

3' 2008

ИЗВЕСТИЯ
СПБГЭТУ "ЛЭТИ"

Ежемесячный журнал



Содержание

Редакционная коллегия:

Пузанков Д. В.
(председатель)
Афанасьев В. П.
(заместитель председателя)
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")

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Углова А. А., Смирнов Б. И. Статистическое исследование характеристик динамических объектов 3
Степанов Е. А. Способ компенсации реактивностей измерительных приборов при снятии амплитудно-частотной характеристики двухполюсника в СВЧ-диапазоне 15

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Иркаев С. М., Мамыкин А. И., Морозов В. В. Оптимизация вычисления интеграла рассеяния в мессбауэровской и оптической спектроскопии 19
Барыбин А. А., Завьялов А. В., Шаповалов В. И. Релаксация гомозаряда в диэлектрической пленке 23

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Егоров С. С., Миллер В. Е., Мустафин Н. Г., Фомкин Ю. В. Предельные характеристики диспетчирования задач многоуровневой обработки данных в системах реального времени 29
Анисимов Д. А. Принципы построения синтаксических анализаторов на языке Java 36

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Гончаров В. Д., Фискин Е. М. К вопросу об экспериментальном исследовании напряжения зажигания высокочастотного тлеющего разряда при относительно высоких давлениях 41
Туркин Д. Н. Исследование возможности оценки момента статических сопротивлений в процессе работы крупного радиотелескопа 47

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Агапов М. Ю., Бурнашев М. Н., Лукьянов Д. П., Павлов П. А., Филатов Ю. В. Лазерные гониометрические системы для калибровки преобразователей угла 55
Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Возможность излучения многослойным преобразователем короткого импульса в твердую среду при использовании демпфирования или электрической нагрузки 64

* * *

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

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ**

- Цурова Н. Х.* Биомеханическое моделирование и исследование сегмента поясничного отдела позвоночника 73
- Завгородний А. В.* Алгоритмическое обеспечение программно-аппаратного комплекса для определения концентрации подвижных микроорганизмов 78

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

- Иванюк Ф. М.* Моральная ответственность как фактор конкурентоспособности общества и правящей элиты 85
- Маркова О. Ю.* Профессиональная этика как проблема для обсуждения 91

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, А. В. Зангиевой*

Подписано в печать 10.06.08 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 12,25.

Тираж 300 экз. Заказ 14.

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

Издание входит в перечень изданий ВАК России

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

Подписка производится в любом почтовом отделении России



УДК 57.087.1

А. А. Углова, Б. И. Смирнов

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Описаны статистические исследования по обработке данных динамических объектов, в качестве которых выступает концентрация ДНК в ядрах миокарда. Целью работы было выделение групп, имеющих однородные характеристики. Для этого применялись графические методы и методы сравнения по центральным тенденциям. При применении кластерного анализа особый интерес вызвала зависимость коэффициентов агрегации, которая дала новую методику формирования групп.

Нормальное распределение, случайная величина, выборка, генеральная совокупность, концентрация ДНК, кластерный анализ, выделение групп

Объектом исследования являются данные о концентрации ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) в ядрах миокарда. Данные взяты у 42 биологических объектов (Ф-1, ..., Ф-42) в объеме 100 проб у каждого. Концентрация ДНК определялась Институтом цитологии.

В течение длительного периода времени тяжелое заболевание сердца – кардиомиопатия относилось к заболеваниям с неизвестной этиологией [1]. В последние годы благодаря молекулярно-генетическим исследованиям и новым генно-инженерным технологиям обнаружена связь этого заболевания с генетическими дефектами структуры различных белков кардиомиоцитов и появилась реальная возможность диагностики заболевания на доклинической стадии.

Наиболее точный способ постановки диагноза ГКМП (гипертрофическая кардиомиопатия) – анализ ДНК. Исследование срезов ткани миокарда [2] позволяет проникнуть в детали строения клеток, тканей и органов и оценить количественные показатели, что очень важно с медицинской точки зрения.

В результате исследований должен быть определен набор количественных параметров, важных для решения диагностических задач, и проведена их статистическая обработка.

Цель исследования: создание компактного статистического описания биологических объектов, выделение групп случайных величин (СВ), имеющих однородные параметры, выявление диагностической ценности параметров групп при описании тяжелого заболевания сердца – обструктивной кардиомиопатии.

Задачи, решаемые в работе:

- выявление характера распределения СВ, используемых в анализе;
- получение полного статистического описания СВ;
- формирование групп, имеющих однородные характеристики положения (среднее, мода, квартили);
- формирование групп, имеющих подобные распределения.

При исследовании экспериментального материала были использованы следующие статистические методы:

- дискриптивный анализ СВ (вычисление описательных характеристик СВ);
- тесты проверки на нормальность (тест Колмогорова–Смирнова, критерий Шапиро–Уилка);
- графические методы анализа распределений (боксовые диаграммы, диаграммы рассеяния типа Q–Q);
- методы сравнения по центральным тенденциям двух СВ (критерий Манна–Уитни) и нескольких СВ (однофакторный дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса);
- методы графического представления статистической информации (применение кластерного анализа).

Тесты проверки случайных величин на нормальность. Под задачей идентификации закона распределения наблюдаемой СВ (структурно-параметрической идентификации), как правило, понимают задачу выбора такой параметрической модели закона распределения вероятностей, которая наилучшим образом соответствует результатам экспериментальных наблюдений [3].

Истинный закон распределения (если он, конечно, существует), описывающий концентрацию ДНК в ядрах миокарда, остается всегда неизвестным, несмотря на все попытки его идентифицировать. Нормальное (гауссовское) распределение занимает центральное место в теории и практике вероятностно-статистических исследований, и этот закон распределения наиболее часто используют.

Проверку на нормальность СВ можно произвести с помощью тестов Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса, критерия Шапиро–Уилка и приближенно, с помощью графических методов: вероятностной бумаги и диаграммы рассеяния Q–Q.

Одновыборочный критерий нормальности Колмогорова–Смирнова основан на максимуме разности между кумулятивным распределением выборки и предполагаемым нормальным распределением*. Данный критерий базируется на предположении о том, что среднее и стандартное отклонения опорного распределения известны априори. Однако обычно эти параметры вычисляются непосредственно из данных, и поэтому такой критерий будет иметь низкую точность. В современных статистических пакетах в этой ситуации рекомендуется использовать вариант Лиллиефорса (Lilliefors, 1967) для критерия Колмогорова–Смирнова, который учитывает оценку параметров нормального распределения из выборки.

* Электронный учебник StatSoft (www.statsoft.ru).

В последние годы для оценки нормальности более предпочтительным становится критерий Шапиро–Уилкса W благодаря его хорошим свойствам по сравнению с альтернативными критериями*. Если W -статистика критерия Шапиро–Уилкса значима, то гипотеза о нормальном распределении значений переменной отвергается. Данный критерий является привилегированным критерием нормальности, так как его свойства обладают большей мощностью при широком выборе альтернативных критериев нормальности.

В работе были использованы оба критерия. В результате было получено, что ни одна выборка не подчиняется нормальному распределению. Отсюда вытекают 3 существенных вывода:

1. Функция распределения СВ (концентрации ДНК) является сложной и, возможно, трудно поддающейся описанию.

2. Дискриптивные статистики помимо среднего и среднеквадратического отклонения (СКО) (как в случае нормального распределения) должны содержать дополнительный набор таких описательных характеристик, как медиана, мода, процентиля и квартильный размах, асимметрия и эксцесс. Дополнительно могут быть использованы усеченное пятипроцентное среднее, взвешенная медиана, М-оценки и проведена идентификация экстремальных значений.

3. Для анализа различий центральных тенденций должны быть использованы тесты, не основанные на предположении о ненормальности распределения СВ, т. е. непараметрические критерии.

Как уже отмечалось, целью исследования являлось «сжатие» экспериментального материала путем создания компактного его описания с помощью образования однородных групп среди независимых выборок. Для этого был использован двухвыборочный тест Манна–Уитни, позволяющий различать по центральным тенденциям две независимые выборки, а однородность полученной группы проверялась на основе критерия Краскела–Уоллиса.

Методы сравнения двух выборок по центральным тенденциям. Критерий Манна–Уитни применяется для сравнения двух независимых выборок объемами n_1 и n_2 и проверяет гипотезу H_0 , утверждающую, что выборки получены из однородной генеральной совокупности и, в частности, имеют равные меры положения [4] при заданном уровне значимости. В описываемом случае был принят уровень значимости $p = 0.05$.

Критерий Краскела–Уоллиса проверяет гипотезу H_0 для k выборок объемами n_1, n_2, \dots, n_k , полученных из одной генеральной совокупности, т. е. является обобщением U-критерия Манна–Уитни на случай, когда число выборок $k > 2$ [4].

Для формирования однородных групп был использован следующий алгоритм.

Из массива СВ объемом 42 величины случайно выбирался первый элемент, который использовался как опорное значение первой группы. Далее выполнялся тест Манна–Уитни этого элемента со всеми остальными элементами массива СВ. Если для выбранной пары обнаруживалось незначимое различие, то элемент, образующий пару, включался в первую группу и исключался из массива СВ. После завершения формирования этой группы аналогично создавалась вторая группа, причем в качестве опоры использовался следующий невыбранный в первую группу элемент массива СВ, затем формировалась третья группа и т. д.

* Электронный учебник StatSoft (www.statsoft.ru).

Проверка однородности и некоторые корректировки осуществлялись по критерию Краскела–Уоллиса.

Данная процедура проводилась в целях выявления неоднородности полученных групп, так как они были сформированы путем объединения с опорным распределением, но не между собой. Если неоднородность выявлялась, то проводился более тщательный анализ каждой СВ. Из группы поочередно исключались те выборки, которые имели наиболее отличные центральные тенденции от тех же характеристик всей выделенной группы. Затем снова проводился тест по критерию Краскела–Уоллиса. Исключенные СВ проверялись на принадлежность к другим группам.

В результате проведенного анализа были сформированы 7 групп объемом от трех до десяти СВ. Гистограммы распределения наиболее контрастных групп и их характеристики представлены на рис. 1 и в табл. 1 соответственно.

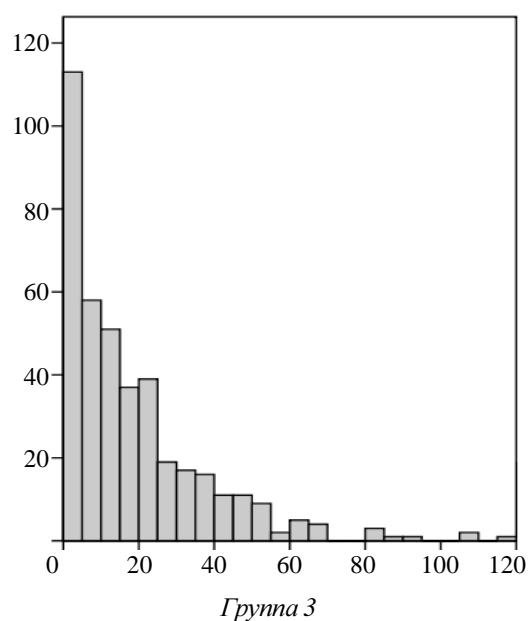
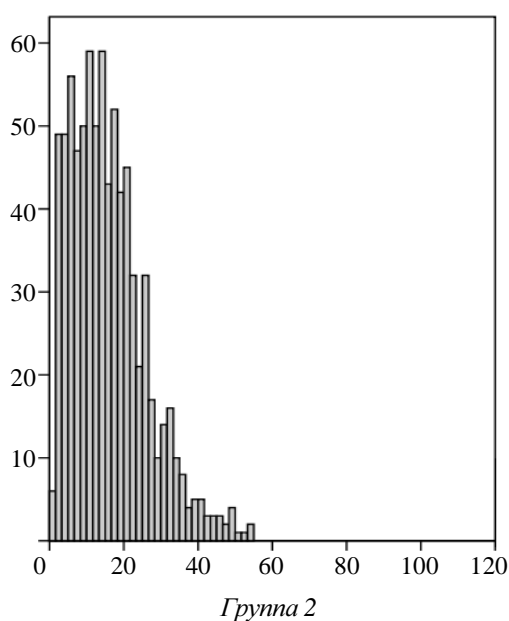


Рис. 1

Таблица 1

Дискриптивные статистики	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>N</i>	1000	800	400	800	300	300	600
Среднее	6.96	15.92	18.84	12.37	5.42	9.20	4.60
95 %-й доверительный интервал для среднего:							
Нижняя граница	6.67	15.21	16.97	11.71	5.03	8.52	4.38
Верхняя граница	7.25	16.62	20.72	13.03	5.82	9.89	4.80
5 %-е усеченное среднее	6.47	15.21	16.61	11.38	5.08	8.60	4.32
Медиана	5.83	14.30	12.15	10.10	4.36	7.60	4.05
Дисперсия	21.68	103.47	362.80	90.94	12.18	36.62	8.11
СКО	4.66	10.17	19.05	9.54	3.49	6.05	2.85
Минимум	0.70	0.60	1.36	1.00	1.00	1.38	0.77
Максимум	39.90	53.80	119.40	113.00	19.90	42.80	27.40
Размах	39.20	53.20	118.04	112.00	18.90	41.42	26.63
Межквартильный размах	4.80	13.10	21.15	11.00	4.00	6.33	2.82
Асимметрия	2.14	0.97	1.94	2.85	1.49	1.97	2.23
Экссесс	7.54	0.93	4.84	18.23	2.33	6.18	9.23

Из приведенных данных видно, что полученные группы совокупности отличаются не только по форме распределения, но и по диапазону значений, размаху и центральным тенденциям. Из табл. 1 видно, что минимальные значения у всех групп приблизительно одинаковые, а максимумы и, например, 5 %-е усеченное среднее отличаются, что характеризует сжатость либо протяженность (размазанность) распределения.

Группирование экспериментальных образцов по форме распределения.

Исследуемые СВ сильно отличаются по форме распределения. Это видно из рис. 2, где показаны наиболее характерные гистограммы распределений СВ Ф-11, Ф-17, Ф-38 и Ф-41. Данная характеристика может быть еще одним способом разбиения экспериментального материала на группы.

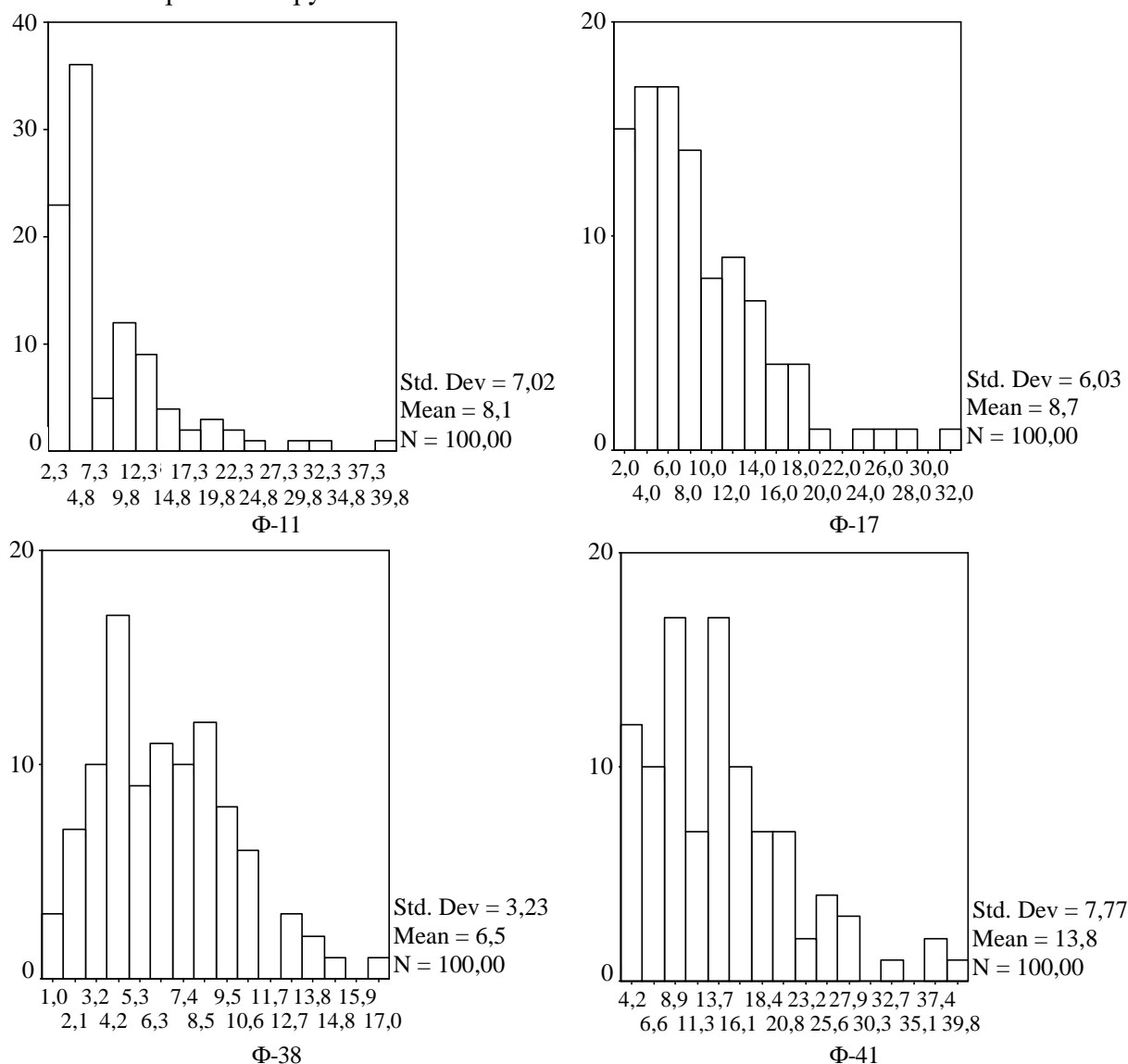


Рис. 2

При анализе были использованы диаграммы рассеяния квантиль-квантиль (Q-Q) для пары выборок. Диаграммы Q-Q, подобно вероятностной бумаге, позволяют сопоставить неизвестный закон распределения с известным, однако в отличие от вероятностной бумаги опорный закон может быть любым. Данный алгоритм реализован в пакете Statistica*.

* Электронный учебник StatSoft (www.statsoft.ru).

Построение диаграммы рассеяния Q-Q. Диаграмма рассеяния Q-Q показывает, насколько форма одного распределения близка к форме другого. Принцип построения распределения квантиль-квантиль проиллюстрирован на рис. 3. При построении используются интегральные функции двух выборочных распределений $F_1(x_i)$ и $F_2(x_i)$.

Пусть обе выборки имеют объем k . Каждое значение из первой ранжированной выборки сопоставляем значению с таким же номером из второй ранжированной выборки. Получаем пары $\{x_i, y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, k$ (в данном случае $k = 100$),

где $\{x_1, \dots, x_k\}$ и $\{y_1, \dots, y_k\}$ – значения первой и второй выборок соответственно.

По x_1 (рис. 3) находим на графике $F_1(x_i)$ значение соответствующего квантиля, а по нему на интегральной функции распределения $F_2(y_i)$ – пару y'_1 . В результате на диаграмме получаем точку (x_1, y'_1) . Аналогично по точке y_1 находим точку x'_1 . Эти действия необходимо повторить со всеми парами точек x_i, y_i .

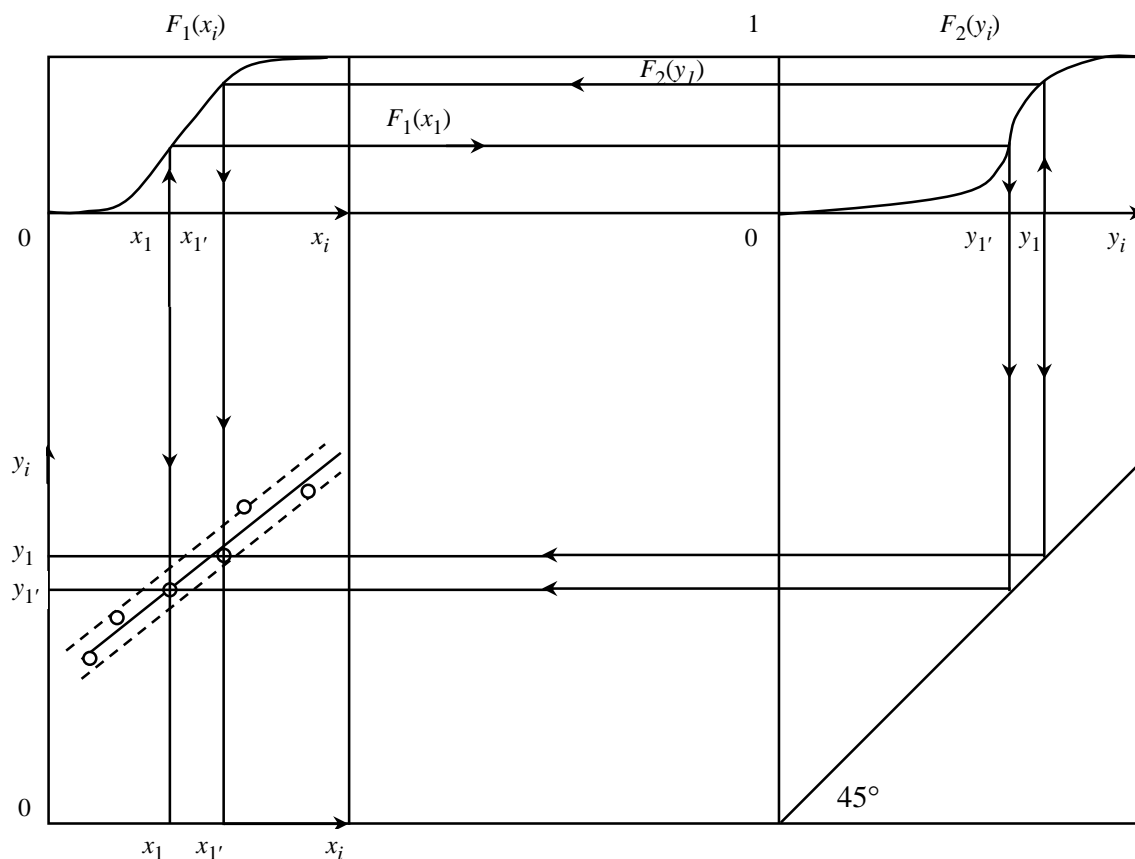


Рис. 3

В результате на плоскости (x_i, y_i) получим $2k$ точек с координатами (x_i, y'_i) и (x'_i, y_i) . Если через эти точки удастся провести аппроксимирующую прямую и отклонения от этой аппроксимации будут невелики, то можно считать, что выборки $\{x_1, \dots, x_k\}$ и $\{y_1, \dots, y_k\}$ принадлежат к одному распределению. Если отклонения от прямой велики, то соответствующую нулевую гипотезу следует отклонить.

Для определения принадлежности групп к одному типу распределения использовался 95 %-й доверительный интервал (ДИ) прогнозируемого разброса. На рис. 4 ДИ обозначен пунктирной линией. Этот интервал может быть вычислен при построении диаграммы рассеяния, представленном в пакете Statistica.

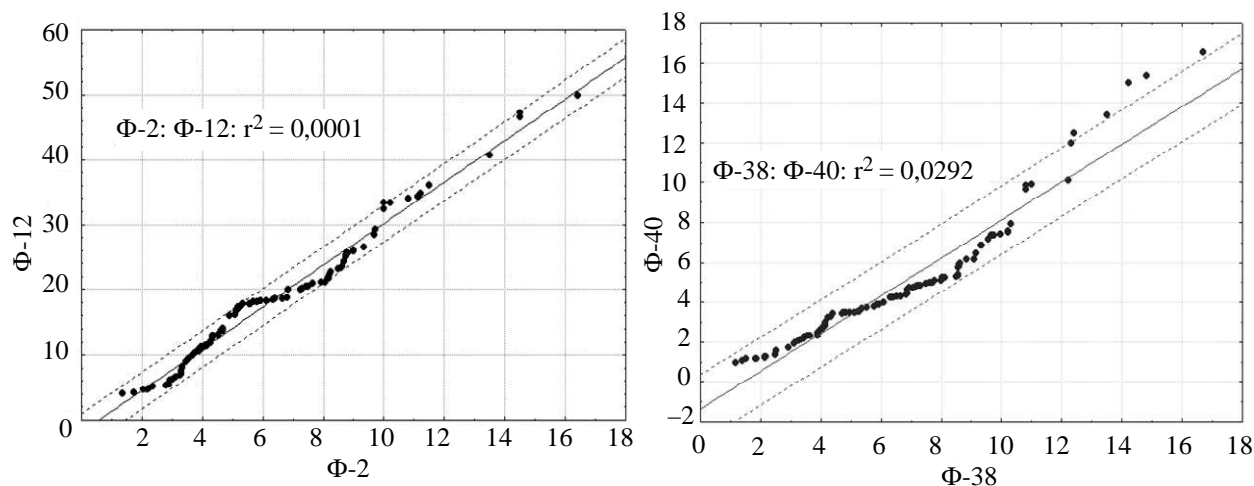


Рис. 4

Диаграммы Q–Q были построены для всех пар СВ. На рис. 4 представлены наиболее характерные диаграммы рассеяния пар (Ф-2, Ф-12 и Ф-38, Ф-40), по которым с помощью 95 %-го ДИ легко определить принадлежность пар к одной генеральной совокупности.

По данным рис. 4 можно сделать вывод, что пара СВ Ф-2, Ф-12 описывается приближенно одним законом распределения, а для пары СВ Ф-40, Ф-38 гипотезу об однородности распределений следует отвергнуть.

На основе использования диаграмм рассеяния типа Q–Q СВ сведены в 23 группы объемом от одной до трех СВ, имеющие примерно одинаковые формы распределения. Появление групп из одной СВ свидетельствует о большой изменчивости форм распределения и, по-видимому, низкой прогностической ценности этого параметра.

Диаграмма рассеяния Q–Q (квантиль-квантиль) сравнивает только формы распределений выборок, диапазоны значений которых могут принадлежать разным интервалам. Эти расхождения легко увидеть с помощью BoxPlot (ящичных диаграмм, или диаграмм размаха).

Диаграммы размаха. На диаграммах размаха (этот термин был впервые использован Тьюки в 1970 г.) представлены диапазоны значений выбранной переменной (или переменных) для отдельных групп наблюдений [5]. Для выделения этих групп используются от одной до трех категориальных (группирующих) переменных или набор логических условий выбора подгрупп.

Для каждой группы наблюдений вычисляется центральная тенденция (медиана или среднее), а также размах или изменчивость, которые отображаются боксом.

Каждая СВ на рис. 5 представляется прямоугольником с «усиками» [6]. Черная горизонтальная линия внутри прямоугольника характеризует медиану данной выборки. Верхняя и нижняя грани прямоугольника, называемые стержнями (hinges), определяют 25 и 75 %-е точки (процентили). Проще всего считать, что медиана делит выборку случайных чисел пополам, а стержни – каждую из получившихся в результате частей еще раз пополам. Длина прямоугольника (расстояние между значениями стержней) называется h -диапазоном (hsread) и корреспондируется с СКО, характеризуя разброс значений. «Усики» (Whiskers) – вертикальные линии, идущие вверх и вниз от каждого прямоугольника, показывают диапазон значений, находящихся в пределах полуторной длины h -диапазона (H). В ряде случаев приходится иметь дело со значениями, находящимися между полуторными и трехкратными

ми значениями h -диапазона, а также за трехкратными пределами. На рис. 5 такие значения показаны условными значками «*» – для экстремальных значений, находящихся за трехкратными пределами, и «o» – для значений, находящихся между полуторными и трехкратными значениями h -диапазона [5]. Значения, находящиеся достаточно «далеко» от центра распределения, называются выбросами «o» (outliers) и крайними точками-отскоками «*» (extreme values). На рис. 6 показаны диапазоны выбросов и крайних точек на «классической» диаграмме размаха в предположении нормального распределения с нулевым средним и СКО σ . На рис. 6 стержням соответствуют значения $\pm 0,674\sigma$, следовательно, $H = 1,35\sigma$, размер усиков = $1,5H = 2,02\sigma$, диапазон значений выбросов $[\pm (2,02\sigma + 0,674\sigma); \pm (4,04\sigma + 0,674\sigma)]$, а экстремальные значения лежат выше значения $3,5H = 4,725\sigma$ и ниже $-4,725\sigma$.

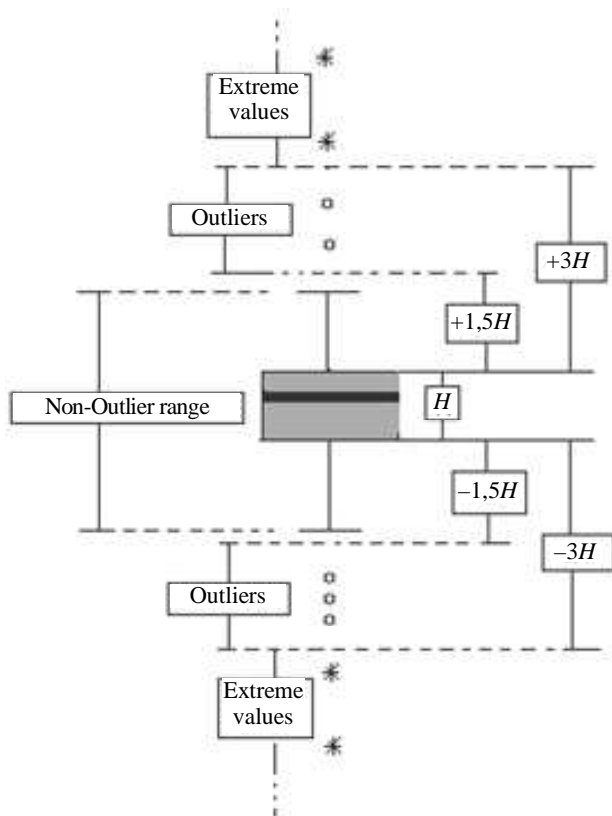


Рис. 5

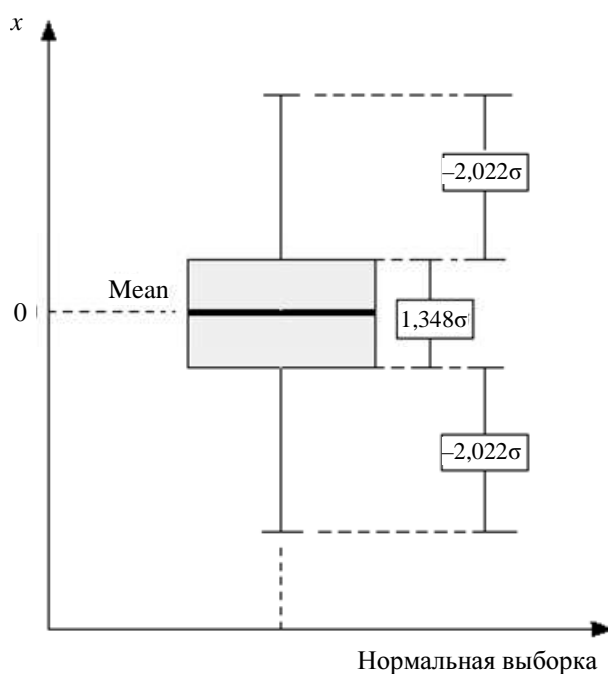


Рис. 6

Пример использования боксовых диаграмм для анализа СВ представлен на рис. 7, где показана совокупность объектов, составляющих группу 2, ранее рассмотренную в табл. 1. Ящичные диаграммы показывают симметричность-асимметричность расположения медианы внутри бокса, а также различие длины усиков. Последнее позволяет сделать заключение о том, что распределение СВ несимметричное и ненормальное, что подтверждает результаты тестирования по критерию Шапиро–Уилка.

Боксовые диаграммы показали, что практически все рассмотренные СВ имеют выбросы.

Оценки центральных тенденций ненормального распределения. В статистических пакетах общего назначения появились «новые» оценки центральных тенденций. Их появление обусловлено практикой обработки статистического материала, содержащего ошибки измерения значений конкретной величины, неточности приборов, промахи исследователей и выбросы СВ.

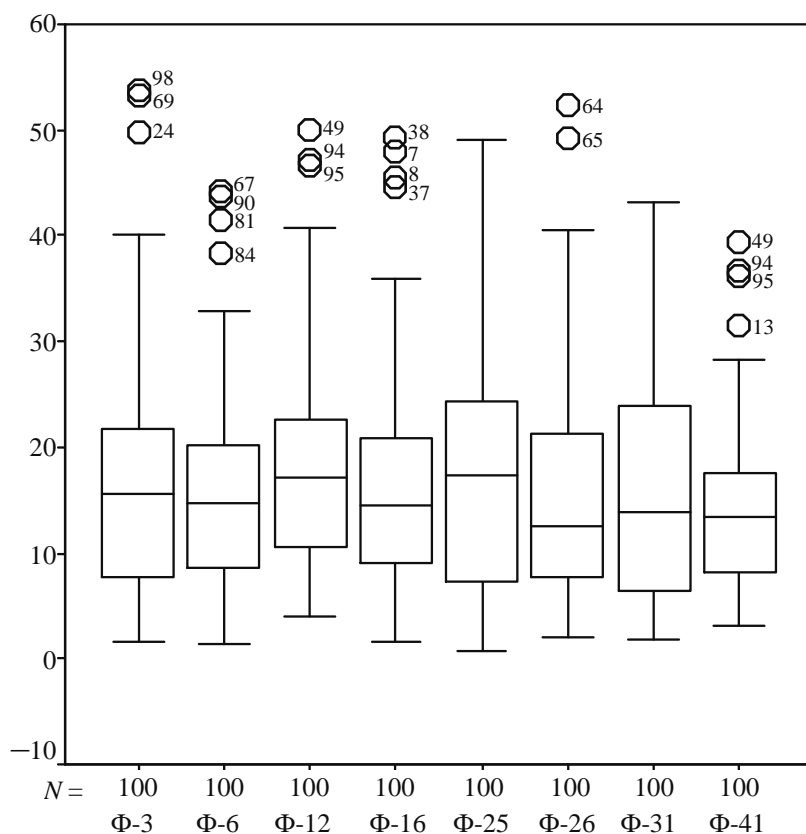


Рис. 7

Из таких оценок следует выделить:

- усеченное 5 %-е среднее;
- *M*-оценки.

Усеченное 5 %-е среднее используется при обработке значений, находящихся за пределами *h*-диапазона (ранее *H*), или при отклонениях от нормального закона. Усеченное 5 %-е среднее – это среднее, вычисленное для ранжированной выборки, у которой отсекаются 5 % снизу и сверху [5].

Усеченное среднее и *M*-оценки считают устойчивыми оценками потому, что они нечувствительны к отклонениям от нормальности. *M*-оценочная функция назначает веса наблюдениям, но вместо скачкообразного изменения весов от единицы до нуля при удалении наблюдения на определенное расстояние от центра изменяет эти веса плавно (или по какому-либо закону) по мере роста удаления.

M-оценочная функция – лишь один из многих методов получения устойчивых оценок, описанных в статистической литературе [5]. Пакет SPSS предоставляет 4 таких метода (названных по именам их авторов): Хьюбера, Тьюки, Хемпеля и Эндрюса. В этих методах определяются стандартизированные расстояния, показывающие, как далеко каждое наблюдение отстоит от центра распределения. При использовании асимметричных функций распределений методы Хьюбера и усеченного среднего имеют тенденцию давать оценки, более близкие к математическому ожиданию, а методы Тьюки, Хемпеля, Эндрюса – к медиане.

M-оценки – устойчивые меры центральной тенденции, которые могут использоваться как альтернативы среднему и медиане. Когда данные описываются асимметричным распределением с длинными «хвостами» или когда они имеют критические значения (выбросы), *M*-оценки обеспечивают лучшие оценки центральной тенденции, чем среднее и медиана.

Таблица 2

Номер группы	M-оценка Хьюбера	Бивес-оцениватель Тьюки	M-оценка Хампеля	Волна Эндрюса
1	6.127	5.805	6.064	5.801
2	14.554	14.072	14.636	14.063
3	13.7663	12.0281	13.8778	11.9950
4	10.75	10.26	10.76	10.26
5	4.708	4.414	4.708	4.409
6	8.0354	7.5833	8.0105	7.5795
7	4.0754	3.8549	4.0349	3.8503

В табл. 2 представлены вычисленные M-оценки для образованных групп. Видно, что M-оценки не сильно отличаются друг от друга в пределах одной группы, что свидетельствует об отсутствии слишком значительных выбросов в выборках.

Методы графического представления статистической информации (применение кластерного анализа). В процессе исследования к исходным данным была применена процедура иерархической кластеризации (пакет SPSS) по методу межгрупповых связей, где в качестве меры взят квадрат расстояния Евклида. Разбиение на кластеры было оценено с помощью дендрограммы (иерархического дерева, или дерева кластеризации). Оказалось, что выборки разбились на 21 кластер. Выделение группы происходило поэтапным разбиением выборок на 2 кластера, удаленных друг от друга, с последующим удалением кластера меньшего объема. Исследования показали, что создать небольшое число совокупностей не удалось (взрослые пациенты, пациенты-дети, мужчины, женщины).

Особый интерес вызвала зависимость коэффициентов агломерации, характеризующих расстояние между объединенными кластерами, от этапа анализа (рис. 8), которая оказалась немонотонной. На 20-м этапе обнаруживается явное изменение скорости прироста коэффициента. Это означает, что в процессе агломерации образовались две группы кластеров, расстояние между которыми, начиная с некоторого этапа, начало изменяться со значительно большей скоростью. На рис. 9 показана последовательность формирования кластеров.

Особый интерес вызвала зависимость коэффициентов агломерации, характеризующих расстояние между объединенными кластерами, от этапа анализа (рис. 8), которая оказалась немонотонной. На 20-м этапе обнаруживается явное изменение скорости прироста коэффициента. Это означает, что в процессе агломерации образовались две группы кластеров, расстояние между которыми, начиная с некоторого этапа, начало изменяться со значительно большей скоростью. На рис. 9 показана последовательность формирования кластеров.

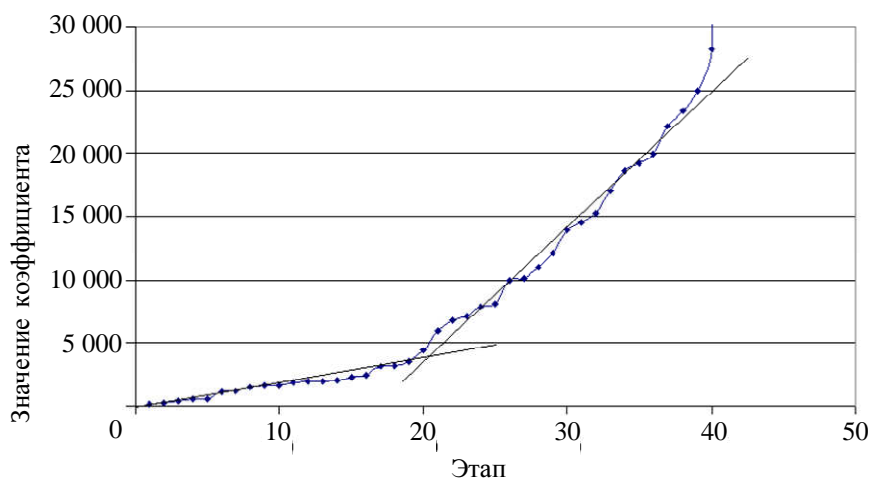


Рис. 8

Представляется интересным проанализировать гистограммы СВ обеих групп. Из рис. 9 видно, что в первую группу входит последовательность СВ 2-7-35-10-37-20-19-36-23-28-24-39-14-42(рис. 10), а во вторую – оставшиеся СВ (рис. 11).

Из рассмотрения гистограмм на рис. 10, 11 видно:

- гистограммы распределения второй последовательности обладают большей расфокусированностью по оси концентрации, в то время как первая группа СВ обладает большей компактностью;

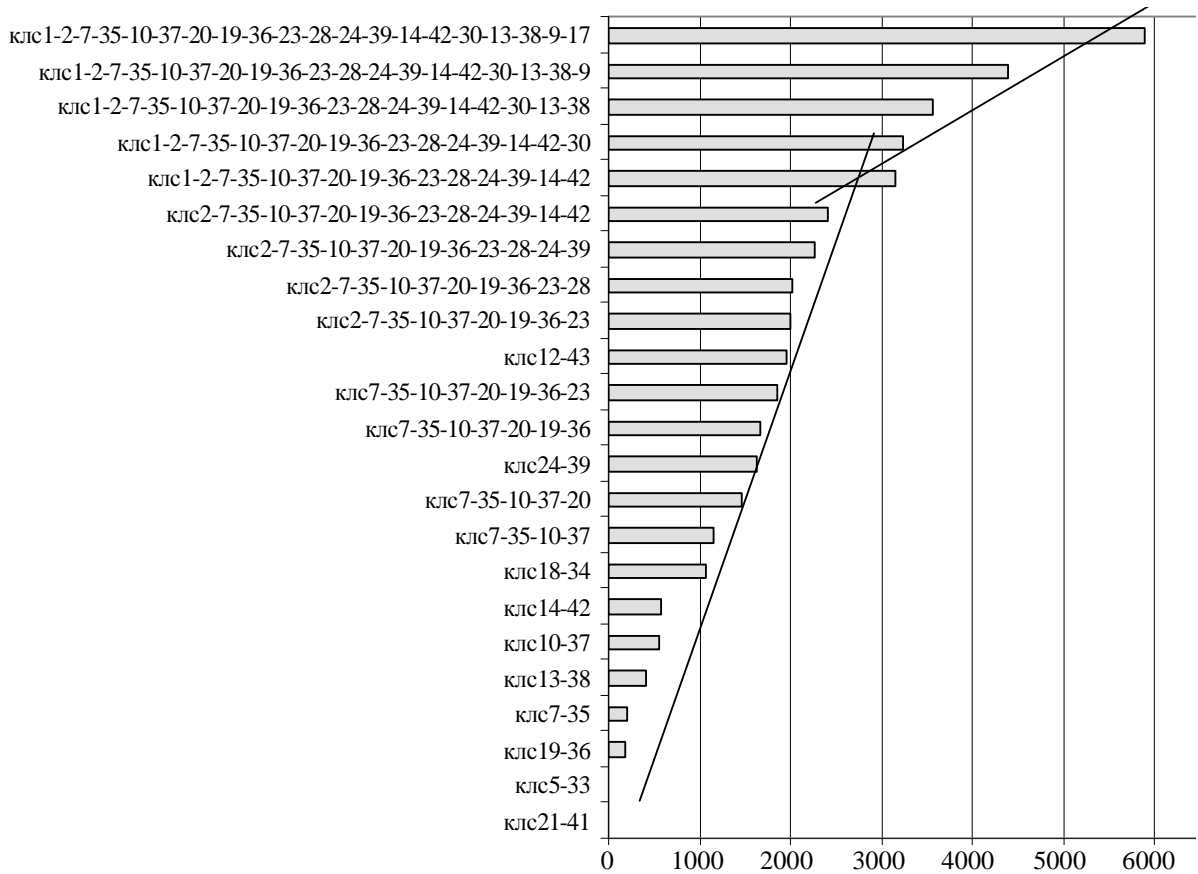


Рис. 9

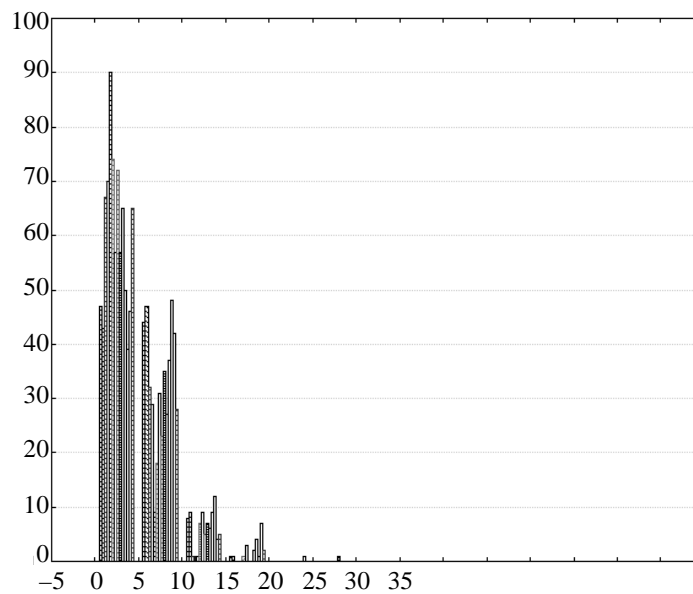


Рис. 10

- гистограммы имеют полимодальный вид с затухающей амплитудой моды;
 - периодичность расположения мод в первом случае вдвое меньшая, чем во втором.
- Возможной причиной последнего явления может быть фаза состояния ДНК в ядрах кардиомиоцитов. Исследовать это явление еще предстоит.

Выводы:

- Проанализированы статистические характеристики СВ, представляющих биологические объекты, для 42 образцов, заданных выборками по 100 проб.

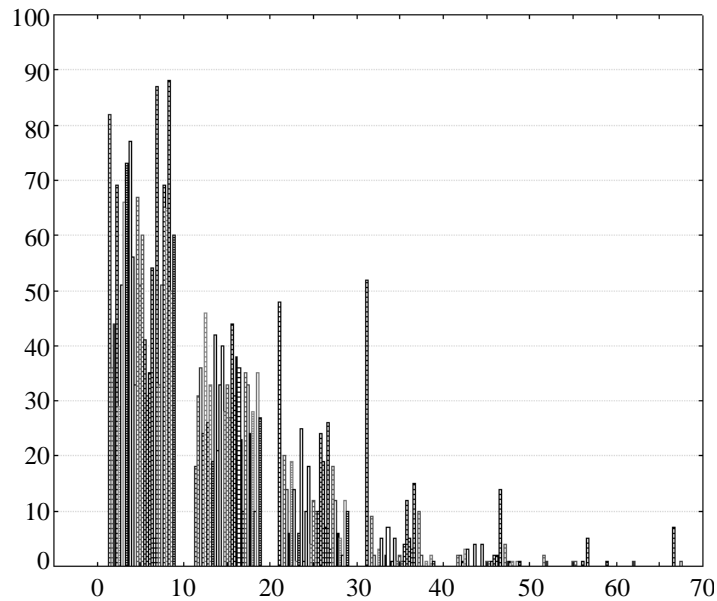


Рис. 11

- Установлено, что СВ имеют ненормальные распределения и в некоторых случаях содержат выбросы, представляющие собой сверхбольшие значения концентрации ДНК.
- С помощью непараметрических методов статистики получено 7 групп объемом от трех до десяти СВ, имеющих однородные значения меры положения.
- С использованием диаграмм рассеяния типа Q-Q СВ сведены в 23 группы объемом от одной до трех СВ, имеющие примерно одинаковые формы распределения. Малый объем групп не позволяет надеяться на диагностическую ценность этого параметра.
- Применение кластерного анализа привело к образованию двух совокупностей СВ, обладающих полимодальным распределением с различной периодичностью мод.
- Практическая ценность выполненного анализа должна быть проверена сопоставлением статистических характеристик групп с клиническим, лабораторным материалом и диагнозом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Артишевский А. А., Леонтьев А. С., Слука Б. А. Гистология с техникой гистологических исследований. Минск: Вышэйш. шк., 1999.
3. Первичные кардиомиопатии (молекулярно-генетические основы и врачебная тактика)/ Под ред. чл.-корр. РАМН, засл. деятеля науки РФ, проф. Е. В. Шляхто. СПб.: Изд-во СПбГМУ, 2005.
4. Вуколов Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel: Учеб. пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.
5. Дубнов П. Ю. Обработка статистической информации с помощью SPSS. М.: NT Press, 2004.
6. Бююль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей/ Пер. с нем.; ООО «ДиаСофтЮП». СПб., 2005.

A. A. Uglova, B. I. Smirnov

STATISTICAL INVESTIGATION OF THE MEDICAL AND BIOLOGICAL OBJECTS

This paper describes the investigations of data processing using statistical analysis. Myocardium nuclei DNA concentrations were the data of the research. The purpose of whole work was the selection of homogeneous groups. The graphical methods and the methods of central characteristics compare were applied. During cluster analysis performance the particular interesting was agglomeration coefficients dependence, that gave new abilities to groups forming.

Normal distribution, random value, sample, universal set, DNA concentration, cluster analysis, group selection

СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ СНЯТИИ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХПОЛЮСНИКА В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

Описан способ компенсации вклада, вносимого высокочастотными кабелями, используемыми в измерительной системе, при снятии входного импеданса исследуемого устройства с использованием СВЧ-тестовых сигналов. Компенсация производится с помощью созданной математической модели данной системы. Для повышения точности измерений рассчитываются эффективные значения длин отрезков кабеля.

СВЧ, импеданс, математическая модель, обратная задача

Важнейшим условием стабильности работы системы является надежность и качество ее комплектующих. Для обеспечения этого условия на практике применяются разнообразные методы контроля, но все большее развитие в наше время получают неразрушающие методы.

Под неразрушающими методами контроля принято понимать такие, которые, не изменяя качества, параметров и характеристик изделий, позволяют по косвенным, вторичным признакам обнаруживать скрытые дефекты либо особенности, влекущие за собой потенциальную ненадежность изделий.

Одним из наиболее информативных критериев для определения функциональных особенностей и оценки параметров высокочастотных модулей является входной импеданс исследуемого устройства, представленного в виде двухполюсника, и его амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

Специфика определения этих параметров состоит в необходимости использования СВЧ-тестовых сигналов. Как показал опыт, на используемых частотах для получения требуемой точности измерений необходимо учитывать влияние высокочастотных кабелей.

В общем случае для снятия АЧХ двухполюсника может быть использовано устройство, схема которого приведена на рис. 1. Тестовые сигналы от генератора на двухполюсник подаются через игольчатый щуп по кабелю $W1$. Непосредственное подключение к игольчатым щупам выполнено через высокочастотный разъем с помощью короткого отрезка кабеля $W2$. Снятие сигналов происходит через кабель $W3$ на осциллограф.

Для количественной оценки учета влияния высокочастотных кабелей отрезки длинных линий представлены в виде четырехполюсников. Тогда значения напряжения и тока в точке 2 (сигнал, отображаемый на осциллографе) могут быть найдены как

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= B_{11}\dot{U}_1 + B_{12}\dot{I}_1, \\ \dot{I}_2 &= B_{21}\dot{U}_1 + B_{22}\dot{I}_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где B_{11} , B_{12} , B_{21} , B_{22} – B -параметры четырехполюсника, образованного линией $W1$; U_1 , I_1 – комплексные значения тока и напряжения на выходе генератора.

АЧХ исследуемого двухполюсника может быть построена трансформированием значения амплитуды напряжения из точки 2 в точку 3 на различных частотах с учетом электрической длины линии l_2 и значения нагрузки Z_n . Такое преобразование может быть произведено с использованием выражений (1) только для отрезка линии $W2$.

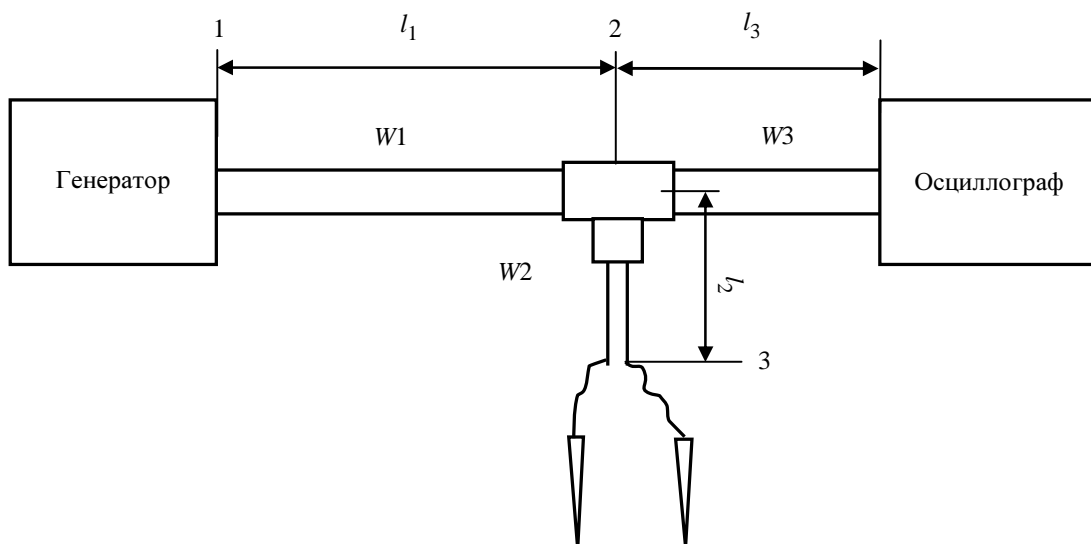


Рис. 1

АЧХ в точке 2 (U_2) и в точке 3 (U_H) для конкретных значений исследуемого устройства приведены на рис. 2.

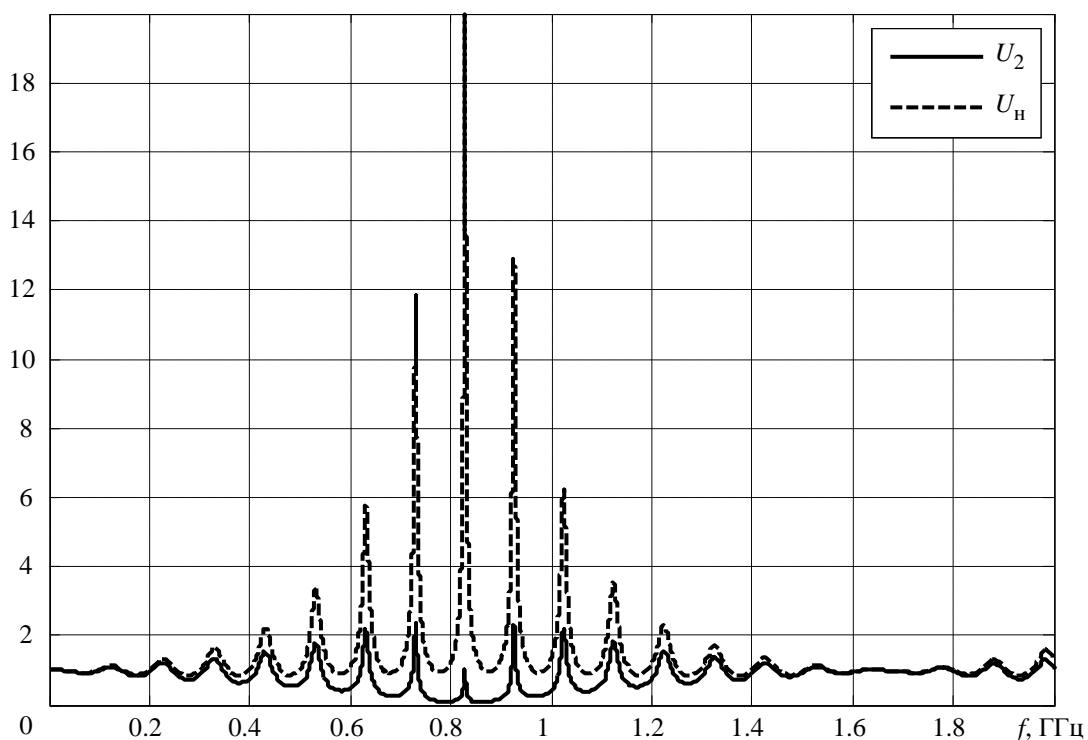


Рис. 2

Полученные зависимости позволяют оценить фактическое распределение амплитуды в исследуемом частотном диапазоне на двухполоснике без влияния отрезков линий. Однако они имеют теоретический характер, так как получены для заданных значений сопротивления нагрузки и длин линий l_1 и l_2 . Для повышения точности измерений и учета влияния паразитных параметров при определении длин отрезков линий используется графоаналитический метод. Для его реализации решается обратная задача: нахождение l_1 и l_2 по измеренному значению U_2 , известным сопротивлением нагрузки $Z_H = R_H$ и частоте f .

График зависимости амплитуды напряжения в точке 2 на фиксированной частоте $f = 1500$ МГц от длин l_1 и l_2 приведен на рис. 3.

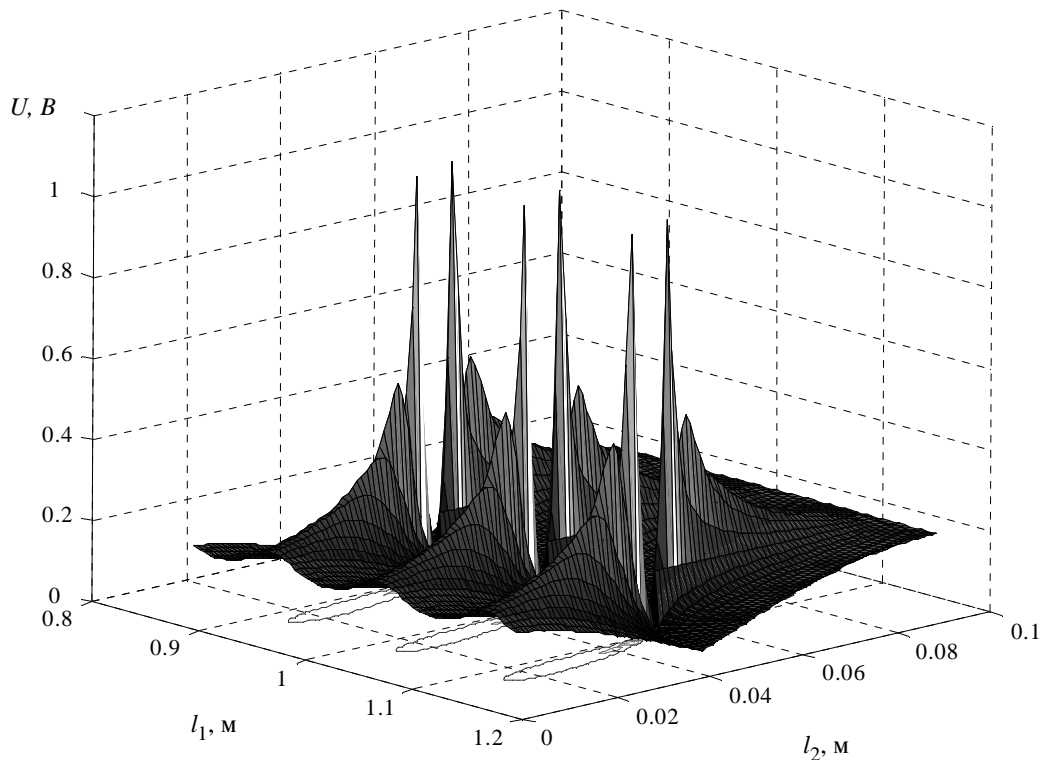


Рис. 3

Задача нахождения двух переменных l_1 и l_2 решается вычислением корней системы двух уравнений, но в данном случае для исключения ошибок в систему целесообразно включить не менее трех уравнений:

$$\begin{cases} F(l_1, l_2, f_1, U_{2эф1}, R_H) = 0, \\ F(l_1, l_2, f_2, U_{2эф2}, R_H) = 0, \\ F(l_1, l_2, f_3, U_{2эф3}, R_H) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $U_{2эф1}, U_{2эф2}, U_{2эф3}$ – экспериментально измеренные значения напряжения на выходе линии на частотах f_1, f_2, f_3 соответственно; R_H – постоянная величина.

В декартовой системе координат $X = l_1, Y = l_2, Z = U_2$ значение измеренного напряжения $U_{2эф}$ соответствует плоскости, параллельной XOY и пересекающей ось Z в точке $U_{2эф}$. Поэтому графическим решением является пересечение данной плоскости с поверхностью $U_2(l_1, l_2)$.

Импеданс рассчитывается аналогичным образом. Решается обратная задача нахождения $Z_H = R_H + jX_H$, т. е. задача нахождения активной (R_H) и реактивной (X_H) составляющей нагрузки Z_H по измеренному значению U_2 , определенным длинам линии l_1 и l_2 на фиксированной частоте f . Так как зависимость U_2 от частоты нелинейна, значения Z_H находятся отдельно для каждой частоты.

Для нахождения двух неизвестных составляется система уравнений, соответствующая нескольким измеренным на одинаковой частоте f_1 значениям U_2 для различных длин ответвления l_1 .

Система двух уравнений может иметь 2 решения, поэтому для исключения одного из них необходимо ввести дополнительное уравнение.

Таким образом, для нахождения $Z_H = R_H + jX_H$ система уравнений (2) преобразуется к следующему виду:

$$\begin{cases} F(l_1, l_2^1, f_1, U_{2\text{эл}l_2^1}, R_H, X_H) = 0, \\ F(l_1, l_2^2, f_1, U_{2\text{эл}l_2^2}, R_H, X_H) = 0, \\ F(l_1, l_2^3, f_1, U_{2\text{эл}l_2^3}, R_H, X_H) = 0, \end{cases}$$

где $U_{2\text{эл}l_2^1}, U_{2\text{эл}l_2^2}, U_{2\text{эл}l_2^3}$ – экспериментально измеренные значения напряжения на выходе линии при различных длинах отрезка W_2 , соответственно l_2^1, l_2^2, l_2^3 ; f_1 – фиксированная частота.

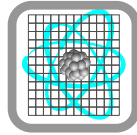
Полученные таким образом исходные данные позволяют решить задачу расчета АЧХ исследуемого двухполюсника для определения функциональных особенностей и оценки параметров высокочастотных модулей с учетом известных инструментальных погрешностей используемых средств измерений.

E. A. Stepanov

MEDIA COVERAGE REACTANCE MEASURING INSTRUMENT WHEN MEASURING AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTIC OF THE ONE-PORT SECTION IN MICROWAVE RANGE

Method compensating for the contribution, that are contributed by radio-frequency cable in measuring system, while measuring of input impedance of investigation device under microwave test signal application is described. Compensation is carried out by means of designed mathematical model of described systems. Efficient value of cable length is calculation in order to increase tolerance of measurement.

Microwave, impedance, mathematical model, inverse problem



УДК 539.08: 539.172.3: 539.2

С. М. Иркаев, А. И. Мамыкин, В. В. Морозов

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛА РАССЕЯНИЯ В МЕССБАУЭРОВСКОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Получено аналитическое представление интеграла резонансного рассеяния в мессбауэровской и оптической спектроскопии, в котором параметры, характеризующие резонансное поглощение и электронное ослабление излучения источника образцом, а также ширины линий источника и рассеивателя, полностью разделены.

Мессбауэровская и оптическая спектроскопия, резонансное поглощение и рассеяние излучения, контур, площадь и интенсивность спектральной линии

Интеграл рассеяния, рассмотренный в работе [1], может быть вычислен разными способами. В частности, его можно представить в виде

$$\bar{M}(y, z, a, b, \zeta) = (\zeta + 1) \int_0^z \exp(-(\zeta - 1)z) M(y, z, a, b, a) dz, \quad (1)$$

где

$$M(y, z, a, b, a) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp\left(-\frac{2z}{\left(\frac{x}{a}\right)^2 + 1}\right)}{\left(\left(\frac{x+y}{b}\right)^2 + 1\right) \left(\left(\frac{x}{a}\right)^2 + 1\right)} dx. \quad (2)$$

Интеграл (2) можно разложить в степенной ряд

$$M(y, z, a, b, a) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-2z)^n}{n!} K_{c, n+1}(y, a, b) \quad (3)$$

с коэффициентами

$$K_{c, n+1}(y, a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{\left(\left(\frac{x+y}{b} \right)^2 + 1 \right) \left(\left(\frac{x}{a} \right)^2 + 1 \right)^{n+1}}.$$

После преобразования получим:

$$\begin{aligned} K_{c, n+1}(y, a, b) &= \frac{2\pi b}{2^{2n+2}} \sum_{k=1}^{n+1} \binom{2n-k+1}{n} \left(2\rho_\alpha(y, a, b) \right)^k \cos k\alpha(y, a, b) = \\ &= \frac{\pi b}{2^{2n+2}} 2 \sum_{k=0}^{n+1} (-1)^k \binom{2n+2}{n-k+1} \rho^k(y, a, b) \cos k\varphi(y, a, b). \end{aligned} \quad (4)$$

Смысл штриха у суммы $\left(\sum' \right)$ пояснен в работе [2]. Параметры ρ_α , α , ρ и φ , входящие в формулу (4), определяются как

$$\begin{aligned} \rho_\alpha(y, a, b) &= \frac{a}{\sqrt{y^2 + (a+b)^2}}; \quad \alpha(y, a, b) = \arccos \frac{a+b}{\sqrt{y^2 + (a+b)^2}}; \\ \rho(y, a, b) &= \sqrt{\frac{y^2 + (b-a)^2}{y^2 + (b+a)^2}}; \quad \varphi(y, a, b) = \arccos \frac{y^2 + b^2 - a^2}{\left(y^2 + (b+a)^2 \right) \rho(y, a, b)}. \end{aligned}$$

Вклад в интенсивность спектральной линии в ее максимуме при $y = 0$ дается коэффициентами

$$K_{c, n+1}(0, a, b) = \frac{2\pi b}{2^{2n+2}} \sum_{k=1}^{n+1} \binom{2n-k+1}{n} \left(\frac{2a}{a+b} \right)^k = \frac{\pi b}{2^{2n+2}} 2 \sum_{k=0}^{n+1} (-1)^k \binom{2n+2}{n-k+1} \left(\frac{b-a}{b+a} \right)^k.$$

Подстановка разложения (3) в формулу (1) приводит к соотношению

$$\bar{M}(y, z, a, b, \varsigma) = (\varsigma + 1) \sum_{n=0}^{\infty} \left(\int_0^z z^n \exp(-(\varsigma-1)z) dz \right) \frac{(-2)^n}{n!} K_{c, n+1}(y, a, b). \quad (5)$$

Интеграл по z является табличным [3]:

$$\int_0^z z^n \exp(-(\varsigma-1)z) dz = \frac{1}{(\varsigma-1)^{n+1}} \gamma(n+1, (\varsigma-1)z) = \frac{n!}{(\varsigma-1)^{n+1}} \left(1 - \exp(-(\varsigma-1)z) \sum_{k=0}^n \frac{((\varsigma-1)z)^k}{k!} \right),$$

где $\gamma(n, z) = \Gamma(n) - \Gamma(n, z)$ – неполная гамма-функция.

Подставив вычисленный интеграл в формулу (5) и изменив порядок суммирования, получим, что функция $\bar{M}(y, z, a, b, \varsigma)$ представима в виде

$$\bar{M}(y, z, a, b, \varsigma) = \exp(-(\varsigma-1)z) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-2z)^n}{n!} \tilde{M}_n(y, a, b, \varsigma) \quad (6)$$

с коэффициентами

$$\tilde{M}_n(y, a, b, \varsigma) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\left(-\frac{\varsigma-1}{2} \right)^n - \frac{1}{\left(\left(\frac{x}{a} \right)^2 + 1 \right)^n} \right) \frac{dx}{\left(\left(\frac{x+y}{b} \right)^2 + 1 \right) \left(\left(\frac{x}{c} \right)^2 + 1 \right)},$$

где $c = a \sqrt{\frac{\varsigma+1}{\varsigma-1}}$. Вычислив интеграл, получим:

$$\tilde{M}_n(y, a, b, \varsigma) = \left(\frac{\varsigma+1}{\varsigma-1} \right) \sum_{k=0}^{n-1} \left(-\frac{\varsigma-1}{2} \right)^{n-k} K_{c, k+1}(y, a, b). \quad (7)$$

Площадь под контуром спектральной линии согласно формуле (1) дается интегралом

$$\begin{aligned} \bar{S}_M(z, a, b, \varsigma) &= \int_{-\infty}^{\infty} \bar{M}(y, z, a, b, \varsigma) dy = \pi b (\varsigma+1) \int_0^z \exp(-(\varsigma-1)z) K_c(0, z, a, a) dz = \\ &= \pi^2 ab (\varsigma+1) \int_0^z \exp(-\varsigma z) I_0(z) dz, \end{aligned}$$

где $I_0(z)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода; функция $K_c(0, z, a, a)$ определена в работе [4].

Если исходить из разложения (6), то

$$\bar{S}_M(z, a, b, \varsigma) = \exp(-(\varsigma-1)z) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-2z)^n}{n!} \tilde{S}_n(a, b, \varsigma), \quad (8)$$

$$\text{где } \tilde{S}_n(a, b, \varsigma) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{M}_n(y, a, b, \varsigma) dy = \pi b \int_{-\infty}^{\infty} \left(\left(-\frac{\varsigma-1}{2} \right)^n - \frac{1}{\left(\left(\frac{x}{a} \right)^2 + 1 \right)^n} \right) \frac{dx}{\left(\left(\frac{x}{c} \right)^2 + 1 \right)}.$$

Вычисление этого интеграла согласно формуле (7) сводится к вычислению интеграла от функций $K_{c, k+1}(y, a, b)$ по y . Используя представление (4), получим

$$\int_{-\infty}^{\infty} K_{c, k+1}(y, a, b) dy = -\frac{\pi^2 ab^{k+1}}{2^{2k}} \sum_{m=1}^{k+1} (-1)^m m \binom{2k+2}{k-m+1} = \frac{\pi^2 ab}{2^{2k}} \binom{2k}{k}.$$

В результате

$$\tilde{S}_n(a, b, \varsigma) = \pi^2 ab \left(\frac{\varsigma+1}{\varsigma-1} \right) \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2^{2k}} \binom{2k}{k} \left(-\frac{\varsigma-1}{2} \right)^{n-k}. \quad (9)$$

Подставив формулу (9) в (8), получим

$$\begin{aligned} \bar{S}_M(z, a, b, \varsigma) &= \pi^2 ab (\varsigma+1) \int_0^z \exp(-\varsigma z) I_0(z) dz = \\ &= \pi^2 ab \left(\frac{\varsigma+1}{\varsigma-1} \right) \exp(-(\varsigma-1)z) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-2z)^n}{n!} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2^{2k}} \binom{2k}{k} \left(-\frac{\varsigma-1}{2} \right)^{n-k}. \end{aligned}$$

Для получения полного разложения исходного интеграла в степенной ряд разложим в степенные ряды экспоненты в формулах (1) и (2) и перемножим эти ряды. В результате придем к следующему степенному разложению:

$$\bar{M}(y, z, a, b, \zeta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-2z)^n}{n!} \bar{M}_n(y, a, b, \zeta),$$

где $\bar{M}_n(y, a, b, \zeta) = -\left(\frac{\zeta+1}{2}\right) \sum_{k=1}^n \binom{n-1}{k-1} \left(\frac{\zeta-1}{2}\right)^{n-k} K_{ck}(y, a, b)$.

Коэффициенты $K_{ck}(y, a, b)$ определены в формуле (4). Связь между коэффициентами $\bar{M}_n(y)$, $\tilde{M}_n(y)$, $M_n(y)$ и \bar{S}_n , \tilde{S}_n , S_n дается соотношениями, приведенными в работе [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иркаев С. М., Мамыкин А. И., Морозов В. В. Форма линии в спектрах резонансного поглощения и рассеяния в мессбауэровской спектроскопии // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Физика твердого тела и электроника. 2008. № 2. С. 13–18.
2. Морозов В. В. Спектроскопические интегралы // Изв. высш. учеб. завед. России. Сер. Радиоэлектроника. 2004. № 4. С. 3–15.
3. Прудников А. П., Брычков Ю. А., Маричев О. И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. М.: Наука, 1981.
4. Мамыкин А. И., Морозов В. В. Резонансное рассеяние в мессбауэровской спектроскопии // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Физика твердого тела и электроника. 2006. № 2. С. 6–11.

S. M. Irkaev, A. I. Mamykin, V. V. Morosov

OPTIMIZATION OF THE CALCULATION OF THE SCATTERING INTEGRAL IN MOSSBAUER AND OPTICAL SPECTROSCOPY

Analytical representation for the scattering integral in Mossbauer and optical spectroscopy is obtained. In this representation the parameters characterizing the resonance absorption and electronic attenuation of the radiation of the source by the sample and the line widths of the source and scatterer are completely separated.

Mossbauer and optical spectroscopy, resonance scattering of radiation, contour, area and intensity of the spectral line

РЕЛАКСАЦИЯ ГОМОЗАРЯДА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКЕ

Для описания релаксации гомозаряда в диэлектрической пленке использована модель дрейфа носителей в собственном поле с учетом проводимости пленки и центров захвата. Аналитическое описание модели позволяет, используя результаты эксперимента, оценивать такие физические параметры диэлектрика, как подвижность носителей, собственную проводимость и концентрацию ловушек.

Диэлектрик, пленка, релаксация, гомозаряд

Установлено [1]–[10], что изотермическая релаксация неравновесного заряда в диэлектрических пленках в отсутствие гетерозарядов происходит вследствие дрейфа инжектированного в материал гомозаряда в электрическом поле, созданном этим зарядом. Реальные пленки имеют собственные тепловые носители, которые определяют проводимость материала. Кроме того, они содержат поверхностные и объемные центры захвата (ловушки), энергетические уровни которых находятся в запрещенной зоне.

При изучении этой задачи авторы применяют физические модели разной степени сложности. В наиболее общем случае, когда пленка имеет проводимость и центры захвата (ловушки), задачу решают численными методами [10].

В данной статье предложена физическая модель изотермической релаксации, в которой учтены собственная проводимость пленки, захват носителей заряда на ловушки и их разрядка. Для описания модели введена система классических уравнений, дополненная начальными и граничными условиями. Решение системы для электрического поля в пленке выполнено в аналитической форме, и получена зависимость поверхностного потенциала пленки от времени. Решение использовано для анализа процесса релаксации в пленках оксида тантала, осажденных на металл.

Рассмотрим пленочную структуру, которая состоит из диэлектрической пленки толщиной L , на полубесконечной металлической подложке, потенциал которой V принимаем равным нулю (рис. 1). В начальный момент времени ($t = 0$) на единицу площади свободной поверхности пленки (при $x = 0$) инжектированы электроны с суммарным зарядом Q_0 [Кл/м²], которые сосредоточены в поверхностном слое малой толщины h .



Рис. 1

При любых условиях транспорта плотность свободных и захваченных носителей заряда в пленке будет изменяться, что, в свою очередь, приведет к изменению электрического поля внутри пленки и потенциала ее свободной поверхности, который можно достаточно точно измерить. Поэтому, создавая модель релаксации, следует связать изменение потенциала свободной поверхности пленки с ее параметрами и начальным инжектированным зарядом Q_0 или начальным потенциалом V_0 . В этом случае достигается цель поставленной задачи: временной анализ релаксации неравновесного заряда в пленке при известных ее параметрах или определение этих параметров по результатам эксперимента.

Пусть пленку характеризуют следующие параметры – диэлектрическая проницаемость ε , подвижность инжектированных зарядов μ , собственная проводимость σ и объемная концентрация ловушек N_t . Транспорт инжектированного заряда в пленке (без учета диффузионного тока) описываем системой уравнений:

– уравнение для плотности полного тока в режиме холостого хода:

$$-\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} = (\sigma + \mu \rho) E ; \quad (1)$$

– уравнение Пуассона:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{1}{\varepsilon} (\rho + \rho_t) , \quad (2)$$

где $E = E(x, t)$ – напряженность электрического поля в пленке; $\rho = \rho(x, t)$ – плотность свободного заряда; $\rho_t = \rho_t(x, t)$ – плотность заряда, захваченного на глубокие ловушки.

Транспортные уравнения (1) и (2) должны быть дополнены кинетическим уравнением для ловушек

$$\rho_t(t) = q N_t \exp(-\nu t) , \quad (3)$$

где ν – частота разрядки ловушек. В выражении (3) отсутствует координатная зависимость из-за однородного пространственного распределения незаряженных ловушек ($N_t(x) = \text{const}$). Таким образом, физическую модель релаксации инжектированного заряда описывает система уравнений (1)–(3).

После ряда преобразований систему уравнений можно привести к следующему уравнению для электрического поля:

$$\frac{\partial \ln E}{\partial t} + \mu \frac{\partial E}{\partial x} = p(t) , \quad (4)$$

где слагаемое в правой части зависит от времени:

$$p(t) = \frac{\exp(-\nu t)}{\tau_t} - \frac{1}{\tau_d} .$$

Здесь $\tau_t = \varepsilon / q \mu N_t$ – время релаксации неравновесного свободного заряда за счет захвата на глубокие ловушки, введенное по аналогии со временем максвелловской релаксации τ_d ; $\tau_d = \varepsilon / \sigma$ – постоянная диэлектрической (максвелловской) релаксации.

Уравнение (4) с условиями $E(0, t) = 0$ и $E(x, 0) = E_0$ описывает поле только в области свободного заряда. Решение уравнения (4), полученное методом разделения переменных, имеет вид

$$E(x, t) = E_0 \frac{x}{La(t)} \exp(-t/\tau_d) , \quad (5)$$

где

$$a(t) \equiv \frac{1}{\tau_0 f(t)} \int_0^t f(t') \exp(-t'/\tau_d) dt',$$

$$\tau_0 = \frac{L}{\mu E_0} = \frac{\varepsilon L}{\mu Q_0} = \frac{L^2}{\mu V_0},$$

$$f(t) = \exp\left(\frac{1 - \exp(-vt)}{v \tau_t}\right).$$

Величина τ_0 определяет время достижения свободным зарядом границы $x = L$ в идеальном диэлектрике, когда $\sigma = 0$ и $N_t = 0$ [9].

В знаменателе выражения (5) стоит ширина области, занятой движущимся зарядом, передний фронт которого в момент времени t занимает положение $x_f(t) = La(t) \leq L$ (при $a(t) \leq 1$). Решение уравнения (4) в виде (5) справедливо при $\sigma \neq 0$, $N_t \neq 0$ и $v \neq 0$ и задает изменение поля только в области существования свободного заряда. Вне этой области электрическое поле является пространственно однородным, а его зависимость от времени имеет вид

$$E(x, t) = E_0 \exp(-t/\tau_d). \quad (6)$$

Распределение электрического поля в виде (5) и (6) позволяет определить потенциал свободной поверхности пленки относительно заземленного металла:

$$V_I(t) = \int_0^L E(x, t) dx = V_0 \exp(-t/\tau_d) \left(1 - \frac{a(t)}{2}\right). \quad (7)$$

Формулы (5) – (7) применимы лишь в пределах временного интервала $0 < t < t_L$, который называют *зоной I*, где t_L – время достижения передним фронтом заряда x_f металла, т. е. $x_f(t_L) = L$ или $a(t_L) = 1$.

Для последующих моментов времени $t_L < t < \infty$, соответствующих *зоне II*, в которой отсутствует движущийся фронт заряда, т. е. $x_f(t > t_L) \equiv L$, аналогичные расчеты дают следующие выражения для поля и потенциала:

$$E(x, t) = E_0 \frac{x}{La(t)} \exp(-t/\tau_d), \quad (8)$$

$$V(t) = \frac{V_0}{2a(t)} \exp(-t/\tau_d). \quad (9)$$

Электрическое поле $E(x, t)$ для обеих зон линейно изменяется в областях с ненулевой плотностью суммарного заряда. Такая картина пространственного распределения поля для обеих зон качественно показана на рис. 2.

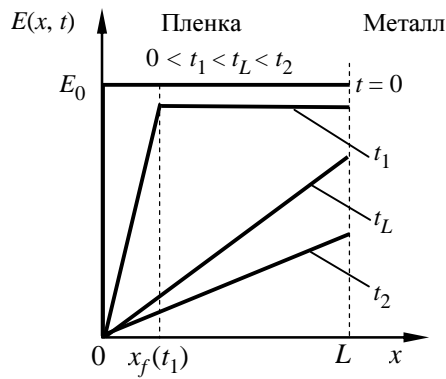


Рис. 2

В зоне I электрическое поле на металле $E(L, t) = E_0 \exp(-t/\tau_d)$ затухает по закону максвелловской релаксации. В зоне II $E(L, t) = E_0 \exp(-t/\tau_d)/a(t)$. Здесь в дополнение к максвелловской релаксации вступает в действие механизм стекания заряда в электронный резервуар металлического контакта, что учитывает функция $a(t)$, стоящая в знаменателе выражения (8).

Выражения (7) и (9) были использованы для анализа экспериментальных данных по релаксации заряда в пленках оксида тантала.

Пленка	τ_0 , сут	τ_d , сут	τ_t , сут	$v \cdot 10^4$, сут ⁻¹
1	50	∞	20	0
2	2	∞	9.2	0
3	5.2	316.7	5.4	39.6

На рис. 3 точками показаны результаты наблюдения за релаксацией поверхностного потенциала, а сплошные линии получены с использованием выражений (7) и (9). Здесь введены следующие обозначения экспериментальных данных:

1 – из работы [11], 2 – из работы [12], 3 – получены авторами. Параметры физической модели (табл. 1) в каждом случае были подобраны так, чтобы аналитические кривые наилучшим образом описывали эксперимент.

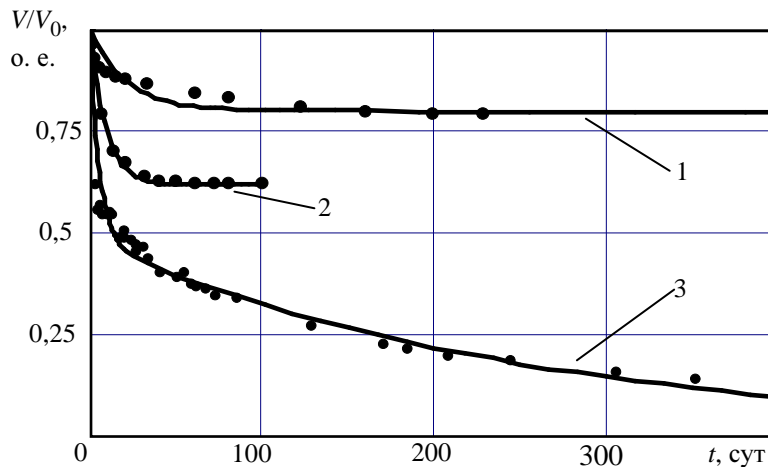


Рис. 3

По параметрам τ_d , τ_t и τ_0 с использованием выражений

$$\mu = \frac{L^2}{\tau_0 V_0}; \quad \sigma = \frac{\varepsilon}{\tau_d}; \quad N_t = \frac{\varepsilon}{q \mu \tau_t}$$

были вычислены параметры пленки (табл. 2). Эти значения по порядку величины не отличаются от результатов, полученных другими авторами [13].

Таблица 2

Пленка	ε	L , мкм	V_0 , В	$\sigma \cdot 10^{18}$, (Ом · м) ⁻¹	$\mu \cdot 10^{21}$, м ² /(В · с)	$N_t \cdot 10^{-23}$, м ⁻³
1	27.6	0.425	50	0	0.84	10.56
2	27	0.34	30	0	3.7	5.08
3	27	0.3	25	0.1	8.013	3.995

Таким образом, принятая модель релаксации неравновесного заряда в диэлектрической пленке имеет две временные зоны. В первой зоне свободный заряд представляет собой прямоугольный пакет носителей, передний фронт которого $x_f(t)$ под действием собственного поля дрейфует по направлению к границе раздела «пленка–металлическая подложка». При этом задний фронт пакета ($x = 0$) остается неподвижным. С течением времени происходит уменьшение объемной плотности свободного заряда вследствие:

- размывания пакета вдоль x в связи с разной скоростью движения электронов в пакете, которая является функцией поля;
- захвата свободных электронов на ловушки;
- максвелловской релаксации.

Во второй зоне плотности свободного и захваченного зарядов сохраняются равномерными по всей толщине пленки. Плотность свободного заряда уменьшается за счет стока электронов в металл. Плотность захваченного на глубокие ловушки заряда тоже уменьшается за счет освобождения электронов с ловушек.

Описание поверхностного потенциала в форме (7) и (9), которое получено с учетом проводимости пленки, захвата на ловушки и их разрядки, имеет общий характер. В работе [14] показано, что оно трансформируется в известные выражения, полученные другими авторами для отдельных частных случаев [4], [6].

Как показано на примере пленок оксида тантала, выражения (7) и (9) позволяют адекватно описать экспериментальные результаты и оценить физические параметры диэлектрической пленки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-03-00543-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Many A., Rakavy G. Theory of transient space-charge-limited currents in solids in the presence of trapping // *Phys. Rev.* 1962. Vol. 126, № 6. P. 1980–1989.
2. Seki H., Batra I. P. Photocurrents due to pulse illumination in the presence of trapping // *Appl. Phys.* 1971. Vol. 42, № 6. P. 2407–2420.
3. Seki H. Field-depent photoinjection efficiency of carriers in amorphous Se films // *Phys. Rev.* 1970. Vol. 2, № 12. P. 4877–4882.
4. Chudleigh P. W. Charge transport through a polymer foil // *Appl. Phys. Lett.* 1977. Vol. 48, № 11. P. 4591–4596.
5. Wintle H. J. Space charge limited currents in graded films // *Thin Solid Films.* 1974. Vol. 21. P. 83–90.
6. Kanazawa K. K., Batra I. P., Wintle H. J. Decay of surface potential in insulators // *Appl. Phys.* 1972. Vol. 43, № 2. P. 719–720.
7. Charge-carrier dynamics following pulsed photoinjection / I. P. Batra, K. K. Kanazawa, B. H. Schechtman, H. Seki // *Appl. Phys.* 1971. Vol. 42, № 3. P. 1124–1130.
8. Batra I. P., Kanazawa K. K., Seki. H. Discharge characteristics of photoconducting insulators // *Appl. Phys.* 1970. Vol. 41, № 8. P. 3416–3422.
9. Wintle H. J. Decay of static electrification by conduction processes in polyethylene // *Appl. Phys.* 1970. Vol. 41, № 10. P. 4004–4007.
10. Wintle H. J. Surface-charge decay in insulators with nonconstant mobility and with deep trapping // *Appl. Phys.* 1972. Vol. 43, № 7. P. 2927–2930.
11. Релаксация электретоного состояния в аморфном оксиде тантала / М. С. Моргунов, В. М. Муждаба, В. Н. Таиров и др. // *ФТТ.* 1983. Т. 25, вып. 11. С. 3431–3436.
12. Лобушкин В. Н., Таиров В. Н. Внешнее электрическое поле анодных оксидных пленок // *Электрохимия.* 1976. Т. 12, вып. 5. С. 779–780.

13. Кузьмин Ю. И. Исследование процессов объемной и поверхностной релаксации зарядов в полимерных электретах: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / ЛЭТИ. Л., 1984. 20 с.

14. Барыбин А. А., Шаповалов В. И. Релаксация заряда в проводящих диэлектрических пленках с мелкими и глубокими ловушками // ФТТ. 2008. Т. 50, № 6.

A. A. Barybin, A. V. Zavyalov, V. I. Shapovalov

HOMOCHARGE RELAXATION IN DIELECTRIC FILMS

A model of the homocharge relaxation in dielectric film is proposed to take into consideration conductivity and trapping for material. Analytic expression of the model allows the electron mobility, conductivity and trap density to be calculated from experimental data.

Dielectric, film, relaxation, homocharge



УДК 681.518.22:681.514

С. С. Егоров, В. Е. Миллер,
Н. Г. Мустафин, Ю. В. Фомкин

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ ЗАДАЧ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Задача исследования формулируется как нахождение дисциплины обслуживания, обеспечивающей минимальное потребление некоторого ограниченного ресурса при обеспечении надлежащего качества обслуживания заявок. Качество обслуживания заключается в обеспечении вероятностных показателей обработки заявок. В качестве внешних факторов, воздействующих на систему обслуживания, рассматриваются вероятностные распределения потоков заявок и количество работоспособных обслуживающих приборов. Для модели равномерного вероятностного распределения получены теоретические предельные значения минимального потребления ресурса при заданном качестве обслуживания.

Диспетчирование, система обработки заявок, ограниченный ресурс, качество обслуживания, оптимальная дисциплина обслуживания

Представим в качестве модели задачи построения статического и динамического расписаний запуска задач обработки данных в реальном времени, сформулированной в [1], некоторую систему обслуживания заявок (СОЗ), структурная схема которой изображена на рис. 1.

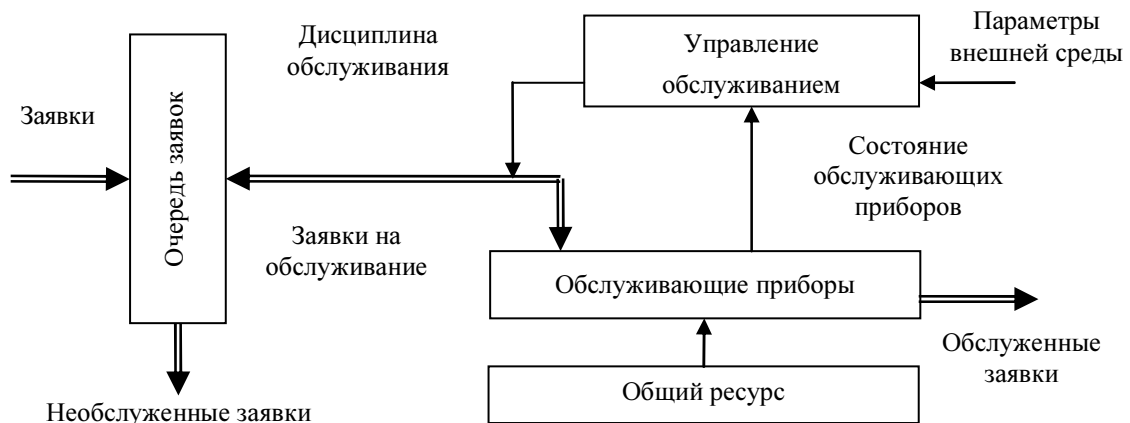


Рис. 1

Рассмотрим последовательно все понятия представленной СОЗ и компоненты ее структурной схемы.

Заявки. Поток заявок Z , подлежащий обработке СОЗ, представим как множество одномерных потоков, в котором выделим N уровней и M каналов по каждому уровню, что соответствует матричному представлению $\{z_{ij}\}$.

Декомпозиция заявок на уровни обусловлена различным временем их актуальности, что в данной модели будет представлено соответствующей структурой организации очередей. Пусть T_i – число тактов работы СОЗ, в течение которых заявки уровня i актуальны. Если в течение T_i тактов заявки i -го уровня не будут обслужены, то они считаются потерянными.

Декомпозиция заявок каждого уровня по каналам обусловлена тем, что дисциплина обслуживания подразумевает отдельную их обработку.

Все одномерные потоки заявок в данной модели не обязательно будут рассматриваться как простейшие, более того, интервальное распределение может быть как случайным, так и детерминированным (разовым или периодическим). При таком представлении поток заявок Z может быть описан в каждом определенном состоянии внешней среды, генерирующей этот поток, матрицей вероятностей $Q = \{q_{ij}\}$, которую можно получить как на основе знания интервальных распределений каждой составляющей z_{ij} потока заявок:

$$q_{ij} = \frac{E(t_{ij})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E(t_{ij})},$$

так и на основе некоторой эвристики, описание которой выходит за рамки данной статьи.

Такое вероятностное описание вполне допустимо, так как в рассматриваемой СОЗ дисциплина обслуживания реализуется не позаявочно, а групповым способом, т. е. одновременно обрабатываются все заявки, хранимые в соответствующей очереди, организованной для i -го уровня и j -го канала.

Очередь заявок. В соответствии с декомпозицией потока заявок Z организация очереди заявок B очевидна (рис. 2).

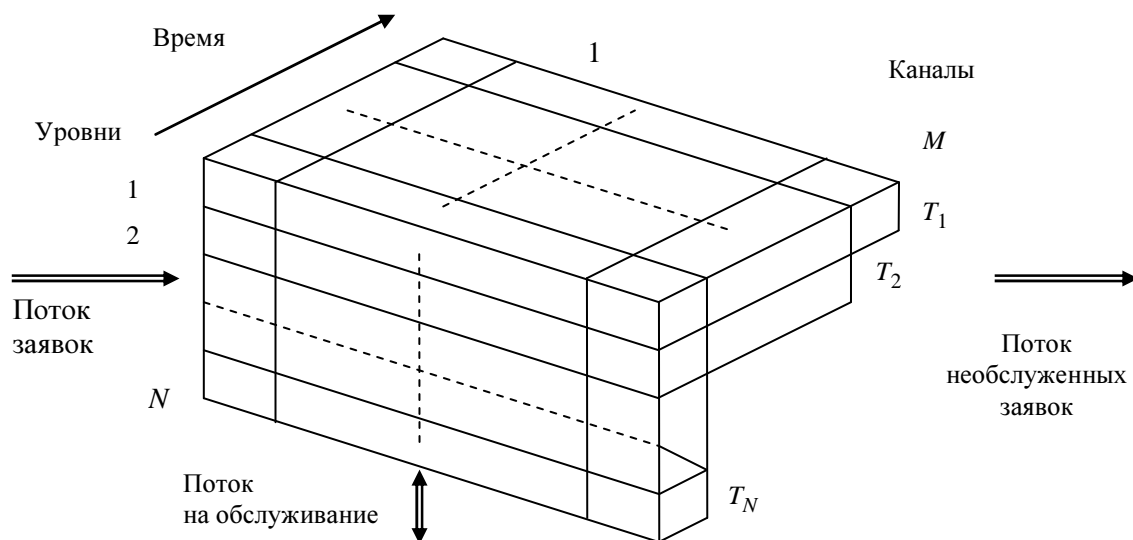


Рис. 2

Управление обслуживанием. Управление обслуживанием заключается в формировании по заданным критерию и ограничениям дисциплины обслуживания, т. е. выборки заявок из соответствующих очередей и отправки их на обслуживающие приборы. Дополнительной информацией для формирования дисциплины обслуживания является:

1. Информация о состоянии обслуживающих приборов (работоспособен или неработоспособен).
2. Информация о состоянии внешней среды, представленной в данной модели матрицей вероятностей Q .

В соответствии с декомпозицией заявок на уровни в дисциплине обслуживания также выделим N уровней обслуживания:

1-й уровень: команда управления 1-го уровня $u_1(j)$ организует обслуживание заявок из очередей $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{Nj}$ на одном из работоспособных обслуживающих приборов (рис. 3);

2-й уровень: команда управления 2-го уровня $u_2(j_1, j_2)$ организует обслуживание заявок, выбираемых из двух независимых пар очередей (рис. 4);

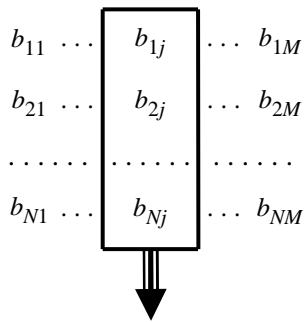


Рис. 3

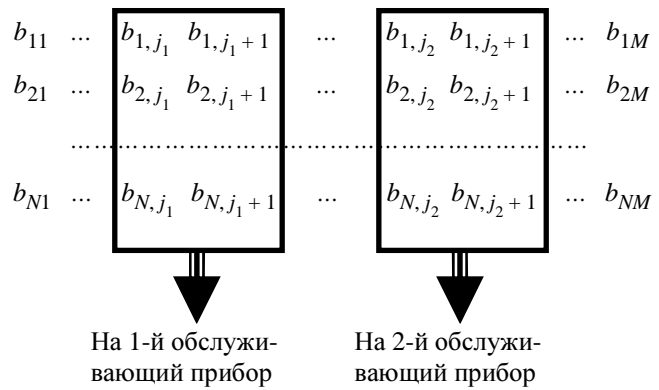


Рис. 4

i -й уровень: команда управления i -го уровня $u_i(j_1, j_2, \dots, j_{2^{i-1}})$ организует обслуживание заявок на 2^{i-1} работоспособных обслуживающих приборах, направляя на каждый из них соответствующие заявки из очередей:

$$(b_{i,j_1}, \dots, b_{i,j_1+2^{i-1}-1}), (b_{i+1,j_1}, \dots, b_{i+1,j_1+2^{i-1}-1}), \dots, (b_{N,j_1}, \dots, b_{N,j_1+2^{i-1}-1}), \dots,$$

$$(b_{i,j_{2^{i-1}}}, \dots, b_{i,j_{2^{i-1}}+2^{i-1}-1}), (b_{i+1,j_{2^{i-1}}}, \dots, b_{i+1,j_{2^{i-1}}+2^{i-1}-1}), \dots, (b_{N,j_{2^{i-1}}}, \dots, b_{N,j_{2^{i-1}}+2^{i-1}-1}).$$

Дополнительно введем в модель команду управления 0-го уровня u_0 , при исполнении которой в дисциплине обслуживания заявки не обрабатываются.

К ограничениям, которые задача исследования накладывает на дисциплину обслуживания, отнесем следующие:

1. При недостаточном для исполнения команды i -го уровня количестве работоспособных приборов (требуется 2^{i-1}) недостающие каналы обслуживания не формируются.
2. Недопустимо исполнение последовательности команд u_i, u_j , если $j < i$. В этом случае данная последовательность должна быть трансформирована в управляющую последовательность u_i, u_0, u_j .

Обслуживающие приборы. В соответствии с рассматриваемыми уровнями управления количество обслуживающих приборов должно быть не менее чем 2^{N-1} .

Другим свойством, вытекающим из ранее изложенного, является то, что на обслуживающий прибор могут поступать несколько заявок как из одной очереди, так и из множества очередей в соответствии с уровнем управляющего воздействия. Тем не менее, все поступившие заявки обрабатываются индивидуально, если они независимо друг от друга принимаются к обработке. Пусть $P_{обр}$ – это вероятность приема на обработку конкретной заявки, выбранной соответствующей командой дисциплины обслуживания. Заявка, не принятая с указанной вероятностью к обслуживанию по какой-либо причине, не теряется, а возвращается в свою очередь на соответствующее своему времени ожидания обслуживания место. Таким образом, заявки могут теряться только при потере своей актуальности.

Обслуживающие приборы при обработке заявок потребляют некоторое количество общего ресурса.

Общий ресурс. В рассматриваемой СОЗ под общим ресурсом будем понимать некоторое ограниченное количество материальных затрат C , которое можно допустить на каждом шаге работы СОЗ. Без потери общности можно принять, что $C_{max} = 1$. Тогда в соответствии с этой нормировкой определим потребление ресурса при исполнении команд различного уровня на одном обслуживающем приборе как

$$C_0 = 0 \text{ (команда } u_0), C_1 = 1, C_2 = \frac{1}{4}, \dots, C_N = \frac{1}{4^{N-1}} \text{ (команда } u_N).$$

Таким образом, ресурс не является дефицитным и его ограничение C_{max} не накладывает ограничений на дисциплину обслуживания.

Теперь сформулируем для рассматриваемой СОЗ критерий качества управления и ограничения, формирующие это качество:

- *критерий*

$$C = \sum_{i=1}^N \rho_i C_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ρ_i – доля команд управления i -го уровня в общем потоке команд, реализующих некоторую дисциплину обслуживания;

- *ограничение*

$$P_{обсл} = \sum_{i=1}^N q_i P_{обсл\ i} \geq P_{обсл\ min}. \quad (2)$$

Здесь $q_i = \sum_{j=1}^M q_{ij}$, $P_{обсл\ i}$ – вероятность обслуживания заявок i -го уровня; $P_{обсл\ min}$ – минимальное значение, характеризующее качество обслуживания.

В ограничении неявно подразумевается, что все каналы в потоке заявок Z являются равновероятными. Вначале рассмотрим именно этот случай.

Пусть k – число работоспособных обслуживающих приборов $1 \leq k \leq 2^N - 1$ (не имеет смысла рассматривать полностью неработоспособную систему). Обозначим через

$m_i = \frac{M}{2^{i-1} \min(k, 2^{i-1})}$ минимальное число циклов, за которое можно обработать все каналы i -го уровня. Тогда

$$P_{\text{обсл } i} = 1 - (1 - P_{\text{обр}})^{T_i \sum_{j=1}^i \frac{1}{m_j} \rho_j}, \quad i \in [1, N]. \quad (3)$$

Отсюда видно, что $P_{\text{обсл } i}$ монотонно возрастают при увеличении любого ρ_j , $1 \leq j \leq i$. Вследствие этого оптимальное значение критерия (1) достигается на границе ограничения (2).

Действительно, пусть выполняется строгое ограничение $P_{\text{обсл } i} > P_{\text{обсл } \min}$ и достигается минимум (1). Выберем максимальный индекс i , для которого $q_i > 0$, и будем уменьшать значение ρ_i до тех пор, пока строгое неравенство не превратится в равенство (это следует из (3)). При этом очевидно, что значение критерия будет уменьшаться, т. е. станет меньше минимального. Данное противоречие доказывает высказанную гипотезу.

Преобразовав ограничение (2) в равенство, можно решить поставленную оптимизационную задачу аналитически, методом Лагранжа [2]. Однако в исходной постановке имеется «простой» критерий и «сложное» ограничение и решение исходной задачи затруднительно. Тем не менее, наличие монотонных зависимостей (3) позволяет перейти к более простой с точки зрения метода Лагранжа задаче.

Функция Лагранжа относительно независимых переменных $P_{\text{обсл } 1}, \dots, P_{\text{обсл } N}$ будет иметь вид

$$L(P_{\text{обсл } 1}, \dots, P_{\text{обсл } N}) = \sum_{i=1}^N C_i \rho_i (P_{\text{обсл } 1}, \dots, P_{\text{обсл } N}) + \lambda \left(\sum_{i=1}^N q_i P_{\text{обсл } i} - P_{\text{обсл } \min} \right),$$

где

$$\rho_1 = \frac{m_1 \ln(1 - P_{\text{обсл } 1})}{T_1 \ln(1 - P_{\text{обр}})}, \quad \rho_i = \frac{m_i \{ \ln(1 - P_{\text{обсл } i}) - \frac{T_i}{T_{i-1}} \ln(1 - P_{\text{обсл } i-1}) \}}{T_i \ln(1 - P_{\text{обр}})}, \quad i \in [2, N]. \quad (4)$$

Значения $P_{\text{обсл } 1}, \dots, P_{\text{обсл } N}$, доставляющие минимум функции L , находятся решением системы из $N + 1$ линейных уравнений с $N + 1$ неизвестными:

$$P_{\text{обсл } i} = 1 - \frac{(1 - P_{\text{обсл } \min}) \frac{C_i m_i - C_{i+1} m_{i+1}}{T_i}}{q_i \sum_{j=1}^N \frac{C_j m_j - C_{j+1} m_{j+1}}{T_j}}, \quad i \in [1, N]. \quad (5)$$

Подставляя полученные из (5) значения в (4), окончательно получаем значения $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N$, реализация которых в гипотетическом случае равномерного распределения команд управления по уровням дает теоретическое значение минимального потребления ресурса.

Вопрос о существовании такой дисциплины управления в рассматриваемой СОЗ здесь не важен. Получен идеал, к которому надо стремиться, реализуя конкретные алгоритмы управления обработкой заявок.

Разработанная идеальная модель СОЗ кроме получения оценок минимального потребления ресурса и параметров, обеспечивающих это потребление при различных внешних и внутренних условиях, позволяет также ответить на ряд других интересных вопросов.

Одним из них является вопрос, а какую вероятность обслуживания заявок вообще можно обеспечить и какой ресурс для этого нужен. Ответ дает решение уравнения $\sum_{i=1}^N \rho_i = 1$ относительно переменной $P_{\text{обсл min}}$ при заданных распределении $\{q_i\}$, числе об-

служивающих приборов k и вероятности $P_{\text{обр}} : P_{\text{обсл max}} = 1 - (1 - P_{\text{обр}})^{\frac{1}{\alpha}} e^{-\frac{\beta}{\alpha}}$, где

$$\alpha = \frac{m_1}{T_1} + \sum_{i=2}^N \frac{m_i}{T_i} \left(1 - \frac{T_i}{T_{i-1}} \right), \beta = \frac{m_1}{T_1} \ln \left(\frac{\frac{C_1 m_1 - C_2 m_2}{T_1}}{q_1 \sum_{j=1}^N \frac{C_j m_j - C_{j+1} m_{j+1}}{T_j}} \right) +$$

$$+ \sum_{i=2}^N \frac{m_i}{T_i} \left(\ln \left(\frac{\frac{C_i m_i - C_{i+1} m_{i+1}}{T_1}}{q_i \sum_{j=1}^N \frac{C_j m_j - C_{j+1} m_{j+1}}{T_j}} \right) - \frac{T_i}{T_{i-1}} \ln \left(\frac{\frac{C_{i-1} m_{i-1} - C_i m_i}{T_1}}{q_{i-1} \sum_{j=1}^N \frac{C_j m_j - C_{j+1} m_{j+1}}{T_j}} \right) \right).$$

Зависимость оптимальных параметров модели от вероятности приема заявок на обработку $P_{\text{обр}}$ при различных значениях k представлена на рис. 5, *a-z*.

Графики на рис. 5 рассчитаны при $N = 3$ и $q_1 = q_2 = 0.25, q_3 = 0.5$. Случаи *a-z* соответствуют значениям $k = 4 \dots 1$. Кривые пронумерованы так, что 1 соответствует минимальному ресурсу, а 2–4 – долям команд управления уровнями 1–3 соответственно.

Расчет предельных показателей СОЗ от $P_{\text{обр}}$ при тех же исходных данных представлен на рис. 6.

Из графиков на рис. 6, *a* видно, что для возможных значений $P_{\text{обр}}$ оптимальные дисциплины обработки заявок могут обеспечить достаточно большую (близкую к единице) граничную вероятность обслуживания. Используя (4) и (5) и подставляя $P_{\text{обсл max}}$ в (2) вместо $P_{\text{обсл min}}$ получим очень интересные результаты, представленные на рис. 6, *б*.

Оказывается, что для обеспечения предельного качества обслуживания заявок в общем случае вовсе не надо потреблять весь имеющийся ресурс, что подтверждается расчетами по модели, сделанными при тех же исходных данных и $P_{\text{обр}} = 0.95$. Если использовать дисциплину обслуживания $U:u_1$, потребляющую весь имеющийся ресурс ($C_{\text{max}} = 1$), то, например, при $k = 4$ возможно обеспечить качество обслуживания, численный эквивалент которого $P_{\text{обсл}}$ будет иметь значение ниже предельного. Исключение могут составлять лишь тривиальные случаи, например при $N = 1$ или при $N > 1$, но при этом $q_1 = 1, q_2 = \dots = q_N = 0$.

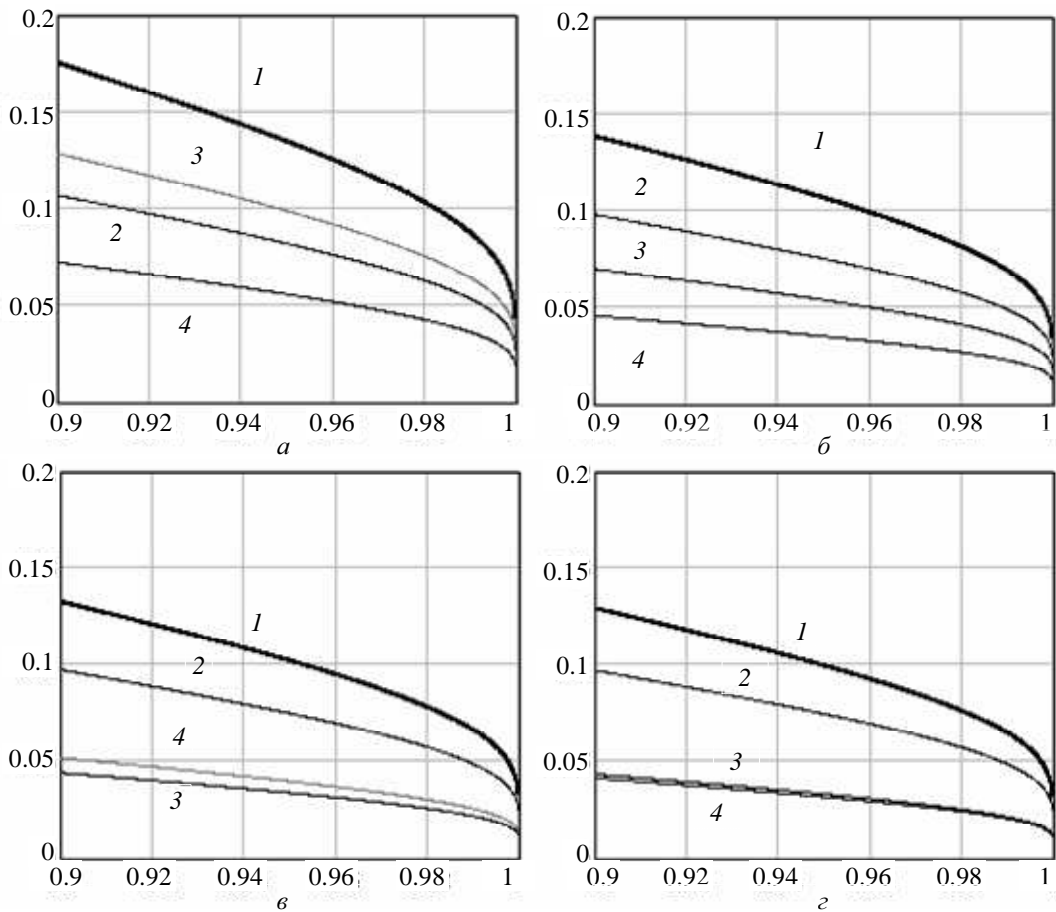


Рис. 5

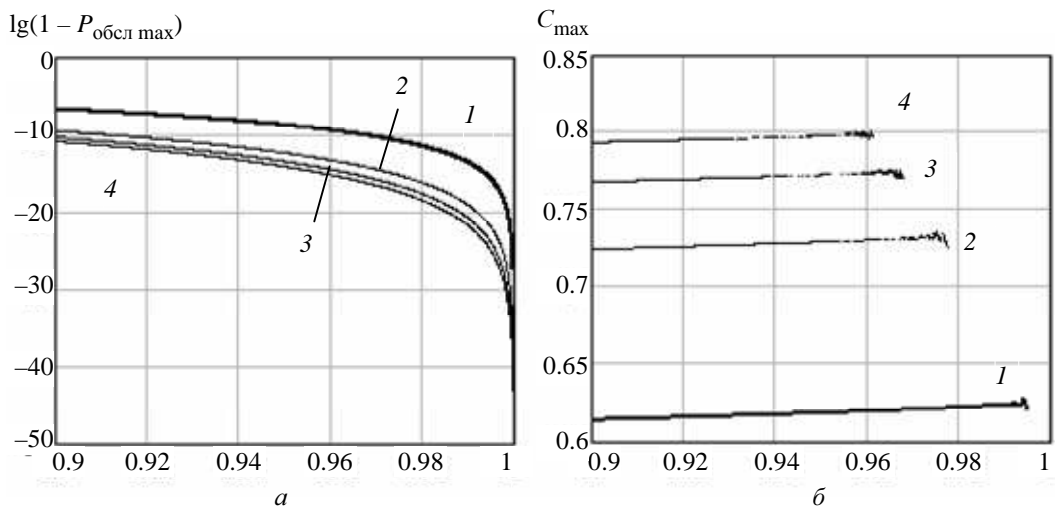


Рис. 6

Полученные предельные оценки оптимальных параметров обработки заявок являются эталонной базой для оценки качества конкретных реализуемых алгоритмов диспетчирования задач многоуровневой обработки данных в системах реального времени рассматриваемого класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование алгоритмов построения статического и динамического расписаний запуска задач для системы обработки данных / С. С. Егоров, В. Е. Миллер, Н. Г. Мустафин и др. // «Программные продукты и системы». 2005. № 1. С.19–21.
2. Иоффе А. Д., Тихомиров В. М. Теория экстремальных задач. М.: Наука, 1974.

The research problem is formulated as a finding of service discipline providing the minimal consumption of some limited resource at maintenance of appropriate quality of data processing. Quality of service consists in maintenance of data processing parameters. As the external factors influencing system of service, are considered distributions of data streams and amount of efficient serving devices. For model uniform distributions are received theoretical limiting values of the minimal consumption of a resource at the given quality of service.

Dispatching, data processing system, the limited resource, quality of service, optimum discipline of service

УДК 519.87

Д. А. Анисимов

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИНТАКСИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ НА ЯЗЫКЕ JAVA

Рассматриваются общие принципы построения синтаксических анализаторов на языке Java. Анализируются методы работы с XML-файлами и функции Java для синтаксического анализа XML.

Синтаксический анализатор, сериализация, десериализация, XML, регулярные выражения, иерархия классов

В последнее время достаточно часто приходится обращаться к задачам синтаксического анализа практически во всех отраслях информационных и компьютерных технологий. Различные поисковые системы, современные системы моделирования и оптимизации не обходятся без соответствующего языкового анализатора. Наиболее удобными языками для построения парсеров являются языки Java и C#, так как они имеют качественные классы Pattern и Matcher, а также механизм работы с регулярными выражениями и сериализацией. При этом, вследствие своей полной платформенной независимости, Java представляет больший интерес для решения задач синтаксического анализа.

Синтаксический анализ – это процесс, который определяет, принадлежит ли некоторая последовательность лексем языку, порождаемому грамматикой. В принципе, по любой грамматике можно построить синтаксический анализатор, но грамматики, используемые на практике, имеют специальную форму. Например, известно, что для любой контекстно свободной грамматики может быть построен анализатор, сложность которого не превышает $O(n^3)$ для входной строки длины n , но в большинстве случаев по заданному языку программирования можно построить такую грамматику, которая позволит сконструировать и более быстрый анализатор. Анализаторы реально используемых языков обычно имеют линейную сложность, что достигается, например, за счет просмотра исходной программы слева направо с заглядыванием вперед на один терминальный символ (лексический класс).

Вход синтаксического анализатора – последовательность лексем и таблицы, например таблица внешних представлений, которые являются выходом лексического анализатора. Выход синтаксического анализатора – дерево разбора и таблицы, например таблица идентификаторов и таблица типов, которые являются входом для следующего просмотра компилятора (например, это может быть просмотр, осуществляющий контроль типов). Отметим, что со-

всем необязательно, чтобы фазы лексического и синтаксического анализа выделялись в отдельные просмотры. Обычно эти фазы взаимодействуют друг с другом на одном просмотре. Основной фазой такого просмотра считается фаза синтаксического анализа, при этом синтаксический анализатор обращается к лексическому анализатору каждый раз, когда у него появляется потребность в очередном терминальном символе.

Для построения той или иной грамматики в Java очень удобно использовать механизм регулярных выражений и сериализации. Сериализация используется для передачи объектов. Например, нужно построить распределенное приложение, разные части которого обменивались бы какой-либо информацией. В приложении создается класс, например TransferData, со всеми нужными данными, заполняется нужной информацией, сериализуется в XML-документ и, например, отсылается по электронной почте в другую страну. Получатель десериализует его в своем приложении и работает как с классом этого же приложения.

Примерная схема построения простейшего синтаксического анализатора представлена на рис. 1.

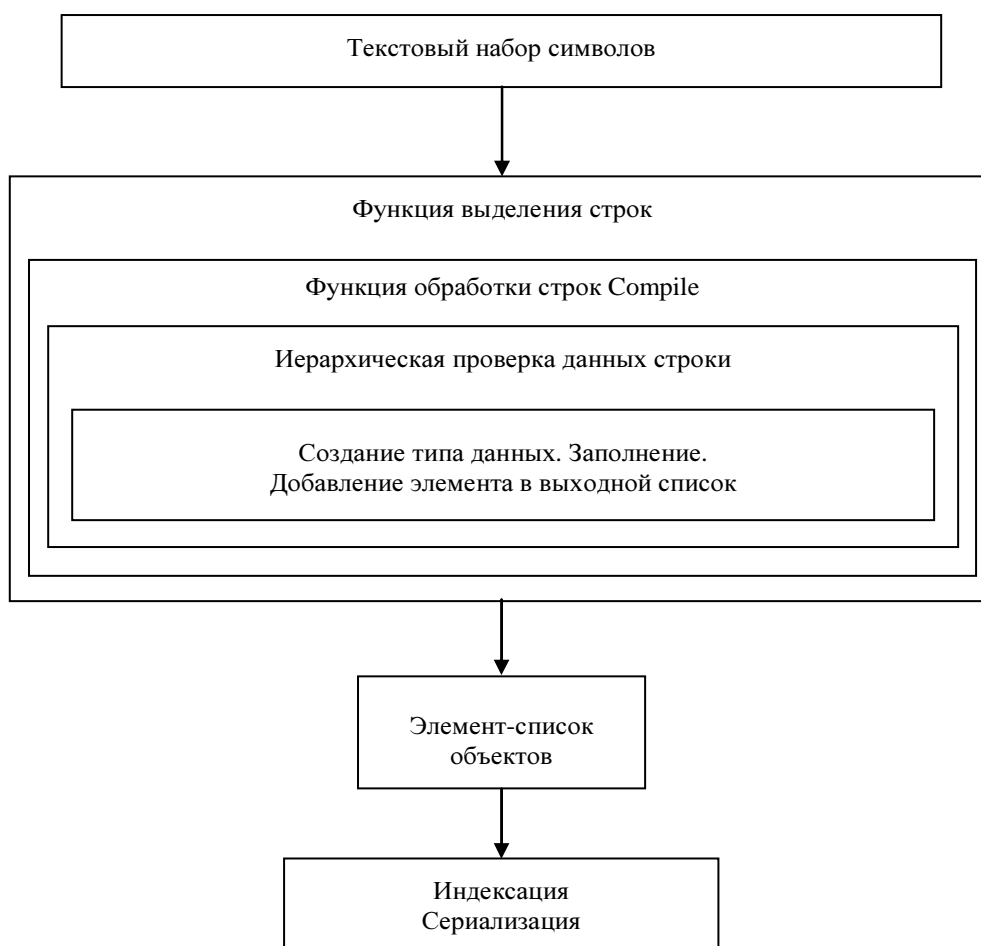


Рис. 1

В последнее время очень актуальна проблема синтаксического анализа XML. Для решения этой задачи применяются классы XMLEventReader и XMLStreamReader. При выполнении синтаксического анализа потока, который представляет XML-документ полностью, первым событием, возвращающим объект XMLEventReader, будет StartDocument. Этот интерфейс предоставляет методы для получения информации о самом документе.

Например, метод `getSystemId()` возвращает системный идентификатор документа, если он известен. Метод `getVersion()` возвращает версию XML, используемую в этом документе. Версия по умолчанию – 1.0, если в описании XML-документа не указано другое значение.

Метод `getCharacterEncodingScheme()` возвращает информацию о кодировке документа, либо явно заданную в XML-декларации, либо распознанную автоматически синтаксическим анализатором. По умолчанию установлено значение UTF-8. Метод `isStandalone()` возвращает значение `true`, если не существует внешнего описания разметки или значение не определено явно в XML-декларации документа.

Если `XMLEventReader` обнаруживает DTD, то он возвращает его как событие DTD. Если приложению не нужна информация о DTD, то оно может выполнить запрос на отключение такого поведения синтаксического анализатора посредством установки значения свойства `javax.xml.stream.supportDTD` в `false`. Метод события `getDocumentTypeDeclaration()` может извлечь всю информацию, имеющуюся в DTD, одной строкой, включая внутренние подмножества. Реализация может на самом деле перевести DTD в более структурированное представление (которое определяется условиями) и сделать его доступным, вызвав метод `getProcessedDTD()`. Метод `getEntities()` возвращает список событий `EntityDeclaration` (как описано далее), который представляет генеральные внешние декларации объектов, как внутренних, так и внешних. И, наконец, метод `getNotations()` возвращает список событий `NotationDeclaration` (также рассматривается далее), которые были использованы для представления всех объявленных нотаций.

Событие `EntityDeclaration` представляет собой неразобранные генеральные объекты, объявленные в DTD документа. Это событие не отображается в отчете индивидуально, а только в составе события DTD. Оно предоставляет методы для получения имени объекта, его публичного и системного идентификаторов, а также имени ассоциированной нотации (соответственно, методы `getName()`, `getPublicId()`, `getSystemId()` и `getNotationName()`). Если это внутренний объект, то метод `getReplacementText()` может извлечь альтернативный текст.

Аналогично, `NotationDeclaration` – это событие, которое доступно только через событие DTD. Оно представляет объявления нотаций. Кроме имени (метод `getName()`) этот интерфейс предоставляет методы для извлечения информации о публичном и системном идентификаторах (методы `getPublicId()` и `getSystemId()` соответственно). Должен быть реализован доступ хотя бы к одному из этих двух методов.

В качестве примера, иллюстрирующего работу рассмотренных методов и объектов Java, приведем синтаксический анализ XML-файла, представленного в виде глобального строкового Java-объекта.

```
final String xml = "<?xml version=\"1.0\" standalone=\"no\" ?>" +
    "<!DOCTYPE catalog [" +
    "<!ELEMENT catalog (publication+) >" +
    "<!ELEMENT publication (#PCDATA) >" +
    "<!ATTLIST publication title CDATA #REQUIRED >" +
    "<!NOTATION pdf SYSTEM \"application/pdf\" >" +
    "<!NOTATION html SYSTEM \"text/html\" >" +
    "<!ENTITY overview SYSTEM \"resources/overview.pdf\" NDATA pdf >" +
```

```
"<!ENTITY chapter1 SYSTEM \"resources/chapter_1.html\" NDATA html >" +
"]>" +
"<catalog>" +
"<ext title=\"Overview\">&overview;</ext>" +
"<ext title=\"Chapter 1\">&chapter1;</ext>" +
"</catalog>";
```

Для обработки этой строки требуется следующий программный код:

```
Map notations = new HashMap();
StringReader input = new StringReader(xml);
XMLInputFactory f = XMLInputFactory.newInstance();
XMLEventReader r = f.createXMLEventReader("http://example.com/catalog.xml", input);
PrintWriter out = new PrintWriter(System.out);
```

Цикл считывания объектом XMLEventReader следует поместить в блок обработки исключения:

```
try {
    while (r.hasNext()) {
        XMLEvent event = r.nextEvent();
        // определение типа XML-события
        // ..
    }
}
```

Определяем тип XML-событий, поставив функцию `getEventType()` в качестве аргумента оператора `switch` и задав для каждой ветви свой флаг `XMLStreamConstants`:

```
switch (event.getEventType()) {
case.ENTITY_REFERENCE:
    EntityReference ref = (EntityReference) event;
    EntityDeclaration decl = ref.getDeclaration();
    NotationDeclaration n = (NotationDeclaration) notations.get(decl.getNotationName());
    out.print("Object of type ");
    out.print(n.getSystemId());
    out.print(" located at ");
    out.print(decl.getSystemId());
    out.print(" would be placed here.");
    break;
case XMLStreamConstants.DTD:
    DTD dtd = (DTD) event;
    for (Iterator i = dtd.getNotations().iterator(); i.hasNext();)
    {
        n = (NotationDeclaration) i.next();
        notations.put(n.getName(), n);
    }
default:
```

```
    event.writeAsEncodedUnicode(out);
    out.println();
}
```

Независимо от результата работы блока try, желательно закрыть объект XMLEventReader:

```
finally {
    r.close();
}
input.close();
out.flush();
```

В заключение следует отметить, что использование языка Java в построении разного рода языковых анализаторов удобно и перспективно. При помощи рассмотренных методов можно решать не только стандартные синтаксические задачи, но и внедрять их в новые технологии, такие, как работа с XML-документами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дейтел Х. М, Дейтел П. Дж., Сантри С. И. Технология программирования на Java 2. Т. 1–3. М.: Бином, 2003.
2. Опалева Э. А., Самойленко В. П. Языки программирования и методы трансляции. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. Секреты программирования для Интернет на Java / М. Томас, П. Пател, А. Хадсон, Д. Болл. СПб.: Питер, 1997.

D. A. Anisimov

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF SYNTAX ANALYZERS IN JAVA

It is considered algorithms of construction the general principles of parsers in Java. Also are considered work with XML files and Java functions of work with XML.

Parser, serialization, deserialization, XML, regular expressions, hierarchy of classes



УДК 621.375.826

В. Д. Гончаров, Е. М. Фискин

К ВОПРОСУ ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Приведены результаты экспериментального изучения зависимостей минимального напряжения зажигания высокочастотного (ВЧ) тлеющего разряда от давления газа, частоты питающего напряжения и межэлектродного расстояния при относительно высоких давлениях газовых смесей.

Тлеющий высокочастотный разряд, зажигание, экспериментальные исследования

Предпосылкой появления данной работы явилось развитие техники и технологии применения тлеющего разряда в таких областях, как газоразрядные CO₂-лазеры, плазмохимия, обработка поверхностей потоками частиц с высокой энергией.

Бурное развитие перечисленных технологий потребовало проведения глубоких теоретических исследований процессов, протекающих при горении тлеющего разряда. В 80–90-х гг. XX в. появилось большое количество научных статей и монографий, авторы которых предпринимали попытки создания общей теории разряда и теоретических аспектов отдельных происходящих в плазме процессов.

Особенно пристальное внимание в данных работах уделялось устойчивости разряда (тлеющий разряд, если не использовать специальные ухищрения, устойчиво горит при давлениях до 10...20 Торр), а также объемной неравновесности данной формы разряда (энергии электронов, ионов, нейтральных частиц в положительном столбе тлеющего разряда отличаются на порядки). Данное свойство разряда во многом обуславливает его каталитическую активность и возможность широкого применения в плазмохимии. Именно с использованием в этой области технологии связан новый этап развития техники тлеющего разряда.

Наиболее ярко выраженная неравновесность в прикатодных областях тлеющего разряда обуславливает возможность получения потоков заряженных частиц с относительно высокой энергией (несколько сот электронвольт), которые могут быть успешно использованы для модификации свойств различных поверхностей и выращивания тонких пленок.

Эффективное использование в плазмохимии предполагает максимальные производительность процесса и его КПД, а также минимальные затраты на оборудование. Для достижения этих параметров необходимо определить условия, при которых тлеющий разряд будет устойчиво гореть при давлениях, близких к атмосферному, и создать установку, реализующую подобные условия. Однако даже самые глубокие и подробные исследования не смогли ответить на вопрос: «Что надо сделать, чтобы получить устойчивый тлеющий разряд при давлениях, близких или равных атмосферному?».

Отсутствие этого ответа сдерживает внедрение безусловно прогрессивных плазмохимических технологий, использующих каталитические свойства тлеющего разряда.

Наиболее простым путем повышения устойчивости является использование несамостоятельного тлеющего разряда. Несамостоятельный разряд может поддерживаться либо за счет дополнительного источника предионизации, роль которого могут выполнять периодические высоковольтные импульсы, электронный пучок и др., либо за счет использования высокочастотного (ВЧ) или сверхвысокочастотного (СВЧ) питания тлеющего разряда (в этом случае роль предионизации выполняют вершины синусоидальных сигналов). Тлеющий разряд с ВЧ-питанием иногда называют высокочастотным емкостным разрядом (ВЧЕР).

Первый способ требует значительных затрат на исключительно сложное в изготовлении и обслуживании оборудование. Поэтому его применение ограничивается областью мощных лазерных систем с коротким импульсом излучения.

Техническая реализация второго способа оказалась значительно проще как для создания, так и для эксплуатации. Интенсивные работы в направлении использования тлеющих ВЧ-разрядов, основная часть которых носила сугубо практический характер, привели к появлению новых классов газоразрядных (ГР) CO_2 -лазеров с ВЧ-накачкой: целевого типа с конвективным охлаждением рабочей смеси и систем с быстрой поперечной и продольной прокачкой газовой смеси.

Проведенные работы, с одной стороны, привели к значительному прогрессу в понимании процессов, происходящих в ВЧ тлеющем разряде, прикладное использование полученных данных позволило существенно поднять давление, при котором устойчиво горит данная форма разряда (~ до 200 Торр), а с другой стороны, высветили целый ряд новых вопросов.

К таковым прежде всего следует отнести:

1. Причины существования двух форм разряда. Причем обе эти формы могут наблюдаться при одних и тех же условиях (напряжение на электродах и суммарный ток разряда, давление газа и расстояние между электродами) и различаются визуально (существенно различаются площади, которые занимают разряды на электродах, и светимость вблизи электродов).

2. Причины того, что нормальная плотность тока на электродах (этот параметр определяют по суммарному току разряда и площади, которую он занимает на электродах) при определенной частоте питающего напряжения зависит не только от давления, но и от межэлектродного расстояния.

Дальнейший прогресс в области применения ВЧЕР в плазмохимии вряд ли возможен без получения ответов на эти вопросы.

Из исследований тлеющего разряда постоянного тока известно, что его свойства определяются прежде всего процессами, протекающими в прикатодной области. Падение напряжения в этой области и ее толщина определяется параметрами минимума, который наблюдается на кривой зажигания разряда (кривая Пашена). Таким образом, исследование процессов зажигания разряда – основа физики тлеющего разряда. В то же время, до сегодняшнего дня не было проведено достаточно полных и подробных исследований зажигания ВЧ-формы тлеющего разряда (можно привести ссылки на работы [1], [2], которые скорее поставили проблему, не пытаясь ее решить). Такая ситуация потребовала проведения дополнительных экспериментальных исследований в этой области.

Условия проведения экспериментов. Исследования зажигания ВЧЕР проводились в двух различных газоразрядных камерах:

1) в ГРК вакуумной установки плазмохимического осаждения диэлектрических пленок (УВП-2М),

2) в цилиндрической ГРК, специально изготовленной из кварцевого стекла (рис. 1).

Газоразрядная камера представляла собой кварцевую трубу (6) с сваренными в нее штуцерами для откачки и напуска смеси (7) и боковыми фланцами. Камера с двух сторон с помощью вакуумных уплотнений (8) закрывалась массивными медными крышками. Разряд зажигался в газоразрядном промежутке (10) между двумя сменными электродами (5), которые жестко крепились (с помощью боковых зажимов) к массивным медным основаниям. Система перемещения электродов, состоящая из вакуумного ввода вращения (1), основания для крепления подвижного электрода (4), гибкого токоподвода (10) и механизма позиционирования (2), позволяла установить межэлектродное расстояние в диапазоне 1...70 мм с точностью позиционирования 0.1 мм. В экспериментах использовались электроды (5) выпуклой по отношению к разряду формы (толщина электродов плавно изменялась от 2 см в центре до 1 см на краю электрода) диаметром 5 и 10 см, изготовленные из меди, нержавеющей стали, латуни, алюминия. Для того чтобы избежать влияния на результаты случайных процессов, связанных с концентрацией поля вблизи неровностей электродов, эти поверхности были отполированы. В экспериментах использовались также электроды, изолированные от зоны разряда различными диэлектриками (фторопласт, кварцевое стекло, поликристаллический корунд).

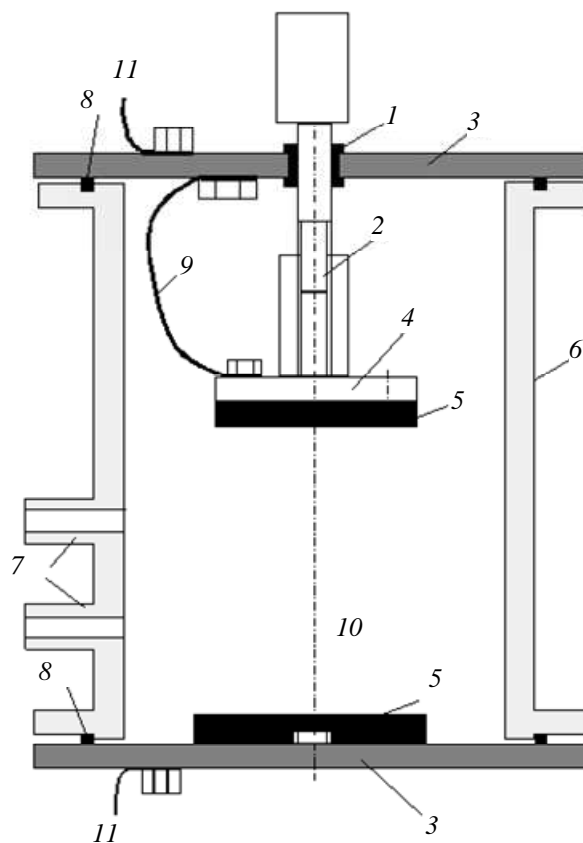


Рис. 1

В качестве источника питания применялись ламповые генераторы (ЛГ) с самовозбуждением ВЧГ-3/1.76, ВЧГ2-4/27 и генератор с независимым возбуждением от установки УВП-2М (частотой $f = 13.56$ МГц).

В проводившихся исследованиях использовались две схемы сопряжения лампового генератора с газоразрядной камерой: 1) традиционная схема сопряжения, которая предусматривает заземление одного из электродов (на другом электроде напряжение при этом изменяется по синусоидальному закону); 2) схема сопряжения с использованием трансформатора со средней точкой (в этом случае по синусоидальному закону изменяется напряжение на обоих электродах).

При использовании первой схемы сопряжения в ряде случаев разряд зажигался не только между электродами, но и на металлическое крепление камеры через системы откачки и напуска газовой смеси. Для того чтобы избежать этого эффекта, в большинстве случаев использовалась другая схема сопряжения, в которой, благодаря введению трансформатора с общей точкой, напряжение изменялось на обоих электродах. ВЧ-напряжение от схемы сопряжения с помощью плоских шин (II на рис. 1) подавалось на газоразрядный промежуток.

О пробое судили по появлению свечения в камере и анодного тока лампового генератора. Для того чтобы избежать влияния на результаты экспериментов перенапряжений, которые возникают при включении ламповых генераторов, измерения проводились тремя различными способами:

- 1) уменьшением межэлектродного расстояния при постоянных давлении газа и напряжении на электродах (данный метод использовался при несимметричном питании плазмы);
- 2) увеличением напряжения на электродах при постоянном давлении и межэлектродном расстоянии (напряжение изменялось за счет настойки резонансного контура);
- 3) постепенным уменьшением давления газа в ГРК при постоянных межэлектродном расстоянии и напряжении на электродах.

В случае применения электродов с диэлектрическими покрытиями напряжение зажигания $U_{\text{заж}}$ вычислялось по измеренному значению напряжения на электроде $U_{\text{заж.эл}}$ по формуле

$$U_{\text{заж}} = U_{\text{заж.эл}} \frac{C_{\text{газ}}}{C_{\text{газ}} + C_{\text{д}}},$$

где $C_{\text{газ}}$ – вычисленное значение емкости газоразрядного промежутка; $C_{\text{д}}$ – вычисленное значение емкости диэлектрической изоляции электродов.

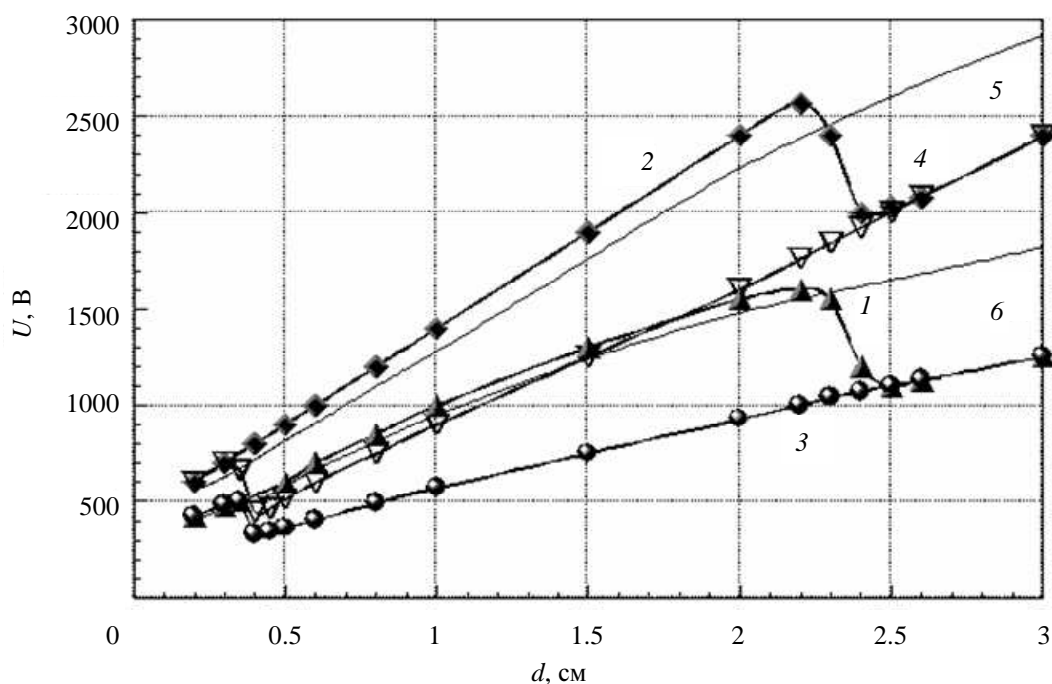
Для того чтобы избежать систематической погрешности при измерении ВЧ-напряжения на электродах, был градуирован прибор с шинами определенной длины (сохранялись также форма и расположение шин относительно проводящих частей ГРК). С этой целью были проведены дополнительные эксперименты с извлеченной из ГРК системой электродов. Условия проведения экспериментов позволили измерить напряжение непосредственно на электродах с шинами минимальной длины. Полученные данные сравнивались с результатами измерений, в которых использовалось стандартное подключение статического вольтметра. Подобные эксперименты были проведены для различных частот питающего напряжения, межэлектродных расстояний и покрытий электродов.

Проведение дополнительной градуировки статического вольтметра позволило избежать появления добавочной систематической погрешности измерений, связанной с паразитными емкостями измерительных шин. Выявленная таким образом погрешность измерений на частоте 13.56 МГц в зависимости от межэлектродного расстояния составляла от 20 до 35 % измеряемой величины напряжения.

Использованное при проведении экспериментов газовое оборудование состояло из форвакуумного насоса, ручного клапана, который позволял в широких пределах регулировать производительность насоса, газового натекателя и расположенного внутри камеры датчика давления газа.

Применяемое газовое оборудование позволило плавно регулировать давление газа в ГРК и фиксировать эти изменения.

Результаты экспериментов при относительно высоких давлениях. В области относительно высоких давлений кривые изменения минимального напряжения зажигания ВЧ-разряда в зависимости от межэлектродного расстояния (d) при разных давлениях воздуха (1, 2, 3 – $p = 20$ Торр; 4, 5, 6 – $p = 40$ Торр) и частотах питающего напряжения (1, 2 – $f = 1.76$ МГц; 3, 4 – $f = 15.56$ МГц) приведены на рис. 2. На этом же рисунке для примера приведены кривые зажигания разряда постоянного тока для давлений 3 – $p = 20$ Торр, 6 – $p = 40$ Торр (кривые Пашена).



Результаты, полученные в экспериментах по зажиганию разряда, кратко можно свести к следующему:

1. При всех рассматриваемых параметрах ГРК на кривых зависимости напряжения зажигания ВЧ-разряда от межэлектродного расстояния появлялся дополнительный минимум.

2. В рассматриваемой области расположение дополнительного минимума на кривой зажигания ВЧ-разряда практически не зависит от давления, а определяется только межэлектродным расстоянием. Причем произведение $f d_{кр}$ (где f – частота питающего напряжения,

$d_{кр}$ – критическое межэлектродное расстояние, расстояние на котором наблюдается минимум) является постоянной величиной для данного газа и не зависит ни от его давления, ни от материала электродов. Этот вывод подтверждается как нашими экспериментальными результатами (3 на рис. 3), так и результатами исследования другими авторами границ областей объемного зажигания разряда, полученных на частотах 4 МГц [1] (кривая 1 на рис. 3) и 200 МГц [2] (кривая 2 на рис. 3).

3. Напряжение зажигания разряда слева от дополнительного минимума практически совпадает с тем значением, которое наблюдается при пробое на постоянном токе.

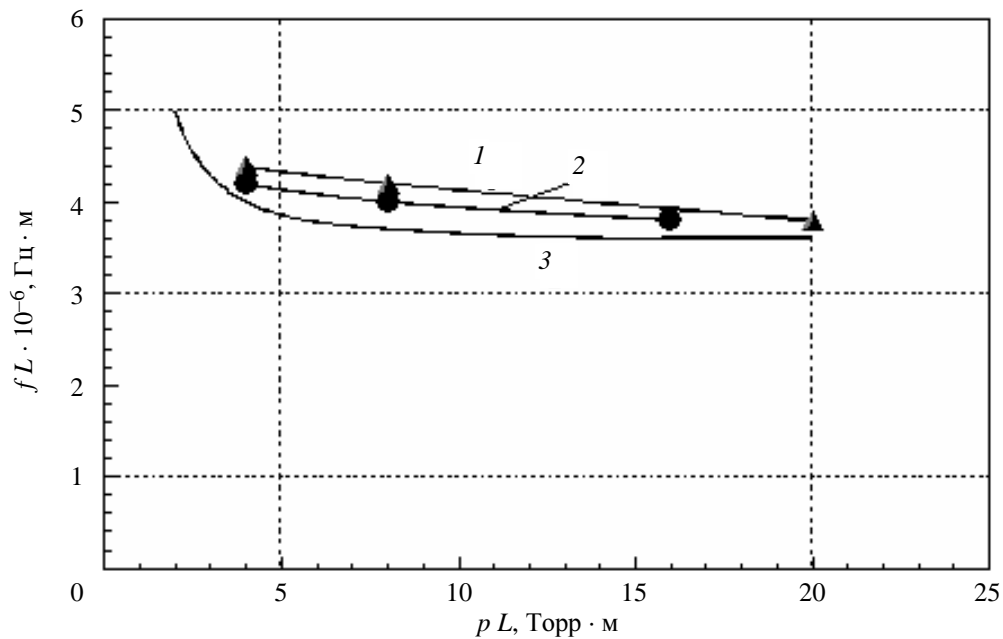


Рис. 3

В результате зажигания разряда в ГРК наблюдались три различные формы разряда: слаботорочная, сильноторочная и контрагированная. О зажигании разряда определенной формы можно было судить по разной светимости плазмы и отдельных ее слоев. Плотности тока разряда в этих формах приблизительно рассчитывались на основании экспериментально измеренных тока и напряжения электродов, а также площади, которую занимает разряд на электроде.

1. Для слаботорочной формы характерны: напряжение на электродах 500...800 В; плотность тока электродов 5...20 мА/см²; наличие вблизи электродов областей, светимость которых значительно ниже наблюдаемой в объеме этого разряда. Линейный размер этих областей практически совпадает с межэлектродным расстоянием, на котором наблюдается появление дополнительного минимума на кривой зажигания ВЧ-разряда, и практически не зависит ни от материала электродов, ни от давления газа. Плотность тока слаботорочного разряда растет при увеличении межэлектродного расстояния и давления газа.

Разряд слаботорочной формы удавалось зажечь только при расстоянии между электродами, которое превышало значение $d_{кр}$.

2. При значительном увеличении расстояния между электродами ($d > 2d_{кр}$) или (и) давления газа в камере удавалось зажечь разряд только сильноторочной или контрагированной формы.

3. Для сильноточной формы разряда характерны: напряжение на электродах 500...800 В; плотность тока электродов 50...100 мА/см²; наличие вблизи электродов ярко светящихся областей, внешний вид которых практически совпадает с видом прикатодных слоев разряда постоянного тока.

4. В ряде экспериментов в разрядной камере наблюдались одновременно разряды слабо- и сильноточной форм.

5. Для контрагированной формы разряда характерны: напряжение на электродах 100...300 В; плотность тока электродов 200...800 мА/см². Интенсивный тепловой поток на электроды в этой форме разряда приводил к частичному разрушению диэлектрических вставок (если они присутствовали) и требовал проведения дополнительной обработки (полировка) металлических электродов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун С. Элементарные процессы в плазме газового разряда. М.: Атомиздат, 1961. 216 с.
2. Лисовский В. А. Определение коэффициентов переноса электронов в аргоне из кривых зажигания ВЧ и комбинированных разрядов низкого давления // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24, № 8. С. 49–55.

V. D. Goncharov, E. M. Fiskin

TO A QUESTION OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF IGNITION VOLTAGE OF HIGH-FREQUENCY GLOWING DISCHARGE AT RELATIVELY HIGH PRESSURES

Results of experimental research of depending minimal ignition voltage of high-frequency glowing discharge on gas pressure, supplying voltage frequency and distance between electrodes at relatively high pressures of gas mixes are shown.

High-frequency glowing discharge, ignition, experimental research

УДК 62-83:62-526

Д. Н. Туркин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ МОМЕНТА СТАТИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ КРУПНОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА

Рассматриваются вопросы, касающиеся оценки неконтролируемого внешнего возмущения в виде момента статических сопротивлений в процессе работы крупного радиотелескопа.

Крупный радиотелескоп, наблюдатель, ветровое возмущающее воздействие, следящий электропривод

Качество работы крупного радиотелескопа в первую очередь зависит от его способности с необходимой точностью обеспечить наведение главного зеркала на определенную точку на небосклоне. Ужесточение требований к точности наведения, обусловленное необходимостью изучения дальнего и сверхдальнего космоса, приводит к необходимости не только применения специальных оптимизационных алгоритмов [1], но и грамотного построения системы управления на структурном уровне. Одним из основных негативных факторов, ухудшающих качество работы крупного радиотелескопа, является ветровое воздействие. Достаточно медленное его изменение, а также наличие постоянной составляющей дает возможность оценить момент статических сопротивлений, действующий на объект.

Поскольку не представляется возможным измерить угловое положение зеркальной части радиотелескопа с необходимой точностью, замыкание контура положения осуществляется через угловое положение платформы. Это приводит к возникновению статической ошибки на выходной координате (угле положения зеркала) при действии на объект возмущающего ветрового воздействия. Рассмотрим задачу оценки момента статических сопротивлений в процессе работы крупного радиотелескопа.

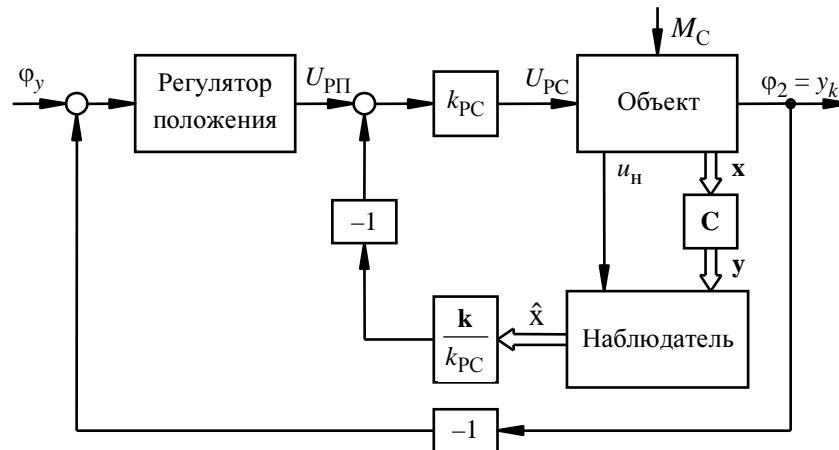


Рис. 1

Упрощенная функциональная схема следящего электропривода азимутальной оси радиотелескопа приведена на рис. 1, где обозначены: φ_y – сигнал задания на контур положения; $U_{РП}$ – сигнал на выходе регулятора положения; $U_{РС}$ – сигнал на выходе регулятора скорости; M_C – момент статических сопротивлений; φ_2 – угол положения платформы; u_H – сигнал на входе наблюдателя (ток либо скорость двигателя); $\mathbf{x}_{[n \times 1]}$ – вектор переменных состояния объекта; $\hat{\mathbf{x}}_{[n \times 1]}$ – вектор оценок переменных состояния объекта; $\mathbf{y}_{[r \times 1]}$ – вектор измеряемых переменных состояния объекта, используемых для выделения ошибок в наблюдателе; $\mathbf{k}_{[1 \times n]}$ – матрица-строка коэффициентов модального регулятора; $k_{РС}$ – коэффициент регулятора скорости; $\mathbf{C}_{[r \times n]}$ – матрица выхода (измерения). Регулятор положения может быть пропорциональным или пропорционально-интегральным в зависимости от требований к режимам работы радиотелескопа. Математическое описание объекта задается в векторно-матричной форме:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad (1)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}, \quad (2)$$

$$\mathbf{B} = [\mathbf{B}_u \ \mathbf{B}_m], \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_y \\ M_C \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{A}_{[n \times n]}$ – матрица состояния объекта, характеризующая его динамические свойства; $\mathbf{B}_{[n \times 2]}$ – матрица входа, характеризующая воздействие вектора входных переменных \mathbf{u} на вектор переменных состояния \mathbf{x} ; $\mathbf{B}_u_{[n \times 1]}$ – подматрица входа, характеризующая воздей-

ствии сигнала управления $u_y = U_{PC}$ на вектор переменных состояния; $\mathbf{B}_m[n \times 1]$ – подматрица входа, характеризующая воздействие возмущения в виде момента статических сопротивлений M_C на вектор переменных состояния.

Наблюдатель выполняется как наблюдатель полного порядка [2], к достоинствам которого относится то, что в его основе лежит модель, структурно повторяющая объект это упрощает его проектирование, наладку и контроль в процессе функционирования. В зависимости от сигнала, подаваемого на вход, можно выделить два вида наблюдателей: наблюдатель, управляемый током двигателя, и наблюдатель, управляемый скоростью двигателя. Рассмотрим в общем случае оба варианта и найдем вектор ошибок оценивания координат, учитывая, что на переменные состояния объекта действует возмущающее воздействие в виде момента статических сопротивлений M_C .

Структурная схема замкнутой скоростной подсистемы с наблюдателем, управляемым током двигателя, представлена на рис. 2, где обозначены: $\mathbf{A}_H[n \times n]$ – матрица состояния наблюдателя; $\mathbf{B}_H[n \times 1]$ – матрица входа наблюдателя; $\mathbf{C}_H[r \times n]$ – матрица выхода наблюдателя; $\mathbf{L}[n \times r]$ – матрица коэффициентов наблюдателя.

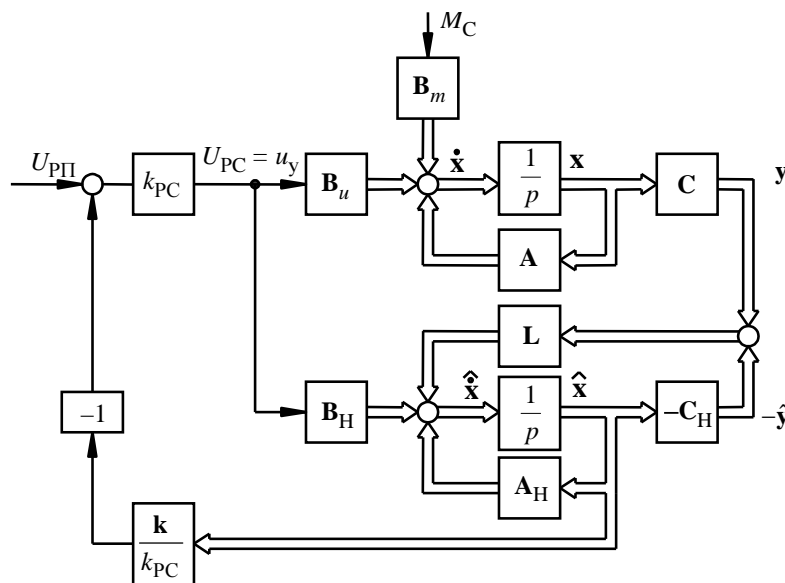


Рис. 2

На рис. 3 приведена структурная схема замкнутой скоростной подсистемы в случае, если входом наблюдателя является скорость вращения двигателя. На схеме обозначены: $\mathbf{x}_I[1 \times 1]$ – вектор координат объекта, не подлежащих восстановлению (скорость вращения двигателя); $\mathbf{x}_{II}[(n-1) \times 1]$ – вектор координат объекта, которые должен восстановить наблюдатель; $\mathbf{D}_I[n \times 1]$, $\mathbf{D}_{II}[n \times (n-1)]$ – матрицы преобразования, такие, что $\mathbf{x} = \mathbf{D}_I \mathbf{x}_I + \mathbf{D}_{II} \mathbf{x}_{II}$ и $\mathbf{I} = [\mathbf{D}_I \quad \mathbf{D}_{II}]$. Остальные матрицы определяют векторно-матричное описание объекта, заданное уравнениями (1) и (2), таким образом, что:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{I-I} & \mathbf{A}_{I-II} \\ \mathbf{A}_{II-I} & \mathbf{A}_{II-II} \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{uI} & 0 \\ 0 & \mathbf{B}_{mII} \end{bmatrix}, \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}_{II} \end{bmatrix}.$$

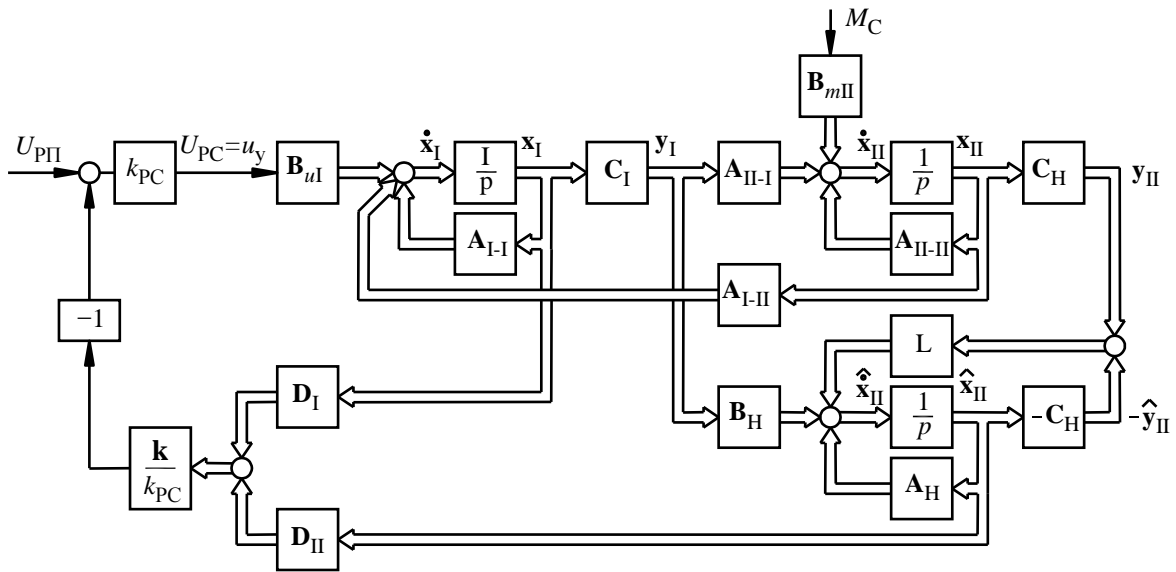


Рис. 3

Наблюдатели, изображенные на схемах (рис. 2 и 3), являются неастиатическими, то есть не обеспечивают точного воспроизведения вектора оцениваемых координат (\mathbf{x} или \mathbf{x}_{II}), если на объект действует возмущение M_C . Так как в большинстве случаев математическое описание возмущающего воздействия неизвестно, то может быть поставлена задача точного воспроизведения координат лишь в установившемся режиме. Для этого нужно будет синтезировать наблюдающее устройство, способное оценивать не только вектор состояния переменных объекта, но и внешний момент нагрузки, учитывая, что внешнее воздействие подчиняется дифференциальному уравнению $\dot{M}_C(t) = d \cdot M_C(t)$, где d – известный коэффициент. Будем считать, что действующий на объект момент постоянен, тогда коэффициент d будет равен нулю. Восстановление M_C в этом случае осуществляется в результате интегрирования ошибки оценивания какой-либо из измеряемых координат объекта. Далее в рассмотрение вводится расширенный объект, в котором M_C станет одной из его координат, а наблюдатель, построенный на основе такого расширенного объекта, будет называться астатическим.

Таким образом, опираясь на структурные схемы, изображенные на рис. 2 и 3, было составлено векторно-матричное описание скоростной подсистемы для каждого из двух типов наблюдателей и были получены выражения для определения вектора ошибок оценивания переменных состояния (табл. 1) и вектора ошибок переменных состояния (табл. 2) в области оператора \mathbf{p} при действии на объект $M_C \neq 0$. В табл. 1 и 2 символом “*” обозначены векторы и матрицы, относящиеся к расширенному описанию объекта, символом “~” – векторы ошибок оценивания координат. Кроме того, в таблицах используются следующие обозначения: $\mathbf{x}^*(0)$ и $\mathbf{x}_{II}^*(0)$ – векторы ненулевых начальных условий расширенных векторов состояния \mathbf{x}^* и \mathbf{x}_{II}^* соответственно; \mathbf{T}_{II} – матрица, такая, что $\mathbf{x}_{II}^* = \mathbf{T}_{II} \mathbf{x}^*$.

Таблица 1

Наблюдатель		Вектор ошибок оценивания координат
управляемый током двигателя	неастиический	$\tilde{\mathbf{x}} = -(\mathbf{pI} - \mathbf{A} + \mathbf{LC})^{-1} \mathbf{B}_m M_C$
	астатический	$\tilde{\mathbf{x}}^* = -(\mathbf{pI} - \mathbf{A}^* + \mathbf{LC}^*)^{-1} \mathbf{x}^*(0),$ где $\mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B}_m \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{C}^* = [\mathbf{C} \ 0]$
управляемый скоростью двигателя	неастиический	$\tilde{\mathbf{x}}_{II} = -(\mathbf{pI} - \mathbf{A}_{II-II} + \mathbf{LC}_{II})^{-1} \mathbf{B}_{mII} M_C$
	астатический	$\tilde{\mathbf{x}}_{II}^* = -(\mathbf{pI} - \mathbf{A}_{II-II}^* + \mathbf{LC}_{II}^*)^{-1} \mathbf{x}_{II}^*(0),$ где $\mathbf{A}_{II-II}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{II-II} & \mathbf{B}_{mII} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{C}_{II}^* = [\mathbf{C}_{II} \ 0]$

Таблица 2

Наблюдатель		Вектор ошибок координат
управляемый током двигателя	неастиический	$\mathbf{x} = (\mathbf{pI} - \mathbf{A} + \mathbf{B}_u \mathbf{k})^{-1} \mathbf{B}_m M_C - (\mathbf{pI} - \mathbf{A} + \mathbf{B}_u \mathbf{k})^{-1} \mathbf{B}_u \mathbf{k} \tilde{\mathbf{x}}$
	астатический	$\mathbf{x}^* = (\mathbf{pI} - \mathbf{A}^* + \mathbf{B}_u^* \mathbf{k})^{-1} \mathbf{x}^*(0) - (\mathbf{pI} - \mathbf{A}^* + \mathbf{B}_u^* \mathbf{k})^{-1} \mathbf{B}_u^* \mathbf{k} \tilde{\mathbf{x}}^*,$ где $\mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B}_m \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{B}_u^* = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_u \\ 0 \end{bmatrix}$
управляемый скоростью двигателя	неастиический	$\mathbf{x} = (\mathbf{pI} - \mathbf{A}_{\omega I-I} - \mathbf{A}_{\omega I-II} \mathbf{T}_{II})^{-1} \mathbf{B}_{m\omega I} M_C + (\mathbf{pI} - \mathbf{A}_{\omega I-I} - \mathbf{A}_{\omega I-II} \mathbf{T}_{II})^{-1} \mathbf{A}_{\omega I-II} \tilde{\mathbf{x}}_{II},$ где $\mathbf{A}_{\omega I-I} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{I-I} - \mathbf{B}_{uI} \mathbf{kD}_I & \mathbf{A}_{I-II} \\ \mathbf{A}_{II-I} \mathbf{C}_I & \mathbf{A}_{II-II} \end{bmatrix}, \mathbf{A}_{\omega I-II} = \begin{bmatrix} -\mathbf{B}_{uI} \mathbf{kD}_{II} \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{B}_{m\omega I} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{B}_{mII} \end{bmatrix}$
	астатический	$\mathbf{x}^* = (\mathbf{pI} - \mathbf{A}_{\omega I-I}^* - \mathbf{A}_{\omega I-II}^* \mathbf{T}_{II})^{-1} \mathbf{x}^*(0) + (\mathbf{pI} - \mathbf{A}_{\omega I-I}^* - \mathbf{A}_{\omega I-II}^* \mathbf{T}_{II})^{-1} \mathbf{A}_{\omega I-II}^* \tilde{\mathbf{x}}_{II}^*,$ где $\mathbf{A}_{\omega I-I}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{I-I} - \mathbf{B}_{uI} \mathbf{kD}_I & \mathbf{A}_{I-II}^* \\ \mathbf{A}_{II-I}^* \mathbf{C}_I & \mathbf{A}_{II-II}^* \end{bmatrix}, \mathbf{A}_{\omega I-II}^* = \begin{bmatrix} -\mathbf{B}_{uI} \mathbf{kD}_{II} \\ 0 \end{bmatrix},$ $\mathbf{A}_{I-II}^* = [\mathbf{A}_{I-II} \ 0], \mathbf{A}_{II-I}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{II-I} \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_{II-II}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{II-II} & \mathbf{B}_{mII} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

Полученные выражения были использованы для исследования возможности оценки момента статических сопротивлений на примере реального объекта (крупного радиотеле-скопа) [3], упрощенная структурная схема которого приведена на рис. 4 (двухдвигатель-ный привод заменен на эквивалентный однодвигательный), где обозначены: k_{DT} – коэф-фициент датчика тока; $c_D = 3\rho_{II} k_2 \Psi_2$ – машинный коэффициент; $J_{1\Omega}$ – момент инерции эквивалентного двигателя (первая масса); J_2, J_3, J_4 – моменты инерции платформы (вторая масса), зеркальной части (третья масса) и противовеса (четвертая масса) соответ-ственно; $c_{21\Omega}, c_{32}, c_{42}$ – коэффициенты жесткости между второй и первой, третьей и

второй, четвертой и второй массами соответственно; i_{β} , $M_{Д1}$, ω_1 – ток, момент и скорость эквивалентного двигателя соответственно; M_{21} , M_{32} , M_{42} – упругие моменты между соответствующими массами; ω_2 , ω_3 , ω_4 – угловые скорости второй, третьей и четвертой масс; φ_3 – угол положения зеркальной части.

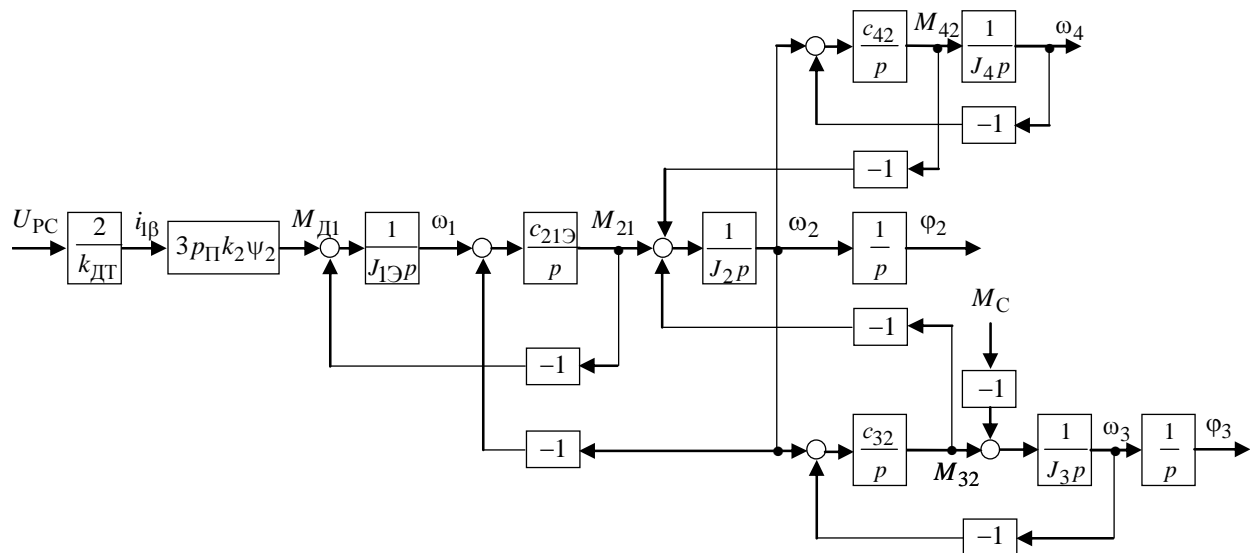


Рис. 4

Исследовались наблюдатели, управляемые током и скоростью двигателя, с выделением ошибок по координатам ω_3 и φ_2 . В табл. 3 приведены результаты анализа данных видов наблюдающих устройств с позиций возможности оценки M_C , достижения нулевых ошибок оценивания координат и требуемых для этого значений коэффициентов L наблюдателя. Следует отметить, что для наблюдателя, управляемого током двигателя, индексы коэффициентов L расшифровываются следующим образом: первая цифра – номер переменной, оценка которой соответствует связи наблюдателя с данным коэффициентом L (“1” – ω_1 , “2” – M_{21} , “3” – ω_2 , “4” – M_{32} , “5” – ω_3 , “6” – M_{42} , “7” – ω_4 , “8” – M_C , “9” – φ_2); вторая цифра – номер переменной, по которой осуществляется выделение ошибки (“1” – ω_3 , “2” – φ_2). Для наблюдателя, управляемого скоростью двигателя: первая цифра – также номер переменной, оценка которой соответствует связи наблюдателя с данным коэффициентом L (“1” – M_{21} , “2” – ω_2 , “3” – M_{32} , “4” – ω_3 , “5” – M_{42} , “6” – ω_4 , “7” – M_C , “8” – φ_2); вторая цифра – аналогично наблюдателю, управляемому током двигателя.

Основываясь на данных табл. 3, можно сделать вывод, что не всегда использование астатического наблюдателя дает желаемый результат – точную оценку внешнего момента статических сопротивлений (в установившемся режиме и в пределах выбранной структуры системы). С другой стороны, даже не применяя астатический наблюдатель, установившиеся значения ошибок оценивания всех координат, кроме φ_2 , иногда можно свести к нулю, обнулив соответствующие коэффициенты наблюдателя.

Таблица 3

Сигнал на входе наблюдателя	Координаты для выделения ошибки	Обозначение	Тип наблюдателя ¹	Возможность оценки M_C^2	Ошибки оценивания ³	Коэффициенты наблюдателя ⁴																				
						L_{11}	L_{21}	L_{31}	L_{41}	L_{51}	L_{61}	L_{71}	L_{81}	L_{91}	L_{12}	L_{22}	L_{32}	L_{42}	L_{52}	L_{62}	L_{72}	L_{82}	L_{92}			
$i_{1\beta}$	ω_3	H1	неаст.	-	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times			
		H2	аст.	+	= 0	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times		
	φ_2	H3	неаст.	-	= 0	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	= 0	= 0	= 0	= 0	\emptyset	= 0	= 0	\times	= 0	
		H4	аст.	+	= 0	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	
	ω_3, φ_2	H5	неаст.	-	= 0	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	= 0	= 0	= 0	= 0	= 0	\emptyset	= 0	= 0	\times	= 0	\times	
		H6	аст.	+	= 0	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	
ω_1	ω_3	H7	неаст.	-	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times		
		H8	аст.	-	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times		
	φ_2	H9	неаст.	-	\emptyset	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\emptyset	\times	
		H10	аст.	+	= 0	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	= 0	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	= 0	\times	
	ω_3, φ_2	H11	неаст.	-	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\emptyset	\times	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\times	\emptyset	\times
		H12	аст.	+	= 0	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	= 0	\times	= 0	\emptyset	= 0	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	= 0	\times	

¹ неаст. – неастигматический,

аст. – астатический;

² “+” – возможна точная оценка внешнего момента статических сопротивлений (в установившемся режиме),

“-” – внешний момент статических сопротивлений не оценивается;

³ “= 0” – статические ошибки оценивания координат равны нулю,“ \emptyset ” – статические ошибки оценивания координат отличны от нуля (хотя бы одна);⁴ “= 0” – коэффициент наблюдателя равен нулю,“ \emptyset ” – коэффициент наблюдателя отличен от нуля,“ \times ” – коэффициент в наблюдателе отсутствует.

Анализируя данные табл. 3, также можно заключить, что для рассмотренной структуры механической части объекта управления с целью оценки внешнего момента статических сопротивлений наиболее предпочтительно строить скоростную подсистему на основе астатического наблюдателя, управляемого током эквивалентного двигателя, с выделением ошибки по угловой скорости вращения зеркала (наблюдатель Н2). Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, в этом случае обеспечивается точная оценка момента статических сопротивлений, благодаря чему можно, зная параметры упругой передачи между второй и третьей массами, вычислить статическую ошибку координаты φ_3 углового положения зеркальной части относительно координаты φ_2 и ввести поправку на вход задания углового положения платформы φ_y для устранения этой статической ошибки. Во-вторых, имея оценку момента M_C , можно свести к нулю статические ошибки координат, соответствующие угловым скоростям вращения. В третьих, данный наблюдатель (Н2) имеет наиболее простой вид из всех рассмотренных и обладающих необходимыми нам свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

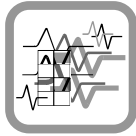
1. Постников Ю. В., Туркин Д. Н. Статистическая оптимизация следящего электропривода средствами MATLAB // Изв. СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Сер. Электротехника. 2006. Вып. 1. С. 11–15.
2. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976.
3. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. СПб.: Энергоатомиздат. 1992. С. 166–193.

D. N. Turkin

OPPORTUNITY INVESTIGATION OF A STATIC RESISTANCE MOMENT ESTIMATION DURING THE OPERATION OF A LARGE RADIOTELESCOPE

The questions concerning an estimation of uncontrollable external disturbance as the moment of static resistance during the operation of a large radiotelescope are considered.

Large radiotelescope, observer, external disturbance, servo drive system



УДК 531.74.089

*М. Ю. Агапов, М. Н. Бурнашев, Д. П. Лукьянов,
П. А. Павлов, Ю. В. Филатов*

ЛАЗЕРНЫЕ ГОНИОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛА

Рассматривается одна из перспективных областей лазерных измерительных технологий, решающая задачу контроля в процессе разработки и промышленного производства цифровых преобразователей угла с помощью лазерных динамических гониометров (ЛДГ). Описываются принципы построения и различные схемы ЛДГ. Анализируются случайная и систематическая погрешности ЛДГ, приводятся данные по точностным характеристикам. Анализируется метод измерения динамической погрешности цифровых преобразователей угла.

Гониометр, угловые измерения, фотоэлектрический преобразователь угла, цифровой преобразователь угла

Преобразователи угла (ПУ) применяются в различных системах управления объектами и в значительной мере определяют основные технические характеристики этих систем – точность и быстродействие [1], [2]. Многообразие видов ПУ, основанных на различных физических принципах записи и считывания информации, с различными типами выходных интерфейсов (с параллельным, побитным или побайтным считыванием выходного кода, различными наборами управляющих сигналов) порождает и разнообразие аппаратных и программных средств, используемых для приема и обработки выходной информации. Важное место в процессе разработки и промышленного производства ПУ принадлежит эффективным методам контроля качества этих устройств. Получение достоверных результатов измерений возможно лишь при условии проведения исследования погрешности ПУ с высокой точностью в широком диапазоне угловых скоростей.

Решение проблемы может быть найдено в области лазерных измерительных технологий. Одним из наиболее перспективных методов лазерных измерительных технологий является контроль параметров прецизионных ПУ с помощью лазерных динамических гониометров (ЛДГ) [3]–[5]. Принцип действия ЛДГ основан на использовании кольцевого лазера (КЛ), в резонаторе которого формируется стоячая электромагнитная волна, представляющая собой практически идеальную угловую шкалу сверхвысокого разрешения.

Измерение с помощью ЛДГ предусматривает непрерывное вращение КЛ совместно с контролируемым ПУ с квазипостоянной скоростью, в процессе которого производится сравнение образцовой «угловой шкалы» КЛ со шкалой контролируемого ПУ.

В настоящее время в задачах контроля погрешности ПУ существует 2 подхода к построению ЛДГ на основе КЛ – построение гониометров по «классической» схеме и построение гониометров с использованием комплексирования КЛ с преобразователем угла, основанным на иных физических эффектах. В качестве такого преобразователя, например, можно использовать голографический оптический датчик угла, имеющий несколько менее равномерную шкалу, которая, тем не менее, является более стабильной во времени.

Классический лазерный динамический гониометр. Рассмотрим «классическую» схему построения ЛДГ, предназначенного для контроля погрешности ПУ, функциональная схема которого представлена на рис. 1. На роторе ЛДГ, приводимом в движение приводом, жестко закреплены кольцевой лазер и зеркало. На неподвижном основании установлен нуль-индикатор НИ, формирующий параллельный световой пучок и фиксирующий моменты времени, когда отражающая поверхность зеркала оказывается перпендикулярной пучку НИ. Сигналы с выхода КЛ и НИ через устройство сопряжения поступают на устройство ввода-вывода информации для дальнейшей обработки в ЭВМ. Преобразователь угла, погрешность которого требуется контролировать, устанавливается на специальной платформе гониометра таким образом, чтобы его ось вращения была совмещена с осью вращения ротора ЛДГ. Ротор ПУ обычно соединяется с ротором ЛДГ с помощью муфты. Если нет необходимости контролировать весь массив угловых значений ПУ, то производится деление частоты выходного сигнала ПУ с коэффициентом деления, обеспечивающим необходимую величину дискретности контролируемых угловых интервалов.

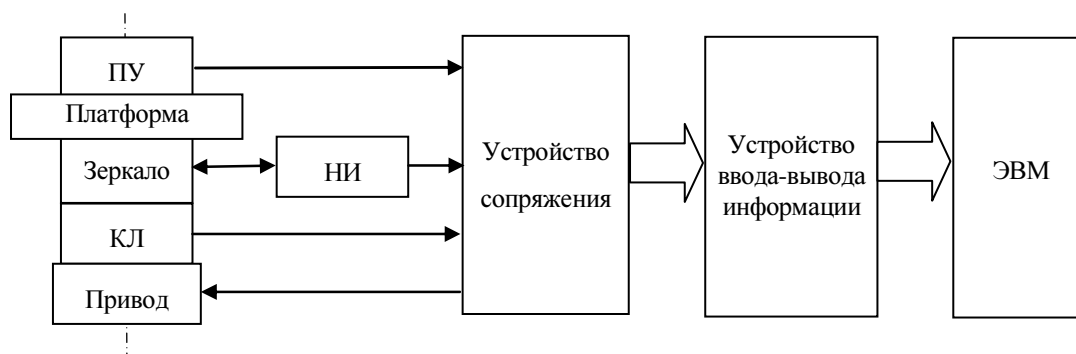


Рис. 1

Алгоритм, определяющий результат измерения угла, можно записать в виде

$$\varphi = 2\pi \frac{N_\varphi}{N_{2\pi}}, \quad (1)$$

где N_φ – число импульсов выходного сигнала КЛ, полученное в результате суммирования в интервалах между импульсами калибруемого ПУ, которое приближенно может быть определено выражением

$$N_\varphi = \int_0^t \omega dt = \int_0^t K\Omega dt = K\varphi \quad (\omega \text{ – частота выходного сигнала КЛ, } K \text{ –}$$

масштабный коэффициент КЛ, Ω – скорость вращения платформы ЛДГ); $N_{2\pi}$ – число

импульсов выходного сигнала КЛ, полученное в результате суммирования в интервалах между импульсами НИ. Определение числа $N_{2\pi}$ дает возможность проводить самокалибровку КЛ (определение масштабного коэффициента и соответственно угловой цены периода выходного сигнала) на естественном эталоне 2π в течение каждого оборота платформы ЛДГ, что является важным преимуществом динамического метода измерений.

Самокалибровка позволяет компенсировать влияние на погрешность измерений не только вариаций масштабного коэффициента КЛ, но и составляющих его дрейфа, при условии, что характерные времена их изменений превышают время оборота платформы ЛДГ.

При проведении измерений в течение n оборотов платформы ЛДГ дает статистически усредненный результат измерения

$$\varphi = (2\pi/n) \sum_{j=1}^n \left(\frac{N_{\varphi}^j}{N_{2\pi}^j} \right),$$

где j – номер оборота платформы.

Таким образом, процедура измерений в рамках динамического метода представляет собой совместное использование статистического метода измерений и самокалибровки КЛ на естественном эталоне 2π .

Использование «классического» ЛДГ для контроля ПУ. Использование «классического» ЛДГ при проведении работ по контролю и оценке точности ПУ позволяет контролировать в динамическом режиме следующие характеристики преобразователей угла: информационную емкость, систематическую и случайную погрешности инкрементных ПУ или погрешность угловых координат смены значений кода абсолютных ПУ, а также (для абсолютных ПУ) монотонность следования значений кода и достоверность кода.

Высокая разрешающая способность КЛ позволяет проводить контроль высокоразрядных ПУ с регистрацией генеральной совокупности данных, дающих полное представление о характеристиках контролируемого ПУ. Один период выходного сигнала КЛ имеет угловую цену порядка $1''$. Используемая обычно в ЛДГ временная интерполяция позволяет практически без внесения дополнительных ошибок повысить разрешение в 100...500 раз. В этом случае разрядность контролируемых ПУ достигает 24...26 разрядов.

Случайная погрешность измерений. При решении задачи оценивания результатов измерений в лазерном динамическом гониометре возникает необходимость вычисления доверительных интервалов. Для нахождения квантилей распределения необходимо иметь либо аналитическое выражение для функции распределения результатов измерений, либо иметь эту информацию в табличном виде. Данная задача решается путем анализа формулы измерений (1).

Анализ случайной погрешности измерений [5] основан на представлении результата суммирования импульсов КЛ в виде случайного процесса

$$N(t) = N^0(t) + \delta N(t),$$

где $N^0(t)$ – линейная функция времени; $\delta N(t)$ – нестационарный случайный процесс, характеризующий погрешность измерений. Функцию $\delta N(t)$ можно разбить на две составляющие:

$$\delta N(t) = \delta N^{\omega}(t) + \delta N^t(t).$$

Первая обусловлена вкладом широкополосных флуктуаций $\delta\omega(t)$ частоты выходного сигнала КЛ. Она может быть записана в виде

$$\delta N^{\omega}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \delta\omega(t') dt'.$$

Причиной появления этого шума можно считать акты спонтанного излучения фотонов в активной среде КЛ, происходящие случайно через интервалы порядка $10^{-7} \dots 10^{-9}$ с независимо друг от друга. Продолжительность проведения измерений на ЛДГ составляет обычно $10 \dots 10^2$ с, а интервал между получением соседних отсчетов порядка $10^{-4} \dots 1$ с. Поэтому можно считать, что время корреляции шумовой составляющей выходного сигнала КЛ равно нулю.

Вторая составляющая определяется погрешностями сигнала ПУ, приводящими к вариациям пределов интегрирования сигнала КЛ, и обусловлена в основном шумом в тракте формирования сигнала ПУ (тепловым в электронном тракте и дробовым в фотоприемнике). Отметим, что флуктуации δN^{ω} и δN^t имеют различную физическую природу и взаимно не коррелируют.

В результате корреляционного анализа выражение для случайной погрешности измерения угла можно записать в виде

$$D_{\varphi}(\varphi) = \begin{cases} 2D_{\varphi}^t + [r_w^2 T - 2D_{\varphi}^t](\varphi/2\pi)(1 - \varphi/(2\pi)), & \varphi \neq 0, 2\pi; \\ 0, & \varphi = 0, 2\pi, \end{cases} \quad (2)$$

где r_w – коэффициент случайного дрейфа КЛ. Здесь использовано обозначение $D_{\varphi}^t = (2\pi/T)^2 D^t$ для погрешности сигнала ПУ в расчете на одну границу угла.

Использование (2) в качестве модели для аппроксимации зависимости дисперсии экспериментальных значений угла от номинального значения угла позволяет разделить случайные погрешности ПУ и КЛ, а также получить информацию о точности определения угла ЛДГ. Типичное значение коэффициента случайного дрейфа КЛ составляет порядка $0,05''/\sqrt{с}$. При скорости вращения платформы ЛДГ порядка 0,5 об/с из (2) получаем максимальную погрешность измерений, обусловленную вкладом КЛ, порядка $0,05''$.

Систематическая погрешность измерений. Систематическая погрешность измерения угла при использовании калибровки КЛ на угле 2π обусловлена, прежде всего, периодическим изменением параметров КЛ под воздействием какого-либо фактора, приводящим к искажению угловой шкалы КЛ систематического характера. Одним из наиболее существенных источников систематической погрешности КЛ является влияние на него внешнего постоянного магнитного поля (например, магнитного поля Земли). КЛ имеет некоторую ось чувствительности к магнитному полю, лежащую в плоскости его резонатора [6]. Систематическая погрешность такого рода лежит обычно в пределах $0,1''$ и может быть при необходимости учтена и частично скомпенсирована.

Значительно более важную роль при контроле ПУ с помощью ЛДГ играют компоненты систематической погрешности, обусловленные биениями оси вращения ЛДГ, качеством муфты, связывающей вал ЛДГ с ротором калибруемого ПУ, неточностью установки ротора ПУ относительно вала ЛДГ. Погрешности такого рода могут оказаться на уровне единиц и даже десятков угловых секунд. Систематические погрешности, обусловленные муфтой и неточностью установки ротора ПУ, как правило, хорошо воспроизводятся и могут быть определены посредством проведения серии измерений при последовательных разворотах статора ПУ и муфты относительно платформы ЛДГ и его вала соответственно.

На рис. 2 в качестве примера представлены графики, характеризующие влияние погрешности установки контролируемого ПУ на основе ЛДГ. При проведении измерений статор ПУ последовательно разворачивался на 90° . Графики представляют собой отклонения систематической погрешности для каждого положения статора ПУ от ее среднего значения. Анализ полученных данных показывает, что основным фактором, определяющим представленную на рис. 2 погрешность, является качество работы муфты.

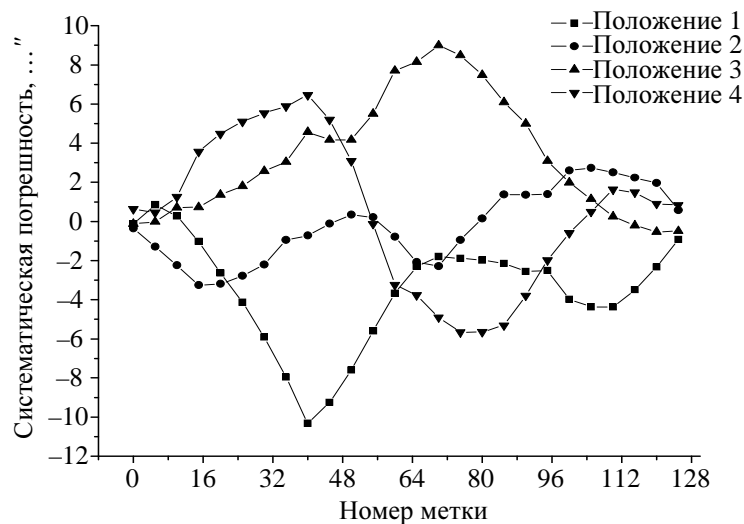


Рис. 2

Систематическая погрешность, обусловленная биениями оси вращения ЛДГ, существенным образом зависит от типа подшипников, используемых в механическом блоке ЛДГ. Этот тип систематической погрешности не всегда хорошо воспроизводится, и ее определение может быть затруднено. Наилучшие результаты получаются при использовании аэростатических опор. Исследования, проведенные недавно японскими и немецкими метрологами [7] на угломерных установках разных институтов, показали, что при использовании аэростатических опор результаты контроля прецизионного фотоэлектрического ПУ могут различаться менее чем на $0,01''$.

Тем не менее, следует отметить, что даже при создании ЛДГ с механическим блоком, использующим шарикоподшипники (с радиальным боем на уровне $5 \dots 10$ мкм), систематическая погрешность ЛДГ оказывается на уровне нескольких сотых долей угловой секунды.

Систематическая погрешность ЛДГ определяется с использованием процедуры кросс-калибровки [8]. В общем случае данная процедура заключается в проведении поэтапной калибровки одного преобразователя с помощью другого (обычно в качестве такого преобразователя используют преобразователь с более высокой разрешающей способностью). После каждого этапа калибровки производится разворот корпуса (статора) одного

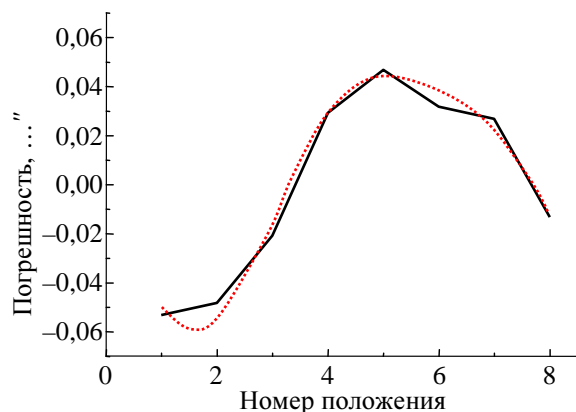


Рис. 3

на основе шарикоподшипников сравнительно невысокого качества. Погрешность получена при последовательных разворотах статора преобразователя на угол 45° , т. е. $n = 8$. Из приведенного графика следует, что несмотря на использование в ЛДГ сравнительно «грубой» оси, систематическая погрешность ЛДГ не превышает $0,06''$.

ЛДГ для контроля высокоточных ПУ. Следует отметить, что использование в составе лазерной гониометрической системы КЛ в качестве образцового преобразователя имеет ряд недостатков. К ним можно, прежде всего, отнести узкий диапазон угловых скоростей, при которых КЛ сохраняет высокую точность измерения ($90 \dots 360^\circ/\text{с}$), и чувствительность КЛ к угловым вибрациям, действующим в плоскости резонатора, что приводит к необходимости установки ЛДГ на развязный фундамент или к использованию в составе ЛДГ воздушной опоры. Особенности КЛ как преобразователя угла являются сверхвысокое разрешение и равномерность шкалы. В то же время масштабный коэффициент КЛ и соответственно угловая цена его деления подвержены некоторым изменениям во времени, что определяет необходимость его текущей калибровки на угле 2π или других известных заранее углах.

Эти особенности КЛ определяют целесообразность его комплексирования при построении ЛДГ с преобразователями угла, использующими принципиально иные физические эффекты. В качестве такого преобразователя можно использовать оптический датчик угла, имеющий существенно менее равномерную, но, тем не менее, более стабильную во времени шкалу.

Наличие в измерительной системе двух измерительных преобразователей угла позволяет осуществлять процедуру кросс-калибровки, обеспечивающую определение систематических составляющих погрешностей обоих преобразователей.

На основе такого подхода был разработан ЛДГ, функциональная схема которого, по сравнению со схемой классического ЛДГ (см. рис. 1), дополнена инкрементным оптическим преобразователем угла (ОПУ). В качестве ОПУ использовался голографический фотоэлектрический преобразователь угла ПКГ-105 М, шкала которого содержит 324 000 меток на оборот (разрешение $4''/\text{импульс}$). Электромеханический блок ЛДГ в этом случае выполнялся на основе аэростатической опоры, обеспечивающей минимальный радиальный бой вала установки.

На рис. 4 приведены результаты кросс-калибровки КЛ и ОПУ, фактически представляющие собой систематическую погрешность ЛДГ. В результате проведения данной процедуры за счет снижения систематической погрешности гониометрической системы удастся повысить точность угловых измерений ЛДГ до уровня $0,01 \dots 0,04''$.

из преобразователей относительно другого на угол $360^\circ/n$, где n – число этапов кросс-калибровки. В итоге формируется массив данных, обработка которого позволяет получить систематические погрешности обоих преобразователей. При последовательных разворотах статора калибруемого ПУ относительно корпуса ЛДГ обработка массива данных позволяет оценить систематическую погрешность ЛДГ.

На рис. 3 представлены результаты оценки систематической погрешности ЛДГ с осью

Кроме повышения точности достоинствами ЛДГ такого типа является существенное расширение диапазона угловых скоростей до 20...720 °/с и возможность использования в качестве образцового преобразователя угла как КЛ, так и ОПУ.

Такие гониометрические системы находят применение, главным образом, в задачах метрологического обеспечения контроля высокоточных цифровых ПУ.

Контроль динамической погрешности ПУ.

Как известно, реальные условия функционирования ПУ характеризуются существенными вариациями угловой скорости вращения его ротора. Совместно с инерционностью электронных компонентов преобразователя это ведет к появлению в его показаниях так называемой динамической погрешности. В связи с этим определение зависимости динамической составляющей систематической погрешности ПУ от скорости вращения его ротора является важной измерительной задачей, которая успешно решается при контроле погрешности ПУ с помощью ЛДГ.

Определить динамическую погрешность можно на установке, представляющей собой классический ЛДГ. С той лишь разницей, что моменты съема информации формируются совместно нуль-индикатором и ПУ. Временная диаграмма работы такой системы приведена на рис. 5. Динамическая погрешность ПУ определяется по данным, содержащимся в интервале II, формируемом импульсом НИ и ближайшим импульсом контролируемого ПУ.

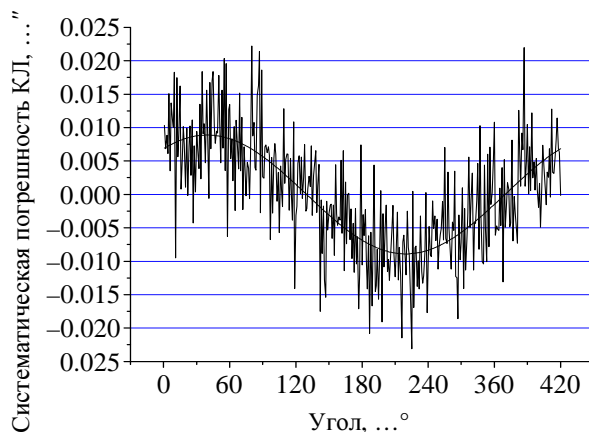


Рис. 4

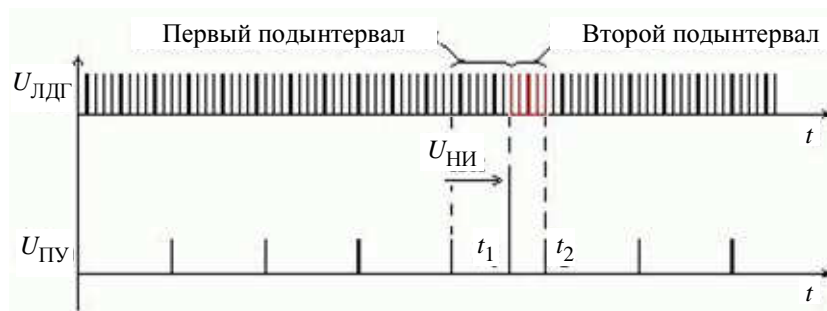


Рис. 5

При проведении измерений предполагается, что временные задержки в каналах формирования сигналов НИ, КЛ и ПУ постоянны. Временные задержки в каналах формирователей сигналов НИ и КЛ $\tau_{НИ} = 0.1$ мкс, $\tau_{КЛ} = 0.16$ мкс и пренебрежимо малы по сравнению с временной задержкой в канале формирования сигнала ПУ.

Первая граница угла формируется НИ с временной задержкой $\tau_{НИ}$. Этому моменту соответствует отсчет гониометра

$$\theta(t_1) = \dot{\theta}(t_1)(t_1 + \tau_{НИ} + \tau_{КЛ}). \quad (3)$$

Вторую границу угла формирует импульс ПУ с задержкой $\tau_{ПУ}$. Этому моменту соответствует отсчет

$$\theta(t_2) = \dot{\theta}(t_2)(t_2 + \tau_{\text{ПУ}} + \tau_{\text{КЛ}}). \quad (4)$$

Тогда результат измерения угла с учетом (3) и (4) получаем в виде

$$\tilde{\varphi} = \theta(t_2) - \theta(t_1) = \dot{\theta}(t_2)t_2 - \dot{\theta}(t_1)t_1 + [\dot{\theta}(t_2)(\tau_{\text{ПУ}} + \tau_{\text{КЛ}}) - \dot{\theta}(t_1)(\tau_{\text{НИ}} + \tau_{\text{КЛ}})],$$

а динамическая погрешность измерения определяется выражением

$$\Delta_{\varphi \text{ дин}} = \tilde{\varphi} - \varphi = \dot{\theta}(t_2)(\tau_{\text{ПУ}} + \tau_{\text{КЛ}}) - \dot{\theta}(t_1)(\tau_{\text{НИ}} + \tau_{\text{КЛ}}).$$

Используя свойство равномерного вращения $\dot{\theta}(t_2) = \dot{\theta}(t_1) = \dot{\theta}$ и предполагая, что $\tau_{\text{ПУ}} \gg \tau_{\text{НИ}}$, получаем следующее выражение для динамической погрешности ПУ:

$$\Delta_{\varphi \text{ дин}} \approx \dot{\theta} \tau_{\text{ПУ}}. \quad (5)$$

Полученное выражение показывает, что динамическая погрешность результатов измерения угла в данном приближении не зависит от задержки сигнала в каналах формирования КЛ и НИ, а полностью определяется задержкой в канале формирования сигнала ПУ.

Исходя из связи динамической погрешности $\Delta_{\varphi \text{ дин}}$ измерений угла с временной задержкой сигнала в канале формирования импульсов ПУ $\tau_{\text{ПУ}}$ (5), можно схематически представить зависимость $\Delta_{\varphi \text{ дин}}$ от угловой скорости вращения $\dot{\theta}$ ротора ЛДГ в виде линейной зависимости. Получение такой зависимости в результате проведения эксперимента позволяет оценить время задержки $\tau_{\text{ПУ}}$ и соответствующую динамическую погрешность.

Были проведены соответствующие эксперименты. Измерения проводились при контроле 8-разрядного фотоэлектрического ПУ с использованием в составе ЛДГ 8-гранной призмы и интерференционного НИ, таким образом число импульсов на оборот составило

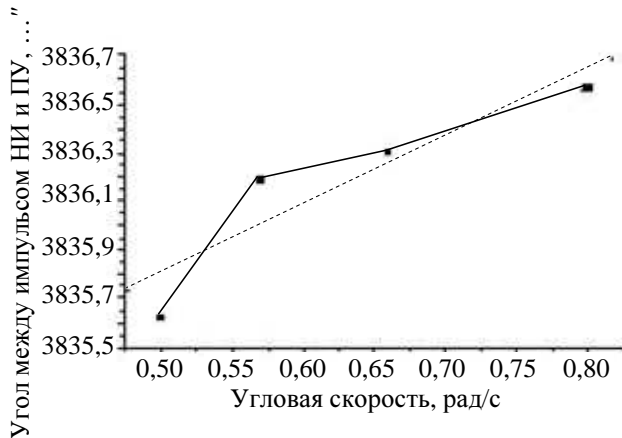


Рис. 6

136, данные усреднялись по 150 оборотам. На рис. 6 приведены результаты измерений и их аппроксимация линейной регрессией вида $y = a + bx$ (пунктирная прямая). По результатам вычислений было получено $a = 3934.38 \pm 0.56''$, $b = 2.83 \pm 0.88''$.

Из полученных значений следует, что при угловой скорости $\dot{\theta} = 2\pi$ рад/с динамическая погрешность ПУ составляет $2,83''$. Временную задержку сигнала ПУ получим, учитывая, что угол, равный 2π , со-

держит $1\ 296\ 000''$: $\tau_{\text{ПУ}} = \frac{b}{2\pi} = \frac{2,8'' \cdot \text{с}}{1\ 296\ 000''} = (2,2 \pm 0,7)\text{мкс}$. В качестве дополнительного

примера определения динамической погрешности ПУ можно привести данные, полученные в ходе контроля погрешности фотоэлектрического инкрементного преобразователя с 36 000 меток на оборот. При исследовании динамической погрешности данного преобразователя угловая скорость вращения поворотной платформы изменялась по линейному

закону от 33 до 1200 °/с за время 482 с, поэтому ее изменение в пределах одного оборота было достаточно мало, что позволило пренебречь зависимостью динамической поправки от угловой скорости в пределах одного оборота стэнда.

Полученные в процессе измерений результаты дают наиболее простое и точное описание динамической ошибки при ее аппроксимации кубичным полиномом для обратной зависимости

$$\Omega = a(x - d) + b(x - d)^3 + c ,$$

где Ω – угловая скорость ротора ПУ; x – динамическая погрешность; a, b, c, d – неизвестные параметры уравнения.

После нахождения коэффициентов этого уравнения значение динамической погрешности рассчитывалось по формуле Кардано. Совмещение фактической и модельной зависимостей показано на рис. 7.

На протяжении всего процесса калибровки случайная погрешность угловых измерений непрерывно контролировалась и не превышала 0,016".

Проведенные исследования продемонстрировали высокую эффективность использования методов и средств лазерной динамической гониометрии в задачах калибровки цифровых преобразователей угла.

Разработанные ЛДГ обеспечивают высокую достоверность и оперативность контроля ЦПУ на соответствие задаваемым требованиям. Применение методов кросс-калибровки и других современных метрологических подходов в сочетании с разработанными алгоритмами обработки информации позволяют практически в реальном времени анализировать полный объем данных, получаемых при контроле ЦПУ.

Дополнительным параметром, контроль которого обеспечивают разработанные методы и средства, является динамическая погрешность ЦПУ.

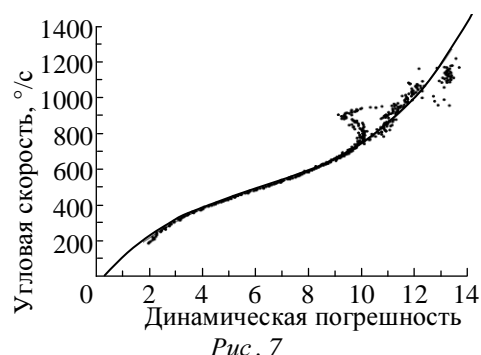


Рис. 7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домрачев В. Г., Мейко Б. С. Цифровые преобразователи угла: Принципы построения, теория точности, методы контроля. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Высокоточные угловые измерения / Д. А. Аникст, К. М. Константинович, И. В. Меськин и др.; Под ред. Ю. Г. Якушенкова. М.: Машиностроение, 1987.
3. Filatov Yu., Loukianov D. P., Probst R. Angle measurement by means of a ring laser goniometer // Metrologia. 1997. Vol. 34. P. 343–351.
4. Dynamic ring laser goniometer / Yu. Filatov, M. N. Burnashev, D. P. Loukianov et al. // Optical Gyros and their Application, NATO RTO AGARDograph, Neuilly-sur-seine Cedex, France, May 1999.
5. Развитие методов и средств лазерной динамической гониометрии / М. Н. Бурнашев, Д. П. Лукьянов, П. А. Павлов, Ю. В. Филатов // Квантовая электроника. 2000. Т. 30, № 2. С. 141–146.
6. Кривцов Е. П., Филатов Ю. В. Исследование погрешности воспроизведения единицы плоского угла кольцевого лазера // Измерительная техника. 1989. № 12. С. 11–12.
7. Requirements and recent developments in high precision angle metrology: Proc. of 186. PTB-Seminar, Braunschweig, Germany, 5 November 2003.
8. Sim P. J. Modern Techniques in Metrology. Singapore: World Scientific, 1984. P. 102–121.

One of the most perspective fields of laser measurement technology is considered. One of the task of this direction is checking the development process and industrial manufacturing of an angle encoders by means of laser dynamic goniometers (LDG). Principles and various schematics of LDG are described. Random and systematic errors of LDG are analyzed with the use of data on measurement precision. The method of measurement of angle encoder dynamic error is considered.

Goniometer, angle measurement, photoelectrical angle encoder, digital angle encoder

УДК 620.179.16

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ КОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ТВЕРДУЮ СРЕДУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЕМПФИРОВАНИЯ ИЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Расчетным путем проведено сравнение возможностей получения короткого акустического импульса, излучаемого пьезопластиной в твердую среду через систему “контактный слой – протектор – контактный слой”, при использовании механического демпфирования и подключения электрической RL -цепи к входу пьезоэлемента. В качестве возбуждающего электрического сигнала рассмотрен импульс напряжения в виде полупериода синусоиды на собственной частоте пластины. Получены оценки длительностей и амплитуд акустических импульсов в зависимости от значений волновых толщин слоев, входящих в данную систему, и удельных акустических сопротивлений протектора.

Преобразователь, импульс, контактный слой, демпфер, электрическая цепь

Для получения на выходе пьезопреобразователя короткого акустического импульса могут быть использованы различные методы, среди которых в практике ультразвуковой дефектоскопии наиболее часто встречаются механическое демпфирование и подключение электрических цепей к входу активного пьезоэлемента. Определенный интерес может представить сравнение возможностей двух упомянутых способов для довольно распространенного случая применения в качестве излучателя многослойного преобразователя в виде пьезопластины, нагруженной на твердую среду (например, сталь) через систему “контактный слой – протектор – контактный слой”. Схематически описанный излучатель изображен на рис. 1. В первом варианте (рис. 1, а) пьезопластина с тыльной стороны нагружена на демпфер, имеющий удельное акустическое сопротивление z_d , а во втором – к ее входу подключена последовательная цепь, составленная из R - и L -элементов (рис. 1, б).

В задаче использована следующая система обозначений: z_1, z_2, z_3, z_k и z_n – удельные акустические сопротивления наружного контактного слоя, протектора, внутреннего контактного слоя, пьезокерамики и акустической нагрузки соответственно. Электрическое возбуждение осуществляется импульсом напряжения $U(t)$ в виде полупериода синусоиды на частоте антирезонанса пластины. Будем предполагать, что внутреннее сопротивление генератора равно нулю. Как и ранее (см., например, работы [1]–[3]), введем некоторые па-

раметры, с помощью которых можно охарактеризовать каждый из излучателей, изображенных на рис. 1. Пусть $a_1 = x_1/x_k$, $a_2 = x_2/x_k$ и $a_3 = x_3/x_k$, где x_k – волновая толщина пьезокерамики, а x_1 , x_2 и x_3 – волновые толщины наружного контактного слоя, протектора и внутреннего контактного слоя соответственно. Это позволит выражать волновые толщины всех трех слоев в частях x_k .

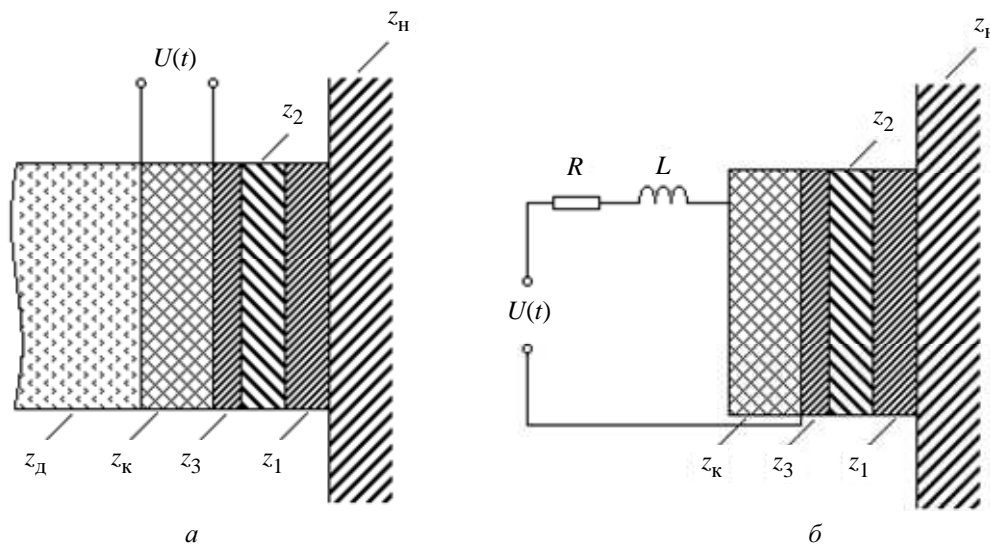


Рис. 1

Следует ввести в рассмотрение дополнительно ряд параметров, с помощью которых можно охарактеризовать систему, изображенную на рис. 1, б):

$$\omega_{\text{эл}} = \frac{1}{\sqrt{LC_0}}; \quad n = \frac{\omega_{\text{эл}}}{\omega_0}; \quad Q = \frac{\omega_0 L}{R},$$

где C_0 – электрическая емкость заторможенной пластины; ω_0 – антирезонансная частота пластины; $\omega_{\text{эл}}$ – резонансная частота электрического контура, образованного индуктивностью L и собственной емкостью C_0 пьезопластины; n – относительная резонансная частота электрического контура; Q – имеет смысл электрической добротности контура. Аналогично тому, как это делалось в предшествующих работах [1]–[3], можно определить вид излучаемого в твердое тело импульса колебательной скорости $v(t)$. За длительность импульса будем принимать время от его начала до момента уменьшения амплитуды колебательной скорости в 10 раз от максимума. Пусть T_0 – период колебаний на частоте ω_0 . Для

удобства введем безразмерное время $\tau = \frac{t}{(T_0/2)}$, что позволит измерять длительность из-

лучаемых импульсов числом полупериодов колебаний на собственной частоте пьезопластины. Далее обсуждаются результаты расчетов.

В описываемом случае при проведении расчетов значения удельных акустических сопротивлений материалов контактных слоев z_1 и z_3 приняты равными $1,5 \cdot 10^6$ Па · с/м (водные контактные слои). Волновая толщина протектора $a_2 = 0,1$. Удельное акустическое сопро-

тивление материала, в который осуществляется излучение сигналов, соответствует $z_H = 45 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$ (сталь). Волновая толщина внутреннего контактного слоя определяется в основном лишь технологическими возможностями изготовления преобразователя, которые вполне позволяют достигать величин $a_3 = 0,01$. Именно это значение использовано в расчете. Значение параметра a_1 , с помощью которого можно охарактеризовать волновую толщину наружного контактного слоя, изменялось в пределах от $a_1 = 0,01$ до $a_1 = 0,1$. Некоторые результаты теоретических исследований зависимостей длительностей τ_H и максимальных амплитуд v_{\max} излучаемых импульсов от значений удельных акустических сопротивлений протектора представлены на рис. 2–7. При этом необходимо отметить, что значения v_{\max} на рис. 3, 5 и 7 отложены в условных (относительных) единицах, пропорциональных значениям колебательной скорости. Данное обстоятельство объясняется проведением расчетов с точностью до постоянных множителей.

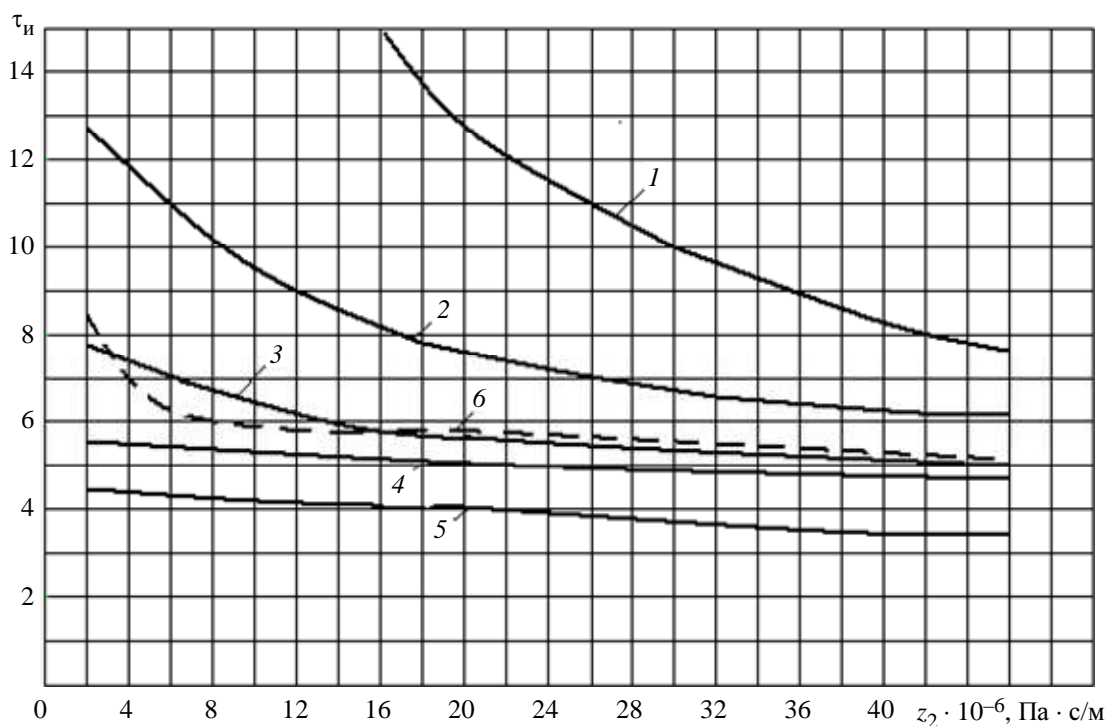


Рис. 2

На рис. 2 представлено семейство кривых, отражающих зависимости $\tau_H(z_2)$ при $a_1 = 0,01$, т. е. для малой волновой толщины наружного контактного слоя. Используются следующие обозначения: 1 – $z_d = 0$; 2 – $z_d = 5 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$; 3 – $z_d = 10 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$; 4 – $z_d = 15 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$; 5 – $z_d = 20 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$. Кривая 6 соответствует случаю подключения электрической цепи к входу пьезопластины (рис. 1, б), причем параметры n и Q , характеризующие данную систему, оптимально подобраны для получения импульса минимальной длительности и составляют: $n_{\text{opt}} = 1,15$ и $Q_{\text{opt}} = 2$ [3]. Можно видеть, что при отсутствии демпфирования (кривая 1) для значений $z_2 < 16 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$ длительности излучаемых акустических им-

пульсов превышают 16 полупериодов. Рост z_2 влечет за собой снижение $\tau_{и}$. Так, например, при достижении значения $z_2 = 46 \cdot 10^6$ Па · с/м длительность сигнала может составить примерно 7,5 полупериода.

Применение даже не очень существенных степеней демпфирования (кривая 2, соответствующая $z_{д} = 5 \cdot 10^6$ Па · с/м) вызывает заметное снижение $\tau_{и}$. Диапазон значений $\tau_{и}$ при этом изменяется примерно от 13 полупериодов при $z_2 = 2 \cdot 10^6$ Па · с/м до 6 полупериодов при значениях $z_2 = (40...46)10^6$ Па · с/м. Дальнейшее увеличение $z_{д}$ до $10 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 3) позволяет уменьшить длительность сигнала от 8 полупериодов при $z_2 = 2 \cdot 10^6$ Па · с/м до 5 полупериодов при максимальных z_2 из рассматриваемого диапазона. Повышение значений $z_{д}$ до $15 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 4) снижает длительность $\tau_{и}$, ограничивая диапазон ее изменения интервалом 6,5...5,5 полупериодов, а при $z_{д} = 20 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 5) $\tau_{и} = 4,5...3,5$. Сравнение зависимости $\tau_{и}(z_2)$ для случая применения электрической цепи с оптимально подобранными параметрами (кривая 6) с кривыми 1 и 2 показывает, что данный способ снижения длительности акустического импульса позволяет получать более короткие сигналы, чем в случае применения малых степеней демпфирования.

Применение достаточно сильного (порядка $z_{д} = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м) демпфирования, соответствующего варианту, описываемому кривой 3, дает результат, близкий к тому, который достигается подсоединением RL -цепи. Действительно, из сравнения зависимостей $\tau_{и}(z_2)$ для случаев, которые отражаются кривыми 3 и 6, видно, что для обоих рассматриваемых вариантов $\tau_{и} \approx 8...5$. Использование повышенных значений $z_{д}$ (порядка $15 \cdot 10^6$ и $20 \cdot 10^6$ Па · с/м, что соответствует кривым 4 и 5) позволяет получать импульсы меньшей длительности, нежели в случае применения электрической нагрузки рассматриваемого вида.

Излучаемые в сталь акустические сигналы могут быть охарактеризованы не только длительностью, но и максимальной амплитудой колебательной скорости в импульсе v_{max} . С этой целью на рис. 3 представлен ряд графических зависимостей, показывающих изменение этого параметра от значений удельного акустического сопротивления протектора z_2 . Нумерация кривых и значения параметров, характеризующих систему, такие же, как на рис. 2. Из приведенных данных видно, что применение оптимальной электрической нагрузки (кривая 6) позволяет добиваться излучения акустических сигналов с большей амплитудой, чем в случае применения демпфирования (зависимости 1–5). Это справедливо даже при отсутствии демфера, т. е. при $z_{д} = 0$ (кривая 1).

На рис. 4 помещены зависимости, характеризующие изменение длительностей излучаемых в сталь акустических импульсов при $a_1 = 0,05$. На рисунке использована следующая нумерация кривых: 1 – $z_{д} = 5 \cdot 10^6$ Па · с/м; 2 – $z_{д} = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м; 3 – $z_{д} = 15 \cdot 10^6$ Па · с/м; 4 – $z_{д} = 20 \cdot 10^6$ Па · с/м; 5 – $z_{д} = 25 \cdot 10^6$ Па · с/м. Кривая 6 соответствует варианту, при котором на вход пьезопластины подключена нагрузка в виде RL -цепи с оптимально подобран

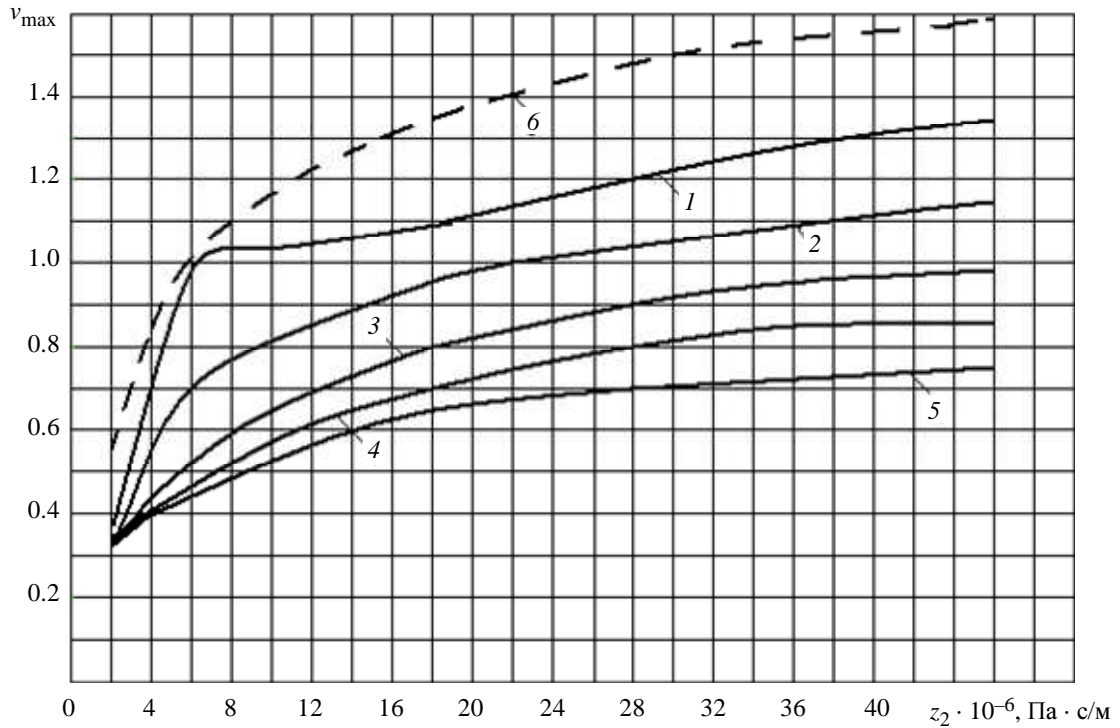


Рис. 3

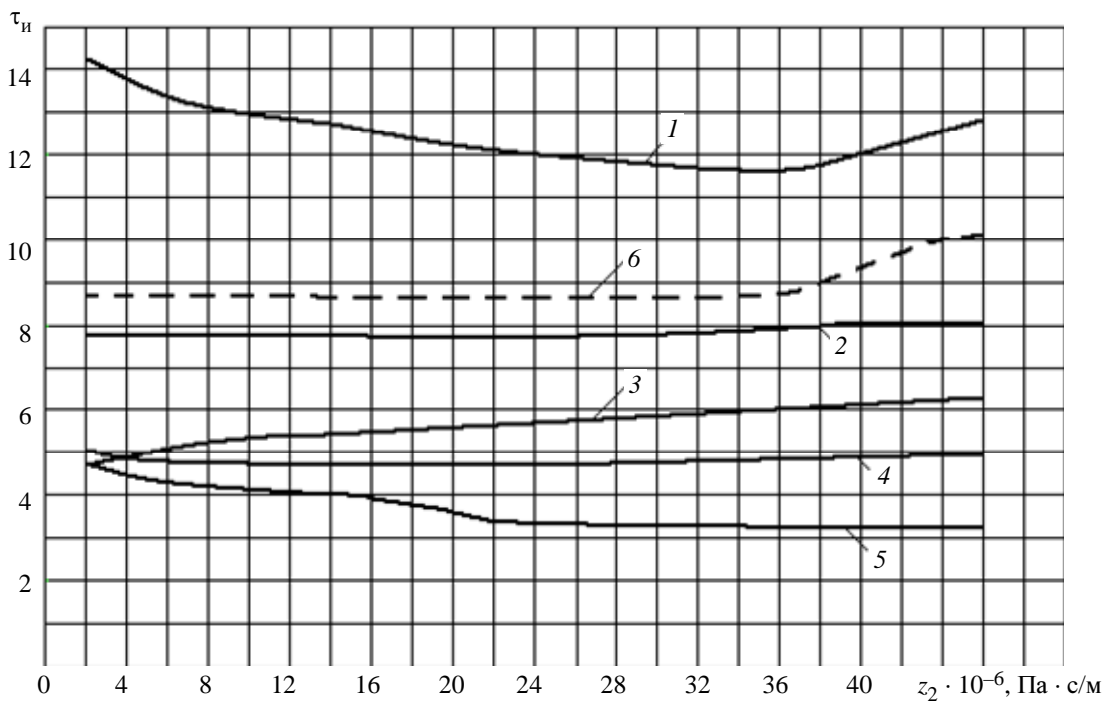


Рис. 4

ными параметрами n и Q . Из рассмотрения представленных материалов можно заключить, что увеличение a_1 от значения 0,01 (рис. 2) до 0,05 (рис. 4) привело к значительному возрастанию τ_n при малых степенях демпфирования. Действительно, при $z_d = 5 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 1 на рис. 4) минимальные τ_n достигают значения 11,5 полупериода. В то же время (см. кривую 2 на рис. 2) при том же z_d для $a_1 = 0,01$ эта величина составляла 7,5 полупе-

риода. С ростом z_d длительность излучаемого сигнала может быть снижена. Так, например, при $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 2 на рис. 4) $\tau_{и}$ составляет 7,5...8 полупериодов. Из рассмотрения характера изменения зависимостей, отражаемых на рис. 4 кривыми 3–5, можно сделать вывод о том, что увеличение z_d до значений порядка $(15...25)10^6$ Па · с/м позволяет добиться длительностей сигнала от 5...6 полупериодов (кривая 3) до 5...3,5 (кривая 5). Стоит заметить, что аналогично предыдущему (см. рис. 2), применение электрической нагрузки и при $a_1 = 0,05$ дает возможность получения меньших длительностей излучаемого сигнала, нежели в случае использования относительно слабых степеней демпфирования пластины. Данное преимущество утрачивается, если используется довольно значительное z_d (примерно от значений $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м и выше).

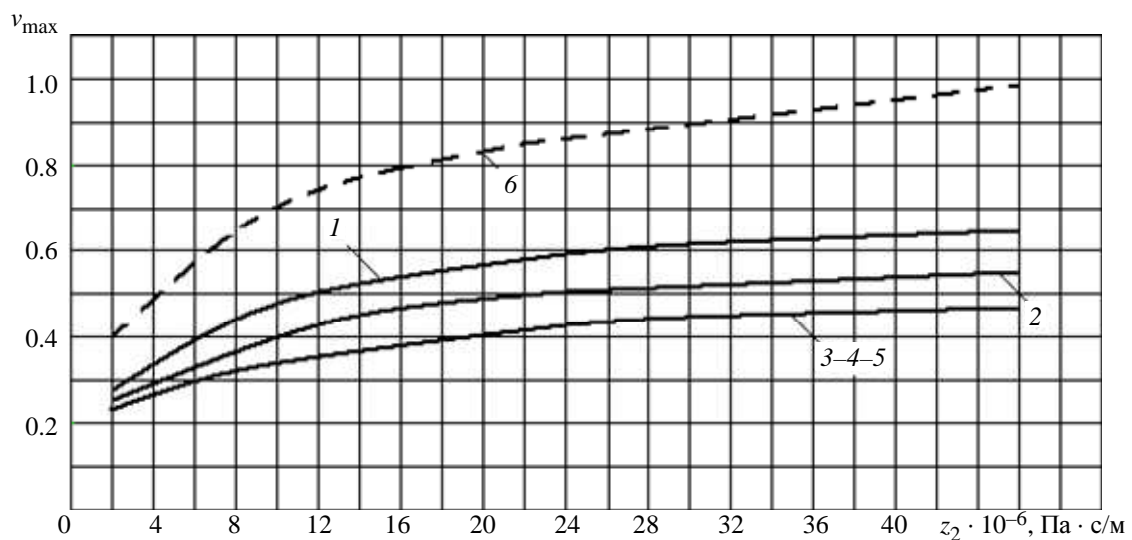


Рис. 5

Сравнение амплитуд излучаемых акустических сигналов для случая $a_1 = 0,05$ представлено на рис. 5. Обозначения кривых и значения всех параметров, характеризующих систему, те же, что и на рис. 4. Видно, что, как и ранее (см. рис. 3), применение электрической RL -цепи позволяет добиться и в данном случае более высоких значений амплитуд сигналов по сравнению со случаем использования механического демпфирования. Действительно, как следует из рис. 5, значения v_{max} , соответствующие применению различных z_d (кривые 1–5), значительно меньше, чем v_{max} , получаемые при использовании RL -цепи. Можно обнаружить, что даже при малых z_d , например при $z_d = 5 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 1), уровень сигнала примерно на 30 % ниже уровня, определяемого кривой 6. Стоит отметить, что начиная с некоторых значений z_d (примерно порядка $15 \cdot 10^6$ Па · с/м) дальнейшее увеличение демпфирования очень слабо влияет на амплитуду излучаемого акустического сигнала. В связи с этим значения v_{max} , соответствующие использованию $z_d = 15 \cdot 10^6$, $20 \cdot 10^6$ и $25 \cdot 10^6$ Па · с/м, графически отображены одной кривой, обозначенной 3–4–5 на рис. 5.

Результаты расчетно-теоретического исследования зависимостей $\tau_{и}(z_2)$ для случая большого значения волновой толщины внешнего контактного слоя отражены на рис. 6. В данном случае $a_1 = 0,1$. Принята следующая система обозначений: 1 – $z_д = 5 \cdot 10^6$ Па · с/м; 2 – $z_д = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м; 3 – $z_д = 15 \cdot 10^6$ Па · с/м; 4 – $z_д = 20 \cdot 10^6$ Па · с/м; 5 – $z_д = 25 \cdot 10^6$ Па · с/м. Кривая б соответствует варианту, при котором на вход пьезопластины подключена RL -цепь с оптимальными n и Q . Можно отметить, что при столь большом a_1 малые степени демпфирования пьезопластины не позволяют получать короткий излучаемый сигнал. Действительно, при $z_д = 5 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 1) $\tau_{и}$ составляет 14,5...17 полупериодов. По мере увеличения $z_д$ длительность импульса снижается. Так, при $z_д = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 2) она составляет 8...9 полупериодов; при $z_д = 15 \cdot 10^6$ Па · с/м (кривая 3) = 5...6,5 полупериодов; при $z_д = (20...25) \cdot 10^6$ Па · с/м (кривые 4 и 5) $\tau_{и} = 4,5...5,5$ полупериодов.

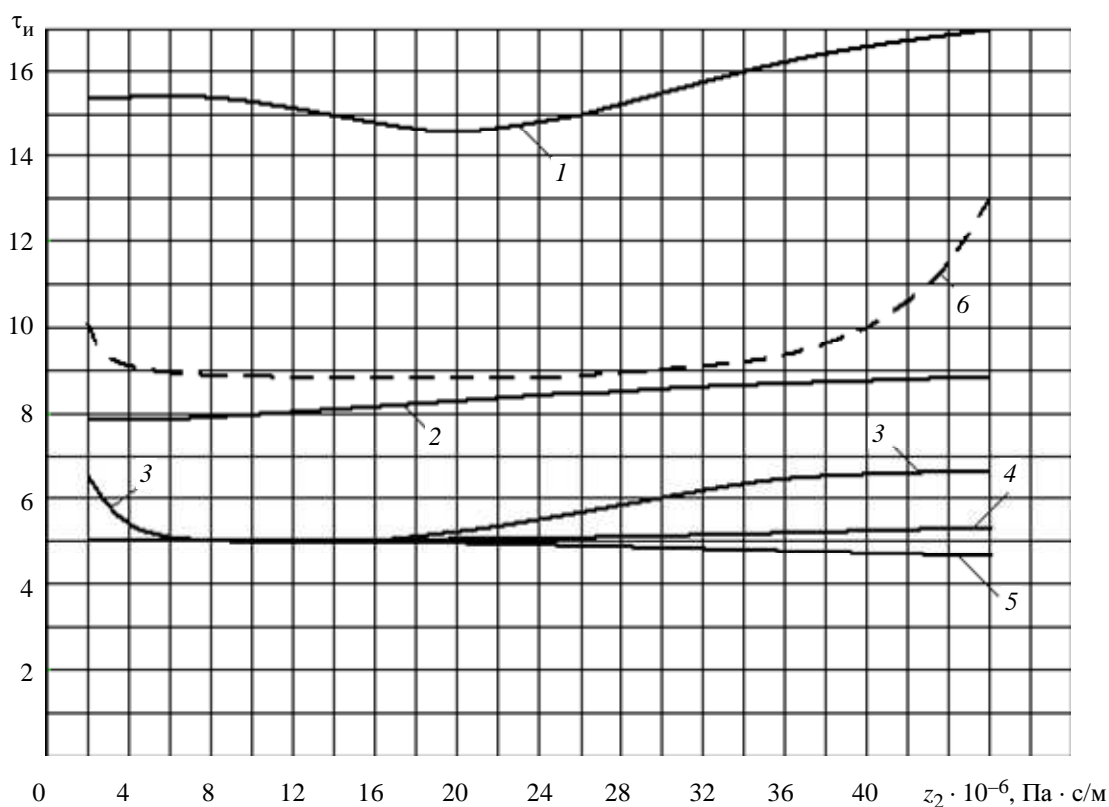


Рис. 6

При использовании электрической нагрузки (как уже отмечалось для меньших значений a_1) возможно получение более короткого импульса, чем в случае применения небольших степеней демпфирования (см. кривые 1 и б). При $z_д > 10 \cdot 10^6$ Па · с/м наблюдается обратная картина. В самом деле, кривые 2–5, соответствующие высоким значениям удельных акустических сопротивлений демпфера ($z_д = (10...25) \cdot 10^6$ Па · с/м), проходят ниже кривой б.

На рис. 7 показано изменение значений v_{\max} в импульсе в зависимости от z_2 . Обозначения на графиках совпадают с обозначениями, принятыми на рис. 6. Можно утверждать, что и при больших a_1 (см. кривую 6 на рис. 7) амплитуда излучаемого сигнала в случае применения электрической цепи больше, чем при использовании демпфирования. Применение более высоких значений z_d (больше $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м) слабо влияет на амплитуду акустического импульса. В связи с этим кривые 2–5, соответствующие значениям $z_d = 10 \cdot 10^6, 15 \cdot 10^6, 20 \cdot 10^6$ и $25 \cdot 10^6$ Па · с/м, почти неразличимы и на рис. 7 они обозначены кривой 2–3–4–5.

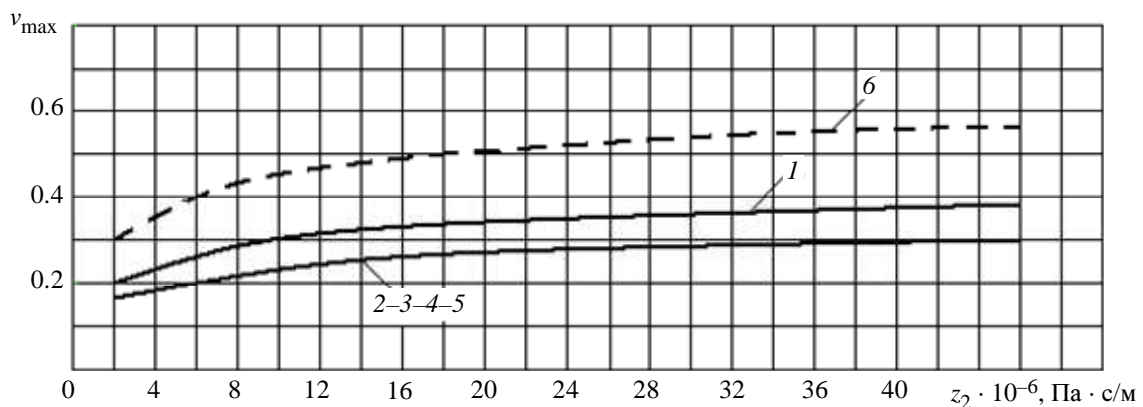


Рис. 7

Таким образом, расчетным путем проведено сравнение возможностей получения короткого акустического импульса на выходе многослойного преобразователя за счет механического демпфирования и применения электрической нагрузки на входе пластины при изменении z_2 в широком диапазоне значений. Показано, что до значений $z_d = 10 \cdot 10^6$ Па · с/м более короткий излучаемый импульс может быть получен с помощью RL -цепи с оптимально подобранными параметрами. При этом одновременно с меньшей длительностью импульса обеспечивается и более высокая его амплитуда. Для $z_d > 10 \cdot 10^6$ Па · с/м использование демпфирования более целесообразно с точки зрения излучения короткого сигнала. Данный вывод справедлив в довольно широком диапазоне значений волновых толщин наружного контактного слоя ($a_1 = 0,01 \dots 0,1$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 5–21.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние индуктивной и индуктивно-резистивной нагрузки на длительность электрического импульса на пьезоприемнике // Дефектоскопия. 2002. № 2. С. 66–73.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование влияния параметров электрической цепи и протектора на длительность импульса, излучаемого многослойным преобразователем в твердую среду // Изв. СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. 2006. Вып. 1. С. 60–64.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko

THE POSSIBILITY OF RADIATING OF A SHORT ACOUSTIC PULSE BY A MULTILAYERED TRANSDUCER INTO THE SOLID MEDIUM, USING MECHANICAL DAMPING OR CORRECTING ELECTRICAL CIRCUIT

The possibilities of obtaining a short acoustic pulse, radiated by a piezoelectric plate into a solid medium via a system “contact layer – protector – contact layer”, are investigated numerically in two cases: when either mechanical damping of the piezoelement is used or an electrical RL-circuit is connected in series to the piezoelectric element. The transducer is driven by a pulse of electric voltage having the form of one-half period of sinusoid at the antiresonant frequency of the plate. The estimations of pulses durations and amplitudes in dependence on wave thicknesses of layers forming the system, and specific acoustic impedances of the protector, are given.

Transducer, pulse, contact layer, damper, electrical circuit



УДК 007:-57+007:573

Н. Х. Цурова

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕГМЕНТА ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Рассмотрены вопросы, связанные с необходимостью оценки состояния позвоночника при различных функциональных нагрузках в норме, при патологиях и коррекции. Построены модели сегмента поясничного отдела позвоночника. Выявлены места концентрации напряжений в позвонках и межпозвонковых дисках при воздействии распределенных осевой и поперечной нагрузок.

Позвоночник, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, биомеханический анализ

Современная медицина является экспериментальной наукой, способной констатировать факты и рекомендовать средства для ослабления патологических процессов. Однако представляется очевидным тот факт, что необходимо изучение функционирования органов, как нормальных, так и патологических, сравнивая процессы для прогнозирования их развития, возникновения последствий патологии и выдачи медицинских рекомендаций. Современные средства визуализации позволяют констатировать изменения в отдельных позвонках, паравертебральных тканях и всем позвоночнике при патологии на различных стадиях заболевания и этапах лечения, однако для прогнозирования заболевания и развития осложнений необходим биомеханический анализ процессов в позвоночнике. Ни один из современных методов не дает информацию о механических характеристиках измененных структур позвоночника *in vivo* [1]. Численное изучение физиологических и патологических процессов, происходящих в организме человека, в настоящее время представляется одним из самых актуальных и перспективных направлений в научных исследованиях. Что касается построения математических моделей функционирования позвоночного столба, как нормального, так и патологического, необходимых для изучения протекания и развития процессов, то эта проблема остается открытой. Модель дает значительно больше информации о биомеханике позвоночника, чем можно получить современными средствами измерений. При анализе поведения модели сегментов отделов позвоночника варьирование значений параметров структур позвоночного столба дает возможность определить влияние каждого из них на проявление синдрома.

Позвоночный столб – ось всей твердой опоры человеческого тела. Это прочная, гибкая цепочка костей, состоящая из 23 позвоночно-двигательных сегментов (ПДС), каждый из которых представляет собой подвижное звено, принимающее участие в обеспечении разно-

образных функций позвоночника как единой функциональной системы [2]. Построение модели позвоночника может идти по пути моделирования отдельных двигательных сегментов. Позвонок имеет вид костного кольца, окружающего позвоночное отверстие, через которое проходит спинной мозг. Утолщенная часть составляет тело позвонка и образует переднюю часть кольца; сзади находится дуга позвонка. На дуге расположены отростки (два поперечных и один остистый), к которым прикрепляются связки и мышцы спины, фиксирующие положение позвоночного столба, не давая совершать слишком резкие наклоны и поддерживая его в вертикальном положении. Между позвонками расположены межпозвонковые дискохрящевые образования, которые позволяют позвонкам незначительно смещаться друг относительно друга при ходьбе, прыжках или беге. Составными частями ПДС являются тела двух смежных позвонков, хрящевой диск, располагающийся между ними, дугоотростчатые суставы, связочный аппарат и мышцы, осуществляющие фиксацию и подвижность этого комплекса. Межпозвонковый диск состоит из фиброзного кольца, студенистого ядра и замыкательных пластинок, примыкающих непосредственно к телам позвонков. Фиброзное кольцо образовано концентрическими пластинками, состоящими из коллагеновых и эластиновых волокон, что определяет высокую прочность при растяжении, сочетающуюся с упругостью под воздействием нагрузки. Студенистое ядро располагается в середине межпозвонкового диска. Его составляющими являются фибробласты, хондроциты, коллагеновые волокна и основное вещество. Характерной особенностью основного вещества, состоящего преимущественно из кислых гликозаминогликанов, гиалуроновой кислоты, пролина, является способность адсорбировать и связывать воду, что способствует сохранению и регуляции необходимого внутридискового давления, которое играет существенную роль в реализации амортизирующих и фиксирующих свойств межпозвонкового диска.

Одним из основных принципов хирургического лечения нестабильных повреждений позвоночника является прочная фиксация поврежденных сегментов с целью создания благоприятных условий для костного сращения и восстановления структурной неполноценности, предупреждения и прогрессирования деформации. Анализ данных отечественной литературы показал, что еще недостаточно экспериментального материала о фиксирующих свойствах структур, применяемых в клинической практике [3]. Практически нет сведений о степени жесткости фиксации отечественными транспедикулярными конструкциями при различных видах моделируемых повреждений, в том числе при частичной и полной резекции тел позвонков.

На реконструкцию поврежденного отдела позвоночника влияют различные факторы. Если в период восстановления структуры возникающие физиологические нагрузки превышают предельную прочность имплантата, то он разрушится. Степень жесткости фиксирующей конструкции влияет на репаративные процессы и формирование костной мозоли в соответствии с законом о биомеханической адаптации кости к нагрузкам. Если имплантат обладает повышенными прочностными характеристиками и обеспечивает абсолютную жесткость фиксации, то отсутствие необходимого напряжения в формирующейся костной мозоли способствует замедлению репаративных процессов. Гипернапряжение в месте контакта конструкции и кости приводит к рассасыванию последней и ослаблению фиксации. Если фиксатор слишком гибкий и не обеспечивает достаточную жесткость, то нарастающая нестабильность ведет к потенциальному риску разрушения конструкции, что в итоге приводит к несращиванию костных обломков [3].

Множество проблем в ортопедии и травматологии, связанных с восстановлением такой важной биологической структуры, как позвоночник, говорит о недостатке необходимой информации о состоянии позвоночника в норме, при различных патологиях и реконструкции. По статистике, заболеваниями позвоночника страдает 85 % населения России; наиболее уязвимым к развитию различных патологий и травматизма является пояснично-крестцовый отдел позвоночника.

Для создания информационного обеспечения оценки состояния сегмента поясничного отдела позвоночника, необходимо:

1. Разработать содержательную и компьютерную модели здорового сегмента поясничного отдела позвоночника и различных вариантов повреждений и остеосинтеза поврежденных участков позвонков, учитывая:

а) геометрические и механические параметры структур сегмента поясничного отдела позвоночника;

б) изменение механических свойств модели по мере образования регенерата.

2. Оценить стабильность фиксации поврежденных сегментов для костного сращения.

Схема построена из следующих биологических структур сегмента поясничного отдела позвоночника $L4-L5$ (рис. 1, а): 1 – тело позвонка; 2 – верхний суставный отросток; 3 – поперечный отросток; 4 – остистый отросток; 5 – нижний суставный отросток; б – межпозвонковый диск. При построении содержательной модели введены следующие допущения:

а) материал костей и соединительных элементов однородный и изотропный;

б) среда сплошная, начальные напряжения в структурах отсутствуют.

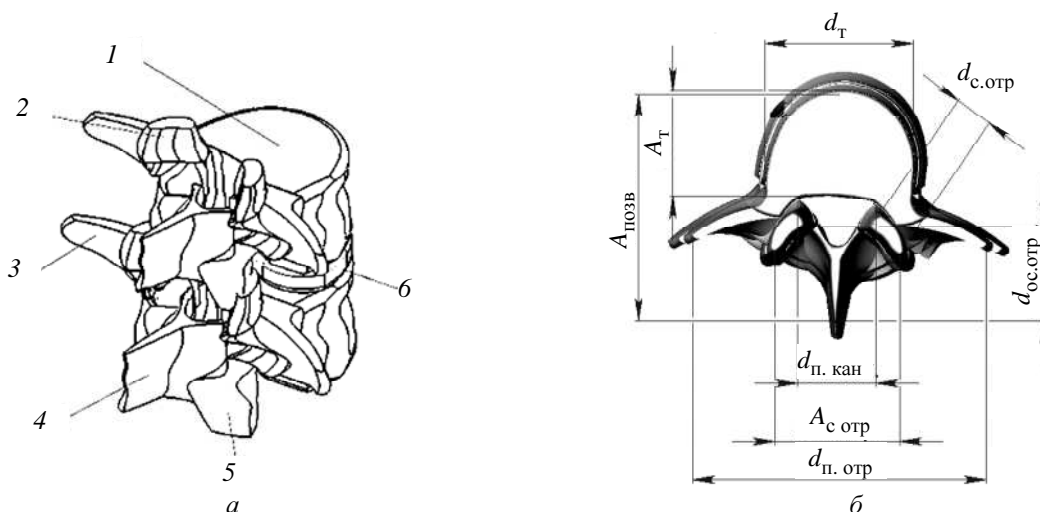
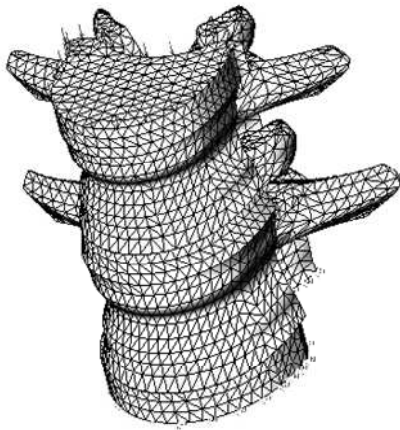


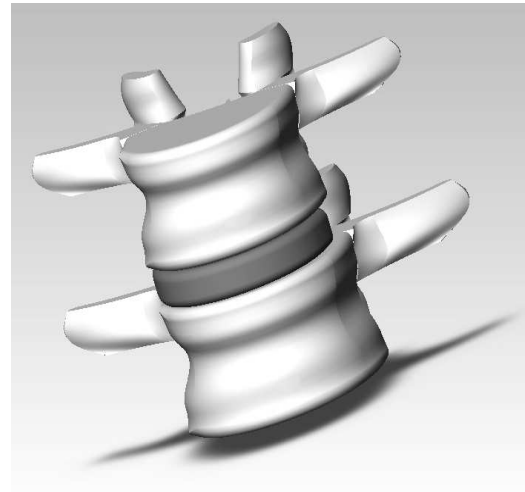
Рис. 1

Модели построены в рамках механики трехмерного тела и реализованы при использовании численного метода – метода конечных элементов (конечно-элементная модель сегмента поясничного отдела позвоночника $L4-L5$ в норме (рис. 2, а)) с использованием пакетов параметрических программ *SolidWorks* и *CosmosWorks*.

Геометрическая модель здорового сегмента поясничного отдела позвоночника (рис. 1, б) построена на основе данных, полученных в результате послойной визуализации томографических снимков (пациент женщина, 23 года): $d_T = 40$ мм; $d_{c.отр} = 10$ мм; $d_{ос.отр} = 25$ мм; $d_{п.кан} = 21$ мм; $d_{п.отр} = 80$ мм; $A_{c.отр} = 34$ мм; $A_{позв} = 60$ мм; $A_T = 28$ мм. Биомеханические параметры структур сегмента поясничного отдела позвоночника, модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν , приведены в табл. 1 [2].



а



б

Рис. 2

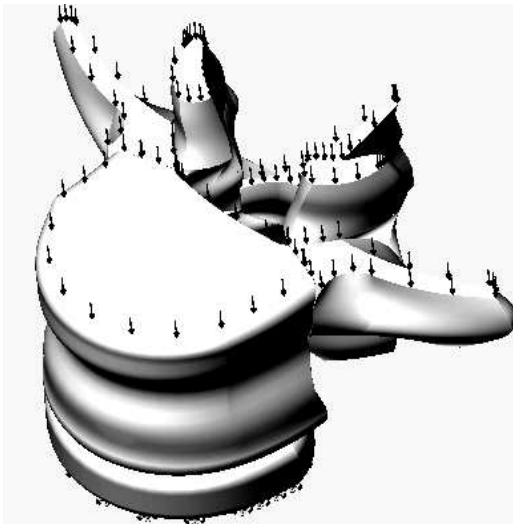
Компьютерная модель сегмента поясничного отдела позвоночника в норме (рис. 2, б) построена с учетом геометрических параметров и биомеханических свойств сегмента поясничного отдела позвоночника и изменения механических свойств модели по мере на-

Таблица 1

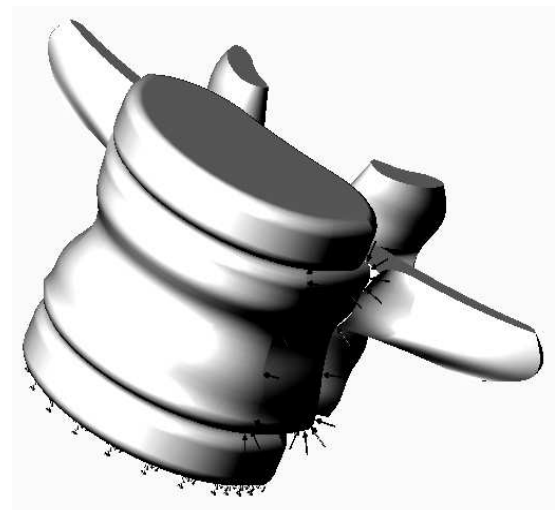
Структура сегмента позвоночного отдела	E , Па	ν
Костный слой	$1.61 \cdot 10^8$	0.25
Спонгиозная часть	$0.75 \cdot 10^6$	0.45
Гиалиновая пластинка	$2.43 \cdot 10^8$	0.40
Межпозвонковый диск	$(57...105) \cdot 10^6$	0.40

гружения при остеосинтезе. Нижняя часть диска жестко закреплена; функциональное нагружение: компьютерная модель сегмента поясничного отдела позвоночника «межпозвонковый диск – позвонок» – распределенная осевая нагрузка (рис. 3, а); компьютерная модель сегмента поясничного отдела позвоночника: «межпозвонковый диск – позвонок – межпозвонковый диск» – распределенная поперечная нагрузка (рис. 3, б).

модель сегмента поясничного отдела позвоночника: «межпозвонковый диск – позвонок – межпозвонковый диск» – распределенная поперечная нагрузка (рис. 3, б).



а



б

Рис. 3

Приведены эпюры напряжений в сегменте поясничного отдела позвоночника «межпозвонковый диск – позвонок» при распределенной осевой нагрузке (рис. 4, а), «межпозвонковый диск – позвонок – межпозвонковый диск» при распределенной поперечной нагрузке (рис. 4, б). Приведены эпюры напряжений (рис. 5, а), перемещений (рис. 5, б) и де-

формаций (рис. 5, в) при распределенной осевой нагрузке $p = 1000 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}^2$. Результаты исследования позволяют предопределить характер изменений состояния позвоночника при патологии и реконструкции. Полученные данные исследования модели сегмента поясничного отдела позвоночника представлены в зависимости максимальных напряжений от прикладываемой физиологической нагрузки (рис. 5, з).

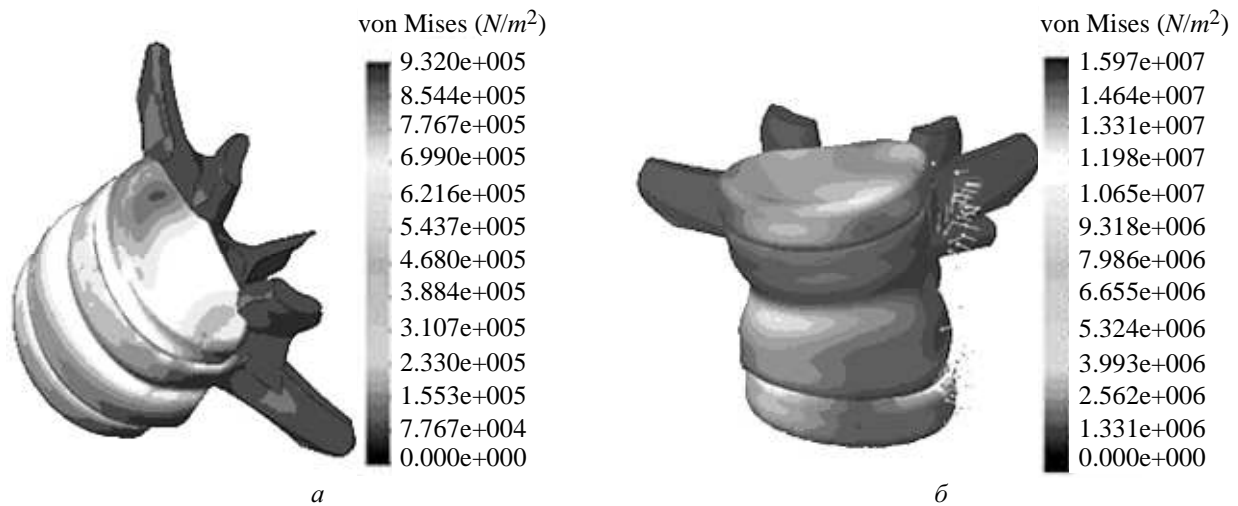


Рис. 4

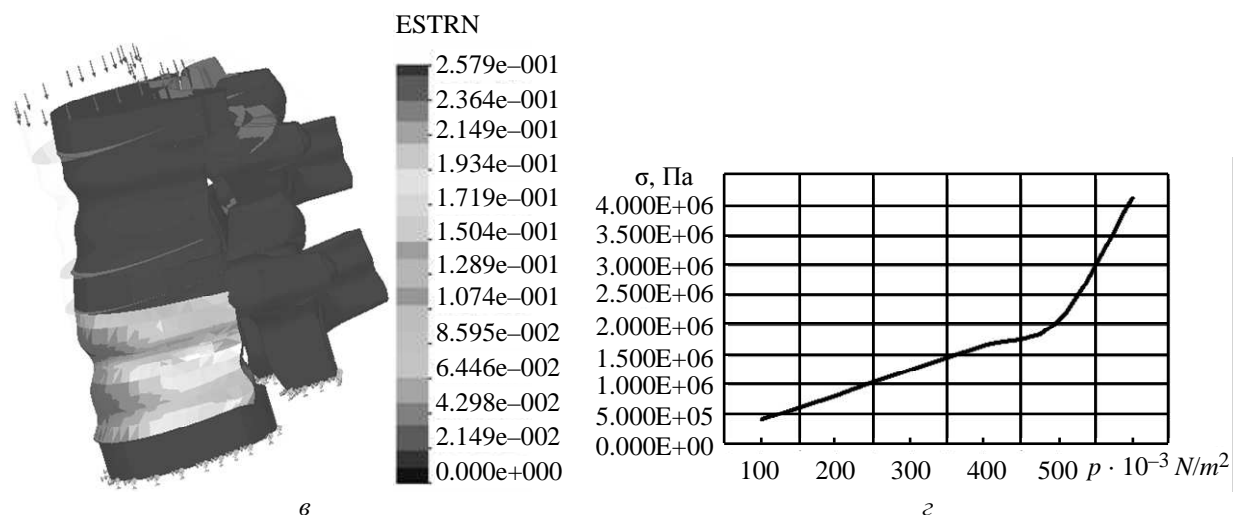
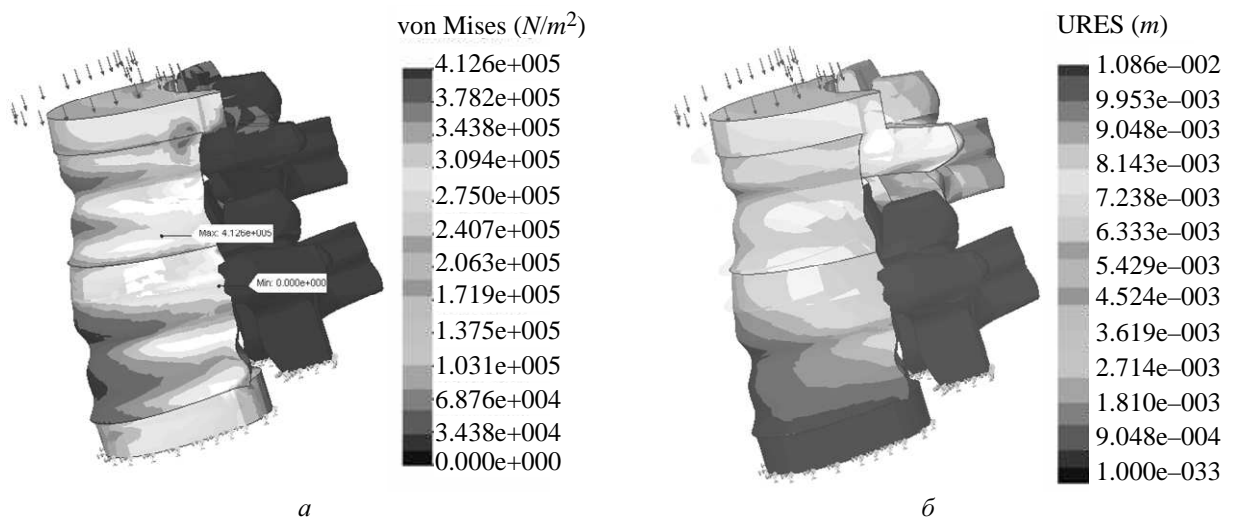


Рис. 5

Разработан компьютерный метод исследования и анализа состояния сегмента поясничного отдела позвоночника, позволяющий проводить прогнозирование его состояния при различных физиологических нагрузках. Построенные компьютерные модели могут быть положены в основу разработки метода предоперационного прогнозирования состояния позвоночника при различных патологических образованиях, коррекции и протезирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков А. В., Черепанов Е. А. Клиническая биомеханика в диагностике патологии позвоночника // Хирургия позвоночника. 2004. № 1. С. 103–109.
2. Бегун П. И., Шукейло Ю. А. Биомеханика. СПб.: Политехника, 2000. С. 167–173.
3. Карих Р. И., Ревенко Т. А., Жигарев В. Е. Сравнительная оценка эффективности методов стабилизации позвоночника в биомеханическом аспекте: В 4 т. Рига: Медицинская биотехника. 1986. Т. 2. С. 97–108.

N. H. Tsurova

THE BIOMECHANICAL MODELING AND STUDY OF LUMBAR SPINE SEGMENT

The questions of development strategy use of computer modeling are considered within the framework of presented work in purposes of study is tense-deformed conditions of spine. Source from supplied problem, in scientific work are consecutively considered and they are prototyped different variants of segments of lumbar division of spine: «intervertebral disc – vertebra L4 – intervertebral disc», «intervertebral disc – vertebra L4 – intervertebral disc – vertebra L5». Biomechanical Analysis: is revealed place of concentration of voltages in vertebrae and intervertebral disks and critical offset for axis of spinal column depending on put load. The Nature of behaviour predestines the development of deforming the spine.

Spine, computer modeling, method of final elements, biomechanical analysis

УДК 504.7+629.7.017.1

А. В. Завгородний

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОДВИЖНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Описаны алгоритмы, применяемые при определении концентрации подвижных микроорганизмов. Приведены экспериментальные результаты обнаружения микроорганизмов.

Программно-аппаратный комплекс, вейвлет-анализ, алгоритм

Актуальность проблемы. В настоящее время широкое распространение в области экомониторинга получили методы контроля токсичности водных сред, основанные на использовании микроорганизмов. В статье [1] дано описание принципа работы биотехнической системы (БТС) для определения концентрации подвижных микроорганизмов.

Устройство контроля тест-реакции в БТС представляет программно-аппаратный комплекс (ПАК) (рис. 1, где ИИ – источник излучения, БО – биологический объект (популяция), ФП – группа фотоприемников, САПС – схема аналогового преобразования сигнала, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦОС – блок цифровой обработки сигналов, СОИ – система отображения информации).

В качестве биообъекта в ходе экспериментов использовалась популяция инфузорий.

Полезный сигнал фотоприемника возникает в результате пересечения движущимися поперек светового потока микроорганизмами. Число пересечений зависит от концентрации клеток. В результате локомоций организмов сигналы ФП меняются. Сигнал ФП преобразуется ре-

гулируемой САПС и поступает на АЦП контроллера. После аналого-цифрового преобразования данные передаются в ПК через интерфейс. С помощью ПК осуществляется управление параметрами САПС и ИИ. Программное обеспечение (ПО) ПК обрабатывает массивы данных для визуализации состояния и получения качественных и количественных характеристик.

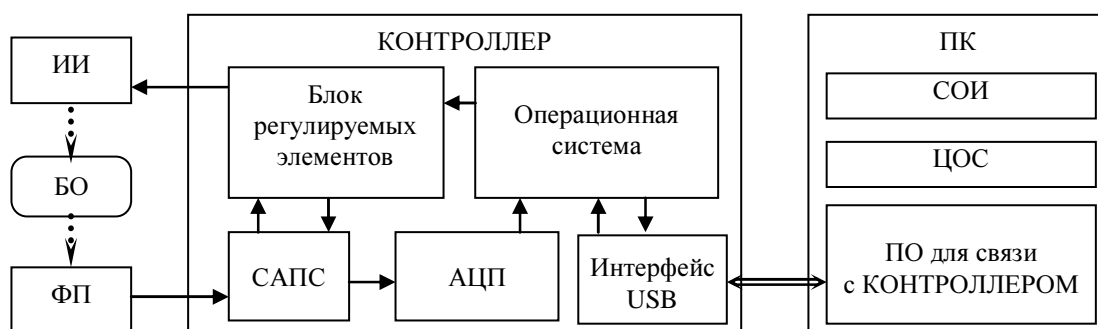


Рис. 1

Важными проблемами разработки данного комплекса БТС являются измерение параметров реакции биологического объекта (БО) – популяции микроорганизмов, и наглядное отображение ее качественных характеристик.

Структура программного обеспечения ПАК. Для решения поставленной проблемы необходимо было разработать ПО для контроллера и персонального компьютера.

ПО контроллера обеспечивает работоспособность аппаратной части ПАК. ПО ПК включает специально разработанную программу для приема данных от контроллера и стандартные пакеты обработки данных.

Выявление полезного сигнала и выделение из него информативных параметров реакции БО производилось на ПК в универсальном пакете математического программирования Matlab. Его широкие возможности цифровой обработки сигналов позволили разработать ПО, реализующее визуализацию состояния популяции микроорганизмов, на основе современных методов анализа.

Программа контроллера. Программа контроллера, обеспечивающего управление аппаратной частью ПАК, выполняет следующие задачи: измерение сигналов с выходов ФП; формирование управляющих сигналов САПС; управление световым потоком ИИ; изменение параметров ПАК по командам с ПК в реальном масштабе времени; передачу результатов аналого-цифрового преобразования в ПК. Решение данной задачи потребовало разработки специализированной операционной системы.

Контроллер регулярно проверяет наличие команд от ПК на смену регулируемых параметров ПАК и в режиме реального времени передает в ПК результат аналого-цифрового преобразования сигналов фотоприемников, прошедших через регулируемую САПС. Адаптивная подстройка САПС и интенсивность ИИ позволяет фотометрически исследовать реакцию микроорганизмов различных видов.

Специализированное ПО ПК. Сигнал с ФП представляет собой смесь детерминированного случайного процесса, обусловленного пересечением микроорганизмами контролируемого объема, с шумами. При измерении характеристик БО следовало учесть возможную неравномерность распределения светового потока. В результате исследований была выработана схема обработки данных, представленная на рис. 2.

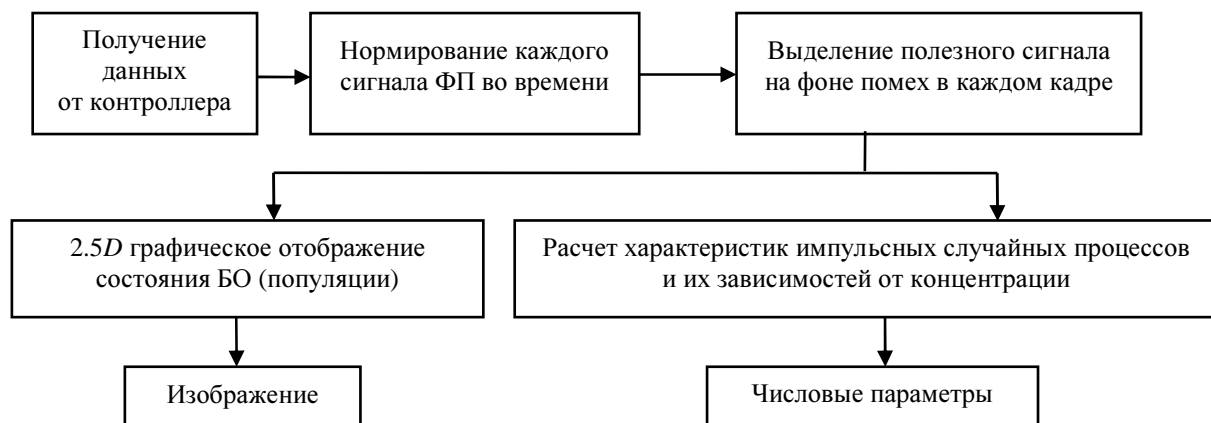


Рис. 2

ПО ПК предназначено для выделения и измерения информативных параметров исследуемого процесса. При разработке ПО была поставлена задача визуализации исследуемого процесса, т. е. наглядного отображения качественного состояния популяции.

Принятые временные сигналы ФП нормируются. Затем полученное множество сигналов можно или представить в виде 2.5D контурного графика и в дальнейшем рассматривать как изображение, или рассматривать данные как серию сигналов. Такой контурный график наглядно отобразит многомерный случайный процесс в виде изображения.

Методы выделения сигнала на фоне помех. Были проведены эксперименты с различными концентрациями инфузорий, которые использовались в качестве биообъекта для получения данных от фотометрического преобразователя ПАК. Массивы данных вводились и сохранялись в ПК с целью исследования возможностей их цифровой обработки. Она производилась на базе представления исследуемого сигнала как детерминированного случайного процесса.

Полезным сигналом детерминированного случайного процесса является ряд импульсов, возникающих вследствие перекрытия микроорганизмами ФП. Сигнал случайного процесса представляет собой сумму случайных и детерминированных процессов в соответствии с формулой (1), приведенной в работе [2].

$$S(t) = \sum_{k=1}^{\infty} X_k(t), \quad (1)$$

где $X_k(t)$ – элементарная случайная функция.

Были исследованы возможности цифровой обработки методом накопления и вейвлет-анализом для выделения полезного сигнала из зашумленного. Исследовался вид элементарной случайной функции (э.с.ф.) и зависимость характеристик сигналов от концентрации.

Метод накопления. Принимая во внимание высокую корреляцию сигналов между соседними ФП, при выделении слабого сигнала от БО на фоне сильных помех первоначально была исследована возможность применения метода накопления (или синхронной фильтрации), описанного в работе [3]. При использовании этого метода случайный некоррелированный шум значительно ослабляется. Было выявлено, что э.с.ф. импульсов от инфузорий представляет хорошо различимый униполярный симметричный импульс, но при большой концентрации микроорганизмов происходит наложение импульсов во времени, что усложняет их выделение. На рис. 3 (500 кл/мл, интервал времени между отсчетами на графике 75 мс) показан пример сигналов от группы из 20 ФП. На рис. 4 – результат операции накопления. Метод накопления позволяет выделять полезный сигнал с выбранной

группы ФП. Такой сигнал в дальнейшем пороговым способом может быть преобразован в случайный поток, интенсивность которого зависит от концентрации инфузорий. Каждый усредненный сигнал представляет собой реализацию пуассоновского процесса.

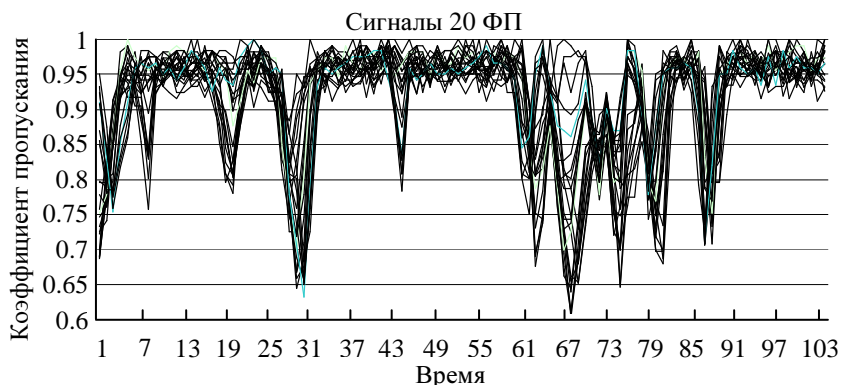


Рис. 3

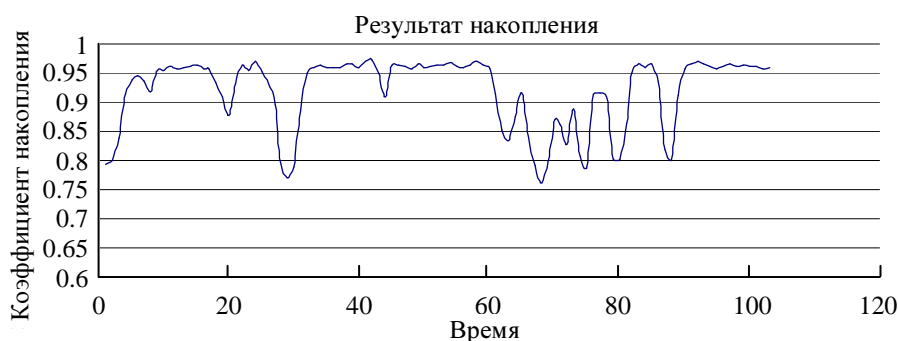


Рис. 4

Данный метод позволил выявлять временные зависимости импульсных сигналов, но он чувствителен к выбору диапазона усреднения, что накладывает некоторые ограничения на его применение.

Вейвлет-анализ. Выделение полезного сигнала проще проводить, устраняя те компоненты, которые явно не соответствуют форме импульсов от микроорганизма. Параметры импульса на кадре определяются направлением движения микроорганизма, а также расстоянием между объектом, рассеивающим излучение, и ФП.

Так как сигнал от БО является детерминированным, т. е. описывается неслучайной функцией со случайными характеристиками, это дало возможность применить современный метод вейвлет-анализа для детектирования импульсных сигналов негармонического вида. Особенности вейвлет-анализа описаны в работе [4], где приведена общая формула вычисления вейвлет коэффициентов:

$$C(a, b) = \int_R s(t) a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (2)$$

в данном случае a – пространственный масштаб, b – пространственный сдвиг, $s(t)$ – анализируемый кадр, ψ – функция материнского вейвлета.

Качество выделения импульсного сигнала определяется видом выбранного материнского вейвлета и уровнем декомпозиции. В результате анализа было доказано, что для выделения импульсов из данного вида реального полезного сигнала пригодным является вейвлет вида «мексиканская шляпа».

Проведенные для данного вида полезного сигнала исследования позволили выбрать пригодный вейвлет из ряда типов простых вейвлетов.

На рис. 5 приведен пример зашумленного сигнала (вверху) и показаны отрицательные значения коэффициентов вейвлет-преобразования (внизу).

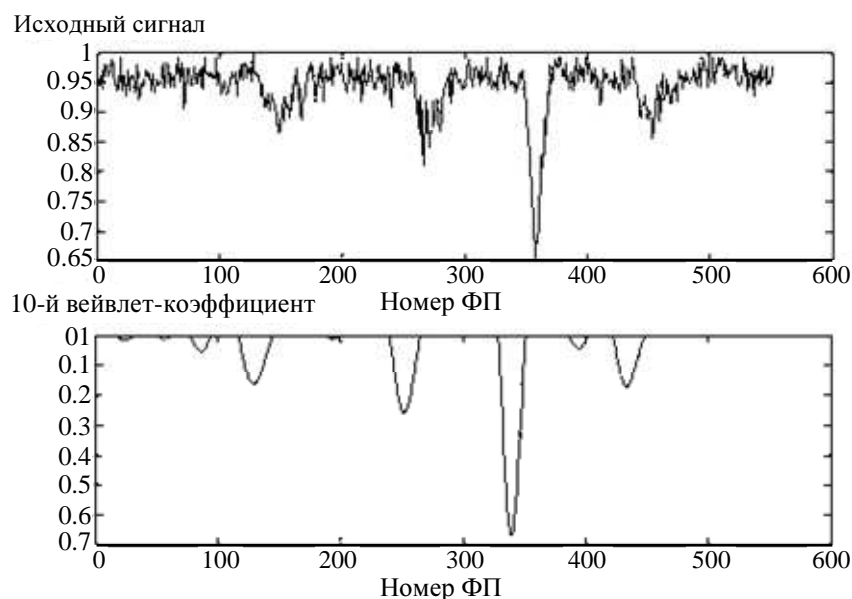


Рис. 5

Получение числового параметра. В виду хаотичного характера движения время, в течение которого отдельный микроорганизм изменяет проходящий поток на ФП, варьирует. Поэтому реакцию биообъекта можно отразить только интегральной характеристикой импульсного потока.

Были проведены эксперименты с концентрациями 30, 250, 500, 1000 клеток на миллилитр. В соответствии со схемой обработки (рис. 3) был выделен полезный сигнал в каждом кадре и рассчитан сумма площадей для 40 кадров.

По результатам обработки данных в качестве калибровочной характеристики была взята зависимость модуля сумм отрицательных коэффициентов вейвлетов по всем кадрам (S_w) от концентрации. S_w была рассчитана для всех концентраций при разложении по 30 первым вейвлет-коэффициентам. Эта зависимость при разных вейвлет-коэффициентах приведена на рис. 6. Наилучшая линейность достигается в диапазоне от 17-го до 25-го коэффициента. Видно, что при малом масштабе разложения C (a , b) наклон линейной зависимости наименьший – 0.56, а при a от 16 до 26 наклон колеблется в пределах от 1.9 до 2.1 и при увеличении a не меняется.

2.5D контурное отображение данных. 2.5D контурная графика – это метод представления данных, применяемый в пакете Matlab для визуализации трехмерных данных, где одинаковые значения представлены в виде «эквипотенциальных» кривых [5].

Множество импульсных сигналов, снимаемых с ФП, представляют трехпараметрическую картину данных (время, коэффициент пропускания T , номер ФП). При прохождении микроорганизма через исследуемый объем T группы ФП изменяется во времени. И тогда процесс изменения T по времени и координате будет отражать движение инфузорий в исследуемом объеме. При визуализации методом 2,5D-графики данный процесс отражается в виде замкнутой кривой.

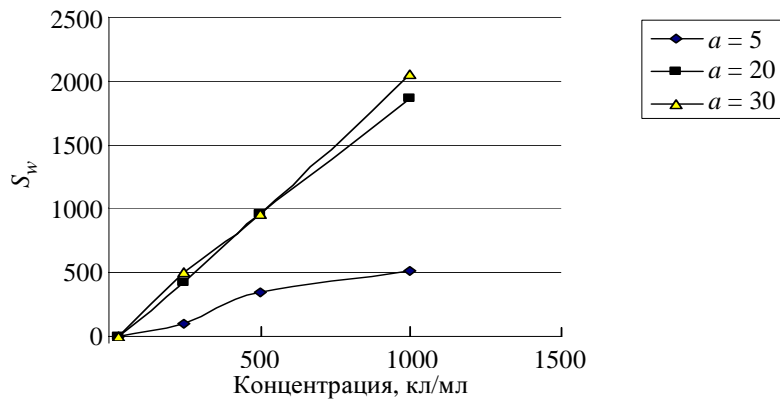


Рис. 6

На рис. 7 стрелками указаны такие замкнутые контуры. Это позволяет обнаруживать микроорганизмы в объеме кюветы (рис. 7, 30 к/мл, общее время 8 с). При увеличении концентрации на изображении наблюдается возрастание числа пятен.

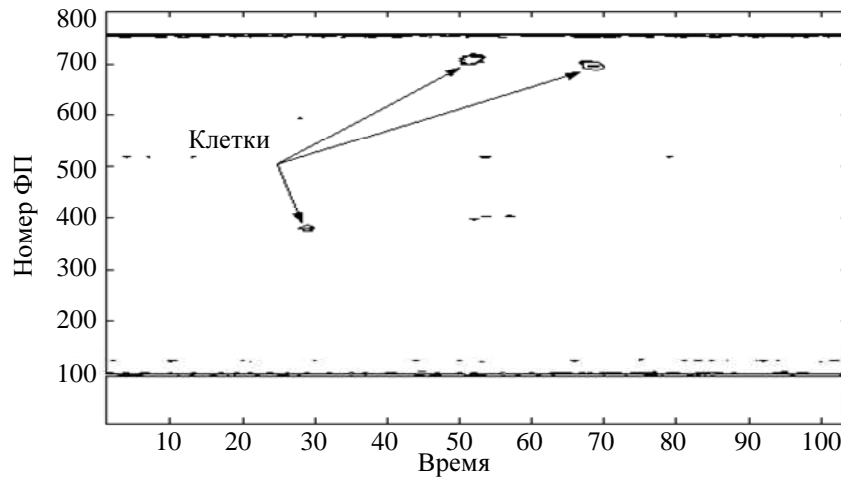


Рис. 7

Было показано, что при исследовании БО с малой концентрацией выделение полезного сигнала возможно без предварительной фильтрации (рис. 7, 30 к/мл, общее время 8 с), а при большой – помехи искажают изображение (рис. 8, 500 к/мл, общее время 8 с). Часть пятен обусловлена помехами. Фильтрация сигналов дает возможность наблюдать без искажений картину движущейся популяции микроорганизмов (рис. 9).

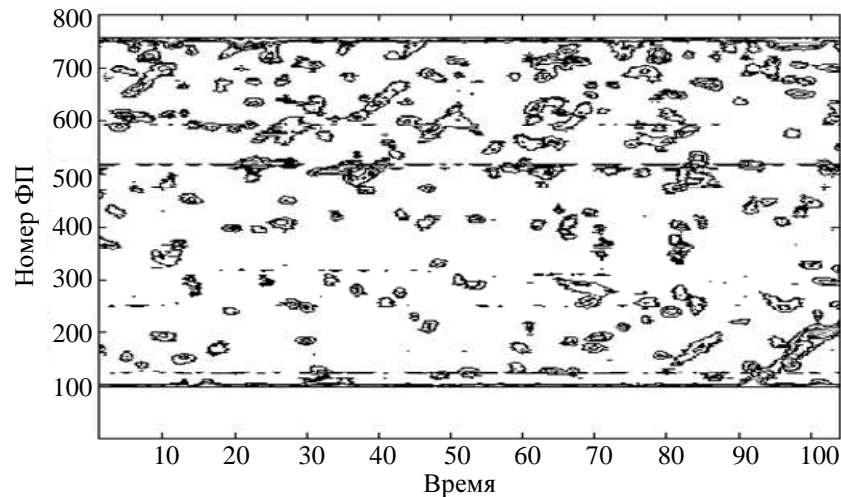


Рис. 8

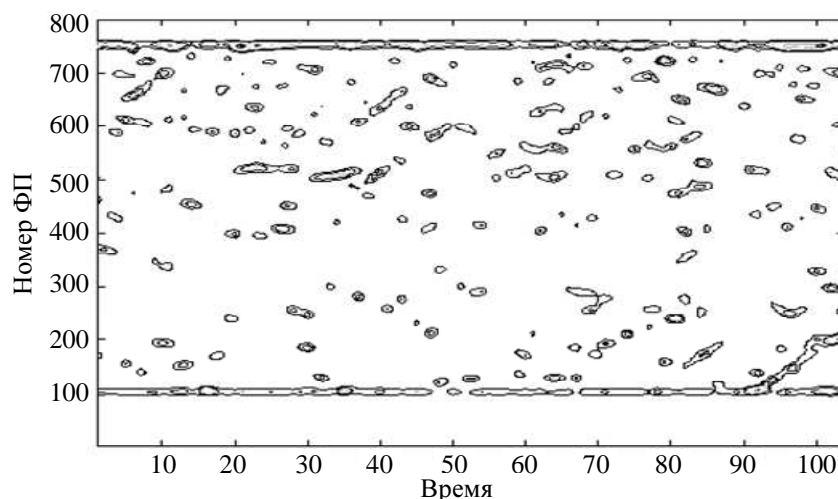


Рис. 9

Таким образом, в статье рассмотрено специализированное программное обеспечение программно-аппаратного комплекса для исследования популяции микроорганизмов. Описанное программное обеспечение позволяет адаптировать параметры ПАК к различным видам биообъектов, выделять временные последовательности импульсов, рассчитывать зависимость интегральных характеристик детектируемых сигналов от концентрации, производить визуализацию состояния популяции.

Результаты работы могут найти применение в области экологического биомониторинга и клинической токсикологии.

Работа выполнена под руководством доц. И. С. Захарова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров И. С., Пожаров А. В., Завгородний А. В. Особенности проектирования биотестовых систем // Современные проблемы прикладной информатики: Сб. науч. тр. II науч.-практ. конф.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991.
3. Ю. Сато. Обработка сигналов. М.: Додека-XXI, 2002.
4. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002.
5. Дьяконов В. П. Компьютерная математика. Теория и практика. М.: Нолидж, 2001.

A. V. Zavgorodny

ALGORITHMS APPLIED FOR MOVEMENT ORGANISM DETECTION ARE DESCRIBED. EXPERIMENTAL RESULTS ARE PRESENTED

Algorithms applied for movement organism detection are described. Microorganisms detecting experimental results are presented.

Software and hardware complex, wavelet, analysis, algorithm



УДК 172

Ф. М. Иванюк

МОРАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБЩЕСТВА И ПРАВЯЩЕЙ ЭЛИТЫ

Рассматриваются различные аспекты связи морали и политики в деятельности правящей элиты. Особое внимание уделяется анализу проблемы моральной ответственности в свете задач укрепления стабильности и повышения конкурентоспособности современного российского общества.

Ответственность, моральная ответственность, правящая элита, свобода и ответственность, политическая этика

Президент РФ В. В. Путин в своих посланиях постоянно называет важнейшими задачи укрепления стабильности и повышения конкурентоспособности нашего общества. Весьма значимым для решения этих задач фактором является повышение моральной ответственности общества, в особенности правящей элиты. Категория моральной ответственности становится все более актуальной для анализа в силу разных обстоятельств. Одним из таких обстоятельств являются попытки переписать историю, дать переоценку тех или иных событий, политических лидеров, разных эпох. Кто ответственен за недавние трагические события, происходящие в нашей стране? Кто ответственен за трагические события прошлого?

Другая причина, почему понятие моральной ответственности становится все более значимым, – это движение к свободе в нашем обществе. В статье «Национализация будущего» Владислав Сурков пишет: «Впервые за тысячу лет наше общество так свободно. Русские инициировали грандиозную демократизацию жизненного уклада – как своего, так и множества находившихся на орбите их политического и культурного влияния народов. Предприятие это, движимое (очень по-нашему) больше дерзостью, чем расчетом, отягощенное чудовищными ошибками и жертвами, стало, вместе с тем, самым многообещающим актом глобальной модернизации» (см. http://www.expert.ru/printissues/expert/2006/43/nacionalizaciya_buduschego). В то же время свобода и ответственность – это, по убеждению многих, две стороны одной медали, и поэтому, говоря о свободе, необходимо помнить об ответственности, понимать ее

значение и, быть может, внедрять осознание моральной ответственности в массы. Свобода – это условие существования морали, так как если нет свободного выбора, нет и моральной ответственности, и морали вообще. Свобода и ответственность находятся в прямой зависимости друг от друга. Чем шире свободы, тем больше ответственность.

Если же формулировать проблему в этико-философском ключе, то можно отметить тенденцию к формированию в отечественных научных кругах такого понятия, как «политическая мораль», которая по сути отличается от морали «частной». Так, О. В. Гаман-Голутвина пишет: «Мерилом нравственности в политике выступает соответствие национально-государственным интересам: курс, отвечающий интересам данной страны, квалифицируется как нравственная политика, а противоречащий – как аморальная. При этом личная нравственная состоятельность политика – вопрос второстепенный» [1]. Далее она добавляет: «Разумеется, я отнюдь не хочу сказать, что в политике цель (национальный интерес) полностью оправдывает средства. Но при определении степени нравственности средств нужны адекватные процедуры, ибо рассуждения о “слезе ребенка” нередко используются для прикрытия изощренно антигуманной политики. При механическом приложении к политике норм и оценок “частной” морали можно прийти к выводу, что государство есть глубоко безнравственный институт – ведь реализация его функций неизбежно предполагает насилие, причем в “особо крупных размерах”. Поэтому, на мой взгляд, следует ставить вопрос не о несовместимости политики и морали, а о специфичности политической морали, отличной от морали приватной» [1]. Такие соображения означают, что в современном обществе делаются попытки найти новые точки отсчета для моральной оценки политики, так как старые уже утрачены. В советский период марксистская политика рассматривалась как нравственная по определению. В книге [2] мы читаем: «Нравственная установка марксистской политики определяется ее конечной целью. Коммунизм – это и есть завершённый гуманизм, ибо именно коммунистическое общество создает условия наиболее адекватные человеческой природе». Вопрос же о том, какие средства морально оправданы для достижения коммунистической цели, обсуждать было опасно. Эти соображения подводят нас к вопросу о том, что следует понимать под «моральной ответственностью». «Ответственность есть моральная активность человека в отношении к себе», – утверждает О. Г. Дробницкий в своей работе «Понятие морали» [3].

В широком смысле мы ответственны за все действия и поступки, которые совершаем. Ответственность определяется как «осуществляемый в различных формах контроль за деятельностью субъекта с точки зрения выполнения им принятых норм и правил» [4]. Однако не всякая ответственность является моральной. Если некто, будучи в гостях, случайно разбил вазу, то он ответственен за данный поступок, но эта ответственность является причинно обусловленной, а не моральной или юридической. Причинно обусловленная ответственность является составным элементом моральной ответственности. Чтобы ответственность стала моральной, необходим сознательный и добровольный выбор определенного поступка. То есть, совершая поступок, человек должен осознавать, что у него есть возможность альтернативного действия и что он совершает данное действие добровольно, без принуждения.

В философии существуют две крайние позиции в отношении свободы и, как следствие, ответственности. Одну можно обозначить как этический фатализм (разные исследователи дают разные названия). Согласно этой позиции, человек в своих поступках полностью зависит от объективных обстоятельств, не свободен в своих действиях, его жизнь заранее predetermined, но зато он не несет никакой ответственности за свои поступки. Другую точку зрения можно обозначить как этический волюнтаризм. Ее приверженцы отрицают всякую необходимость и настаивают на абсолютной свободе человека в своих моральных решениях, что, в свою очередь, ведет к осознанию абсолютной ответственности за свои поступки и, по мнению Сартра, вызывает страх и отчаяние. И. Кант снял данное противоречие путем разделения науки, где господствуют причинно-следственные связи, и этики, которая говорит о должном и понимает человека как носителя свободной воли. С точки зрения здравого смысла и практического опыта, у нас есть все основания считать себя свободными, так как большинство людей реально осознают возможность выбора и признают добровольный и осознанный характер своих поступков.

Рассуждая о том, что действительно находится в нашей власти и за что мы полностью ответственны, нужно разделить свободу воли и свободу действий. Свобода воли состоит в творческом волеии или хотении чего-либо и не подразумевает принятия решений и действий. В этом смысле раб ответственен не за свое положение раба, а за свое отношение к рабству. Свобода действий подразумевает отсутствие преград при совершении того или иного действия. Свободная воля становится основой для изменения мира, скованная объективными обстоятельствами, она побуждает к изменениям и творит мир. Рассуждая на тему абсолютной нравственной ответственности, Н. О. Лосский говорит: «Всякое лицо, будучи существом свободным и наделенным свойствами, правильное использование которых ведет к абсолютному совершенству, несет абсолютную нравственную ответственность за свои поступки. Этими словами мы хотим сказать, что каждое лицо ответственно не только за субъективную, но и за объективную сторону своих поступков, а также не только за форму, но и за содержание их» [5].

С точки зрения Н. О. Лосского: «Якобинцы, инквизиторы, большевики, совершая бесчисленные убийства и жестокости, пытаются оправдать свои поступки великими благами и принципами, за которые они борются. И в самом деле, многие из них были воодушевлены пламенной любовью к подлинным объективным ценностям; тем не менее поведение их отталкивает своим нравственным уродством. Объективная сторона их поступков ужасна, и даже субъективная сторона, кажущаяся самому деятелю чистой, на деле нравственно несовершенна» [5].

Основываясь на положениях, сформулированных О. В. Гаман-Голутвиной, можно сформулировать следующий вопрос: использовал ли Н. О. Лосский адекватные процедуры для оценки якобинцев, инквизиторов, большевиков? Если мерилom нравственности в политике выступает соответствие национально-государственным интересам, то насколько «нравственное уродство» тех деятелей соответствовало национально-государственным интересам? Очевидно, до какой-то степени соответствовало. Этот ответ подводит нас к теме оправдывающих обстоятельств.

Есть поступки, которые мы совершаем осознанно и добровольно и за которые несем моральную ответственность, есть поступки, которые произошли в силу определенных обстоятельств, полностью снимающих моральную ответственность.

Существуют разные оправдывающие обстоятельства, снимающие или ограничивающие моральную ответственность. Эти оправдывающие обстоятельства являются ограничителями свободы. Чем более сужается свобода, тем меньше и ответственность. Наконец, если возможности отсутствуют, то и ответственность снимается. Из известного высказывания И. Канта «должен, значит можешь» можно сделать вывод, что если человек не может что-либо сделать, то бессмысленно требовать от человека какого-то поступка, и это снимает с него моральную ответственность. Если я не умею плавать, то я не должен спасать утопающего. В этом смысле об абсолютной моральной ответственности можно говорить с метафизической или религиозной точки зрения, как это делает Н. О. Лосский.

Еще одним оправдывающим обстоятельством может быть незнание, которое также сужает свободу, например, незнание всех обстоятельств ситуации, в которой совершается поступок, или незнание последствий поступка. Если подчиненный просто выполняет указания руководителя и руководитель не информирует подчиненного о целях и последствиях деятельности, то вся ответственность ложится на руководителя. В то же время расхожая фраза «незнание закона не спасает от ответственности за его нарушение» показывает, что если человек может и должен знать что-либо, то незнание не освобождает от моральной ответственности. Очевидно, что последствия действий, да и обстоятельства, в которых они совершаются, далеко не всегда могут быть однозначно известны. Это создает много открытых вопросов. Например, должны ли политики отвечать за негативные последствия своего политического курса, если они не знали всех последствий?

Кроме невозможности выполнить что-либо и незнания, свобода может быть ограничена отсутствием альтернативных решений, когда возможно только одно разумное действие. Свободу может ограничивать также возможность самоконтроля (в бесконтрольных ситуациях мы свободны и не несем за них моральной ответственности). Отсутствие самоконтроля может быть понято как объективно ненормальное состояние (психическое заболевание, физическая зависимость и т. п.). Закон признает такого рода состояния смягчающими обстоятельствами – например, убийство в состоянии аффекта рассматривается как менее тяжкое преступление по сравнению с преднамеренным убийством.

Внешнее принуждение может либо уменьшать моральную ответственность, либо избавлять от нее. Если грабитель врывается в банк и под дулом пистолета требует деньги, то кассир не несет моральной ответственности за то, что отдал деньги.

В то же время выполнение приказов начальства является спорным и дискуссионным обстоятельством для снятия ответственности. Согласно одной из точек зрения, административной этики вообще не существует, так как роль индивида в организации как административного работника сводится к выполнению функций или исполнению приказаний: «...Должностные лица должны действовать нейтрально по тем соображениям, что следуют не собственным принципам морали, а решениям и политике организации. Такова суть кон-

цепции “этики нейтралитета”. Согласно второму подходу, получившему название “этика структуры”, не должностные лица, а организация должна быть ответственна за свои решения и политику» [6]. Оба подхода снимают ответственность с должностных лиц.

Р. Т. де Джордж приводит хороший пример, иллюстрирующий рассматриваемую проблему: «Допустим, что президент корпорации предлагает своему вице-президенту обеспечить снижение издержек производства в каком-то отделении корпорации. Он не говорит, как и где добиться такого снижения себестоимости, и предоставляет это решать самому вице-президенту. В свою очередь вице-президент решает, что снижение издержек следует осуществлять на определенном производственном участке, и отдает распоряжение подчиненному ему менеджеру выполнить намеченную задачу. Это продолжается до тех пор, пока распоряжение не дойдет до непосредственных исполнителей, которые настолько упрощают производственные операции, что ставят под угрозу жизнь людей. Рабочие, находящиеся в конце производственной линии, считают, что они вынуждены делать то, что им велят» [1]. Кто морально ответствен за создание угрозы для жизни людей? Президент оправдан благими намерениями, думами о благе корпорации. Вице-президент, менеджеры и рабочие оправданы исполнительной и функциональной ответственностью. Они просто исполняли приказ, выполняли свои функции. А кто виноват, если в результате упрощения производственного процесса погибли или получили увечья люди или произошла техногенная катастрофа? Виноватых нет, виновата организация или корпорация в целом, структура. Этот пример показывает, как в организации личная моральная ответственность подменяется этикой благих целей, функциональной, исполнительской ответственностью или этикой структуры.

Ю. Ю. Петрунин и В. К. Борисов пишут: «Ответственность – это не мусорная корзина, в которой чем больше вынешь, тем меньше останется. Если группа из 10 головорезов избивает до смерти пожилого человека, мы не наказываем каждого разбойника за десятую часть преступления (даже если ни один убийца не ударил его настолько сильно, чтобы спровоцировать смерть)» [6]. В этой ситуации каждый является убийцей. В то же время, приводя данный аргумент против этики структуры, авторы уточняют, что «признание понятия “негативная ответственность” до некоторой степени опасно. В частности, это приводит к тому, что индивид может быть обвинен в чем угодно (так как действия, которые индивид не совершал, ничем не ограничены)» [6]. Но тут можно также поставить вопрос о том, насколько вообще адекватно сравнивать аморальную или преступную деятельность организации или государства с деятельностью шайки головорезов. Ясно, что, с одной стороны, корпорация, а тем более государство несравнимо больше и поэтому сложнее для понимания и нахождения виновных, а с другой – отличие состоит в том, что последняя инстанция на то и последняя, что ее судить некому, кроме истории.

Какие тезисы можно сформулировать в конце рассуждений?

Во-первых, понятие моральной ответственности весьма непростое, и его разработке посвящены работы разных авторов. Понятно, что моральная ответственность – это не «мусорная корзина» и не следует подменять ее исполнительной, функциональной ответственностью, этикой структуры, этикой благих намерений. Необходимо думать над тем, как добиться того, чтобы исполнительская, функциональная и политическая ответственность не противоречили моральной ответственности, а соответствовали ей. Нужно создавать ме-

ханизмы, способствующие повышению моральной ответственности и защищающие тех, кто стремится выявить нарушения в организациях, кто говорит о коррупции, разоблачает преступления, а не занимает позицию нейтралитета (например, в США есть закон, защищающий тех, кто доносит о нарушителях закона).

Во-вторых, понятие моральной ответственности становится все более важным для нашего общества в силу того, что общество приобрело свободу, причем важно также то, как она была приобретена. Свобода была приобретена через деградацию правящей элиты. Советская номенклатура просто отказалась от ответственности за заводы и фабрики, пенсии и зарплаты, за государство и т. д. Предложив свободу обществу, государство перестало существовать, огромные территории были отданы враждебным сторонам без боя, а новое государство – Россия чуть было вообще не утратило национальную свободу. Так что современная российская доктрина «суверенной демократии», в отличие от «управляемой демократии», призвана показать и помочь отстоять суверенитет нашей страны. В таких условиях моральная ответственность действительно становится фактором конкурентоспособности и выживаемости как общества в целом, так и правящей элиты. Это все яснее осознает сама правящая элита, о чем свидетельствуют слова В. Суркова: «Среди символов могущества все ярче выступают передовая наука, моральное преимущество, динамичная промышленность, справедливые законы, личная свобода, бытовой комфорт».

В-третьих, по поводу переписывания истории и нахождения ответственных и виновных хотелось бы сказать, что смысл этики не в том, чтобы находить виноватых, а в том, чтобы говорить, что должно делать. В современной непростой ситуации нужно искать не виноватых, а пути решения проблем. Для того чтобы российская история предстала единым и логичным процессом, нужно понять мотивы поведения отдельных людей и социальных групп в обществе. Но понять мотивы поведения людей – это не значит оправдать их поступки, как верно замечает Р. Т. де Джордж. Социальные науки позволяют понять общественные явления, а этика призвана не оправдывать, а создавать идеалы, говорить, как нужно поступать, в том числе и в политике. Целесообразно «...не привносить политическую этику в политику извне, а развить ее из понимания политики» [8], «...хотя политические суждения всегда имеют моральную сторону, необходимо, чтобы за них всегда можно было ответить, и кто-то был за них ответственным» [8].

Как мне кажется, чтобы ответить на вопрос о том, как следует поступать политикам, полезно использовать универсальную этическую теорию утилитаризма. Принцип утилитаризма «поступай так, чтобы твое действие создавало максимальное добро для максимального количества людей, на которых окажет влияние данное действие» может дать ответы на многие вопросы в политике, в том числе вполне политический ответ на вопросы о переписывании истории и нахождении виноватых. Нужно ли выносить тело Ленина из Мавзолея? Нужно ли переоценивать роль Сталина в истории или предавать анафеме Ельцина? Очевидно, что, с точки зрения утилитарного принципа, такого рода политические события не добавляют стабильности и благополучия в обществе, чего нам так не хватает.

В современной российской действительности, хотя и медленно и не последовательно, но происходит формирование морали в практике общественной жизни, и это обусловлено в первую очередь утверждением и укреплением моральной ответственности элиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаман-Голутвина О. В. О столкновении морального и нравственного начал в российской политике // Полис. 2005. № 3.
2. Наука и нравственность. М.: Политиздат, 1971.
3. Дробницкий О. Г. Понятие морали. М.: Наука, 1974.
4. Психология: Словарь. М.: Политиздат, 1990.
5. Лосский Н. О. Условия абсолютного добра: Основы этики; Характер русского народа. М.: Политиздат, 1991.
6. Петрунин Ю. Ю., Борисов В. К. Этика бизнеса. М.: Дело, 2004.
7. Де Джордж Р. Т. Деловая этика. Т. 1. СПб.: Экономическая школа; М.: Прогресс, 2001.
8. Сутор Б. Малая политическая этика // Политическая и экономическая этика. М.: Фаир-Пресс, 2001.

F. M. Ivanyuk

MORAL RESPONSIBILITY AS A FACTOR OF COMPETITIVENESS OF THE SOCIETY AND RULING ELITE

Different aspects of moral and political interaction in the activity of the ruling elite are considered. Much prominence is given to the problem of moral responsibility as a factor of stability and competitiveness of our society.

Responsibility, moral responsibility, ruling elite, liberty and responsibility, political ethics

УДК 371.15

О. Ю. Маркова

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ЭТИКА КАК ПРОБЛЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

Статья посвящена сравнительному анализу профессиональной этики преподавателя и специалиста по связям с общественностью. Автор акцентирует внимание на особенностях принятия этических решений в профессиональной деятельности.

Этика, профессиональная этика, социальная этика, этика преподавателя, этика специалиста по связям с общественностью, нравственный выбор, этическое решение

Почему-то люди считают, что говорить о профессиональной этике скучно. Потому что любой разговор об этике оборачивается морализаторством? Потому что так же, как любой, этический кодекс воспринимается как пресловутый кодекс строителя коммунизма? Или потому что они ее постоянно нарушают и знают об этом? В ситуации этического противоречия любой мотив: польза, прибыль, удовлетворение желания, личная безопасность, душевный комфорт и т. д. – оказывается достаточным для морального оправдания себя самого и собственного деяния. А мораль, особенно общественная мораль, судит мир и людей не по реальной ситуации, а по идеальным канонам, которым они должны соответствовать.

Актуальность обращения к проблемам этики вообще и профессиональной этики в частности обусловлена несколькими причинами. В наш дом вошел и по-хозяйски в нем расположился мультикультурный мир, в котором, кажется, не осталось ничего универсального. И идея всеобщей, общечеловеческой морали выдвигается на первый план. Активнее всего она поддерживается церковью. В то же время мультикультурный мир предполагает глобальную дифференциацию индивидов, социальных институтов, общественных групп и создаваемых ими порядков и, как следствие, дифференциацию форм и видов морального регулирования. В частности, профессиональная этика оказывается формой духовной защиты и духовного

единения корпоративного сообщества. И наконец, профессиональная этика есть элемент конкурентоспособного символического капитала, функционирующего в экономике впечатлений в качестве характеристики как корпорации, так и индивида.

Определимся с понятием. Этика – это раздел философии, изучающий законы морали. В этом смысле этика – это теория, а мораль – практика жизни. В то же время этика, мораль и нравственность – понятия, широко применяемые для оценки действий и мыслей, причем теоретически анализировать различия в их применении сложно и действительно скучно, в то время как наш язык сам выбирает необходимое в данный момент слово. Сравним, что означает для нас **безнравственное, аморальное и неэтичное** поведение. Можно спорить, но в житейской и философской традиции быть аморальным, значит, нарушать нормы, быть безнравственным – не иметь понятия о нормах, а вести себя неэтично – действовать не по правилам.

Нормативность, императивность и оценочность есть необходимые составляющие этического сознания.

«Мораль – совокупность ценностей и норм, относящихся: 1) к моральному идеалу, 2) к индивидуальной жизни, 3) к жизни общества» [1].

Мораль всегда обращена к индивиду, и вся традиционная моральная философия развивалась как этика личности. Принцип этической жизни – осознанное, рациональное обоснование своего отношения к жизни, например: альтруизм, эгоизм, гедонизм, аскетизм, нигилизм, утилитаризм, прагматизм, гуманизм, аморализм, имморализм.

Этические концепции можно разделить на два класса:

1. Поведение человека нравственно или безнравственно в зависимости от его последствий; мотивы, принципы и убеждения значения не имеют.

2. Поведение человека нравственно или безнравственно в зависимости от его мотивов и содержания деяния, последствия значения не имеют [2].

В любом случае предполагается, что индивид или социум при принятии этических решений могут использовать одну из двух стратегий: рациональную моральную стратегию, когда моральное решение принимается на основе разума и понимания, и нерациональную моральную стратегию, когда решение принимается на основе следования императиву – любви, долгу, совести, правде и т. п. Традиционная моральная философия обращена на изучение идеальных моральных форм и их актуализацию в качестве личностного морального сознания.

Современная моральная философия устанавливает методологическую дистанцию между социальными и индивидуальными этическими проблемами. Различие между ними обнаруживается на этапе оценки ситуации и выбора принципа принятия решения. То, что мы будем рассматривать в дальнейшем, относится к **социальной этике**, т. е. к этике взаимоотношений субъектов в социальном пространстве – времени. Естественно, разделить социальную и личностную этику можно только в рациональном анализе. Тем не менее проблемы толерантности, справедливости, ответственности, патриотизма существуют прежде всего на уровне социальной этики, а потом уже в качестве ценностей и норм индивидуального морального сознания. В общефилософском смысле социальная этика включает в

себя этику личности, но в практике коммуникаций они могут существовать как феномены одного порядка. Структура социальной этики в настоящий момент не является общепризнанной. Можно утверждать, что в нее входят этика бизнеса, деловая этика и этики профессиональных сообществ.

Отличительные особенности профессиональной этики. Прежде чем перейти к определению понятия «профессиональная этика», хотелось бы сформулировать несколько вопросов к читателю. Любая ли профессия обладает правом на свою этику? Что такое нравственный выбор в профессиональной деятельности? Готовы ли вы признать, что существуют этически нагруженные профессии и профессии, к субъектам которых не предъявляется особых моральных требований? Могут ли помочь в нравственном выборе профессиональные этические кодексы? Зачем они нужны?

Профессиональная этика – это совокупность моральных норм, определяющих отношение человека к своему профессиональному долгу, а посредством него – к людям, с которыми он связан в силу характера своей профессии, а в конечном счете к обществу в целом. Профессиональная этика представляет собой конкретизированные общие этические нормы, и конкретизация вызывается не только спецификой отношения профессиональных коллективов к обществу в целом, но и спецификой личностных отношений в профессиональной деятельности.

Содержанием профессиональной этики являются, с одной стороны, этические кодексы профессионального поведения, предписывающие определенный тип нравственных взаимоотношений специалиста со всеми сегментами внешнего и внутреннего окружения, а с другой – способы обоснования данных кодексов как оптимального свода правил для наиболее качественного выполнения профессиональных обязанностей. Интересно определение Р. Г. Апресяна: «...Прежде надо отметить, что я рассматриваю профессиональную этику... как: а) собственно систему моральных норм профессиональной деятельности, или кодекс (и в этом я солидаризируюсь с первым из данных выше толкований профессиональной этики), б) более или менее специальную рефлексию относительно принципиальных и нормативных оснований профессиональной деятельности, в) по-видимому, когнитивную компоненту экспертного сопровождения нормотворчества и нормативной практики в сфере профессий» [3].

Далее он пишет: «...Гуманитарная ориентированность профессии – это важная, но лишь одна сторона профессиональной этики. Разные авторы совершенно справедливо указывают на то, что профессиональная этика снимает или опосредствует напряжения и противоречия, которые нередко возникают между общими моральными принципами и теми решениями, которые человек вынужден принимать, исполняя свои профессиональные обязанности. Однако анализ различных профессиональных моральных кодексов показывает, что они в первую очередь привносят в профессию измерение социальной ответственности, они ориентируют профессиональную деятельность на общее благо. Думаю, ориентация на общее благо является определяющей характеристикой профессиональной этики. Причем ориентация на общее благо может проявляться и косвенно, через ориентацию на частное благо отдельных групп, чьи интересы оказываются затронутыми, прямо или косвенно, данной профессиональной деятельностью, самим фактом осуществления этой деятельности или ее результатами» [3].

Специфику профессиональной этики можно определить через границы предметной области и субъектов, отношения с которыми имеют ярко выраженный этический аспект. Специфика профессиональной этики выражается также в доминирующих ценностях и в отличительных особенностях этических ситуаций или противоречий, связанных с профессиональной деятельностью. Профессиональная этика конституируется с помощью норм, императивов и оценок как рефлексия по поводу профессии, кодекс и коммуникационные практики в тех случаях, когда профессия предполагает нравственный выбор.

Для сравнения: преподавательская этика и этика специалиста по связям с общественностью. Образовательный процесс представляет собой коммуникацию поколений, содержанием которой является трансляция знаний и ценностей. Можно рассматривать образование как обмен услугами, тогда главным в его содержании оказывается обеспечение высшего профессионального образования. Собственно, главным духовным выбором преподавателя и является определение смысла своей деятельности. Преподавание может быть понимаемо как деятельность по передаче знаний. В этом случае преподаватель позиционирует себя как специалиста и отвергает любые неформальные регуляторы своей деятельности. Преподавание, понимаемое как ценностно нагруженный процесс, формирует у преподавателя роль Учителя жизни.

Профессиональный менталитет преподавателя обусловлен сферой преподавательской деятельности (гуманитарий, естествовед, «технар»). Он проявляется в своеобразии профессионального мышления, языка, выбираемых технологиях обучения, стиле общения со студентами. Составляющей педагогического менталитета преподавателя является общая мотивация его деятельности: следует выделять преподавателей, настроенных на научно-исследовательскую деятельность, на преподавательскую работу, на времяпрепровождение в университете.

По избранной или неосознанно исполняемой педагогической роли существуют преподаватели-предметники, преподаватели-воспитатели, интеграторы, соединяющие в себе ученого, преподавателя и наставника, и те, кого автор называет «не преподаватель», специалисты, не обладающие способностью учить других. (Вообще преподаватель или готов учить – тех, кто хочет, или тех, кто может, или всех, или ему безразлично учить или не учить.)

Важными элементами педагогического менталитета преподавателя являются отношение к студентам и стиль поведения в образовательном процессе. В соответствии с разными стилями выделяются следующие типы преподавателей: требовательный, придирчивый, зануда, либерал, «халявщик». Преподавательская этика предполагает дистанцированность от студентов, минимизацию неформальных отношений, уважение к ним как к субъектам образовательного процесса.

Важнейшей функцией профессиональной этики являются поддержка профессионального единства и репутации профессионального сообщества. Групповой менталитет преподавателя определяется не только принадлежностью к преподавательскому сообществу. Преподаватель университета объективно включен в различные группы вузовской общественности, а субъективно может играть в них следующие роли: 1) по степени объективной включенности в вузовскую жизнь: администратор, общественный деятель, наем-

ный работник; 2) по демонстрируемой степени включенности в социокультурную реальность: патриот, политик, диссидент, интеллектуал-ученый, государственный человек, обыватель; 3) по степени взаимодействия со своей профессиональной и формальной группой: коллега, индивидуалист.

Этика специалиста по связям с общественностью. Проблема этики PR носит дуальный характер. С одной стороны, PR как самостоятельный социальный институт, как отдельно взятый сегмент рынка подчиняется законам профессиональной этики (как и любая другая область общественной жизни), с другой – PR служит инструментом этического регулирования взаимодействия между субъектами общественных отношений. Перед специалистами по связям с общественностью стоит задача интегрирования морально-этических ценностей в систему целей и предпочтений организации.

Задача повышения эффективности профессиональной этики специалистов по связям с общественностью становится не только актуальной, но и центральной, поскольку от соблюдения ее принципов зависит общественное доверие к PR и рекламе. Соблюдение этических норм и принципов деятельности в сфере публичных отношений является необходимым условием завоевания доверия клиентов, продвижения деловых интересов PR-консультантов, обеспечивает позиционирование PR-агентств как надежных партнеров для зарубежных специалистов.

Структурный анализ профессиональной этики преподавателя и специалиста по связям с общественностью

Обязательный элемент профессиональной этики	Этика преподавателя	Этика специалиста по связям с общественностью
Осознание профессиональной миссии	Трансляция знаний и ценностей	Открытое взаимодействие организаций и групп в гражданском обществе
Осознание социальной ответственности	Обучение и воспитание	Создание мифов
Отношение к государству	Патриотизм; нигилизм; космополитизм	Патриотизм; нигилизм; космополитизм
Отношение к профессиональному сообществу	Корпоративная солидарность	Критичность; конкурентность; партнерство
Отношение к своей деятельности	Преподаватели-предметники, преподаватели-воспитатели, интеграторы, соединяющие в себе ученого, преподавателя и наставника, специалисты, не обладающие способностью учить других	Специалисты-идеологи; специалисты-исполнители; специалисты-манипуляторы
Отношение к потребителям профессиональной деятельности	Любовь; дистанцированность; долг	Честность; надежность; ответственность
Отношение к профессиональным этическим нормам	Осознание и соблюдение профессиональных этических норм	Соблюдение общечеловеческих норм, признание и соблюдение кодексов
Постоянные этические проблемы профессии	Возможность противоречия корпоративной и личной этики. Различия в этике преподавателей и студентов как субъектов коммуникации	Возможность противоречия требований профессии и требований этики. Проблема лжи

Методология анализа развития этических ситуаций и принятия этических решений. Если согласиться с определением морали как сложного структурного феномена, следует заметить, что любой индивид может находиться в состоянии перманентного этического конфликта с каждым из ее элементов: «Я не соответствую моральному идеалу, я нарушаю собственные этические принципы, я своими действиями противоречу моральным требованиям социума в лице референтной группы, профессионального сообщества, организации или государства». Можно ли представить себе, сколько раз в течение рабочего дня (рабочей недели) специалист в области коммуникаций или любой менеджер, начиная со среднего звена, сталкивается с ситуацией, требующей принятия этического решения. Автор называет такую ситуацию этически нагруженной. Этически нагруженная ситуация иногда не имеет юридического, экономического или административного разрешения. Вот несколько примеров таких ситуаций.

Пример 1. Количество мест в аспирантуру факультета ограничено. Заведующий кафедрой, где давно нет защит, слезно просит у декана место в аспирантуре для молодой преподавательницы. Вопрос решен положительно, преподавательница успешно сдает вступительные экзамены, но накануне зачисления в аспирантуру сообщает заведующему кафедрой, что параллельно сдавала экзамены в аспирантуру другого вуза и поступает туда. Преподавательница не нарушила никаких юридических норм, не совершила финансовых или административных проступков. Она **просто подвела** заведующего кафедрой, декана, предполагаемого научного руководителя. Ее нельзя наказать иначе, чем с помощью этических норм или правил, которые она преступила. Но существуют ли такие нормы или правила? Какое решение может принять заведующий кафедрой?

Пример 2. Николай Валуев, чемпион мира по боксу, приговорен в Санкт-Петербурге к штрафу и моральной компенсации за умышленное нанесение вреда здоровью охранника спорткомплекса. Если приговор вступит в силу, Валуев будет считаться судимым, и это создаст ему некоторые трудности с получением виз и выступлениями на международных соревнованиях. Адвокаты Валуева подают апелляцию, и, поскольку истекает срок давности правонарушения, приговор, скорее всего, не вступит в силу.

В данном случае ситуация этически нагружена, но юридически разрешена. Приговор справедлив, но и адвокаты действуют по закону. Есть ли у нас чувство удовлетворения, и какую этическую оценку можно дать этой ситуации?

Приводимая далее схема предлагает некую методологию анализа этической ситуации для принятия этического решения. Основной методологический принцип состоит в том, что этическая ситуация может существовать и, соответственно, рассматриваться на одном из семи или сразу на нескольких уровнях. В зависимости от уровня возникновения, развития и анализа этической ситуации в ее разрешении заинтересованы определенные субъекты, или акторы. Уровень определяет также факторы, влияющие на принятие этического решения и контекст существования ситуации. Этическая ситуация из примера 1 может рассматриваться на межличностном и организационном уровнях, а также на уровне

малой группы. Этическая ситуация из примера 2 затрагивает интересы субъектов на межличностном уровне, на уровне групп внешней общественности, государства и господствующих ценностей. Сложность анализа и принятия решения состоит в том, что чем больше уровней и акторов задействовано в ситуации, тем очевиднее невозможность принятия единственно правильного этического решения.

Уровни возникновения, развития и анализа этических ситуаций

Уровень	Содержание	Субъекты, или акторы	Факторы, влияющие на принятие этического решения	Контекст
Внутриличностный	Противоречие между профессиональной и личной этикой	Личность	Пол, возраст, семейное положение, статус	Историческое и личностное время
Межличностный	Нарушение этических норм	Личности	Характер личных, служебных, профессиональных отношений	Статус личности
Малая группа	Нарушение групповых норм	Личность, группа, подгруппы	Динамика развития группы, характер лидерства, морально-психологический климат в группе	Статус группы
Организационный	Нарушение норм служебной или профессиональной этики	Руководители, коллеги, подчиненные, коллектив, малые группы, подгруппы	Статус организации, структура, функции	Характер государственного регулирования бизнеса
Внешние группы общественности	Нарушение норм партнерской этики, этики бизнеса	Организация, партнеры по бизнесу, профессиональное сообщество, клиенты, потребители	Место организации в бизнес-пространстве	Наличие гражданского общества
Государственный	Нарушение норм социальной ответственности, государственной лояльности	Организация, государственные органы	Система существующих государственных и профессиональных соглашений и законов	Наличие гражданского общества
Господствующие ценности, особенности культуры и массового сознания	Несоответствие между поведением субъекта и общественным сознанием	Все вышеперечисленные субъекты	Господствующие ценности, особенности культуры и массового сознания	Историческое время

Применение данной методологии подтверждает тезис о сложной структурной организации морали. Одновременно она доказывает динамичность и множественность индивидуальных и социальных этических правил и норм. В целом следует отметить, что проблема не в том, чтобы написать кодексы и разработать механизмы их применения. На сегодняшний день существует научная проблема определения специфики этики профессии. Только сформулировав собственные этические проблемы, профессиональное сообщество может начать искать методологию и технологии их разрешения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апресян Р. Г. Феномен общественной морали. Актуальные проблемы современности сквозь призму философии: Сб. докл. Вып. 1 / Отв. ред. С. В. Девяткин; НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород, 2007.
2. Губин В. Д., Некрасова Е. Н. Основы этики: Учеб. М.: Инфра-М, 2005.
3. Апресян Р. Г. Вид на профессиональную этику // Ведомости научно-исследовательского института прикладной этики. Вып. 25. Профессиональная этика / Под ред. В. И. Бакштановского и Н. Н. Карнаухова; НИИПЭ. Тюмень, 2004.

O. Yu. Markova

PROFESSIONAL ETHICS AS A SUBJECT FOR DISCUSSION

The article is devoted to the comparative analysis of professional ethics of the teacher and expert in public relations. The author focuses attention on features of acceptance of ethical decisions in professional activity.

Ethics, professional ethics, social ethics, ethics of a teacher, ethics of a public relations specialist, moral choice, ethic decision