфере электрические колебания, а если есть, то как они часты и от каких причин зависят. Для этого нужно присоединить к прибору приемник: взять обыкновенный громоотвод и довести его до зажима трубки. Для того чтобы

иметь возможность отметить всякую волну, надо пустить в ход какой-нибудь пишущий аппарат. Для этого можно было бы взять медленно идущий телеграфный аппарат или же, как я сделал, привести телеграфную ленту в движение 12-часовым цилиндром, обыкновенно употребляющимся в регистрирующих приборах Ришара, обыкновенное электромагнитное перо. Как только колебания достигают прибора, он ставит черточку на ленте. Такой прибор был мною установлен в июле 1895 г. в Лесном институте. Моя задача была устроить прибор постоянной чувствительности. Оказывается, что если рядом действует звонок, то этого достаточно, чтобы вызвать волну и отметку на ленте. Этим воспользовались, чтобы каждый день проверять чувствительность прибора.

Этот прибор служит метеорологическим целям и работает уже более 2 лет. Потом этот прибор был приспособлен для опытов Герца с электрическими лучами.

Герц построил приборы, которыми доказал возможность отражения и преломления электромагнитных волн. Параболический рефлектор Герца имел высоту 2 м, вибратор представлял два цилиндра 15 см длины при диаметре 3 см. У меня же поставлены весьма маленькие цилиндры, может быть, сантиметров пять, рефлектор имеет в высоту сантиметров сорок и представляет из себя цилиндрическо-параболическое зеркало.

При действии индукционной спирали получают искра между цилиндрами в масле и две искры вне масла у концов цилиндров. (Это добавление сделано впервые Риги.) Прибор, которым я здесь пользуюсь, был также продемонстрирован в Физико-химическом обществе в марте 1896 г.¹ Для опытов с лучами надо, чтобы волны достигали до трубки только с какой-нибудь одной стороны, для чего прибор скрыт в металлическом ящике, и электрические волны могут проникнуть внутрь только через небольшое отверстие, закрытое каучуковой пробкой, при помощи приемного цилиндра, находящегося вне ящика, но соединенного металлически с одной из пластинок чувствительной трубки.

Этот приемный цилиндр, как и цилиндр-вибратор, помещен в фокусе цилиндрическо-параболического рефлектора. Установив оба рефлектора, можно наблюдать некоторые свойства герцевых лучей. Заставим работать вибратор – на каждый разряд вибратора мы получим ответный звон в нашем приборе. Если мы на пути лучей, т. е. между рефлекторами, поместим тонкий металлический лист, то увидим, что волны будут задерживаться им; доски, картон, толстые книги не задерживают электромагнитного луча; тело человека – сравнительно хороший проводник – всегда задерживает лучи. Если мы на деревянной рамке натянем ряд параллельных проволок и такую решетку поместим на пути лучей, то убедимся, что решетка задержит волны, если проволоки ее будут параллельны осям вибратора и приемника; если линии решетки перпендикулярны им, то решетка не задерживает лучей; при косвенном положении решетка только отчасти задерживает лучи. Поставив рефлекторы так, чтоб их плоскости симметрии пересекались, легко можно показать отражение лучей от металлических листов и от решетки, если ее проволоки параллельны линии разряда в вибраторе, т. е. убедиться в

¹ Это указание на то, что показанный в этом докладе прибор, продемонстрированный также на заседании РФХО 12 (24) марта 1896 г., является очень важным. В докладе 19 октября 1897 г. были продемонстрированы опыты по передаче сигналов, что непосредственно подтверждается и редакционной статьей журнала «Электротехнический вестник» (прим. 4 к док. 53). Сопоставление этих двух фактов позволяет предположить, что еще 12 (24) марта 1896 г. А. С. Попов демонстрировал свои усовершенствованные по сравнению с 1895 г. приборы в качестве аппаратуры, предназначенной для связи на расстоянии.

том, что если металлический лист и решетка не пропускают электромагнитных лучей, то и не поглощают их, а только отражают их и дают им иное направление.

Имея прибор, который я описал, в руках с апреля 1895 г., было интересно определить, на каких расстояниях возможно было этим прибором обнаружить электромагнитную волну. Лодж (в Англии, 1894 г.) пытался достигнуть больших расстояний и достигал 60 ярдов. С тем прибором, который мы видели здесь, весной 1895 г. я перебрался из комнаты в сад делать испытания, и тут первые эксперименты показали, куда надо идти, – прибор отвечал на расстоянии 30–40 саженей¹. В течение целого года я не возвращался к опытам на открытом воздухе и занимался различными испытаниями приборов в лаборатории². Осенью 1896 г. дошли из Англии газетные сведения, что Маркони под руководством Приса производит опыты сигнализации помощью электромагнитных волн и достиг расстояния до 1/2 мили. С каким прибором работал он, совершенно было неизвестно. Зимой 1896 г. Прис делал сообщение в Английском электротехническом обществе, показывая приборы, те самые, как потом оказалось, которые здесь вы видели, но источник волн был поставлен в деревянном ящике. На электрическую волну, выходящую из этого ящика, отвечал электрический звонок в другом, также закрытом ящике через большую аудиторию. Это все, что было известно до июня текущего года.

Прис засвидетельствовал, что опыты им производились и сигналы достигали на расстоянии немного более мили. Эти опыты относятся к августу прошлого года.

Специальные журналы, делавшие догадки об опытах Маркони, введенные, быть может, в заблуждение заявлениями, что приборы Маркони представляют новый открытый им способ телеграфирования, высказывали сомнения в возможности пользования чувствительной трубкой с опилками для значительных расстояний. Но я лично был убежден, что в закрытых ящиках Маркони был помещен прибор, аналогичный с моим, и потому с марта этого года начал готовить приборы для опытов передачи сигналов с помощью электромагнитных волн на большие расстояния³.

Два средства могут быть употреблены для достижения больших расстояний: увеличение энергии источника волн и увеличение чувствительности приемника.

Если мы будем брать малые размеры вибратора, то потенциальная энергия при заряде его мала, и увеличить ее мы не можем. Значит, мы должны, прежде всего, увеличить размеры частей вибратора и выбрать такой, в котором при большей длине искры, т. е. при значительной разности потенциалов в первый момент разряда, легко сохранить колебательный характер последнего. Теория, работы других наблюдателей и своя опытность указали на то, что самый первый вибратор, построенный Герцем, должен обладать указанными свойствами и дать большое расстояние. Вибратор этот имеет шары около 30 см и между ними разрезанный стержень немного менее метра. Колебания, возбужденные в таком вибраторе, не быстро затухают, а потому можно в нем сделать значительной длины

¹ Прямое указание на то, что А. С. Попов производил опыты по сигнализации на расстоянии электромагнитными волнами еще весной 1895 г.

² Т. е. непрерывно работал над лабораторным усовершенствованием своих приборов.

³ Т. е. начал готовиться к опытам на море в кампании 1896–1897 гг.

искру и достигнуть значительной разности потенциалов в начале колебания, не опасаясь того, что разряд утратит колебательный характер¹.

Такой вибратор был испытан на больших расстояниях сначала на дворе, но расстояния оказались малы; пришлось производить опыты в гавани на подвижном маленьком судне², и первые же опыты показали возможность обнаружения волн вполне отчетливо на расстоянии до 300 саженей, а дальше могли быть обнаружены только наиболее энергичные разряды, случайно выделяющиеся среди более слабых.

Теперь, другая сторона – приемник также может служить средством для увеличения расстояния. Сначала употреблялся в чувствительных трубках порошок, но после многих проб оказалось, что большей чувствительности можно достигнуть, употребляя вместо порошка мелкий стальной бисер, вроде крупных опилок. Бисер, как показал опыт, дал расстояние в 3–5 раз большее, чем опилки, причем увеличение чувствительности произошло с сохранением ее постоянства. Употребление бисера и увеличение вибратора дало расстояние до 300 саженей с маленькой спиралью, которая не могла дать искры при данных условиях более 4–5 мм. Употребление следующего номера спирали сразу дало расстояние более версты.

Если же приемник снабдить очень длинным вертикальным проводником, что можно легко сделать на судне, то расстояние, на котором волны будут действовать на приемник, еще увеличится, так как, увеличивая длину приемной проволоки, мы захватываем энергию с большей части пространства. Есть и еще средства для увеличения чувствительности приемника, именно увеличение чувствительности реле, употребляемого в цепи с чувствительной трубкой. Воспользовавшись и этим средством, мы достигли на открытом месте с тем же вибратором расстояний, доходящих до $1\frac{1}{2}$ версты.

Это были первые шаги. Устроив вибратор, способный запасать еще большую первоначальную энергию, можно было достигнуть еще больших расстояний. Вместо шаров на концах стержня были укреплены диски, перпендикулярные стержню; для прочности они сделаны в виде двух абажуров, сложенных вместе; это увеличило электрическую емкость. Расстояние между дисками осталось прежнее, диаметры их менее метра. Обыкновенные индукционные катушки позволяют увеличивать длину разрядной искры, но колебательный разряд пропадает, потому что сопротивление длинной искры велико. Если мы вместо маленьких шляпок в месте перерыва стержня вибратора поставим диски около 10 см в диаметре, то получится род конденсатора, который не будет мешать колебательному разряду, потому что после образования искры между этими пластинками не будет большой разности потенциалов, но в первый момент энергия этого конденсатора будет выделена в искре и уменьшит ее сопротивление³.

¹ Указание на исследования по увеличению мощности вибратора Герца с шарами на концах, который служил А. С. Попову в качестве передающего устройства.

² Использовалась яхта «Рыбка», предоставленная в распоряжение А. С. Попова главным командиром Кронштадтского порта.

³ Задача получения связи на большое расстояние требовала кропотливой работы над усовершенствованием всех элементов линии связи. Как видно, А. С. Попов придавал большое значение режиму работы искрового разрядника и его конструкции. Разрядник с дисковыми электродами применялся и в ряде более поздних искровых передающих радиостанций.

Это прибавление дало нам такие результаты. Вибратор был поставлен на берегу моря, приемник – на катере с мачтой около 4 саженьей, на этой мачте была подвешена проволока, ведущая к приемнику. Таким манером можно было получить достаточно большую энергию; уходя от вибратора, замечали предельное расстояние, на котором все волны сопровождаются действием приемника. Оказалось, что с большим вибратором можно дойти до 3 верст. Сейчас же можно было увеличить расстояние, взяв более высокую мачту. При высоте ее около 8–9 саженьей (на большом судне) достигнуто расстояние в 5 верст.

Так как нами была поставлена задача определить, прежде всего, на какие расстояния можно посылать достоверные сигналы, то самые опыты велись в таком порядке: по знаку флагом с катера на берегу производили три отдельных разряда и замечали, все ли разряды достигли до приемника, под предельным расстоянием я подразумеваю расстояние, на котором приемник работает без пропуска. Эти опыты повторялись многократно, постоянство чувствительности многократно определялось, и всегда определенный размер искры давал одни и те же расстояния. Опытные наши производились на средства Морского министерства. Большая часть испытаний произведена на Минном отряде в Транзунде ассистентом Минного офицерского класса Петром Николаевичем Рыбкиным при помощи минных офицеров отряда.

Наши опыты были подготовлены к началу кампании, а в июне появились публикации о приборе Маркони. Все, что имелось у нас, содержится и в приборе Маркони. Вибратор Маркони взял другой. Он состоит из двух шаров, которые близко сходятся. Два перебива, которые имелись в этом приборе, имелись и у нас. Между двумя шарами происходит разряд. Следовательно, по сравнению с герцевским вибратором, в этом уничтожен промежуточный проводник.

Это сделал Риги умышленно, его цель была – получить как можно меньшие размеры колебаний и малую длину волны. Маркони остановился на вибраторе Риги, как самом лучшем.

Схема опытов Маркони здесь начерчена, и вы видите полную тождественность составных частей с нашим прибором. В приемной части оказался прибор с порошком, но иной формы. Здесь не две пластинки, а два маленьких цилиндра, пространство между которыми заполнено порошком. Диаметр этих цилиндров одинаков с внутренним диаметром трубки. Порошок он взял никелевый¹, который, по нашим опытам, как будто не лучше и не хуже железного. Чувствительность прибора Маркони немного больше. Мы не шли далеко в чувствительности приемника потому, что, имея дело с атмосферным электричеством, мы видели, что приемник часто действует по целым часам от атмосферных разрядов². Затем он выкачал воздух из трубки, что было естественно сделать и что приходило в голову и нам. Но в позднейших статьях он говорит, что можно действовать и без пустоты. Вся остальная часть, как и у нас. Здесь батарея, ведущая ток через трубку и контакт в опилках, замыкается через обмотку реле. Затем, далее, побочная цепь содержит молоточек, в котором нет ничего особенного. Все остальные части те же самые, что и у нас, за исключением никелевых опилок и пустоты. На чертеже поставлены катушки L и L_1 , чтобы

¹ Г. Маркони пользовался когерером, наполненным смесью серебряного и никелевого порошков.

² Характерно, что А. С. Попов проявил инженерный подход к решению проблемы. Он не стремился к чрезмерному увеличению чувствительности своего приемника, понимая, что его помехоустойчивость играет не меньшую роль для получения хороших результатов.

случайные колебания, происшедшие от искры в перерывах реле и звонка, ослаблялись катушками с самоиндукцией и не достигали чувствительной трубки. Мы этой цели достигли вставлением трубки между обмотками реле¹.

Маркони пользуется явлением резонанса. Если мы имеем два тела, способные звучать в унисон, то колебания в воздухе, произведенные одним, могут вызвать звучание второго тела. Так как всякому проводнику присуще свое собственное колебание определенного периода, то можно подобрать приемник такого размера, чтобы его колебания отвечали колебаниям вибратора. Мы пытались в своих опытах воспользоваться резонансом, но он мало помогал. Мы усиливали вибратор тем, что получали предельные длины искры. Если же уменьшить разрядное расстояние, то колебания будут затухать медленнее и резонанс выразится резче². У Маркони расстояние между шарами невелико, около миллиметра. Следовательно, начальная энергия его вибратора сравнительно мала, но зато легко можно увеличить расстояние, на котором действует приемник, пользуясь резонансом, – в этом я также вижу отличие опытов Маркони по сравнению с нашими. На чертеже указана схематическая карта местности, где производились опыты Маркони, которые производились также на море. На карте показаны места приборов Маркони и расстояния. Это – наибольшее расстояние опытов Маркони. Прис говорит, что он, увеличивая размеры вибратора, достигал больших расстояний, до 14 км. Здесь же указаны чертами места опытов Приса с параллельными проводниками.

Вот все, что было до сих пор опубликовано Маркони.

Сравнительные результаты и сравнительная история наших опытов и опытов Маркони уже теперь позволяют мечтать о дальнейшем развитии этого дела и о практических применениях его в военно-морском и военном деле на суше, а также в помощь маячным световым и звуковым сигналам, так как электромагнитные волны не задерживаются ни туманом, ни бурей³.

Теперь остается только продемонстрировать прибор в связи с телеграфом. Вопрос состоит только в подборе элементов, вибратора, молоточка, сопротивления обмоток телеграфа и т. д. Все это надо подобрать. Всякая волна делает точку на телеграфной ленте, но одними точками действовать нельзя, надо, чтобы вибратор действовал периодически. 5, 10, 15 точек дадут черту, и сигнализация становится возможной.

Здесь собран прибор для телеграфирования. Связной телеграммы мы не сумели послать, потому что у нас не было практики, все детали приборов нужно еще разработать⁴.

В заключение остается сказать, что слишком легкие первые шаги в этом деле позволяют надеяться и на значительные увеличения расстояний.

«Электротехнический вестник» (СПб. 1897. № 48. С. 499–509).

Публикация доклада подготовлена Л. И. Золотинкиной и Ю. Е. Лавренко

¹ Ясное понимание дросселирующего действия катушек индуктивности и практическое его использование.

² А. С. Попов, по-видимому, трезво оценивал роль резонансных явлений в колебательных контурах с сильным вносимым затуханием (вследствие искрового разряда). Поэтому он стремился получить меньшее затухание подбором оптимальной конструкции искрового разрядника.

³ Мысль о применении электромагнитных волн для навигационных целей А. С. Попов впервые высказал в отчете об опытах на море в кампанию 1896–1897 гг.

⁴ Как следует из первых слов настоящего доклада, его подготовка была сделана наскоро, поэтому опыт с записью сообщения посредством телеграфного аппарата не демонстрировался.

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

THE REPORT MADE BY A. S. POPOV «ON THE WIRELESS TELEGRAPHY»

Text of the report, read by A. S. Popov at ETI (now SPbSEU «LETI»). Popov discussed his experiments and the same experiments of Marconi. The discussion is clear and understandable, moreover – quite contemporary, no matter that 110 years passed since. Popov's apparatus are described in details and also the ways of their perfection aimed for greater coverage. The report confirms, that a demonstration of the Popov's workable «wireless telegraphy» apparatus (1895) forestalled Marconi demonstration (1896) not less than one year.

Edison, Prees, Marconi, Branly, Lodge, Herz, Rigi, P. N. Rybkin, electromagnetic waves, spark discharge