

5' 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")

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Грачева И. Е., Мошиников В. А. Анализ газочувствительных фрактальных структур на основе диоксида олова методом атомно-силовой микроскопии 3

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Баранов А. В. Количественные оценки общности положения нелинейных систем со скалярным управлением 11

Никифоров И. Ю. Анализ устойчивости стохастических нелинейных систем управления с интервально-распределенными параметрами 16

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Путов В. В., Зунг Ч. А., Куанг Ф. К. Адаптивная электромеханическая следящая система с двух- и трехмассовым нелинейными упругими объектами и нейронечетким управлением 21

Амбросовский В. М., Ветчинкин А. С., Зуев В. А. Распределение управляющих воздействий между органами управления при решении задачи динамического позиционирования судна 25

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Максимов А. И., Позняк И. В., Печенков А. Ю., Шатунов А. Н., Кичигин В. В. Исследование закалки образцов из расплава системы $Al_2O_3-ZrO_2$ 29

Любомиров А. М., Любомиров Я. М., Иохина С. С. Влияние состояния системы водяного охлаждения на работу электротехнологической установки 32

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Новик А. А. Входное сопротивление многоволнового каскадного ультразвукового волновода 37

Гусева Е. П. Сравнение библиотек функций для расчета непрерывного вейвлет-преобразования 41

БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Чащин А. В., Попечителей Е. П. Модель состояния организма в процессах окклюзионных измерений артериального давления 49

Бахилин В. М. Помехоустойчивые алгоритмы обнаружения характерных точек ЭКГ 56

* * *

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

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

- Пичушкин Р. В., Мардас А. Н.* О применимости показателя чистой текущей стоимости к оценке эффективности инвестиционных проектов долевого строительства 61
- Васильев А. В., Лихолетов М. Ю.* Лизинг как инструмент финансирования инновационных проектов 65

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

- Меньшиков Д. Н. М. Б.* Шеин как полководец в Смоленской войне 1632–1634 гг. 69
- Кудрявцева М. Е.* К вопросу изучения интеллектуально-творческих способностей студентов в контексте проблемы этики профессиональной деятельности 78

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

- Урвалов В. А.* Пионер беспроводной телефонии С. Я. Лифшиц 85
- Северинова В. П. Л. И.* Шпергазе – крупнейший деятель в области электросвязи 89

Учредитель:

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)»
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-44-87
Факс: (812) 346-27-58

Свидетельство о регистрации

П.И.№ ФС2-8390
от 04.12.2006 г. выдано
Управлением Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу

* * *

Редакторы:

*Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,
Н. В. Рощина, И. Г. Скачек*
Комп. верстка:
*Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, А. В. Зангиевой
М. В. Новиковой*

Подписано в печать 27.06.08 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 11,75.

Тираж 300 экз. Заказ 20.

Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

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

Уважаемые авторы!

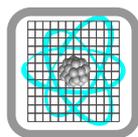
При подготовке материалов к изданию пользуйтесь требованиями, предъявляемыми к оригиналам работ, публикуемых в Издательстве СПбГЭТУ "ЛЭТИ".

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 621.315.592

И. Е. Грачева, В. А. Мошников

АНАЛИЗ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ОЛОВА МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Методами золь-гель-технологии и гидротермического синтеза получены газочувствительные слои с фрактальной структурой на основе диоксида олова. Изучены основные этапы эволюции фрактальных систем: диффузионно-лимитируемая агрегация, кластер-кластерная агрегация, образование перколяционного перехода и сетчатых наноструктур с помощью атомно-силовой микроскопии. Особенности аналитического отклика газочувствительности в начальные моменты измерения могут быть положены в основу новой методики анализа газочувствительных слоев.

Наноструктуры, диоксид олова, золь-гель-технология, гидротермический синтез, фрактальные объекты, метод атомно-силовой микроскопии, газочувствительность

В последние годы наноматериалы вызывают большой интерес для фундаментальных научных исследований и прикладного технического применения. Обнаружены уникальные свойства наноматериалов: механическая прочность, высокая люминесценция, низкие значения порогового тока для возникновения лазерного эффекта, высокая чувствительность к низким газовым концентрациям. Химические свойства структур из наноматериалов и большая площадь поверхности могут быть использованы в газовых сенсорах [1], [2]. В качестве первичных чувствительных элементов в аналитических системах контроля на основе сенсорных устройств для детектирования газов используют металлооксидные полупроводниковые соединения *n*-типа электропроводности, такие как SnO₂, ZnO, Fe₂O₃, NiO, V₂O₃, WO₃, Co₃O₄. Из перечисленных материалов диоксид олова является наиболее перспективным материалом для создания мультисенсорных систем. Электропроводность диоксида олова весьма чувствительна к состоянию поверхности в области повышенных значений температур, при которых на поверхности оксидов протекают окислительно-восстановительные реакции. Из других свойств отметим высокую адсорбционную способность, обусловленную наличием свободных электронов в зоне проводимости полупроводника, поверхностных и кислородных вакансий, а также активного хемосорбированного кислорода.

Сенсоры на основе металлооксидов изготавливают с использованием химических и физических технологий. В качестве химических методов создания наноструктурированных материалов, являющихся потенциально пригодными для производства больших объемов продукции, могут быть использованы золь-гель-метод [3], [4] и гидропиролитический синтез [5]. Свойства тонких наноструктурированных слоев, полученных гидропиролитическим и золь-гель-методами, чувствительны к многим технологическим факторам (состав исходных композитов, температурно-временные режимы получения и обработки, изменение соответствующих прекурсоров и их концентрации на стадии приготовления и т. д.). Формирование структуры протекает с образованием фрактальных объектов в режиме диффузионно-лимитированной агрегации, кластер-кластерной агрегации с последующим переходом к перколяционным кластерам и сетчатым структурам [6].

Благодаря возможности формирования нанодисперсных композитов с контролируемой морфологией и наноразмерностью частиц золь-гель-метод нашел свое применение в технологии изготовления полупроводниковых материалов для сенсорных устройств. Этот метод позволяет формировать композиционные структуры из различных веществ практически в любых соотношениях. Золь-гель-технология относится к нанотехнологии, обеспечивающей формирование функциональных наноструктур, начиная с молекулярного уровня. Как было отмечено, возникая в виде фрактальных агрегатов, нанобъекты в процессе роста трансформируются в перколяционные сети. При этом, если поперечные размеры ветвей соизмеримы со значением дебаевской длины экранирования, газочувствительность электронных датчиков возрастает на несколько порядков. Для таких адсорбционных полупроводниковых сенсоров также возрастает быстродействие.

Использование гидропиролитического синтеза в качестве технологического химического метода создания трехмерных сенсорных наноструктур, формирование которых происходит в три последовательных этапа: разложение исходных солей металлов под действием потока увлажненного воздуха, последующий перенос продуктов разложения к подложке и осаждение при высокой температуре, выгодно отличается возможностью контроля операций химической сборки.

Основными традиционными методами диагностирования фрактально агрегированных материалов являются методы малоуглового рассеяния рентгеновского, светового и нейтронного излучений. Для характерных размеров фрактальных агрегатов, образующихся в золь-гель-процессах, наиболее информативен метод малоуглового рассеяния рентгеновских лучей. До сих пор реальные успехи в этом направлении были достигнуты лишь немногими исследовательскими группами, причем результаты, как правило, получены при исследовании ксерогелей, так как анализ тонкопленочных композитов затруднителен. Поэтому актуальной проблемой с точки зрения представления о механизмах формирования фрактальных наноструктурированных объектов является разработка новых методов нанодиагностики.

Авторами настоящей статьи было установлено, что чрезвычайно эффективным методом для анализа процессов формирования и эволюции фрактальных объектов, полученных гидропиролитическим и золь-гель-синтезами, а также для исследования перехода фрактальных агрегатов в перколяционные кластеры может быть метод атомно-силовой микроскопии, достоинством которого является прямое наблюдение фрактальных структур, в отличие от косвенного метода малоуглового рассеяния рентгеновских лучей.

На рис. 1 в различных масштабах приведены данные атомно-силовой микроскопии, полученные с помощью нанолaborатории Ntegra Terra (NT-MDT, Зеленоград), по изучению фрактальной структуры нанокompозита на основе диоксида олова, сформированного золь-гель-методом на ситалловой подложке (размер области сканирования 20×20 мкм)

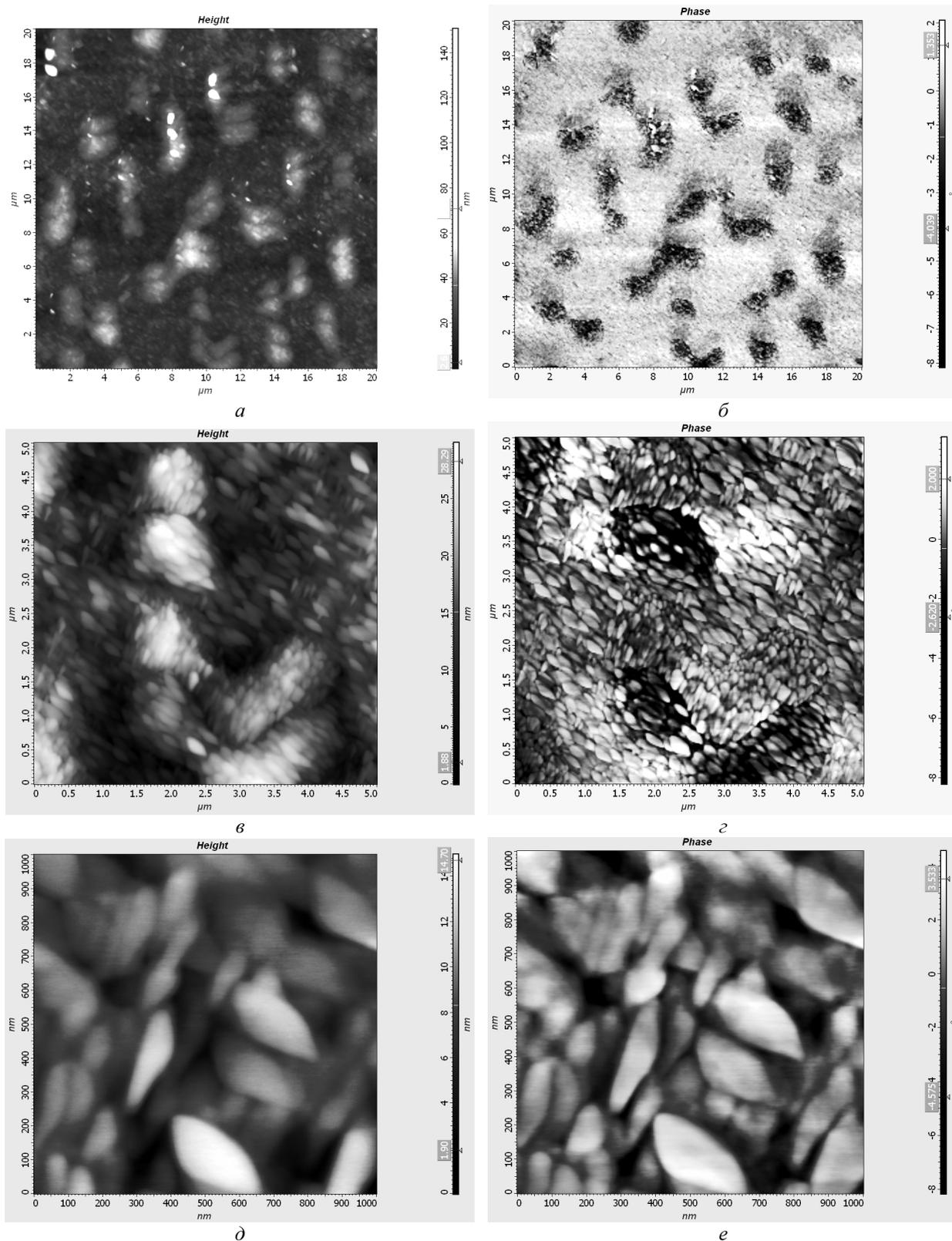


Рис. 1

(рис. 1, *a, б*), 5×5 мкм (рис. 1, *в, г*), 1×1 мкм (рис. 1, *д, е*). Изображения рельефа поверхности нанокompозита представлены на рис. 1, *a, в, д*. Для улучшения контраста по рельефу было построено двухмерное изображение не по абсолютной высоте рельефа, а по распределению ее производной (рис. 1, *б, г, е*).

Из анализа изображений (рис. 1) видно, что структура нанокompозита представляет собой консолидированные достаточно крупные образования кластеров размером $2 \dots 4$ мкм (рис. 1, *a, б*), состоящих из эллипсоидных частиц с различными ориентациями (рис. 1, *д, е*). Модель роста фрактальных агрегатов, состоящих из эллипсоидных частиц, можно отнести к модели Виттена–Сэндора (диффузионно-лимитируемой агрегации) [7]. Агрегационные явления возникают в результате подавления в локальной области дальнедействующих сил отталкивания между частицами, которые совершают хаотическое движение в пространстве. После столкновения с агрегатом частица может закрепиться на агрегате в месте соударения. Модель сборки более крупных фрактальных кластеров можно отнести к кластер-кластерной модели, в которой сами кластеры двигаются одновременно с частицами. После столкновения два кластера образуют большой кластер. Эволюция структуры продолжается, приводя к образованию перколяционных сетей.

На рис. 2 приведены результаты атомно-силовой микроскопии при последовательном изменении масштаба изучаемых участков поверхности (размер области сканирования 10×10 мкм (рис. 2, *a*), 2×2 мкм (рис. 2, *б*), 150×150 нм (рис. 2, *в*)) фрактального нанокompозита на основе диоксида олова, сформированного гидропиролитическим методом на подложке окисленного кремния. Анализируя серию микроизображений, можно сделать заключение, что каналы проводимости организованы из зерен сложной структуры, содержащих более мелкие частицы. Размеры наименьших частиц, зарегистрированных с помощью острия зонда, радиус закругления которого 10 нм, составляют около 70 нм. Из неправильной формы мельчайших частиц (рис. 2, *в*) можно предположить, что они также являются продуктом агрегации. В таких системах вклад поверхностных явлений становится соизмеримым с эффектами, вызванными изменениями объемных свойств.

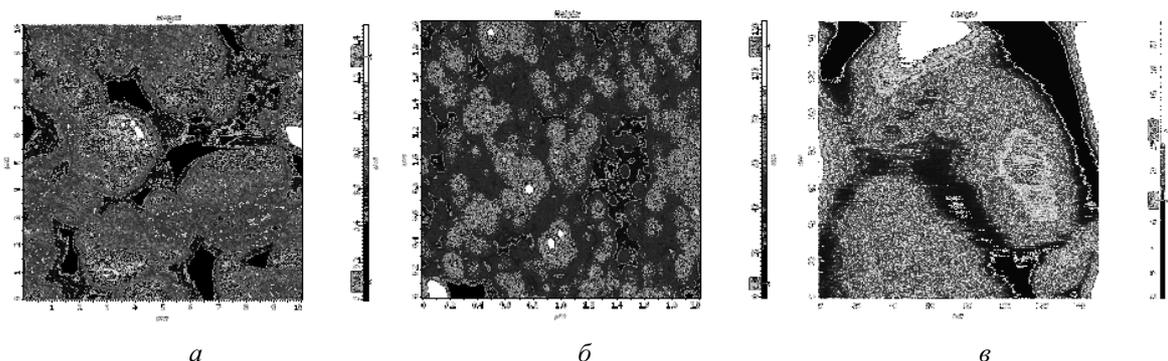


Рис. 2

По результатам систематических исследований методом атомно-силовой микроскопии было показано, что, варьируя термодинамическими и кинетическими условиями золь-гель-нанотехнологии, можно управлять эволюцией фрактальных агрегатов на основе диоксида олова. Далее приведены типичные изображения микроструктуры слоев диоксида олова, соответствующие различным этапам эволюции фрактальной системы: диффузионно-лимитируемая и кластер-кластерная агрегация (рис. 1); развитие лабиринтных структур

(размер области сканирования 10×10 мкм (рис. 3, а), 3×3 мкм (рис. 3, б)); образование перколяционных сетчатых структур (размер области сканирования 4×4 мкм (рис. 4)). Практический интерес представляет сопоставление зависимостей газочувствительности образцов от выделенных структурных особенностей.

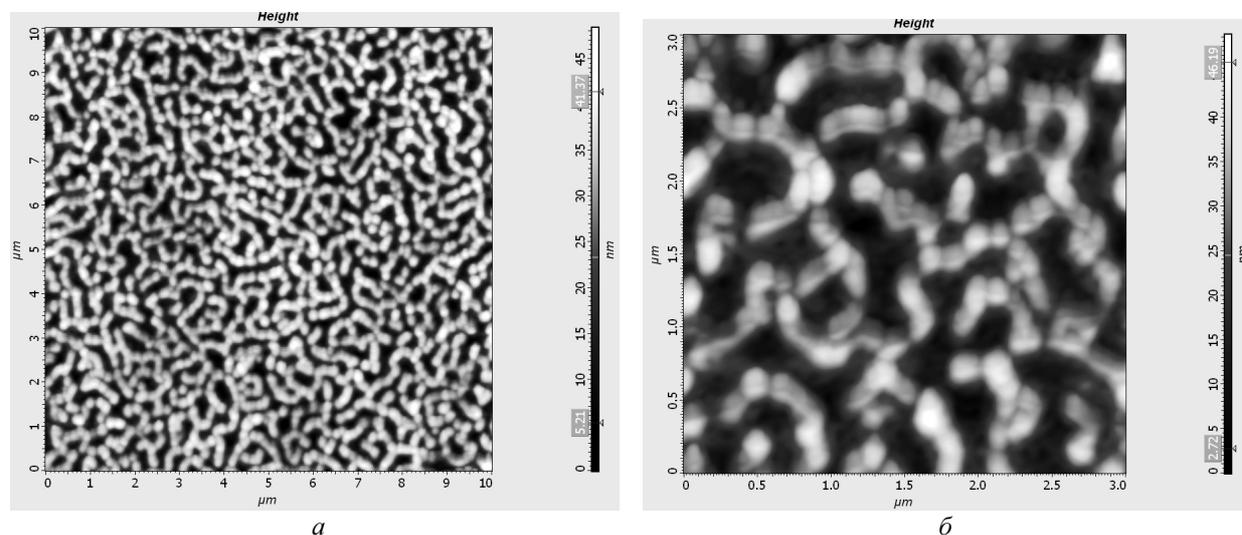


Рис. 3

Наноструктуры на основе диоксида олова, синтезированные золь-гель-методом, были исследованы на чувствительность к парам этанола и ацетона. Для снятия кривой газочувствительности полупроводниковых слоев использовалась специально созданная автоматическая измерительная установка (рис. 5).

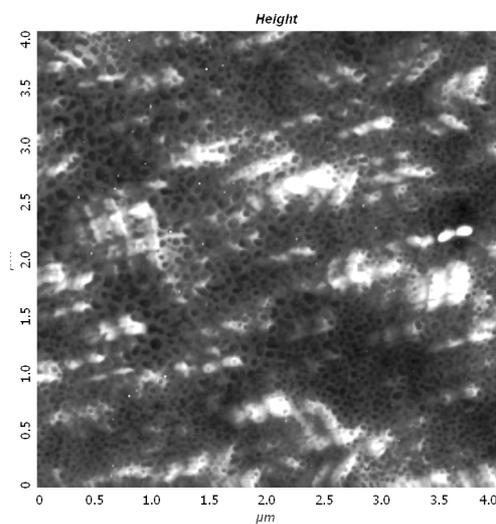


Рис. 4

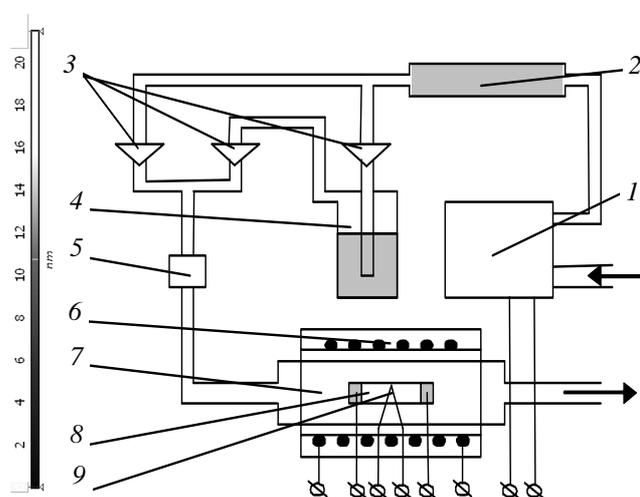


Рис. 5

Измерение газочувствительности при данной температуре заключалось в определении температуры сенсора и сопротивления сенсора (метод измерения сопротивления – двухзондовый) в воздушной атмосфере в присутствии газа-реагента (концентрация газа-реагента устанавливалась постоянной). Установка состоит из стенда для лабораторных испытаний полупроводниковых металлооксидных слоев и контрольно-измерительной системы на базе персонального компьютера. Стенд (рис. 5) построен по принципу динамического разбавления газовых потоков. Компрессор 1 нагнетает атмосферный воздух или газ-реагент в осу-

шитель 2. Сухой газ подается через ротаметр 3 в барботер 4, где при комнатной температуре насыщается парами вещества, по отношению к которому исследуется газочувствительность. Пар разбавляется до необходимой концентрации путем установления соответствующих потоков газа (эталонной газовой смеси). Вентиль 5 используется для прекращения потока эталонной газовой смеси в термостат 7, где на специальном пьедестале размещается испытуемый газочувствительный сенсор 8. Термопара 9 служит для регистрации температуры в термостате. Нагреватель 6 предназначен для поддержания необходимой температуры в термостате и, соответственно, на поверхности полупроводниковой пленки.

В рабочей камере устанавливается требуемая температура, подаётся фиксированный поток атмосферного воздуха и измеряется сопротивление активного слоя при данной температуре, затем подаётся фиксированный поток исследуемого вещества до момента стабилизации сопротивления активного слоя в парах этого вещества.

Время восстановления измеряется с момента отключения источника исследуемого вещества и удаления его паров из измерительной камеры до того момента, когда сопротивление слоя восстановится до первоначального значения (с точностью $\pm 10\%$).

При измерении газочувствительности использовались легкодоступные пары ацетона и этанола, чувствительность рассчитывалась как

$$S = \frac{R_{\text{возд}} - R_{\text{газ}}}{R_{\text{газ}}},$$

где $R_{\text{возд}}$ – сопротивление образца на воздухе; $R_{\text{газ}}$ – сопротивление образца в присутствии газа-реагента.

При исследовании газочувствительных свойств плёночных наноструктур на основе диоксида олова было выявлено, что наноструктуры, сформированные на первом (рис. 1) и втором этапах (рис. 3) эволюции фрактальных объектов, обладают очень низкой чувствительностью к восстанавливающим парам этанола и ацетона. Для синтезированных сетчатых перколяционных наноструктур (рис. 4) чувствительность к газам-реагентам возросла до 40. На

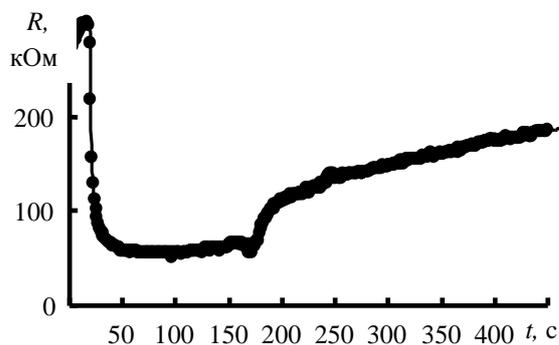


Рис. 6

рис. 6 приведено типичное изменение сопротивления сетчатого нанокompозита во время подачи импульса газа-реагента (уменьшение сопротивления в процессе детектирования газа и дальнейшее увеличение сопротивления при восстановлении). В процессе диагностирования двухмерных сетчатых наноструктур на основе диоксида олова было выявлено кратковременное (несколько секунд) anomальное поведение сопротивления полупроводниковых пленок. На вре-

менной зависимости сопротивления металлооксидного нанокompозита в присутствии детектируемого газа видны характерные особенности: возрастание сопротивления образцов примерно на 20 % на начальном этапе подачи газа в рабочую камеру и уменьшение сопротивления примерно на 5 % после окончания импульса газа-реагента (рис. 6).

Анализ выявленных аномальных явлений и учет данных электронной микроскопии, свидетельствующих о том, что структура пористых наноконпозитов, синтезированных золь-гель-методом, обладает различными размерами поперечного сечения перегородок между порами, позволили предложить следующую модель, качественно объясняющую эти особенности.

Для крупных участков между порами концентрация адсорбционных центров пропорциональна площади поверхности зерен, а количество электронов, которые могут перейти к адсорбированным на поверхности металлооксидных пленок молекулам газов-реагентов, пропорционально объему зерна. Так как концентрация адсорбированных молекул кислорода недостаточна для выравнивания положения уровня Ферми в объеме зерен с энергетическим положением акцепторного уровня адсорбированного кислорода, часть молекул восстанавливающего газа-реагента на поверхности крупных зерен, зарядится отрицательно. Как следствие, сопротивление сенсорных слоев увеличится.

Аномальное уменьшение сопротивления полупроводниковых структур после окончания импульса газа-реагента в воздушной атмосфере объясняется образованием электронов в результате реакции взаимодействия отрицательно заряженных молекул газа и нейтральных молекул кислорода. Для малых участков между порами характерно классическое уменьшение сопротивления сенсорных наноконпозитов, так как концентрация адсорбционных центров и количество электронов, имеющих в объеме полупроводникового зерна пропорциональна площади зерна. При этом уровень Ферми в металлооксидном зерне выравнивается с уровнем адсорбированного кислорода. Величина и временные характеристики аномальных эффектов зависят от вида образца и условий детектирования газов: метода и параметров изготовления, температуры рабочей поверхности сенсора и концентрации газа-реагента.

Аналитический сигнал в виде пика на временной зависимости сопротивления в присутствии дешевого восстанавливающего газа может быть положен в основу новой методики диагностики однородности перколяционных ветвей сетчатых нанообъектов. Для образцов со структурой, состоящих из малых и крупных поперечных ветвей и сечений между порами, будет наблюдаться аномальное увеличение сопротивления в начальный момент подачи импульса восстанавливающего газа-реагента. Для образцов, структура которых состоит из ветвей с близкими значениями сечений между порами, такого аномального явления наблюдаться не будет. Кроме того, данный принцип диагностирования может быть использован для создания селективных сенсоров на основе трехмерных наноструктур, в которых селективность обеспечивается особенностями аналитического отклика газочувствительности в начальные моменты измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях / И. А. Мясников, В. Я. Сухарев, Л. Ю. Куприянов, С. А. Завьялов. М.: Наука, 1991.
2. Давыдов С. Ю., Мошников В. А., Томаев В. В. Адсорбционные процессы в поликристаллических полупроводниковых сенсорах / СПбГЭТУ (ЛЭТИ). СПб., 1998.
3. Основы золь-гель-технологии наноконпозитов / А. И. Максимов, В. А. Мошников, Ю. М. Таиров, О. А. Шилова. СПб.: ООО «Техномедиа» / Элмор, 2007.
4. Фазовые и структурные превращения в наноконпозитах на основе $\text{SnO}_2 - \text{SiO}_2 - \text{In}_2\text{O}_3$ / И. Е. Грачева, А. И. Максимов, В. А. Мошников, О. Ф. Луцкая // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. ФТГиЭ. 2006. № 2. С. 40–44.

5. Суйковская Н. В. Химические методы получения тонких прозрачных пленок. Л.: Химия. Ленингр. отд-ие, 1971.

6. Мошников В. А., Шилова О. А. Золь-гель-технология наноструктурированных материалов / Нанотехнология: Физика, процессы, диагностика, приборы; Под ред. В. В. Лучинина, Ю. М. Таирова. М.: Физматлит, 2006. С. 205–249.

7. Золь-гель-технология: Учеб. пособие / В. А. Жабрев, В. А. Мошников, Ю. М. Таиров, О. А. Шилова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.

I. E. Grachova, V. A. Moshnikov

ATOMIC FORCE MICROSCOPY OF GAS SENSITIVITIES FRACTAL STRUCTURES BASED ON TIN DIOXIDE

Gas sensitive films based on tin dioxide with fractal structure were prepared by sol-gel and hydro-pyrolytic methods. Fundamental stages of fractal system evolution – diffusion-limited aggregation, cluster-cluster aggregation, formation of percolating transition and net nanostructures, were studied by atomic force microscopy. Peculiarities of gas sensitivity response in initial moment of measurement were put in basis of new method of gas sensitivity analysis.

Nanostructures, tin dioxide, sol-gel technology, hydro-pyrolytic synthesis, fractal objects, atomic force microscopy method, gas sensitivity



УДК 681.511.46

А. В. Баранов

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ОБЩНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Предложены количественные оценки (меры) общности положения для нелинейных аффинных систем со скалярным управлением. Подход к получению указанных мер базируется на использовании сингулярных разложений прямоугольной матрицы. Понятие меры общности положения опирается на классические определения указанного свойства, однако при этом не только определяет четкую границу между выполнением критерия общности положения и его невыполнением, но также учитывает степень близости системы к этой границе.

Общность положения, нелинейные аффинные системы, сингулярные разложения матриц, меры общности положения

Проблеме исследования системных свойств нелинейных динамических объектов (управляемость, общность положения, наблюдаемость, идентифицируемость, стабилизируемость, достижимость и т. д.) посвящено множество работ.

Введены самые разнообразные понятия и определения названных системных свойств как для классов непрерывных, так и дискретных математических моделей. Сформулированы различные критерии управляемости, наблюдаемости, а также условия общности положения (УОП) [1] динамических систем.

Заметим, что все эти критерии, независимо от того, к каким классам систем и задач применяются, имеют пороговый характер, давая ответ типа "да – нет": является ли система управляемой (наблюдаемой) или неуправляемой (ненаблюдаемой), выполняются ли УОП или нет и т. д. Вместе с тем всегда важны ответы на вопросы, а в каком смысле система является неуправляемой (ненаблюдаемой), что можно сделать, как следует изменить характеристики системы, чтобы эта система стала управляемой (наблюдаемой) и т. д.?

Таким образом, возникает проблема количественных оценок (мер) системных свойств объектов. Понятие меры, очевидно, складывается из представления о том, что такие свойства системы, как управляемость, общность положения, наблюдаемость и т. д., проявляются не только на грани возможности-невозможности (управлять системой, наблюдать и т. д.), но также в плане различной близости к переходу этой грани в ту или иную сторону. Работ, посвященных этой проблеме, существенно меньше.

Проблема количественных оценок системных свойств возникает и в задачах исследования общности положения нелинейных систем. Использование аналитического подхода – определение возможных управлений для объекта на основе результатов исследования общности положения – является одним из возможных направлений в процессе решения задачи синтеза динамических систем, а также выявления возможной потери общности положения для рассматриваемых объектов. При этом важнейшим является ответ на вопрос – выполняется ли в данных условиях для рассматриваемой системы критерий общности положения. Структурное соответствие динамической системы критериям общности положения еще не гарантирует устойчивой работы конкретных алгоритмов анализа и синтеза. Существенной проблемой является возможность получения ложной или неполной информации о динамике объекта. Идентификация нормально функционирующей системы может быть успешной только при достаточной информативности измерений. В разных стадиях процесса идентификации не все компоненты вектора наблюдаемых переменных эффективны. Следовательно, периодический расчет оценок общности положения и возможные коррективы размерности анализируемых моделей являются важными шагами в решении задач анализа и синтеза нелинейных систем.

Далее рассматривается подход к построению такого рода количественных оценок для анализа общности положения нелинейных объектов со скалярным управлением. Подход базируется на использовании сингулярных разложений прямоугольной матрицы [2].

Математические основания. Пусть имеем прямоугольную числовую матрицу \mathbf{K} размера $(n \times s)$, причем $s > n$. Известно [3], что всегда существует разложение матрицы \mathbf{K} следующего вида:

$$\mathbf{K} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{R}^*, \quad (1)$$

где \mathbf{P} , \mathbf{R} – унитарные матрицы, причем матрица \mathbf{P} имеет размер $(n \times n)$, матрица \mathbf{R} имеет размер $(s \times s)$, а прямоугольная матрица \mathbf{Q} размера $(n \times s)$ имеет специальную форму

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{M} \quad \mathbf{0}), \quad (2)$$

где $\mathbf{M} = \text{diag}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, а остальные элементы матрицы \mathbf{Q} равны нулю.

Заметим, что представление матрицы \mathbf{K} в виде (1) носит название сингулярного разложения этой матрицы. Элементами квадратной матрицы \mathbf{M} являются сингулярные числа матрицы \mathbf{K} , расположенные в порядке их убывания (невозрастания). Сингулярные числа матрицы \mathbf{K} определяются как арифметические значения квадратных корней из общих собственных векторов матрицы $\mathbf{K}\mathbf{K}^*$ и $\mathbf{K}^*\mathbf{K}$, где \mathbf{K}^* – матрица, сопряженная по отношению к матрице \mathbf{K} .

Столбцы матрицы \mathbf{P} образуют ортонормированный базис из собственных векторов матрицы $\mathbf{K}\mathbf{K}^*$, а столбцы матрицы \mathbf{R} – ортонормированный базис из собственных векторов матрицы $\mathbf{K}^*\mathbf{K}$. Таким образом, столбцы матриц \mathbf{P} , \mathbf{R} образуют в совокупности сингулярные базисы исходной матрицы \mathbf{K} .

Отметим, что сингулярное разложение матрицы \mathbf{K} существует всегда, какова бы ни была матрица \mathbf{K} [2]. Если матрица \mathbf{K} вещественна, то и сингулярное разложение также вещественно. В этом случае символ сопряжения "*" следует заменить символом транспонирования "T", а свойство унитарности матриц \mathbf{P} и \mathbf{R} преобразуется в свойство ортогональности.

Укажем далее, что всегда справедливо соотношение

$$\text{rank } \mathbf{K} \leq \min \{ \text{rank } \mathbf{P}, \text{rank } \mathbf{Q}, \text{rank } \mathbf{R} \}. \quad (3)$$

Поскольку в силу унитарности матриц \mathbf{P} и \mathbf{R} всегда имеем $\text{rank } \mathbf{P} = n$, $\text{rank } \mathbf{R} = s$, то из неравенства (3) следует

$$\text{rank } \mathbf{K} \leq \text{rank } \mathbf{Q}. \quad (4)$$

Однако в соответствии со структурой прямоугольной матрицы \mathbf{Q} , определяемой выражением (2), имеем

$$\text{rank } \mathbf{Q} = \text{rank } \mathbf{M}. \quad (5)$$

Таким образом, из (4) и (5) получаем

$$\text{rank } \mathbf{K} \leq \text{rank } \mathbf{M}.$$

Из последнего неравенства следует, что если выполняется условие $\text{rank } \mathbf{K} = n$, то также выполняется и условие $\text{rank } \mathbf{M} = n$. Однако условие $\text{rank } \mathbf{M} = n$ можно записать иначе:

$$\text{Cond2}(\mathbf{M}) = \mu_1 / \mu_n \neq \infty,$$

где $\text{Cond2}(\mathbf{M})$ – число обусловленности матрицы \mathbf{M} для спектральной нормы (спектральное число обусловленности). Это означает, что если матрица \mathbf{K} имеет полный ранг ($\text{rank } \mathbf{K} = n$), то минимальное сингулярное число этой матрицы не равно нулю и может служить мерой близости матрицы \mathbf{M} к вырожденной. Действительно, матрицу \mathbf{M} можно превратить в вырожденную при помощи возмущения вида $\Delta \mathbf{M} = \text{diag}(0, 0, \dots, -\mu_n)$, где μ_n – минимальное сингулярное число матрицы \mathbf{K} .

Сформулируем этот результат несколько иначе: норма возмущения, превращающего матрицу \mathbf{M} в вырожденную, равна минимальному сингулярному числу матрицы \mathbf{K} :

$$\|\Delta \mathbf{M}\| = \mu_n.$$

Введем в рассмотрение величину, обратную спектральному числу обусловленности матрицы \mathbf{M} :

$$\xi = 1 / \text{Cond2}(\mathbf{M}) = \mu_n / \mu_1. \quad (6)$$

Легко видеть, что величина ξ имеет смысл относительного возмущения и в полной мере служит мерой близости матрицы \mathbf{M} к границе вырожденности. Теоретическое относительное возмущение ξ может изменяться в пределах $0 \leq \xi \leq 1$.

При $\xi = 1$ матрица \mathbf{M} идеально обусловлена, при $\xi = 0$ – вырождена.

Относительное возмущение ξ позволяет оценить уровень возмущений элементов матрицы \mathbf{K} , которые могут приводить к понижению ее ранга. Чем меньше значение относительного возмущения ξ , тем менее устойчива матрица \mathbf{K} к возможным возмущениям ее элементов. При $\xi = 0$ $\text{rank } \mathbf{K} < n$.

Рассмотренные математические положения являются основой для разработки количественных оценок (мер) управляемости, общности положения, наблюдаемости динамических систем и для оценки информативности динамических процессов в задачах идентификации их математических моделей.

Применение таких количественных оценок позволит целенаправленно исследовать и корректировать структуру и параметры математических моделей процессов и может, в частности, служить методической базой в задачах поиска оптимальных управлений.

Количественные оценки общности положения нелинейных систем со скалярным управлением. Ранее было отмечено, что оценка общности положения и управляемости систем на основе соответствующих критериев часто является недостаточной для формирования правильного подхода к решению разнообразных задач анализа и синтеза, ибо имеет сугубо качественный характер. Всегда интересно знать, в какой мере объект является управляемым по той или иной координате или в целом, т. е. приобретает важнейшее значение вопрос о количественных оценках (мерах) общности положения и управляемости.

Рассмотрим вопросы анализа общности положения применительно к классу нелинейных (в общем случае нестационарных) систем вида

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x}) + \mathbf{B}(\mathbf{x})u, \quad (7)$$

удовлетворяющих известным условиям существования и единственности, где \mathbf{x} – вектор размерности n ; $\mathbf{A}(\mathbf{x})$, $\mathbf{B}(\mathbf{x})$ – нелинейные вектор-функции; u – скалярное управление.

Ставится задача получения количественных оценок (мер) общности положения для системы вида (7). Применение подобных количественных оценок позволит целенаправленно корректировать структуру и параметры математических моделей объектов, а также выбирать оптимальные управления. Также будет возможно исследовать случаи, которые могут привести к потере общности положения или ситуациям, близким (по количественной оценке) к потере общности положения (в частных случаях – управляемости).

Для системы произвольного порядка (n) матрица УОП будет иметь следующий вид [4]:

$$\mathbf{D}_n = [\mathbf{B}_1(\mathbf{x}) \quad \mathbf{B}_2(\mathbf{x}, u) \quad \dots \quad \mathbf{B}_n(\mathbf{x}, u)].$$

Рассматривая систему (7), нельзя ограничиться одним стационарным случаем, так как матрицы (вектор-функции) $\mathbf{A}(\mathbf{x})$ и $\mathbf{B}(\mathbf{x})$ содержат нелинейные функции, принимающие различные численные значения в зависимости от вектора состояния \mathbf{x} и заданного скалярного управления u . Для каждого набора \mathbf{x} и u на структуру матриц $\mathbf{A}(\mathbf{x})$ и $\mathbf{B}(\mathbf{x})$ никаких ограничений не накладывается.

Для набора значений \mathbf{x}_i и u_i матрица УОП будет иметь вид

$$\mathbf{D}_{n_i} = [\mathbf{B}_1(\mathbf{x}_i) \quad \mathbf{B}_2(\mathbf{x}_i, u_i) \quad \dots \quad \mathbf{B}_n(\mathbf{x}_i, u_i)], \quad (8)$$

при этом размерность матрицы (8) определяется как $\dim \mathbf{D}_{n_i} = n \times n \cdot m = n \times n$.

Для вещественных значений \mathbf{x}_i , u_i и функций в векторах $\mathbf{A}(\mathbf{x})$ и $\mathbf{B}(\mathbf{x})$, возвращающих вещественные значения на выходе после вычисления, матрица УОП (8) всегда будет вещественной, поэтому ее сингулярное разложение примет следующий вид:

$$\mathbf{D}_{n_i} = \mathbf{P}_i \cdot \mathbf{Q}_i \cdot \mathbf{R}_i^T,$$

где \mathbf{P}_i – ортогональная матрица размера $(n \times n)$, построенная из собственных векторов матрицы $\mathbf{D}_{n_i} \mathbf{D}_{n_i}^T$; \mathbf{R}_i – ортогональная матрица размера $(1 \cdot n \times 1 \cdot n) = (n \times n)$, построенная из собственных векторов матрицы $\mathbf{D}_{n_i}^T \mathbf{D}_{n_i}$.

Прямоугольная блочная матрица \mathbf{Q}_i размера $(n \times 1 \cdot n) = (n \times n)$ имеет специальную форму $\mathbf{Q}_i = (\mathbf{M}_i \ 0)$, где $\mathbf{M}_i = \text{diag}(\mu_{i_1}, \mu_{i_2}, \dots, \mu_{i_n})$, а остальные элементы матрицы \mathbf{Q}_i равны нулю.

Элементами квадратной матрицы \mathbf{M}_i являются сингулярные числа матрицы УОП \mathbf{D}_{n_i} , расположенные в порядке их убывания (невозрастания). Сингулярные числа матрицы \mathbf{D}_{n_i} определяются как арифметические значения квадратных корней из общих собственных векторов матрицы $\mathbf{D}_{n_i} \mathbf{D}_{n_i}^T$ и $\mathbf{D}_{n_i}^T \mathbf{D}_{n_i}$.

В соответствии с проведенными ранее построениями (6) величина, обратная спектральному числу обусловленности матрицы \mathbf{M}_i (т. е. отношение минимального и максимального сингулярных чисел матрицы общности положения \mathbf{D}_{n_i}):

$$\xi_i = 1/\text{Cond2}(\mathbf{M}_i) = \mu_{i_n} / \mu_{i_1}$$

может быть определена как количественная мера общности положения для системы (7) при заранее определенном наборе \mathbf{x}_i, u_i .

В рассматриваемом случае, когда управление скалярное ($u \in R^1$), матрица УОП является квадратной и, следовательно, мерой общности положения для i -го набора может служить величина, обратная спектральному числу обусловленности именно этой матрицы \mathbf{D}_{n_i} :

$$\xi_i = (\text{Cond2}(\mathbf{D}_{n_i}))^{-1} = 1/\text{Cond2}(\mathbf{D}_{n_i}).$$

Выводы. Рассмотрены количественные оценки (меры) общности положения для нелинейных аффинных систем со скалярным управлением. Подход к получению указанных мер базируется на использовании сингулярных разложений прямоугольной матрицы. Понятие меры общности положения опирается на классические определения УОП, однако при этом не только определяет четкую границу между выполнением критерия общности положения и его невыполнением, но и учитывает степень близости системы к этой границе. Применение количественных оценок позволяет целенаправленно исследовать и корректировать структуру и параметры математических моделей процессов и может, в частности, служить методической базой в задачах поиска оптимальных управлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олейников В. А. Оптимальное управление технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности. Л.: Недра, 1982.
2. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М.: Наука, 1966.
3. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ. М.: Мир, 1989.
4. Баранов А. В., Душин С. Е. Анализ условий общности положения нелинейных систем методами дифференциальной геометрии // Мехатроника, автоматизация, управление. М.: Новые технологии, 2006. № 5. С. 2–6.

The paper proposes quantitative assessments (measures) of state commonness for nonlinear affine systems with scalar control. Approach to getting the stated measures is based on the usage of singular decomposition of rectangular matrix. Concept of state commonness measure depends on the classical definitions of the mentioned property, however not only defines distinguished boundary between fulfillment of state commonness conditions and their non-fulfillment but also takes into consideration the degree of system's closeness to this boundary.

State commonness, nonlinear affine systems, singular decomposition of matrices, measures of state commonness

УДК 681.511.46

И. Ю. Никифоров

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СТОХАСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИНТЕРВАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Описаны методики и алгоритмы анализа устойчивости стохастических нелинейных систем управления с интервально-распределенными параметрами. Они основаны на использовании алгебраических форм абсолютной устойчивости положения равновесия и процессов в нелинейных системах управления. Данный подход представляется более удобным для анализа и синтеза стохастических нелинейных систем управления, чем существующие.

Интервальные распределения, стохастические системы управления, устойчивость

Применение на практике методов интервального анализа для расчета и проектирования систем управления, особенно нелинейных, в значительной степени ограничивается эффектом интервального расширения [1]. Для повышения эффективности интервальных методов и снижения исходной неопределенности целесообразно использовать статистическую информацию о характеристиках и параметрах системы, представленную в виде интервальных распределений [2]. При этом исследуемую систему следует относить к классу стохастических.

Интервальное распределение (ИР) параметра (коэффициента) представляет собой непрерывную случайную величину, заданную на определенном отрезке числовой оси \mathfrak{R} , который принято называть интервалом задания параметра. Для ИР используются следующие обозначения:

$$\langle X \rangle = \langle [\underline{x}, \bar{x}], f(x) \rangle,$$

где \underline{x} и \bar{x} – левая и правая границы ($\underline{x} \in \mathfrak{R}$, $\bar{x} \in \mathfrak{R}$), $\underline{x} \leq \bar{x}$; $f(x)$ – плотность распределения значений случайной величины X на отрезке $[\underline{x}, \bar{x}]$, причем функция $f(x)$ не меняется в процессе работы системы управления. Под интервально-распределенным полиномом (ИРП)

$\langle G(s) \rangle = \sum_{i=0}^n \langle g_i \rangle s^i$ будет пониматься полином, у которого хотя бы один коэффициент $\langle g_i \rangle$

задан в виде ИР.

Пусть характеристический ИРП системы неустойчив, т. е. для границ задания его ИР коэффициентов не выполняется теорема Харитонова [3]. Однако это не означает, что ИРП будет неустойчив при любом сочетании значений коэффициентов, взятых из интервалов задания соответствующих ИР. Поскольку коэффициенты рассматриваются как случайные величины, можно поставить задачу определения вероятности устойчивости ИРП. Другими словами, необходимо определить вероятность P таких сочетаний значений коэффициентов (из интервалов задания соответствующих ИР), при которых ИРП будет устойчивым. Следует заметить, что значение вероятности $P = 1$ означает устойчивость полинома для заданных границ изменения коэффициентов.

Для исследования вероятности устойчивости положений равновесия стохастических нелинейных систем управления (СНСУ) с ИР-параметрами можно воспользоваться достаточным частотным критерием абсолютной устойчивости В. М. Попова. Пусть модель СНСУ содержит устойчивую линейную часть с интервально-распределенной передаточной функцией

$$\langle W(s) \rangle = \frac{\sum_{j=0}^m \langle b_j \rangle s^j}{\sum_{i=0}^n \langle a_i \rangle s^i},$$

т. е. ИРП ее знаменателя всегда отвечает условиям теоремы Харитонова. Единственный нелинейный элемент имеет стационарную однозначную интервально-распределенную характеристику $\langle F(x) \rangle$, удовлетворяющую секторному условию $0 \leq \langle F(x) \rangle / x \leq k_F$, $\langle F(0) \rangle = F(0) = 0$, где k_F – положительный вещественный параметр. Тогда частотный критерий абсолютной устойчивости для рассматриваемого класса систем примет вид

$$\operatorname{Re}((1 + jq\omega) \langle W(j\omega) \rangle) + k_F^{-1} > 0,$$

где $\langle W(j\omega) \rangle = \langle W(s) \rangle|_{s=j\omega}$, q – вещественный параметр.

Критерий целесообразно представить в алгебраической форме [4]:

$$\langle G(\omega) \rangle = \sum_{l=0}^n \langle g_{2l} \rangle \omega^{2l} > 0, \quad \omega \geq 0. \quad (1)$$

Коэффициенты $\langle g_{2l} \rangle$ ИРП вычисляются с учетом ИР коэффициентов полиномов числителя и знаменателя передаточной функции линейной части системы, параметров k_F и q по следующим формулам:

$$\langle g_{2l} \rangle = \langle E_{2l} \rangle + k_F \langle L_{2l} \rangle - k_F q \langle G_{2l} \rangle, \quad l = 0, 1, \dots, n,$$

где

$$\langle E_{2l} \rangle = \langle a_l \rangle^2 + 2 \sum_{i=1}^{\min\{l, n-l\}} (-1)^i \langle a_{l-i} \rangle \langle a_{l+i} \rangle, \quad l = 0, 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$\langle L_{2l} \rangle = \sum_{i=\max\{0, 2l-m\}}^{\min\{2l, n\}} (-1)^{l+i} \langle a_i \rangle \langle b_{2l-i} \rangle, \quad l = 0, 1, \dots, p, \quad (3)$$

$$\langle G_{2l} \rangle = \sum_{i=\max\{0, 2l-m-1\}}^{\min\{2l-1, n\}} (-1)^{l+i} \langle a_i \rangle \langle b_{2l-i-1} \rangle, \quad l = 0, 1, \dots, h,$$

причем если $(-1)^{n+m} > 0$, то $p = h = (m+n)/2$; в противном случае $p = (m+n-1)/2$, $h = (m+n+1)/2$.

Таким образом, задача анализа устойчивости положения равновесия СНСУ сводится к исследованию положительности полинома $\langle G(\omega) \rangle$ относительно четных степеней ω^2 .

Для определения положительности полиномов данного вида можно воспользоваться критерием, основанным на теореме Рауса. В соответствии с ним для положительности ИРП необходимо и достаточно, чтобы в первом столбце схемы Рауса, составленной для полинома

$$\langle D(\omega) \rangle = \langle d_{2n} \rangle \omega^{2n} + \langle d_{2n-1} \rangle \omega^{2n-1} + \dots + \langle d_1 \rangle \omega + \langle d_0 \rangle, \quad \langle d_0 \rangle > 0,$$

где $\langle d_{2l} \rangle = (-1)^l \langle g_{2l} \rangle$, $\langle d_{2l-1} \rangle = 2l \langle d_{2l} \rangle$, $l = 0, 1, \dots, n$, было n перемен знака. Следовательно, задача вычисления вероятности выполнения критерия абсолютной устойчивости положения равновесия СНСУ сводится к задаче определения вероятности выполнения условия перемены знаков:

$$P = \prod_i P_i(c_i > 0) \prod_k P_k(c_k < 0),$$

где c_i, c_k – значения элементов первого столбца схемы Рауса для нечетных и четных строк соответственно.

Решение задачи предполагает изменения параметра $q \in (-\infty, \infty)$ с целью определения максимального значения $P_q = \max \{P(q)\}$. Если в результате поиска решения удастся найти такое значение q , при котором $P_q = 1$, то положение равновесия СНСУ безусловно асимптотически устойчиво «в целом».

При одновременном изменении параметров q и k_F в соответствии с условием

$$P_{qk} = \max_{\substack{q \in (-\infty, +\infty) \\ k_F \in [0, \infty)}} P(q, k_F)$$

определяется вероятность выполнения критерия абсолютной устойчивости положения равновесия СНСУ для класса ИР-характеристик нелинейного элемента.

Для СНСУ, содержащих r нелинейностей, задача сводится к вычислению вероятности устойчивости каждого из r ИРП с последующим перемножением их вероятностей. Полученное таким образом значение и будет считаться вероятностью выполнения критерия абсолютной устойчивости для данного класса СНСУ.

Для исследования вероятности устойчивости процессов в СНСУ можно воспользоваться круговым критерием [5], представленным в виде

$$\operatorname{Re}(\langle W(j\omega) \rangle) + (\beta - \alpha)^{-1} \geq 0,$$

где $0 < \alpha < \langle \partial F(x)/\partial x \rangle < \beta$.

Алгебраическая форма критерия устойчивости имеет такой же вид, как и для положения равновесия (1). При этом коэффициенты $\langle G(\omega) \rangle$ вычисляются с учетом коэффициентов ИРП числителя и знаменателя передаточной функции линейной части системы, параметров α и β по следующим формулам:

$$\langle g_{2l} \rangle = \langle E_{2l} \rangle + (\beta - \alpha) \langle L_{2l} \rangle, \quad l = 0, 1, \dots, n,$$

а также (2) и (3), причем если $(-1)^{n+m} > 0$, то $p = (m+n)/2$; в противном случае $p = (m+n-1)/2$.

Для определения вероятности положительности полиномов данного вида, устанавливающих вероятность выполнения частотного критерия абсолютной устойчивости процессов, следует воспользоваться критерием, основанным на теореме Рауса.

Если система содержит r нелинейностей, то задача сводится к получению r полиномов, вычислению их вероятности устойчивости и последующему перемножению полученных вероятностей. Это значение и будет вероятностью выполнения критерия асимптотической устойчивости процессов в целом для СНСУ. Допускается варьирование коэффициентов α и β для получения максимальной вероятности выполнения критерия.

Пример. Рассчитаем вероятность устойчивости положения равновесия СНСУ с устойчивой линейной частью $W(s) = \langle b_1 \rangle s + \langle b_0 \rangle / \langle a_2 \rangle s^2 + \langle a_1 \rangle s + \langle a_0 \rangle$. Полином (1) для этого случая будет иметь вид

$$\begin{aligned} \langle G(\omega) \rangle = & (\langle a_2 \rangle^2 - \langle a_2 \rangle \langle b_1 \rangle k q) \omega^4 + \\ & + (\langle a_1 \rangle^2 - \langle a_1 \rangle \langle b_0 \rangle - \langle a_1 \rangle \langle b_1 \rangle k + \langle a_2 \rangle \langle b_0 \rangle k - \langle a_0 \rangle \langle b_1 \rangle k q + \langle a_1 \rangle \langle b_0 \rangle k q) \omega^2 + \\ & + (\langle a_0 \rangle^2 + \langle a_0 \rangle \langle b_0 \rangle k). \end{aligned}$$

Отсюда полином

$$\langle D(\omega) \rangle = \langle g_4 \rangle \omega^4 + 4 \langle g_4 \rangle \omega^3 - \langle g_2 \rangle \omega^2 - 2 \langle g_2 \rangle \omega + \langle g_0 \rangle,$$

где $\langle g_i \rangle$ – коэффициенты $\langle G(\omega) \rangle$ при соответствующих степенях ω . Построим схему Рауса для этого полинома:

$$\begin{array}{c|ccc} \omega^4 & \langle g_4 \rangle & -\langle g_2 \rangle & \langle g_0 \rangle \\ \omega^3 & 4 \langle g_4 \rangle & -2 \langle g_2 \rangle & 0 \\ \omega^2 & \frac{-\langle g_2 \rangle}{2} & \langle g_0 \rangle & 0 \\ \omega^1 & \frac{8 \langle g_4 \rangle \langle g_0 \rangle}{\langle g_2 \rangle} & 0 & 0 \\ \omega^0 & \langle g_0 \rangle & 0 & 0 \end{array}.$$

Подставив сюда значения коэффициентов полинома $G(\omega)$, можно рассчитать вероятность устойчивости положения равновесия.

Пусть

$$W(s) = \frac{\langle [0.9, 1.1], N(x) \rangle}{\langle [0.95, 1.05], N(x) \rangle s^2 + \langle [2.9, 3.1], N(x) \rangle s + \langle [1.9, 2.1], N(x) \rangle},$$

где $N(x)$ – равномерное распределение, заданное на соответствующем интервале; $k = 7$. Подставив числовые значения и произведя необходимые расчеты, получим следующие границы интервалов для первого столбца таблицы Рауса:

ω^4	[0.90, 1.10]
ω^3	[3.61, 4.41]
ω^2	[-7.54, -5.49].
ω^1	[7.46, 16.52]
ω^0	[15.58, 20.58]

Как видно из представленных результатов, условия критерия выполняются при любом сочетании значений из интервалов; вероятность устойчивости положения равновесия 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stolfi J., Figueiredo L. H. Self-validated Numerical Methods and Applications // Sibgrafi. 1993. P. 43–87.
2. Душин С. Е., Никифоров И. Ю. Построение стохастических моделей систем управления с интервально-распределенными параметрами // Сб. докл. междунар. науч. конф. «Системный синтез и прикладная синергетика (ССПС-2006)», Пятигорск, 2006. С. 338–342.
3. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы) / Ю. М. Гусев, В. Н. Ефанов, В. Г. Крымский и др. // Техническая кибернетика. 1991. № 1. С. 3–11.
4. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления / Под. ред. А. А. Воронова и И. А. Огурка. М.: Наука, 1984.
5. Наумов. Б. Н. Теория нелинейных автоматических систем. Частотные методы. М.: Наука, 1972.

I. Yu. Nikiforov

ANALYSIS OF STOCHASTIC CONTROL SYSTEMS WITH INTERVAL DISTRIBUTED PARAMETERS STABILITY

The paper proposes methods and algorithms for calculating stability probability of stochastic nonlinear control systems with interval-distributed parameters. It is based on algebraic form for the criteria of absolute stability of equilibrium positions and processes in nonlinear control systems. This approach is likely to be more convenient for calculation and analysis.

Interval distributions, stochastic control systems, stability



УДК 004.896:62-83

В. В. Путов, Ч. А. Зунг, Ф. К. Куанг

АДАПТИВНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА С ДВУХ- И ТРЕХМАССОВЫМ НЕЛИНЕЙНЫМИ УПРУГИМИ ОБЪЕКТАМИ И НЕЙРОНЕЧЕТКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Исследуются методы построения и обучения нейронечетких регуляторов с правилами TSK для управления электромеханической следящей системой с двух- и трехмассовым нелинейными нестационарными упругими объектами. Оценивается эффективность подавления упругих колебаний в условиях изменения параметров и наличия нелинейностей в упругом объекте.

Нейронечеткое управление, параметрическое обучение, функции принадлежности, нелинейный упругий электромеханический объект, эталонная модель, адаптивное управление

Объект управления. Рассмотрим в качестве исходной следящую систему с двух- и трехмассовым нелинейным упругим электромеханическим объектом с крутильными деформациями, замкнутым обратными связями по скорости первого диска и положению (углу поворота нагрузки) [1]. В статье ставится задача подавления упругих колебаний в рассматриваемой двухконтурной электромеханической следящей системе с двух- и трехмассовым нелинейным упругим объектом средствами управления с одновременным повышением быстродействия переходных процессов, сравнимого с быстродействием жесткой системы. Будем считать, что электромагнитная постоянная времени исполнительного электропривода следящей системы намного меньше его электромеханической постоянной времени, тогда математическое описание рассматриваемой электромеханической следящей системы с двух- и трехмассовым нелинейными упругими объектами представляет собой систему дифференциальных уравнений четвертого и шестого порядка соответственно [2], [3], причем в описании учитывается влияние нелинейностей в виде зазоров в упругих связях и сухого трения.

Для подавления упругих колебаний и обеспечения заданного быстродействия переходных процессов электромеханической следящей системы в условиях неопределенности ее параметров и наличия нелинейностей вводится нейронечеткий регулятор. Среди различных типов существующих нейронечетких регуляторов наиболее эффективным, на наш взгляд, является регулятор с нечеткими правилами TSK (Takagi–Sugeno–Kang) [4]. В регу-

ляторах этого типа выполняется параметрическое обучение, т. е. настройке подлежат функции принадлежности и другие параметры в нейронечеткой сети управления, архитектура которой устанавливается предварительно на основе опыта или экспертных знаний. Рассмотрим два вида нейронечетких систем управления упругим электромеханическим объектом: с эталонной моделью и с обратной связью по состоянию объекта и его производной [2].

Нейронечеткое управление с эталонной моделью. Для решения задачи подавления упругих колебаний и обеспечения заданного быстродействия переходных процессов в качестве эталонной модели выбирается замкнутая система с модальным управлением. Рассматриваемая структура может быть реализована либо путем непосредственного измерения всех переменных состояния объекта, либо, если измерению доступны только некоторые переменные (в большинстве случаев это первая скорость ω_1 и положение нагрузки φ), для осуществления управления используются асимптотические оценки переменных, вырабатываемые, например, наблюдателем состояния.

Обучение параметров нейронечеткого регулятора с правилами TSK и эталонной моделью предлагается осуществлять на основе обучающей адаптивной системы упругого объекта с так называемой сигнальной настройкой, описанной в [5].

В Matlab – Simulink построена программа предлагаемого адаптивного обучения нейронечеткого регулятора с правилами TSK. Данные для обучения получены на входе и на выходе адаптивного регулятора с сигнальной настройкой в процессе его работы с разными задающими воздействиями и с изменением параметров объекта. В работе проведено моделирование нейронечеткой системы управления двух- и трехмассовым упругим электромеханическим объектом с наблюдателем состояния и с полностью измеряемым упругим объектом (без наблюдателя). Пример результатов исследования эффективности работы адаптивной нейронечеткой системы управления (ННСУ) при изменении параметров объекта представлен на рис. 1.

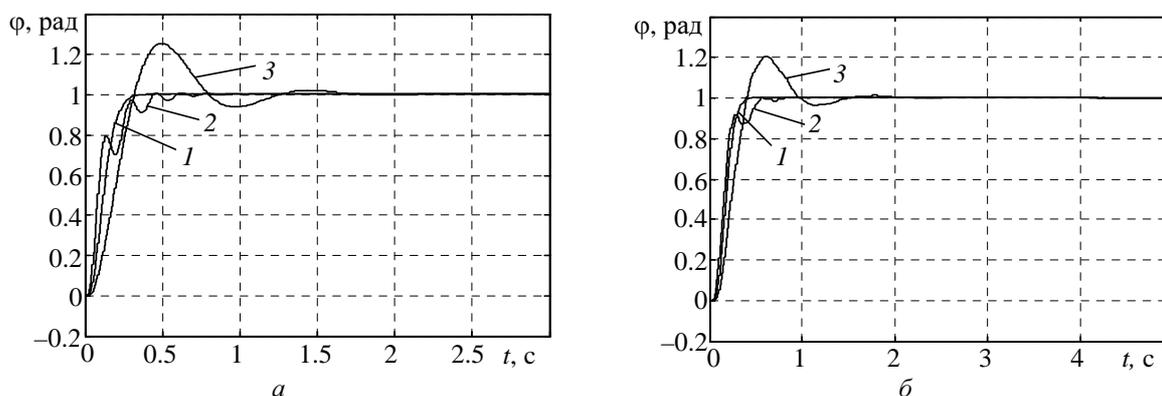


Рис. 1

На рис. 1, а показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе ННСУ с двухмассовым объектом с наблюдателем состояния и при изменении коэффициента упругости p , где кривая 1 – $p = p_0$; кривая 2 – $p = 3p_0$; кривая 3 – $p = p_0/3$. На рис. 1, б показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки при работе ННСУ с трехмассовым объектом с наблюдателем состояния и при изменении коэффициента упругости второй упругой связи p_2 , где кривая 1 – $p_2 = p_{02}$; кривая 2 – $p_2 = 3p_{02}$; кривая 3 – $p_2 = p_{02}/3$.

Из рис. 1 видно, что при девятикратном изменении коэффициента упругости работоспособность нейронечеткой системы управления двух- и трехмассовым нелинейными упругими объектами с наблюдателем состояния сохраняется при удовлетворительном качестве переходных процессов в задаче подавления упругих колебаний и обеспечения заданного быстродействия объекта.

Нейронечеткое управление с обратными связями по переменным состояниям и их производным. Как установлено опытным путем, для обучения рассматриваемого в этом подразделе нейронечеткого регулятора не нужны все переменные состояния и все их производные. В качестве входных сигналов для данного нейронечеткого регулятора в случае двухмассового упругого объекта были выбраны угол поворота нагрузки, угловая скорость второго диска и ее производная, а в случае трехмассового упругого объекта – угол поворота нагрузки, угловая скорость третьего диска и ее производная, угловая скорость второго диска и ее производная. В этой структуре предлагается использовать для обучения модальное управление электромеханическим объектом по программе обучения, также построенной в Matlab – Simulink. Данные для обучения получены в процессе работы модального регулятора с линеаризованным объектом и с разными задающими воздействиями. Параметры нейронечеткого регулятора, полученные после обучения, включены в программу моделирования, и приводятся результаты исследования эффективности работы нейронечеткого регулятора при изменении параметров объекта, пример которых представлен на рис. 2.

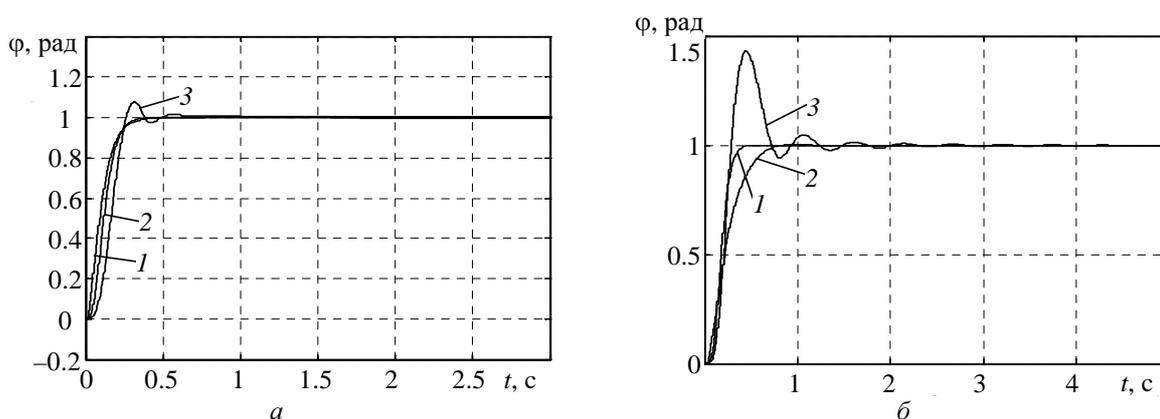


Рис. 2

На рис. 2, а показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки рассматриваемой системы управления двухмассовым объектом при изменении коэффициента упругости p , где кривая 1 – $p = p_0$; кривая 2 – $p = 10p_0$; кривая 3 – $p = p_0/5$. На рис. 2, б показаны графики переходных процессов угла поворота нагрузки рассматриваемой системы управления трехмассовым объектом при изменении коэффициента упругости второй упругой связи p_2 , где кривая 1 – $p_2 = p_{02}$; кривая 2 – $p_2 = 5p_{02}$; кривая 3 – $p_2 = p_{02}/5$.

Из рис. 2 видно, что при пятидесятикратном изменении коэффициента упругости в случае двухмассового объекта и при двадцатипятикратном изменении коэффициента упругости в случае трехмассового объекта работоспособность нейронечеткой системы управления с обратными связями по переменным состояниям и их производным сохраняется с удовлетворительным качеством переходных процессов в задаче подавления упругих колебаний и обеспечения заданного быстродействия объекта.

Из результатов исследования моделированием можно сделать следующие выводы:

1. В силу эвристичности нейронечетких систем приобретаемые ими адаптивные свойства в процессе обучения их с помощью аналитических систем в рассматриваемых областях функционирования могут даже превосходить адаптивные свойства самих обучающих систем.

2. Нейронечеткие адаптивные системы являются, в силу их построения, более простыми, чем обучающие аналитические адаптивные системы. Они требуют при их микроконтроллерной реализации гораздо меньших вычислительных ресурсов, чем последние, а этап их отладки заканчивается обучением.

3. Нейронечеткая система управления двух- и трехмассовым упругими электромеханическими объектами с эталонной моделью и действительными переменными состояниями объекта может справиться с поставленной задачей при большом диапазоне изменений параметров упругого объекта до 25–50 крат. Однако для этого требуется непосредственное измерение всех переменных состояний объекта, и это представляется в некоторых случаях невозможным. При работе рассматриваемой системы с наблюдателем состояний диапазон изменений параметров объекта, при котором система эффективно справляется с задачей управления, уменьшается до 6–9 крат. Эта система применима для большинства упругих электромеханических объектов, где измеряется только скорость первого диска (скорость исполнительного двигателя).

4. Нейронечеткая система с обратными связями по переменным состояниям и их производным для управления двух- и трехмассовым упругими электромеханическими объектами может обеспечить подавление упругих колебаний и заданное быстродействие также в достаточно широком диапазоне изменений параметров объекта до 25–50 крат, однако эта структура может применена только для класса объектов, в которых возможно непосредственное измерение скорости исполнительного механизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путов В. В. Адаптивное и модальное управление механическими объектами с упругими деформациями: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.
2. Путов В. В., Зунг Ч. А. Построение и обучение на основе аналитических алгоритмов нейронечетких систем управления упругими электромеханическими объектами // Мат. XVIII всерос. научн.-техн. конф. «Экстремальная робототехника», 10–11 апреля 2007 г. СПб.: ЦНИИ РТК, 2007.
3. Нейронечеткая система управления трехмассовыми нелинейными упругими электромеханическими объектами / В. В. Путов, В. В. Лебедев, Ч. А. Зунг и др. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Автоматизация и управление. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.
4. Lin Chin-Teng, Lee C. S. George. Neural Fuzzy Systems – A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems. NJ.: Prentice-Hall International, Inc., 1996.
5. Путов В. В. Адаптивное управление динамическими объектами: беспоисковые системы с эталонными моделями: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001.

V. V. Putov, T. A. Dung, P. K. Quang

ADAPTIVE ELECTROMECHANICAL WATCHING (KEEPING UP) SYSTEM WITH TWO- AND THREE-MASS NONLINEAR ELASTIC OBJECTS AND NEURO-FUZZY CONTROL

The methods of construction and learning of neuro-fuzzy controllers with TSK rules for control of electromechanical watching (keeping up) system with two- and three-mass nonlinear time-varying elastic object are researched. The efficiency of elastic oscillations suppression is estimated under conditions of parametric variation and availability of some nonlinearities in elastic object.

Neuro-fuzzy control, parameter learning, membership functions, nonlinear elastic electromechanical object, etalon model, adaptive control

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ ОРГАНАМИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДНА

Анализируются соотношения между необходимыми значениями управляющих воздействий и силами, создаваемыми исполнительными органами.

Динамическое позиционирование

В последнее время в связи с разработкой полезных ископаемых на морском дне большее внимание уделяется стабилизации положения судов относительно неподвижных объектов, или динамическому позиционированию. Примером ситуации, соответствующей содержанию статьи, является швартовка судна обеспечения к буровой платформе [1], [2].

Одним из факторов, определяющих сложность динамического позиционирования, является то, что количество параметров органов управления обычно превышает количество уравнений, описывающих статику твердого тела на плоскости. Следовательно, задача динамического позиционирования в первоначальной постановке неоднозначна. Одним из способов преодоления неоднозначности является постановка оптимизационной задачи, при решении которой требуется не только обеспечить заданные управляющие воздействия, но и минимизировать некоторый показатель качества. Обычно в качестве критерия оптимальности используется величина энергии, расходуемой органами управления. Следует отметить, что при постановке оптимизационной задачи приходится учитывать ограничения в виде неравенств и часто встречающуюся нелинейность уравнений статики. В качестве примеров можно привести невозможность перекладки руля больше чем на 35° и ограничение на максимальное значение вектора силы, создаваемой поворотной рулевой колонкой. Приведенные факторы затрудняют решение задачи аналитическим способом. Применение поисковых методов осложняется необходимостью проверки существования локальных экстремумов и настройки методов поиска с целью различения ситуаций нахождения экстремума и завершения поиска по техническим причинам.

В качестве одного из методов преодоления отмеченных сложностей в настоящей статье рассматривается анализ уравнений статики судна с целью определения допустимых областей в пространстве параметров органов управления. Предполагается, что построение допустимых областей позволит существенно повысить эффективность поисковой оптимизации за счет сужения пространства поиска и приведения задачи к более наглядному виду. Примером может служить определение допустимых областей для судна, управляемого главной энергетической установкой, кормовым рулем и поворотным движителем, расположенным в носовой части. Схема расположения органов управления показана на рис. 1.

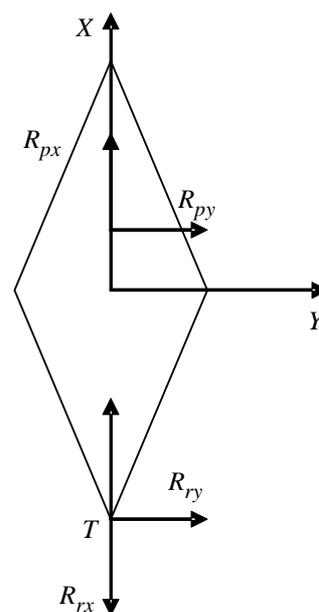


Рис. 1

Соотношения, определяющие связь между силами, создаваемыми органами управления, и необходимыми управляющими воздействиями, могут быть записаны в следующем виде:

$$T + R_{px} - R_{rx} = X ; \quad (1)$$

$$R_{py} + R_{ry} = Y ; \quad (2)$$

$$-R_{py}L_p + R_{ry}L_r = M , \quad (3)$$

где T – сила упора винтов; R_{px} – продольная сила, создаваемая подруливающим устройством; R_{rx} – продольная сила, создаваемая рулем; X – требуемое управляющее воздействие по продольной оси; R_{py} – поперечная сила, создаваемая подруливающим устройством; R_{ry} – поперечная сила, создаваемая рулем; Y – требуемое управляющее воздействие по поперечной оси; L_p – плечо поперечной силы подруливающего устройства; L_r – плечо поперечной силы руля; M – требуемый управляющий момент вокруг вертикальной оси.

Обозначения на рис. 1 соответствуют обозначениям для выражений (1)–(3).

Для получения соотношений, позволяющих сформулировать требования к приводам управляющих органов, можно переписать выражения (2) и (3) таким образом:

$$R_{py} = YL_r - M / L_r + L_p ; \quad (4)$$

$$R_{ry} = YL_p + M / L_r + L_p . \quad (5)$$

Выражение (4) можно считать окончательным, поскольку оно показывает, что поперечная сила подруливающего устройства целиком определяется кинематическими параметрами судна и требуемыми управляющими воздействиями, и его можно использовать при расчете системы управления приводом. Выражение (5) нуждается в детализации, так как при формировании требований к приводу руля удобнее оперировать не силой, а углом перекладки.

Предположение о пропорциональности поперечной силы, создаваемой рулем, упору винта и углу перекладки [2] позволяет записать выражение (5) в следующем виде:

$$\delta = YL_p + M / (L_r + L_p) K_y T , \quad (6)$$

где δ – угол перекладки руля; K_y – коэффициент пропорциональности.

Полученное выражение показывает, что для обеспечения требуемых управляющих воздействий управление рулем и упором винтов должно быть скоординировано.

Для выяснения координации между перекладкой руля, упором винта и продольной силой от подруливающего устройства и в предположении, что продольная сила на руле пропорциональна упору винта и модулю угла перекладки руля, можно преобразовать выражение (1) к виду

$$T + R_{px} - K_x T |\delta| = X .$$

Принятые ранее предположения о пропорциональности поперечной силы на руле упору винта являются слишком грубыми при отрицательных значениях упора винта, поэтому в рамках настоящей статьи исследования будут выполняться в предположении о работе главной энергетической установки в режиме переднего хода.

В этом случае оказывается возможным получить достаточно простое соотношение между упором винта, продольной силой от подруливающего устройства и заданными значениями управляющих сил и момента:

$$T + R_{px} = X + K_x |YL_p + M| / K_y (L_r + L_p). \quad (7)$$

Очевидно, что соотношения (4), (6) и (7) не позволяют однозначно определить параметры исполнительных органов. Однако они позволяют получить наглядное представление областей, в которых исполнительные органы могут обеспечить создание требуемых значений управляющих сил и момента.

Во-первых, соотношение (4) показывает, что требуемые силы и момент не могут быть реализованы, если правая часть (4) больше максимального значения упора, создаваемого подруливающим устройством.

Во-вторых, соотношения (4), (6) и (7) позволяют получить графическую интерпретацию допустимых областей, которая показана в координатах T , R_{px} на рис. 2.

На этом рисунке введены следующие обозначения: 1–5 – семейство прямых, соответствующее выражению (7) для некоторых комбинаций заданных сил и момента; 6 – левая допустимая граница величины упора винта, связанная с максимально допустимым углом перекладки руля в соответствии с (6); 7 – правая допустимая граница величины упора винта, определяемая возможностями главной энергетической установки; 8, 9 – верхняя и нижняя допустимые границы продольной силы от подруливающего устройства, которые вычисляются в соответствии с (4) при учете связи между максимальными значениями продольной и поперечной составляющими силы от подруливающего устройства.

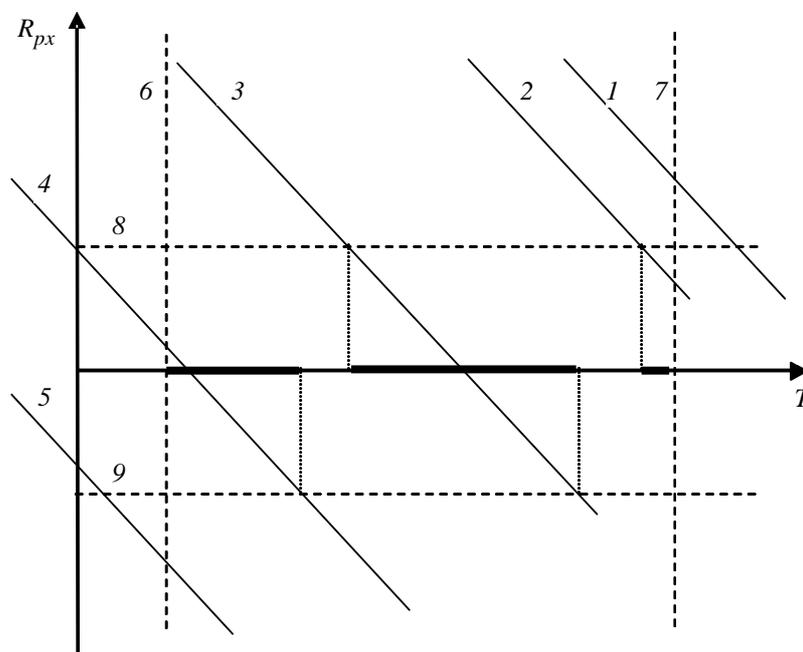


Рис. 2

Из рис. 2 следует, что комбинации требуемых управляющих воздействий, соответствующие прямым 1 и 5, не могут быть обеспечены имеющимися в распоряжении органами управления. Создание комбинации управляющих воздействий, соответствующей прямой 2, ограничивается возможностями подруливающего устройства и главной энергетической

установки. Реализация управляющих воздействий, соответствующих прямой 3, ограничивается только возможностями подруливающего устройства, а управляющих воздействий, соответствующих прямой 4, – максимально допустимым углом перекладки руля и возможностями подруливающего устройства.

Выбор конкретных значений параметров исполнительных органов из допустимых областей требует дополнительных исследований с привлечением информации о взаимных предпочтениях между величинами упора винта, угла перекладки руля и продольной силы от подруливающего устройства.

Приведенные в статье соотношения позволяют сделать следующие выводы:

1. Для судна, имеющего заданную конфигурацию исполнительных органов, определены способы построения допустимых областей параметров исполнительных органов, обеспечивающих формирование заданных управляющих воздействий, что позволит более эффективно решать оптимизационные задачи выбора конкретных значений этих параметров.

2. Существенным недостатком рассмотренной конфигурации исполнительных органов является использование кормового руля, поскольку это приводит к необходимости работы винтов и подруливающего устройства в режиме компенсации продольных сил. Необходимость в режиме компенсации отпадает при использовании вместо руля исполнительного органа, работа которого не зависит от упора винта, например крыльчатого движителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукомский Ю. А., Корчанов В. М. Управление морскими подвижными объектами: Учебник. СПб.: Элмор, 1996.
2. Петров Ю. П., Червяков В. В. Системы стабилизации буровых судов. Л.: Судостроение, 1985.
3. Справочник по теории корабля: В 3 т. Т. 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с гидродинамическими принципами поддержания / Под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985.

V. M. Ambrosovsky, A. S. Vetchinkin, V. A. Zuev

DISTRIBUTION OF CONTROL ACTIONS AMONG THE THRUSTERS WHEN SOLVING THE TASK OF DYNAMIC SHIP POSITIONING

The correlation between required magnitudes of control actions and forces produced by the thrusters are being analyzed.

Dynamic ship positioning



УДК 621.372.8

*А. И. Максимов, И. В. Позняк, А. Ю. Печенков,
А. Н. Шатунов, В. В. Кичигин*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКАЛКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАСПЛАВА СИСТЕМЫ $Al_2O_3 - ZrO_2$

Представлены результаты исследований образцов, полученных из расплава системы $Al_2O_3 - ZrO_2$. На основе решения тепловой задачи получена минимальная скорость закалки расплава, обеспечивающая субмикронную гетерогенную структуру материала.

Мелкодисперсная структура, оксидный расплав, закалка, индукционная плавка

Материалы на основе оксидной керамики нашли широкое распространение в промышленности, благодаря таким характеристикам как: твердость, длительный срок службы, жаропрочность и химическая стабильность. Керамика применяется при производстве подшипников, деталей газотурбинных двигателей и в качестве биокерамики. Наиболее часто используется материал на основе оксида алюминия и оксида циркония.

В настоящее время проводятся исследования, направленные на отработку технологии синтеза материала на основе оксида алюминия и оксида циркония с субмикронной структурой. Материалы с такой структурой обладают более высокой твердостью. Возможность получения этих материалов выявлена в результате изучения фазовой диаграммы системы $Al_2O_3 - ZrO_2$ (рис. 1).

Исследование диаграммы показало существование области фазового разделения (ликвации) в расплавах данной системы (ограниченной линиями L1 и L2) [1]. Для определения структуры, получаемой при фиксировании расплава путем острой закалки, проведены плавки и отобраны пробы из расплава. Для фиксирования субмикронной структуры расплава острой закалкой необходимо знать минимальную скорость охлаждения расплава.

Расплав получали в индукционной печи с холодным тиглем (ИПХТ), входящей в состав экспериментального стенда, предназначенного для исследования электрических и теплофизических свойств высокотемпературных оксидных расплавов [2]. Используемая на стенде технология плавки оксидных материалов совмещает незагрязняющий индукционный метод нагрева с незагрязняющим способом плавки в гарнисаже и не имеет принципиальных ограничений по температуре расплава [3]. Процедура опыта заключалась в формировании ванны расплава, образованной из порошков индивидуальных оксидов Al_2O_3 и ZrO_2 , и повышении темпе-

ратуры расплава до 2500 °С. После достижения стационарного состояния плавки, фиксировавшегося по неизменности тепловых и электрических параметров индукционной системы, отбиралась штанговая проба. Затем температура расплава постепенно снижалась на 100...150 °С и вновь отбиралась штанговая проба. Снижение температуры и отбор проб проводили до тех пор, пока зеркало ванны расплава не покрывалось сплошной коркой [4].

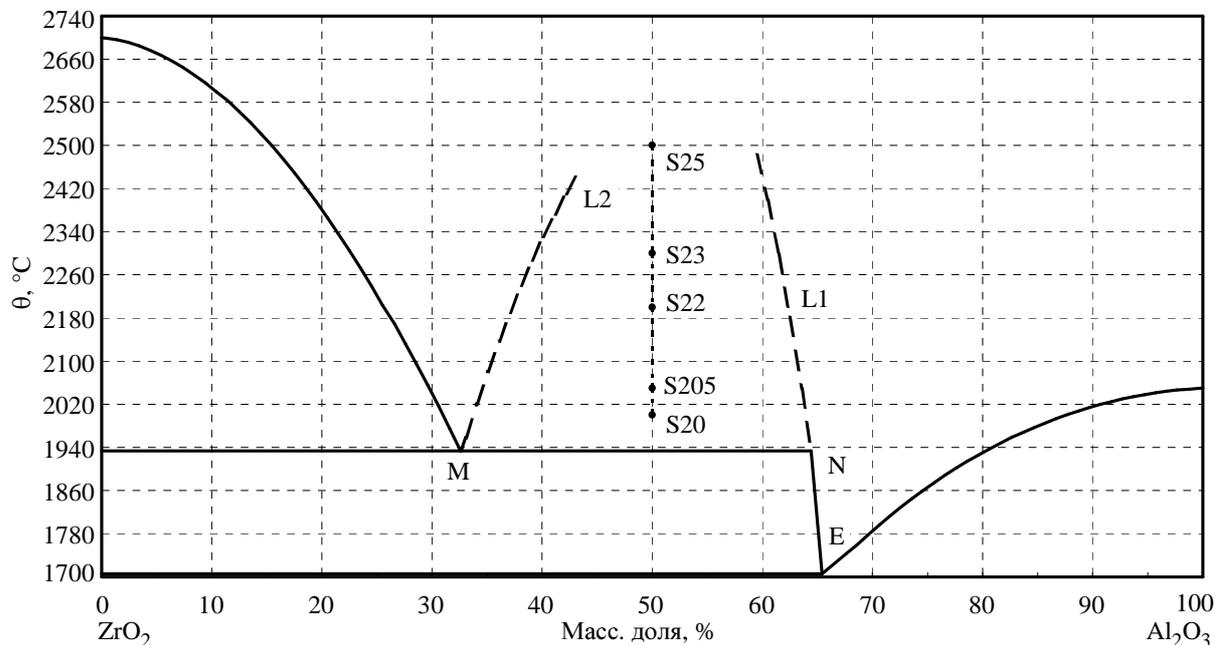


Рис. 1

При проведении эксперимента были отобраны пять проб расплава (S25...S20), соответствующие различным температурным состояниям ванны (рис. 1). На рис. 2 представлен общий вид штанговых проб расплава. На рис. 3 приведена микроструктура штанговой пробы расплава, находящегося при температуре на зеркале 2300 °С. Остальные штанговые пробы по морфологии и составу фаз аналогичны представленным на этом рисунке.

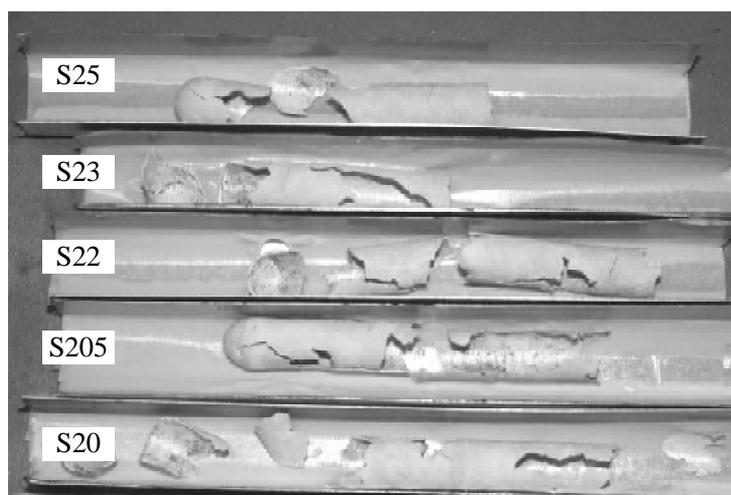


Рис. 2

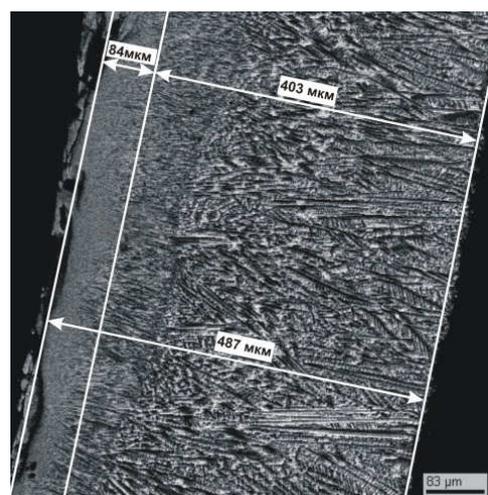


Рис. 3

Закаленные образцы и закристаллизованный слиток, полученные в ходе плавления на установке ИПХТ, для определения фазового и химического состава были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской спектроскопии рас-

сеяния (scanning electron microscope/energy dispersive X-ray – SEM/EDX анализ). В результате анализа определили толщину закаленного слоя в образцах, а также процентное содержание оксидов в закаленном и не закаленном слоях. Штанговая проба состоит из двух зон (рис. 3). Первая зона около поверхности медной штанги состоит из мелкодисперсной фазы, образовавшейся в результате быстрого охлаждения (неравновесная кристаллизация). Вторая зона расплава соответствует равновесной кристаллизации расплава, при которой кристаллы вырастают до большего размера.

По итогам анализа штанговых проб рассчитывали скорости охлаждения образцов. Для расчета скоростей охлаждения проб расплава моделировались температурные поля на основе уравнения теплопроводности:

$$\begin{cases} \lambda(\theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = c_p(\theta) \gamma(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x}; \\ \theta_{\text{нач}} = \theta_0; \\ \theta_{\text{гр}} = 2500 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{cases}$$

где γ – плотность материала, c_p – удельная теплоемкость, λ – теплопроводность.

В качестве начальных и граничных условий были заданы: температура штанги в начальный момент $\theta_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, и температура расплава в момент, предшествующий отбору пробы, $\theta_{\text{гр}} = 2500 \dots 2000 \text{ } ^\circ\text{C}$ соответственно. Расчетная схема представлена на рис. 4, где Mat_1 – штанга (медь), Mat_2 – воздух, Mat_3 – закаленный слой, Mat_4 – незакаленный слой.

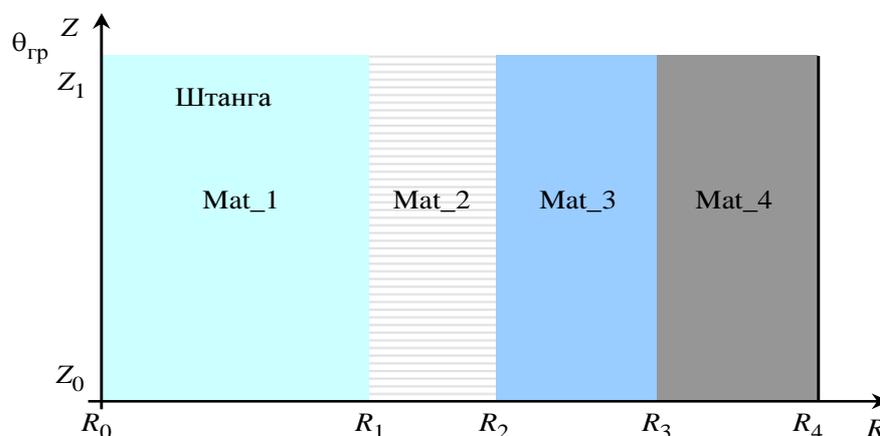


Рис. 4

При рассмотрении штанговых проб видно разделение на кристаллы Al_2O_3 , ориентированные перпендикулярно поверхности медного стержня штанги, поэтому теплопроводностью ZrO_2 в расчете пренебрегли. Плотность и теплоемкость слоев были рассчитаны на основе аддитивности свойств простых оксидных материалов.

Для определения минимальной скорости охлаждения расплава, при которой будет происходить закалка, необходимо знать распределение температурного поля на каждом временном шаге. Рассчитав температуру на границе закаленного слоя в каждый момент времени, определили скорость охлаждения закаленного слоя. Исходные данные и результаты расчета приведены в таблице.

Номер пробы	Толщина закаленного слоя, мкм	Скорость охлаждения, °C/с	Толщина незакаленного слоя, мкм	Температура зеркала расплава, °C
S25	92.65	8510	243.83	2500
S23	84.00	5720	402.78	2300
S22	79.00	8690	215.45	2200
S205	77.60	5760	398.28	2050
S20	71.78	4440	743.20	2000

В результате исследований определена скорость закалки расплава, обеспечивающая получение материала с субмикронной гетерогенной структурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Monotectic crystallization of melts in the $ZrO_2-Al_2O_3$ system / Yu. P. Udalov, D. V. Grishchenko, Yu. B. Petrov et. al. // Glass Physics and Chemistry. 2006. Vol. 32, № 4. P. 479–485.
2. Печенков А. Ю., Позняк И. В., Шатунов А. Н. Индукционная печь с холодным тиглем как инструмент для научных исследований // 2-я междунар. науч.-техн. конф. «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» (ЭЭЭ-2005), НГТУ, 25–26 окт. 2005 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. С. 203–206.
3. Петров Ю. Б. Индукционная плавка окислов. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 104 с.
4. Монотектическая кристаллизация расплавов системы $ZrO_2-Al_2O_3$ / Ю. П. Удалов, Д. В. Грищенко, Ю. Б. Петров и др. // Физика и химия стекла. 2006. Т. 32, № 4. С. 479–485.

A. I. Maksimov, I. V. Pozniak, A. Yu. Pechenkov, A. N. Shatunov, V. V. Kichigin

INVESTIGATION OF $Al_2O_3 - ZrO_2$ MELT QUENCHING

In the paper are presented investigation results of simples wich was recieved from the system $Al_2O_3 - ZrO_2$ melt. On the base of thermal problem solution was determined minimal melt velocity quenching with providing of heterogeneous nanostructure of the simples material.

Fine disperse, oxide melt, quenching, induction melting

УДК 621.365.5

А. М. Любомиров, Я. М. Любомиров, С. С. Иохина

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Исследовано влияние состояния системы водяного охлаждения на срок эксплуатации электротехнологической установки.

Электротехнологическая установка, система водяного охлаждения, индукционная печь, холодный тигель

Современные электротехнологии используют широкий спектр установок для индукционного нагрева и плавления различных материалов. При проектировании таких установок всегда выполняется расчет системы водяного охлаждения. Температура воды на входе в систему охлаждения принимается 15...20 °C, чтобы исключить выделение атмосферной влаги на токоведущих частях установки. На выходе температура воды не должна быть выше 50...55 °C, так как при более высокой температуре соли, растворенные в воде, будут выпадать в осадок и засорять систему охлаждения, инициируя аварию [1], [2].

Если суммарная мощность электротехнологического оборудования велика, то на предприятии создается замкнутая система водоснабжения, включающая градирню. Индукционные плавильные установки с холодными тиглями (ИПХТ), в силу своей специфи-

ки, могут снабжаться аварийной системой водоснабжения, которая позволяет предотвратить аварию и сохранить холодный тигель с оксидным расплавом, например в случае резкого снижении давления воды в заводской магистрали [3].

Важнейшей областью применения ИПХТ являются технологии остекловывания радиоактивных отходов [4]. В силу специфики таких технологий, из всего комплекса электротехнологического оборудования, входящего в установку, индукционная печь с холодным тиглем должна обслуживаться дистанционно. При этом печь ИПХТ должна работать без аварий и иметь максимально возможный срок эксплуатации.

Если исключить ситуации, связанные с перебоями в электропитании и подаче охлаждающей воды, то остается один фактор, влияющий на эксплуатацию электротехнологической установки, заключающийся в оседании на стенках системы водяного охлаждения веществ, содержащихся в охлаждающей воде. Применительно к печам ИПХТ эта проблема не исследована.

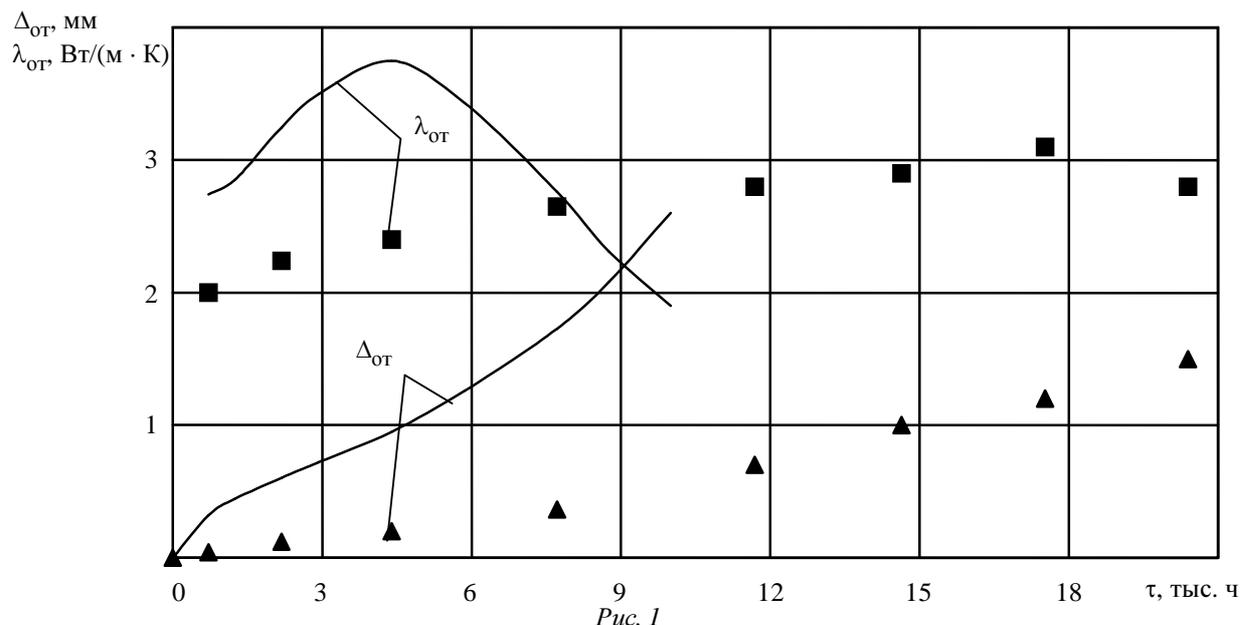
В комплекс контрольно-измерительной аппаратуры современных электротехнологических установок входят датчики давления, протока и температуры охлаждающей воды. Однако эти датчики могут выйти из строя или передавать ложную информацию из-за загрязнения веществами, содержащимися в охлаждающей воде.

С практической точки зрения интерес представляет оценка толщины слоя отложений в системе водяного охлаждения, при котором может произойти авария, и время формирования такого слоя. Эти параметры можно определить, если известны скорость роста слоя отложений, их химический состав и теплофизические свойства.

Отложения в системах охлаждения различного промышленного оборудования называют накипью, которая состоит преимущественно из CaCO_3 [5]. Изучение этого вопроса показало, что отложения в системах охлаждения электротехнологического оборудования могут иметь другую природу и другой химический состав. Причина связана с коррозией металла градирен и трубопроводов. Анализ воды из ванны промышленной градирни, по данным работы [6], показал ее состав: рН – 8.3; взвешенные вещества – 101.6 мг/л; сухой остаток – 3943.6 мг/л. При этом химический состав отложений в системах охлаждения промышленного оборудования оказался следующий, в процентах: 73.6 – Fe_2O_3 ; 3.64 – Al_2O_3 ; 1.72 – SiO_2 ; 0.06 – P_2O_5 и др. Следует отметить, что охлаждающая вода должна соответствовать определенным требованиям: рН – 5...7.5; взвешенные вещества – до 20 мг/л; минеральные примеси – до 84 мг/л [7].

Различие в требуемом и реальном качестве охлаждающей воды побудило провести специальные исследования. Объектом исследований стала промышленная индукционная установка. В процессе исследований периодически измеряли перепад давления воды в системе охлаждения, расход воды, температуру воды на входе и выходе. Толщину слоя и коэффициент теплопроводности отложений определяли при обработке полученных данных в предположении, что толщина и скорость роста слоя отложений не меняются по длине системы охлаждения. Это позволило определить скорость увеличения слоя отложений $\Delta_{\text{от}}$ и изменение их эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{от}}$.

На рис. 1 представлены результаты исследований в виде зависимостей изменения во времени значений $\lambda_{\text{от}}$ и $\Delta_{\text{от}}$. Значками в виде квадратов и треугольников (рис. 1) отмечены экспериментальные результаты проведенных исследований, а сплошные линии являются результатами, полученными в работе [6].



Анализ результатов показывает, что толщина слоя отложений увеличивается практически линейно во времени, а зависимость эффективного коэффициента теплопроводности имеет максимум. Последнее можно объяснить тем, что в начальный период процесс увеличения слоя отложений происходит с высыханием и уплотнением, и эти слои будут содержать больше оксида железа, что и обеспечит увеличение эффективного коэффициента теплопроводности отложений. Когда слой отложений достигает толщины, близкой к 1 мм, то этот процесс прекращается. Следующие слои отложений имеют монотонно возрастающее содержание влаги или гидроксида железа, чем и можно объяснить снижение эффективного коэффициента теплопроводности.

Химический анализ показал, что доля в отложениях Fe_2O_3 составляет 64.2 %, что согласуется с данными работы [6], а содержание в воде сухого остатка было 921.3 мг/л. Микроскопическим анализом была выявлена слоистая структура отложений (рис. 2). Основываясь на результатах исследований и данных работы [6], можно сделать вывод, что



Рис. 2

скорость роста слоя отложений пропорциональна содержанию сухого остатка в оборотной охлаждающей воде. Оседание отложений происходит неравномерно по периметру трубки, омываемому охлаждающей водой (рис. 3).

Опасения вызывают системы охлаждения, выполняемые из трубок относительно малого диаметра, потому что даже при малой толщине слоя отложений площадь поперечного сечения водяного канала уменьшится значительно, например при толщине отложений 0.6 мм в трубке с внутренним диаметром 7 мм площадь сечения канала уменьшится почти в 1.5 раза. Из медных трубок круглого и прямоугольного сечений изготавливают компоненты электротехнологических установок, индукторы, элементы схем высокочастотных генераторов, а также холодные тигли печей ИПХТ. В некоторых случаях в установках для переработки опасных промышленных или радиоактивных отходов, холодные тигли выполняют из трубок, изготовленных из нержавеющей стали.

На основании результатов исследований был оценен срок эксплуатации холодного тигля печи ИПХТ. Холодный тигель с внутренним диаметром 0.1 м и двумя параллельными ветвями охлаждения имел 14 U-образных секций из медной трубки диаметром $d_{\text{тр}} = 1$ см и толщиной стенки 1.5 мм. Длина одной ветви охлаждения составляла 5.6 м. Мощность тепловых потерь, отводимая от тигля водой принималась равной 20 кВт, а температура и давление охлаждающей воды на входе в систему охлаждения тигля соответствовали $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $2 \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$. Задавались различные толщины слоя отложений, при этом определялся расход воды, число Рейнольдса, перепад температур воды между выходом и входом системы охлаждения. Аналогичный расчет был выполнен для тигля, но с секциями из трубки $d_{\text{тр}} = 1.2$ см.



Рис. 3

Расчетные зависимости изменения расхода охлаждающей воды при увеличении слоя отложений представлены на рис. 4. На рис. 5 показаны зависимости изменения перепада температуры между выходом и входом воды в тигель от толщины слоя отложений.

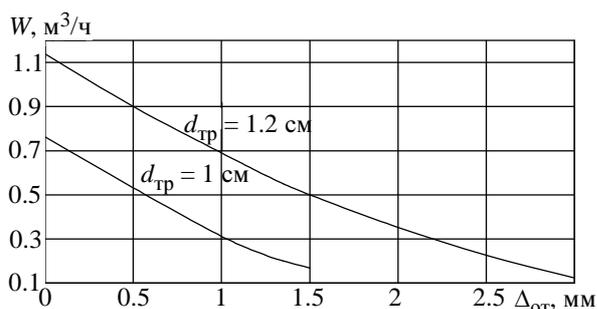


Рис. 4

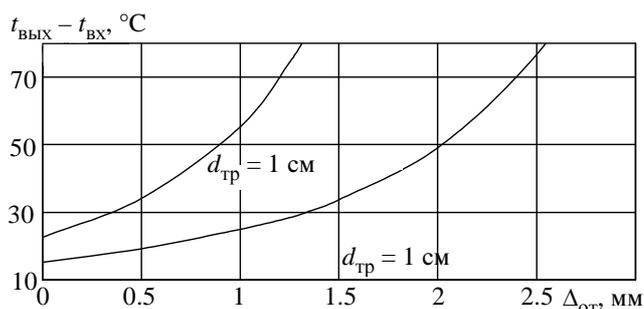


Рис. 5

Результаты расчетов показали, что с увеличением толщины слоя отложений сохраняется турбулентное течение воды в обоих случаях. Для тигля, выполненного из трубки $d_{\text{тр}} = 1$ см, при достижении слоем отложений толщины 1.3 мм расход воды из-за уменьшения диаметра канала снижается почти в 3.5 раза (рис. 4). При этом перепад температур воды составляет $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5). Можно утверждать, что в этой ситуации холодный тигель печи ИПХТ выйдет из строя. Срок эксплуатации такого тигля, по данным работы [6], составит 5.5 тыс. ч (рис. 1).

Увеличение толщины слоя отложений во времени, по результатам настоящих исследований (рис. 1), аппроксимировано уравнением: $\tau = 1.858 \Delta_{\text{от}}^3 - 11.244 \Delta_{\text{от}}^2 + 23.971 \Delta_{\text{от}}$, где τ – время, тыс. ч; $\Delta_{\text{от}}$ – толщина слоя отложений, мм. Если учитывать это уравнение или данные рис. 1, то можно считать, что срок эксплуатации рассматриваемого тигля будет больше и составит 16.2 тыс. ч.

Для тигля, выполненного из трубок $d_{\text{тр}} = 1.2$ см, критическая толщина слоя составит 2.55 мм при перепаде температур воды $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5). При этом расход воды снизится почти в 5 раз (рис. 4). Срок эксплуатации тигля, по данным работы [6] (рис. 1), составит 9.7 тыс. ч, а по результатам наших исследований – 18.8 тыс. ч.

Выводы и практические рекомендации:

1. В электротехнологическом оборудовании, подключенном к системе обратного водоснабжения предприятия, загрязнение каналов системы охлаждения происходит в основном оксидами железа.

2. Толщина слоя отложений в системе охлаждения увеличивается во времени практически по линейному закону.

3. Скорость увеличения толщины слоя отложений в системе охлаждения и срок эксплуатации установки зависят от количества сухого остатка в охлаждающей воде.

4. Так как критическая толщина слоя отложений и срок эксплуатации электротехнологической установки увеличиваются при увеличении размера канала системы охлаждения, то при проектировании электротехнологического оборудования, в первую очередь холодных тиглей печей ИПХТ, целесообразно использовать металлические трубы с большим диаметром.

5. В промышленных условиях для предотвращения аварий электротехнологических установок необходимо периодически контролировать изменение расхода охлаждающей воды, давление на входе в систему охлаждения и перепад температур воды между выходом и входом системы охлаждения. Среднюю толщину слоя отложений можно оценить на основе этих параметров. Оценку срока эксплуатации оборудования можно выполнять, используя результаты настоящих исследований.

6. Для электротехнологического оборудования, реализующего наукоемкие технологии, предпочтительней индивидуальное обратное водоснабжение. Градирню или теплообменник, а также водопроводную магистраль необходимо выполнять из металлов, не подвергающихся коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вологдин В. В. Трансформаторы для высокочастотного нагрева. М., Л.: Машиностроение, 1965.
2. Слухоцкий А. Е., Рыскин С. Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л.: Энергия, 1974.
3. Петров Ю. Б., Ратников Д. Г. Холодные тигли. М.: Металлургия, 1972.
4. Применение индукционной плавки в холодных тиглях при остекловывании жидких радиоактивных отходов / Ю. Б. Петров, Д. Б. Лопух, А. М. Любомиров и др. // Междунар. симпоз. «Научные проблемы электротехнологических процессов, связанных с вопросами сбережения энергоресурсов и экологии»: Тез. докл. Россия, СПб., 28–30 июня 1994. С. 210–211.
5. Богорош А. Т. Вопросы накипеобразования. Киев: Выща шк., 1990.
6. Загрязнение водяного тракта маслоохладителя / Е. Ф. Кузнецов, В. С. Масалов, Ю. Н. Куликов и др. // Энергомашиностроение. 1974. № 5. С. 36–38.
7. Шапов А. Н., Бодажков В. А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Л.: Машиностроение, 1974.

A. M. Lioubomirov, Ya. M. Lioubomirov, S. S. Iohina

INFLUENCE OF THE WATER-COOLING SYSTEM ON OPERATION OF ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATION

Investigation of influence of the water-cooling system on exploitation of electrotechnological installation.

Electrotechnological installation, water-cooling system, induction furnace, cold crucible



УДК 534.114

А. А. Новик

ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОВОЛНОВОГО КАСКАДНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЛНОВОДА

Исследуется входное сопротивление каскадного осесимметричного ультразвукового волновода на основе матричного метода расчета составных стержневых конструкций, при этом в качестве переходных звеньев конструкции рассматриваются стержни с законами изменения сечения $(ax + b)^n$ и $\sin^2(ax + b)$. Приводится пример численного расчета зависимости входного сопротивления волновода от частоты.

Ультразвуковой волновод, входное сопротивление стержня, стержень переменного сечения, колебания стержней, резонанс стержня, антирезонанс стержня, ультразвук

Значительный практический интерес представляют составные многоволновые ультразвуковые волноводы-излучатели, состоящие из некоторого числа N ступеней, каждая из которых может быть стержнем постоянного или переменного сечения. Такие конструкции позволяют проводить ультразвуковую обработку значительно больших объемов среды, чем традиционные полуволновые звенья. В данной статье рассматривается входное сопротивление таких ультразвуковых излучателей с учетом особенностей используемых на практике конструкций.

Основой для построения математической модели составных осесимметричных волноводов является матричный метод расчета ультразвуковых составных инструментов [1] – в нем рассматриваются волноводы с участками цилиндрической, конической, экспоненциальной и катеноидальной форм. Однако на практике рассматриваемые волноводы-инструменты чаще всего представляют собой так называемый каскад: соединение цилиндрических участков разного диаметра с галтельными переходами – выгнутым и/или вогнутым, аппроксимировать которые необходимо другими функциями. В качестве таких функций предлагается рассмотреть полином $(ax + b)^n$ и функцию $\sin^2(ax + b)$, решения уравнения Вебстера для стержней таких сечений рассмотрены в [2].

Рассмотрим геометрию одного периода конструкции (рис. 1): длины цилиндрических участков равны L_1 и L_3 , переходы между ними имеют длины L_2 и L_4 , общая длина равна L , в качестве переходной функции рассматриваются указанные полиномиальная и синусная. Технологический волновод содержит N таких периодов.

Задача решается в 2 этапа. На первом получают матрицы перехода для указанных полиномиальной и синусной функций, чтобы воспользоваться матричным методом расчета составных конструкций. На втором определяется собственно входное сопротивление и далее – входное сопротивление титанового волновода-излучателя, состоящего из трех, пяти и семи периодов с заданными диаметрами звеньев для двух вариантов переходов. Результаты представлены в виде частотных зависимостей входного сопротивления.

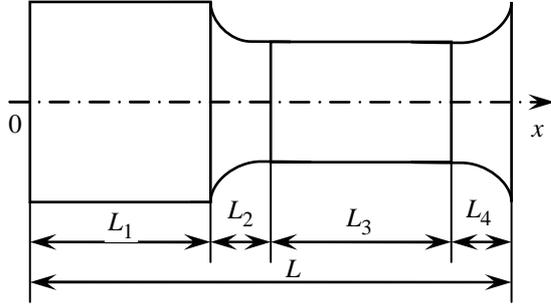


Рис. 1

Кратко охарактеризуем сущность матричного метода: решается уравнение Вебстера для заданного закона изменения сечения, затем неизвестные постоянные в решении выражаются через величины на входе стержня. Система уравнений записывается в матричной форме: вектор величин на выходе равен произведению матрицы перехода на входной вектор; матрица перехода составного стержня равна произведению матриц перехода участков. Матрица перехода для цилиндрического стержня имеет вид [1]:

$$A = \begin{pmatrix} \cos(kL) & (ESk)^{-1} \sin(kL) \\ -ESk \sin(kL) & \cos(kL) \end{pmatrix},$$

где k – волновое число, L – длина стержня, E – модуль Юнга, S – площадь сечения.

Матрица перехода может быть получена для любого вида аналитического решения уравнения Вебстера для различных форм сечений. Были получены элементы матрицы перехода для стержней, сечение которых изменяется по законам $(ax + b)^n$ и $\sin^2(ax + b)$. Для случая полиномиального закона изменения сечения, ограничиваясь четным показателем степени n , они будут определяться следующим образом:

$$\begin{aligned} a_{11} &= S_L^\alpha \left(\frac{1}{c} \left(f / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) J_\nu(\lambda(aL + b)) - \left(\frac{e}{c} / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) J_{-\nu}(\lambda(aL + b)) \right), \\ a_{12} &= S_L^\alpha \left(\frac{1}{c} \left(-d / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) J_\nu(\lambda(aL + b)) - \left(1 / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) J_{-\nu}(\lambda(aL + b)) \right), \\ a_{21} &= ES_L \left[\frac{1}{c} \left(f / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) \left(\alpha na S_L^{(\alpha - \frac{1}{n})} J_\nu(\lambda(aL + b)) + S_L^\alpha J'_\nu(\lambda(aL + b)) \right) - \right. \\ &\quad \left. - \left(\frac{e}{c} / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) \left(\alpha na S_L^{(\alpha - \frac{1}{n})} J_{-\nu}(\lambda(aL + b)) + S_L^\alpha J'_{-\nu}(\lambda(aL + b)) \right) \right], \\ a_{22} &= ES_L \left[\frac{1}{c} \left(-d / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) \left(\alpha na S_L^{(\alpha - \frac{1}{n})} J_\nu(\lambda(aL + b)) + S_L^\alpha J'_\nu(\lambda(aL + b)) \right) + \right. \\ &\quad \left. + \left(1 / \left(f - \frac{ed}{c} \right) \right) \left(\alpha na S_L^{(\alpha - \frac{1}{n})} J_{-\nu}(\lambda(aL + b)) + S_L^\alpha J'_{-\nu}(\lambda(aL + b)) \right) \right], \end{aligned}$$

где S_L – площадь сечения стержня при $x = L$, $J_\nu(x)$ и $J'_\nu(x)$ – функция и производная функции Бесселя первого рода порядка ν соответственно,

$$c = b^{\frac{1}{2}(1-n)} J_\nu(\lambda b), \quad e = Eb^n \left(\frac{1}{2}(1-n)ab^{-\frac{(n+1)}{2}} J_\nu(\lambda b) + b^{\frac{1}{2}(1-n)} J'_\nu(\lambda b) \right),$$

$$d = b^{\frac{1}{2}(1-n)} J_{-\nu}(\lambda b), \quad f = Eb^n \left(\frac{1}{2}(1-n)ab^{-\frac{(n+1)}{2}} J_{-\nu}(\lambda b) + b^{\frac{1}{2}(1-n)} J'_{-\nu}(\lambda b) \right),$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} - 1 \right), \quad \lambda = \frac{k}{a}, \quad \sigma = \frac{1}{n}, \quad \nu = \frac{1-n}{2}.$$

Элементы матрицы перехода для закона изменения сечения стержня $\sin^2(ax + b)$ будут иметь следующий вид:

$$a_{11} = \frac{1}{\sin(aL+b)} \left[\frac{a \cos b}{k'} \sin(k'L) + \sin b \cos(k'L) \right],$$

$$a_{12} = \frac{1}{\sin(aL+b)} \left[\frac{1}{k'ES_0 \sin b} \sin(k'L) \right],$$

$$a_{21} = ES_L \left[\frac{a \cos b}{k'} \left(\frac{k' \cos(k'L) \sin(aL+b) - \sin(k'L) a \cos(aL+b)}{\sin^2(aL+b)} \right) - \right. \\ \left. - \sin b \left(\frac{k' \sin(k'L) \sin(aL+b) + \cos(k'L) a \cos(aL+b)}{\sin^2(aL+b)} \right) \right],$$

$$a_{22} = ES_L \left[\frac{1}{k'ES_0 \sin b} \left(\frac{k' \cos(k'L) \sin(aL+b) - \sin(k'L) a \cos(aL+b)}{\sin^2(aL+b)} \right) \right],$$

где $k' = \sqrt{k^2 + a^2}$.

Для определения входного сопротивления составного волновода со свободными концами рассмотрим вынужденный режим колебаний (рис. 2), при котором появляется вынуждающая сила $F_{\text{вх}}$ (форма ступеней не имеет значения, поэтому на рисунке показан просто цилиндр). Отметим, что входное сопротивление составного волновода будет зависеть от числа периодов, поэтому при расчете матрицу перехода необходимо возводить в степень, соответствующую числу периодов N .

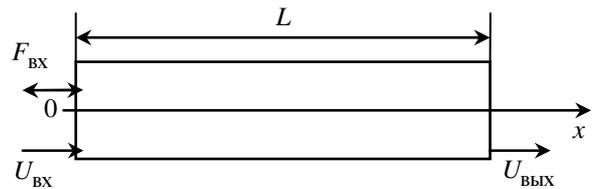


Рис. 2

В этом случае входные и выходные значения смещения U и осевой силы ($F = ES(dU/dt)$) будут связаны следующим образом:

$$\begin{pmatrix} U_{\text{вых}} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{\text{вх}} \\ F_{\text{вх}} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где r_{ij} – элементы результирующей матрицы перехода A_R^N .

Входное сопротивление будет определяться как

$$Z = F_{\text{ВХ}} / (j\omega U_{\text{ВХ}}),$$

при этом отношение силы и смещения может быть найдено из второго уравнения записанной в матричной форме системы (1):

$$\begin{aligned} r_{21}U_{\text{ВХ}} + r_{22}F_{\text{ВХ}} &= 0, \\ F_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВХ}} &= -r_{21}/r_{22}. \end{aligned}$$

Таким образом, входное сопротивление

$$Z = jr_{21}/(\omega r_{22}) \quad (2)$$

Рассмотрим, используя уравнение (2), пример численного расчета зависимости входного сопротивления от частоты для трех, пяти и семи периодов каскадного волновода при $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 0.03$ м, материал конструкции – титан (плотность $\rho = 4500$ кг/м³, модуль Юнга $E = 110$ ГПа), $S_0 = 10^{-3}$ м² (при $x = 0$) и $S_L = 5 \cdot 10^{-4}$. На рис. 3, а представлены результаты для конструкции с полиномиальными переходами, на рис. 3, б – с синусными.

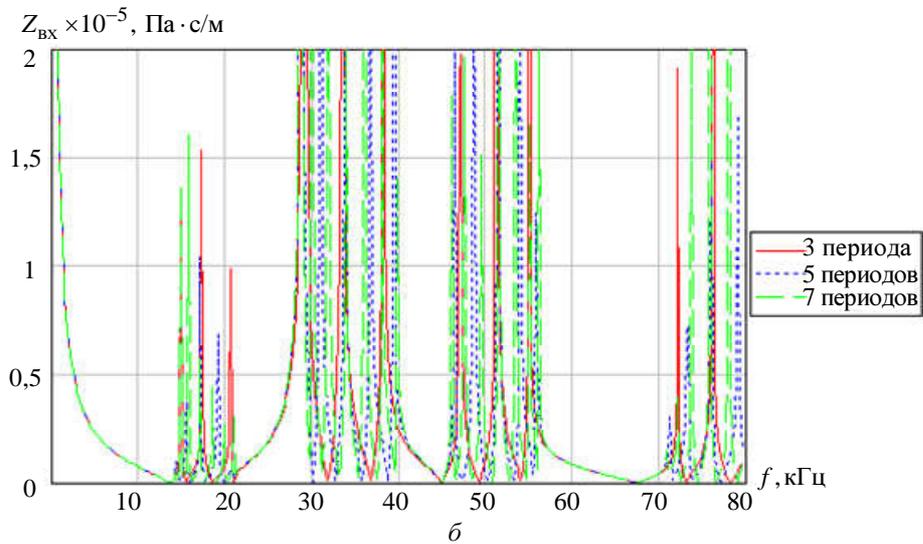
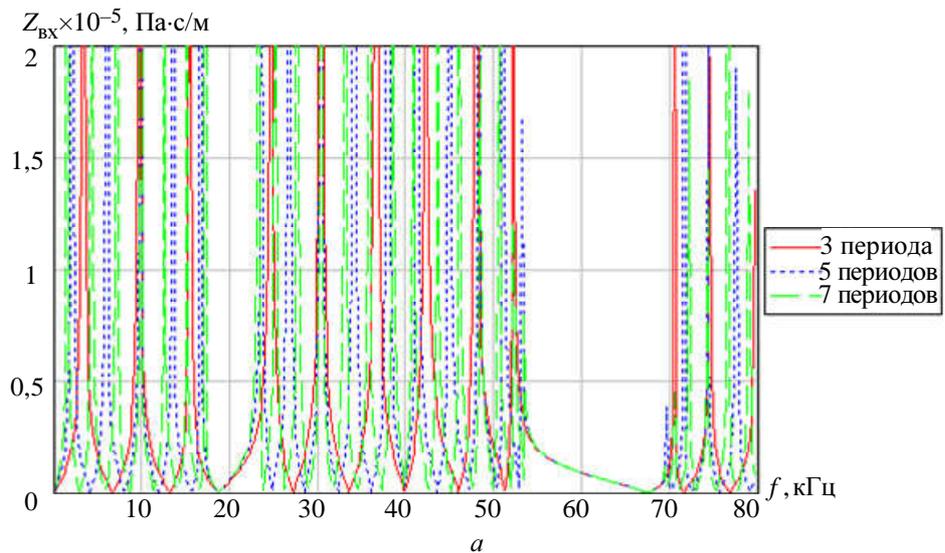


Рис. 3

Очевидный рост входного сопротивления при увеличении числа периодов конструкции подтверждается приведенными графиками. На графиках также хорошо видно, что основные гармоники: полуволновый, двухполуволновый и т. д. резонансы сохраняют свое значение независимо от числа периодов (видно как графики сходятся в одну точку вблизи 20, 40 кГц и др.). Кроме основных резонансных частот каждая конструкция обладает своими дополнительными резонансами. Точно так же присутствуют основные и дополнительные антирезонансы. Отдельного замечания заслуживает то, что у составного волновода с синусными переходами имеется особая собственная частота, находящаяся ниже частоты полуволнового резонанса для любого числа периодов.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ультразвуковых технологических систем с каскадными волноводами для оптимального согласования волноводного звена с источником ультразвуковых колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квашнин С. Е. Медицинские электроакустические преобразователи и волноводы-инструменты для медицины: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999.
2. Kumar B. M., Sujith R. I. Exact solutions for the longitudinal vibrations of non-uniform rods // Journ. of Sound and Vibration. 1997. Vol. 207, № 5. P. 721–729.

A. A. Novik

INPUT RESISTANCE OF MULTIWAVELENGTH CASCADE ULTRASONIC SONOTRODE

In this work input resistance of cascade axisymmetric ultrasonic sonotrode is investigated by the matrix method of sectional rod analysis and rods with cross-section area which varies by $(ax + b)^n$ and $\sin^2(ax + b)$ are considered as intermediate sections. An example of numerical calculation is presented for frequency dependence of input resistance

Ultrasonic sonotrode, rod input resistance, varying cross-section rod, rod oscillation, rod resonance, rod antiresonance, ultrasound

УДК 004.67; 519.254

Е. П. Гусева

СРАВНЕНИЕ БИБЛИОТЕК ФУНКЦИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Рассматривается проблема выбора алгоритма непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) для обработки сигналов судовых природоохранных комплексов с учетом анализа большого объема данных. Сформулированы рекомендации к выбору алгоритма НВП.

Судовые природоохранные комплексы, вейвлет-анализ, непрерывное вейвлет-преобразование, Wavelab, Wavelet Toolbox, вейвлет Морле, гауссов вейвлет

Вейвлет-анализ (ВА) – новый перспективный метод обработки данных, позволяющий выявлять локальные изменения в нестационарных сигналах и определять момент их возникновения. Указанные особенности аппарата ВА обуславливают его применение для обработки сигналов измерительных каналов судовых природоохранных комплексов (СПК) [1], обеспечивающих автоматизированные измерения гидрохимикофизических параметров и концентраций основных загрязняющих веществ в реальном масштабе времени,

позволяя выявить области экологических аномалий [1], [2]. Учитывая необходимость апостериорного анализа большого объема натуральных данных, получаемых с применением СПК, требуется выбрать алгоритм, реализующий НВП.

В связи с большим распространением библиотек функций НВП, написанных для системы Matlab, в данной статье сравниваются возможности и быстродействие алгоритмов различных библиотек функций для расчета НВП: Wavelet Toolbox 2.2, Wavelab 8.5 и НВП Торренса, которые рекомендуются для проведения ВА многими специалистами (например, Ст. Малла, Д. Донохо, К. Торренс).

Библиотека функций Wavelet Toolbox 2.2 встроена в Matlab 6.5 и предназначена для расчета вейвлет-преобразования (ВП). Библиотека функций Wavelab используется в учебных курсах по адаптивному ВА в Стенфорде и Брекли. Она представляет собой базис для проведения вейвлет-исследований различными авторами и используется для создания иллюстраций к публикациям и статьям, позволяя изменять параметры рисунков. Библиотека Wavelab создана в учебных целях и для иллюстрации возможностей ВП, однако она имеет ряд недостатков. Функции НВП Торренса реализованы Кристофером Торренсом и Гильбертом Компо в рамках программы «Атмосферные и океанологические науки» в университете Колорадо*.

Рассмотрим особенности функций, используемых в Wavelet Toolbox. В пакете Wavelet Toolbox для проведения НВП имеется единственная функция, позволяющая рассчитывать коэффициенты НВП и выводить значения модуля ВП на график. Модификации этой функции позволяют выводить на график значения сигнала и фазу ВП для комплексных вейвлетов, а также позволяют строить график энергии ВП, т. е. график квадрата модуля ВП [1]. Кроме того, в Wavelet Toolbox используется функция для нахождения локальных максимумов НВП.

В отличие от Wavelet Toolbox Wavelab обладает большей библиотекой функций для проведения НВП. Однако часть этих функций недоработана, например функции для расчета реального и аналитического ВП ([3], с. 102). Функции НВП в Wavelab не позволяют строить фазу ВП для комплексных вейвлетов. В Wavelab используется ряд функций для нахождения локальных максимумов ВП сигнала, их отображения на плоскости и применяется специальный набор функций для построения так называемых хребтов (Ridges) ([3], с. 121). Однако описания функций построения хребтов, приведенного в библиотеке, недостаточно для их корректного использования.

Для сопоставления результатов расчета НВП Wavelab и Wavelet Toolbox для вейвлета Морле в функцию Wavelab введен коэффициент $1/\sqrt{2\pi}$. С учетом того, что в НВП Wavelab не реализованы комплексные гауссовы вейвлеты и гауссовы вейвлеты 2-го порядка, для проведения сопоставления были дописаны соответствующие функции.

При сравнении рассматривалось НВП Торренса, позволяющее уменьшить влияние краевых эффектов за счет дополнения нулями последовательности значений сигнала до 2^n (где n – целое число), с последующим отбрасыванием значений коэффициентов НВП до длины исходного сигнала [4].

* Torrence C., Compo G. P. University of Colorado, Programm in Atmospheric and Oceanic Sciences.
<http://paos.colorado.edu/research/>.

Сравним вейвлет-спектры, построенные в Wavelet Toolbox (рис. 1), Wavelab (рис. 2) и с помощью НВП Торренса (рис. 3, 4). На рис. 1–4 приведены модули ВП, рассчитанные для тестовой синусоиды длительностью чуть больше периода и гауссова вейвлета 2-го порядка. Для НВП Торренса построены вейвлет-спектры с учетом влияния краевых эффектов (рис. 3) и без учета (рис. 4). Из сравнения рисунков видно, что спектрограммы сигналов схожи, однако построение вейвлет-спектров осуществляется для различных цветковых палитр, с различной нормировкой масштабов: для Wavelet Toolbox и НВП Торренса – от нуля до максимального значения масштаба s_{\max} , а для Wavelab, наоборот, от s_{\max} до нуля. Вейвлет-спектры для Wavelet Toolbox и НВП Торренса имеют разное разрешение, характеризующее число наблюдаемых масштабов s и точность расчета вейвлет-спектра. Разрешение в функции НВП Торренса меняется варьированием параметров. Вейвлет-спектр, рассчитанный с учетом влияния краевых эффектов (рис. 3), соответствует вейвлет-спектру, построенному в Wavelet Toolbox (рис. 1), а без учета (рис. 4) похож на вейвлет-спектр, построенный в Wavelab (рис. 2). Различия в вейвлет-спектрограммах, по-видимому, вызваны тем, что в Wavelab и НВП Торренса алгоритм НВП реализован в частотной области, а в Wavelet Toolbox – во временной.

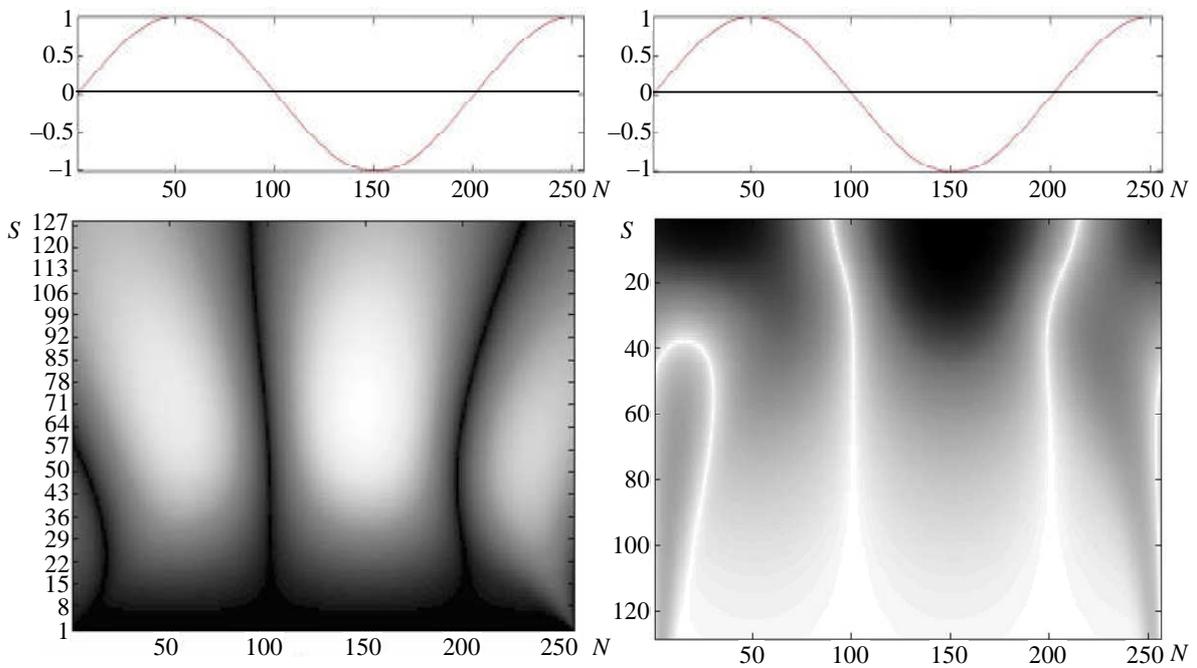


Рис. 1

Рис. 2

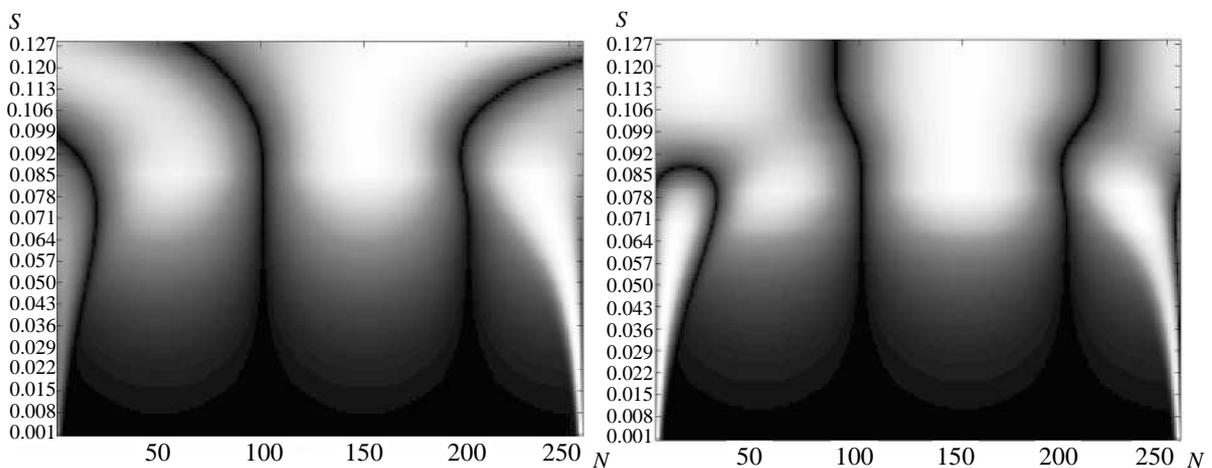


Рис. 3

Рис. 4

Сравнение вейвлет-спектров различных сигналов (синусоиды, суммы двух синусоид, импульсного сигнала и белого шума), рассчитанных с гауссовым вейвлетом 2-го порядка с помощью НВП Торренса при учете влияния краевых эффектов и без него и с помощью НВП в Wavelet Toolbox, показало, что в Wavelet Toolbox по умолчанию учитывается влияние краевых эффектов.

Проводилось сравнение функций Wavelab и Wavelet Toolbox при построении модуля-максимума ВП. На рис. 5 и 6 соответственно представлены модули-максимумы ВП для НВП, рассчитанного в Wavelet Toolbox и в Wavelab. Линии максимумов на этих рисунках совпадают при нулевых значениях синусоиды. Результаты сравнения показывают, что процедуры нахождения и построения локальных максимумов в Wavelet Toolbox и Wavelab дают различные результаты, что связано, по-видимому, также с различиями при реализации алгоритмов.

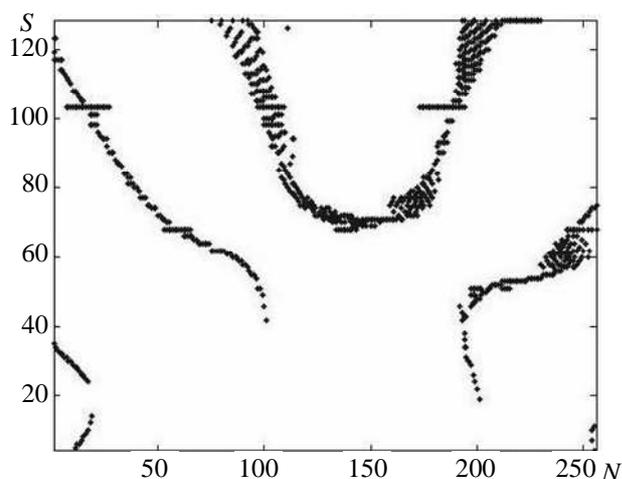


Рис. 5

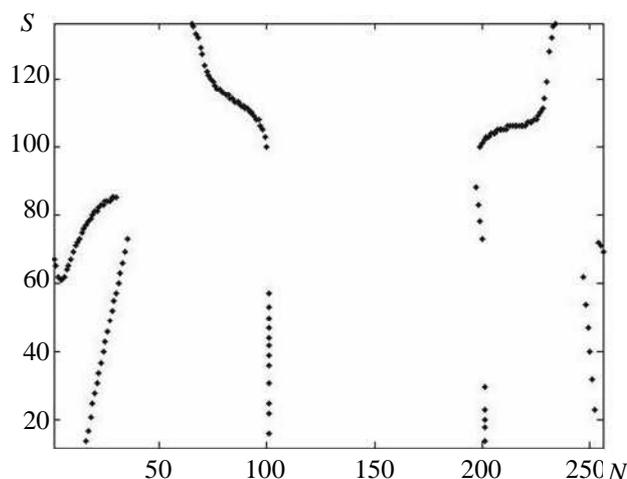


Рис. 6

Учитывая необходимость обработки большого объема данных при апостериорном анализе сигналов СПК (в том числе с большой частотой квантования), при сопоставлении различных алгоритмов НВП помимо сравнения возможностей используемых библиотек функций важно сопоставить быстродействие алгоритмов. Сравнение быстродействия алгоритмов проводилось на различных персональных компьютерах (ПК) (табл. 1).

Таблица 1

Номер ПК	Процессор	ОЗУ	Версия Matlab
1	Celeron, 1100 МГц	376 Мбайт	7.2 (R 2006a)
2	Pentium 4, 2.8 ГГц	1.5 Гбайт	6.5 (R 13)
3	Pentium 4, 3.2 ГГц	1 Гбайт	6.5 (R 13)
4	Pentium 4, 2.8 ГГц	512 Мбайт	6.5 (R 13)
5	Pentium D, 3.2 ГГц	3 Гбайт	7.01 (R 14)
6	Pentium 4, 3.2 ГГц	1 Гбайт	6.5 (R 13)
7	CoreDuo, 2.13 ГГц	1 Гбайт	6.5 (R 13)

Оценим быстродействие библиотек функций Wavelet Toolbox и Wavelab при расчете НВП. Для синусоидального сигнала $f(t)$ на рис. 7, 8 построены графики зависимостей времени вычислений его НВП $t_{\text{выч}}$ от порядкового номера вычислений n (при $n = 1 \dots 25$, $s_{\text{max}} = 44$

= 128) для пяти типов вейвлетов: гауссова 1-го и 2-го порядков, Морле с безразмерной центральной частотой $F_c = 5$, комплексного гауссова 1-го и 2-го порядков. Видно, что графики времени вычислений НВП в Wavelet Toolbox и Wavelab для всех четырех типов вейвлетов имеют выброс в начале, связанный с загрузкой операторов в вычислительное ядро Matlab. Видно также, что быстрее всего НВП осуществляется с гауссовыми вейвлетами, а медленнее всего – с комплексными гауссовыми вейвлетами.

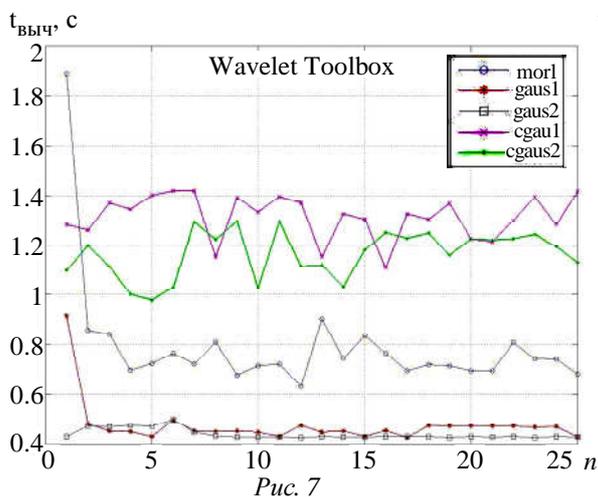


Рис. 7

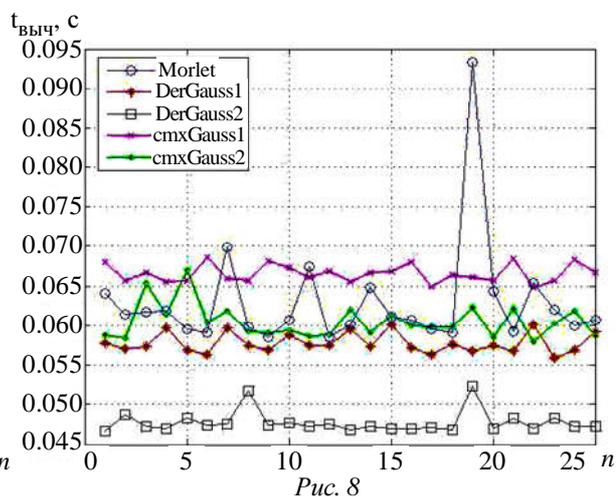


Рис. 8

При расчете математического ожидания (МО) и среднеквадратического отклонения (СКО) времени вычислений выявлено, что МО и СКО в Wavelab постоянны, в отличие от Wavelet Toolbox, где они сильно зависят от типа вейвлета. Постоянство статистических характеристик обусловлено процедурой, используемой для расчета НВП. В Wavelab, в отличие от Wavelet Toolbox, используется алгоритм расчета НВП в частотной области, поэтому Фурье-образы вейвлетов задаются в явном виде. В связи с этим СКО времени вычислений меньше варьируется. Однако, как и при расчете в Wavelet Toolbox, имеется выброс, связанный с работой ядра Matlab. Проведенные исследования показали, что на стабильность МО и СКО времени вычисления НВП также влияют особенности процессора.

В Wavelet Toolbox на всех ПК для различных типов вейвлетов (гауссова 2-го порядка, комплексного гауссова 2-го порядка, вейвлета Морле и комплексного вейвлета Морле с $F_c = 0.1$) и различных сигналов (суммы двух синусоид, импульсного и синусоидального) рассчитаны зависимости усредненного времени вычисления НВП одного отсчета от уровня разложения и построены соответствующие графики.

Сравнение зависимостей показало, что быстрее всего НВП рассчитывается с гауссовым вейвлетом 2-го порядка, а медленнее всего – с комплексным вейвлетом Морле. По полученным результатам можно сделать вывод, что скорость вычисления НВП одного отсчета с помощью различных семейств вейвлетов можно аппроксимировать для каждого семейства в отдельности. При этом форма сигнала и его длина незначительно сказываются на изменении времени вычислений НВП одного отсчета.

Для более наглядного сопоставления рассмотрим усредненное время вычисления НВП в Wavelet Toolbox на рассмотренных ПК для реализации длиной $t_{\text{реал}} = 10$ с, с частотой квантования $f_{\text{кв}} = 1$ кГц и числом точек $N = 10^4$ (табл. 2). Поскольку время вычислений

НВП одного отсчета минимально при использовании гауссова вейвлета 2-го порядка, а максимально при использовании комплексного вейвлета Морле $F_c = 5$, то для дальнейшего расчета минимального и максимального времен вычислений НВП использовались следующие соотношения:

$$t_{\max} = t_{\text{выч. ср. gaus}} 2^N, \quad (1)$$

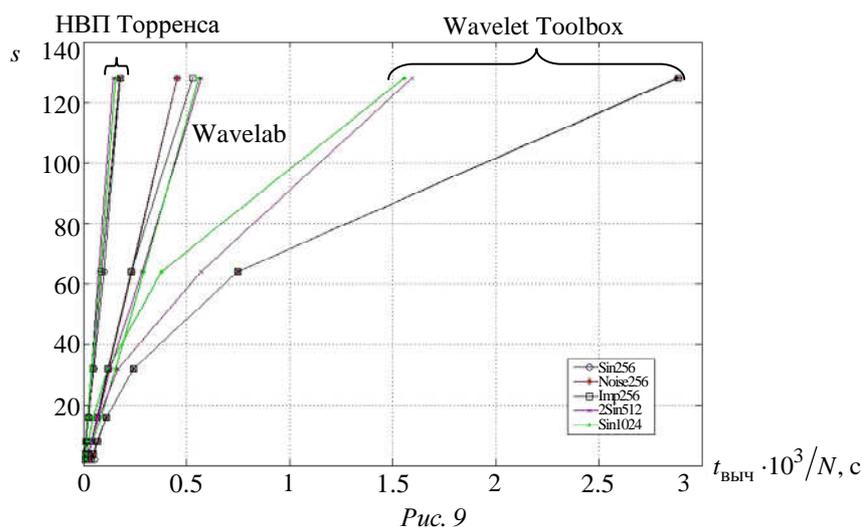
$$t_{\max} = t_{\text{выч. ср. cmor } 2-5} N, \quad (2)$$

где $t_{\text{выч. ср. gaus } 2}$ – усредненное время вычислений НВП с использованием гауссова вейвлета 2-го порядка; $t_{\text{выч. ср. cmor } 2-5}$ – усредненное время вычислений НВП с использованием комплексного вейвлета Морле $F_c = 5$; N – число отсчетов.

Таблица 2

Время вычисления НВП	Номер ПК						
	1	2	3	4	5	6	7
Min $t_{\text{выч}}$, с	17.5	6.3	4.6	6	5	6	4
Max $t_{\text{выч}}$, с	85.7	19.6	17.8	18.3	18.4	18.2	13.9

Для сопоставления скоростей вычисления НВП на медленном ПК Celeron и быстром ПК Core Duo с двухъядерным процессором в Wavelet Toolbox, Wavelab и с помощью функции Торренса построены графики зависимостей времени вычислений НВП (рис. 9, 10) от уровня разложения для пяти тестовых сигналов и гауссова вейвлета 2-го порядка. Приведенные графики построены в нормированных осях, они представляют собой зависимость уровня разложения НВП от усредненного времени вычисления одного отсчета ($t_{\text{выч}}/N$, где $t_{\text{выч}}$ – время вычисления НВП для всей реализации в секундах, N – число отсчетов).



Сравнение графиков показывает, что в Wavelab вейвлет-разложение для максимального масштаба 128 рассчитывается приблизительно в 5 раз быстрее, чем в Wavelet Toolbox, а использование функций Торренса для НВП позволяет сократить время вычислений на порядок по сравнению с Wavelet Toolbox. При этом длина сигнала во временной области и

форма сигнала слабо влияют на время вычисления НВП одного отсчета, а соотношения скоростей вычислений между сравниваемыми библиотеками функций остаются неизменными вне зависимости от ПК, на котором проводились вычисления.

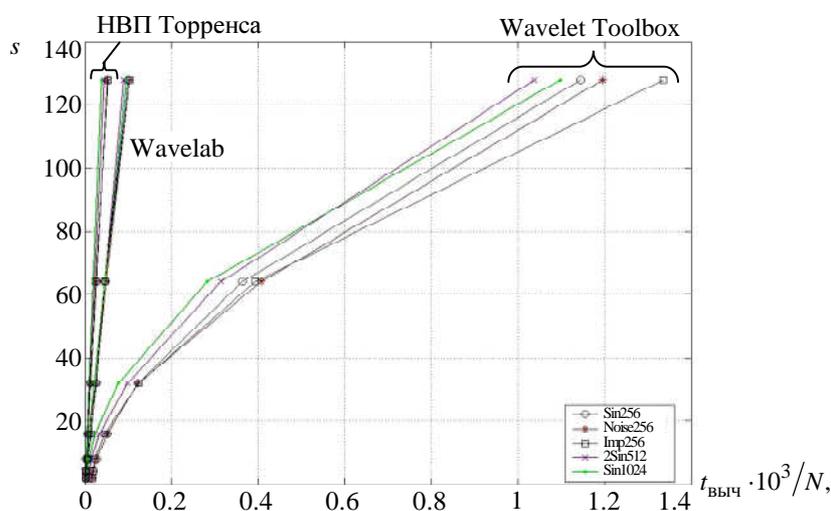


Рис. 10

Указанные результаты также можно проиллюстрировать расчетом (табл. 3) времени вычисления НВП в Wavelet Toolbox, Wavelab и для функции Торренса на быстром ПК (Core Duo) и на медленном ПК (Celeron) для 10-секундной реализации с частотой квантования $f_{\text{кв}} = 1$ кГц и $N = 10^4$.

Таблица 3

Библиотека функций	Время вычисления НВП $t_{\text{выч}}$, с			
	Гауссов вейвлет 2-го порядка		Комплексный вейвлет Морле с $F_c = 0.795$	
	Celeron	Core Duo	Celeron	Core Duo
Wavelet Toolbox	23.6	4.3	57.2	12.1
Wavelab	5.2	1.0	5.7	1.0
НВП Торренса	1.7	0.43	1.8	0.46

Приведенные в табл. 3 данные свидетельствуют о том, что скорость вычисления НВП в Wavelab и для функции Торренса, в отличие от Wavelet Toolbox, слабо зависит от типа используемого вейвлета. При этом расчет с помощью НВП Торренса на наименее мощном ПК осуществляется в 2.5 раза быстрее, чем расчет НВП в Wavelet Toolbox на самом мощном ПК.

Таким образом, на основе проведенного сравнения библиотек функций для расчета НВП можно рекомендовать в качестве основы для разработки алгоритмов апостериорного анализа сигналов СПК алгоритмы НВП, предложенные Торренсом, что позволит получать выигрыш в скорости вычислений, учитывать краевые эффекты и регулировать разрешение НВП на малых масштабах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Д. А., Гусева Е. П. Применение вейвлет-анализа в исследовании и обработке сигналов гидрофизических информационных систем / ЗАО «Гранит-7». СПб., 2006.

2. Гуральник Д. Л., Гусев Д. А. Решение задачи обнаружения экологических аномалий техногенного происхождения и классификации типа их источников с использованием возможностей судовых природоохранных комплексов // Экологические приборы и системы. 2003. № 7. С. 11–15.
3. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов / Пер. с англ. М.: Мир, 2005.
4. Torrence С., Compo G. P. A practical guide to wavelet analysis // Bulletin of the American Meteorological Society. 1998. Vol. 79, № 1. P. 61–78.

E. P. Guseva

COMPARISON OF PROGRAM LIBRARY FOR CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM CALCULATION

This paper is considered the problem of choosing continuous wavelet transform (CWT) algorithm to provide processing of the Shipborne Environmental Monitoring Complexes signals. It is made the recommendations to the choice of algorithm CWT

Shipborne Environmental Monitoring Complexes, wavelet analysis, continuous wavelet transform, Wavelab, Wavelet Toolbox, Morlet wavelet, Gaussian wavelet



УДК 615.471:612.143

А. В. Чащин, Е. П. Попечителев

МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА В ПРОЦЕССАХ ОККЛЮЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Рассмотрена модель, позволяющая анализировать изменения состояния сердечно-сосудистой системы во время измерений артериального давления окклюзионными методами. Окклюзионное давление рассматривается в качестве тестового воздействия на организм, тогда показателями измененного состояния выступают результаты измерений артериального давления в разных участках сосудистого русла и результаты измерения частоты сердечных сокращений. Подобная модель может быть эффективным средством разработки новых методов и аппаратно-программных комплексов для диагностики состояния как сосудистой системы конечностей, так и организма в целом.

Измерения артериального давления, функциональная проба, состояние сосудистой системы, модель, управляемые окклюзионные воздействия.

Медико-технические требования к разработке устройств, предназначенных для определения количественной информации о состоянии изучаемого организма и динамике его изменений, определяют необходимость разработки измерительных технологий, включающих процедурные взаимодействия технических средств с организмом. Очевидно, что в ходе такого взаимодействия внешние воздействия, необходимые для реализации измерительных процедур, в той или иной мере влияют на сами изучаемые процессы. При этом естественное течение процессов в организме может искажаться, а это может повлиять на последующее состояние. При интерпретации же результатов измерений всегда следует иметь в виду, что получаемая информация может относиться к неустановившемуся состоянию или к состоянию организма, уже измененному из-за внешнего воздействия. Поэтому результаты исследования могут быть ошибочными, а измерительная процедура – приводить к нежелательным последствиям для организма.

При исследованиях состояния организма часто используют специальные функциональные пробы (ФП), создающие целенаправленно спровоцированные реакции, и по показателям происходящих реакций оценивают состояние организма. В этой связи рациональным решением может являться организация известных измерительных процедур с представлением их как функциональных проб.

Наглядным примером влияния измерительных процедур на состояние организма являются методы окклюзионных измерений артериального давления (АД). Создание с помощью плечевых манжет окклюзионных воздействий на кровеносные сосуды верхней ко-

нечности, при которых эти сосуды пережимаются, исходно является основой для неинвазивных методов измерений АД. Это же пережимающее воздействие может рассматриваться как функциональный тест всей сосудистой системы человека.

В данной статье рассмотрена возможность расширения изложенного подхода для оценки изменения состояния кровообращения всего организма по данным измерений АД в разных участках сосудистой системы.

Исходные данные. Использование окклюзионного метода измерения АД в качестве функциональной пробы было предложено для изучения состояния кровеносных сосудов и гемодинамических процессов в верхних конечностях [1], [2]. Было показано, что в процессе измерительных процедур в сосудистой системе конечности инициируется ряд дополнительных гемодинамических эффектов, искажающих естественное течение процессов кровообращения. К ним относятся: прекращение оттока венозной крови из верхней конечности; ограничение притока артериальной крови к тканям конечности; перераспределение крови между артериальными и венозными сосудами и депонирование крови в конечности. Для описания этих процессов были предложены биофизическая и электрическая модели системы локального кровообращения, наглядно иллюстрирующие протекание гемодинамических процессов в различных участках верхней конечности.

Однако результат пережатия кровеносных сосудов верхней конечности сказывается на состоянии сердечнососудистой системы организма в целом. Так, вследствие окклюзии и в зависимости от ее степени и продолжительности возникают разные гемодинамические сдвиги, являющиеся источником методических погрешностей измерений, что может приводить к ошибочным диагностическим заключениям. Этими явлениями могут объясняться известные факты несовпадения результатов измерений, полученных разными методами, а также расхождения результатов серий измерений, проведенных одним и тем же методом [3].

При окклюзионных измерениях АД существует и проявляется сосудистая реакция, изменяющая состояние не только периферического кровообращения. По субъективным ощущениям отдельные пациенты отмечают негативные проявления в состоянии организма, связываемые с действием процедуры окклюзии при измерениях АД. Известны жалобы пациентов, например при суточном мониторинге АД, на болевые ощущения в процессе измерений, головную боль после измерений и, в единичных случаях, появление отметок на теле, связываемых с установкой обжимающих манжет. Известны и объективные факты влияния процедур измерений АД на сами измеряемые показатели.

Как правило, при проведении серии из трех-пяти измерений окклюзионным методом, следующих подряд с интервалом 1–3 мин, отмечается снижение показаний АД на 5–20 мм рт. ст. Это связывают с процедурой окклюзионного воздействия на кровеносные сосуды и адаптацией организма к измерительной процедуре. В методических рекомендациях по проведению измерений АД эта особенность отмечена и указывается, что для получения правильных результатов измерения необходимо добиться установившегося состояния организма, выражаемого определенным постоянством показателей АД.

На рис. 1 в качестве примеров приведены экспериментальные данные серии последовательных измерений АД окклюзионным методом, демонстрирующие влияние измерительных процедур на частоту сердечных сокращений ЧСС и показания АД. На рисунках сопоставлены изменения ЧСС (верхние тренды) и значений верхнего и нижнего показателей АД (представлены вертикальными отрезками линий).

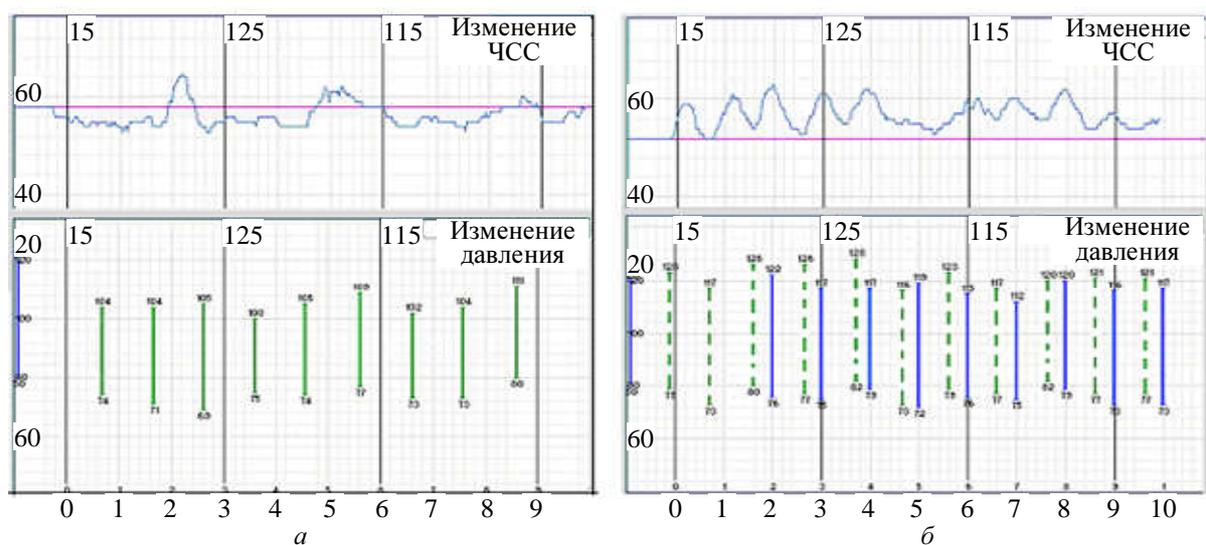


Рис. 1

Измерения АД в исследованиях проводились с интервалом 1–2 мин, причем рис. 1, а соответствует измерениям АД на левом плече, а рис. 1, б – измерениям АД на двух плечах со сдвигом между началом измерений на них 10–20 с (штриховыми вертикальными линиями на записях выделены результаты измерений показателей АД на правом плече, сплошными линиями – на левом). По горизонтальным осям отмечены отсчеты времени в минутах.

Из представленных данных однозначно не определяется направленность влияния измерительной процедуры на состояние организма и на измеряемые показатели, но то, что такое влияние присутствует, выявляется надежно. Здесь проявляется индивидуальная сосудистая реакция в ответ на пережатие сосудов верхней конечности, не только изменяющая условия кровообращения в конечности, но и затрагивающая центральные участки системы кровообращения.

Таким образом, при окклюзионных воздействиях можно выделить изменения условий кровообращения не только в участках плечевой области, непосредственно воспринимающих окклюзионные воздействия, и в конечности, но и в участке, примыкающем к проксимальному краю окклюзионной манжеты, а также в системе центральной гемодинамики.

Модель гемодинамических процессов. Чтобы разобраться в процессах, протекающих в сердечнососудистой системе организма при окклюзионных воздействиях на одну из его конечностей, необходимо связать между собой различные гемодинамические процессы, происходящие в организме при этих воздействиях. Воспользуемся биофизической моделью, предложенной в [1], [2], которая описывает изменения гемодинамики в верхней конечности, дополнив ее деталями (узлами, элементами, структурами), отражающими изменения условий кровообращения в остальных участках организма. При этом необходимо учитывать, что в системе кровообращения целостного организма происходит непрерывное перераспределение крови между сосудистыми руслами разного калибра, и оно обусловлено изменением внутрисосудистого давления. В этом процессе существенно участие механизмов приспособительных реакций к возникшим потребностям тканей и условиям протекания крови, определяющим кровоснабжение его тканей и, в конечном счете, состояние организма.

Конечно, учесть реакцию всех звеньев сосудистой системы на изменение условий гемодинамики в каждом из сосудистых бассейнов практически невозможно. Поэтому на этапе феноменологического анализа достаточно ограничиться основными, укрупненными элементами

ми, функционально вовлеченными в ответную реакцию на окклюзионное разобщение кровеносного русла верхней конечности и центральной гемодинамики. Их включение в общую схему гемодинамических процессов позволяет определить способы исследований с целью последующего уточнения схемы модели и методов ее анализа. При этом требуется учитывать и возможности медицинской техники, устройствами которой можно выделить сосудистые реакции на воздействие.

Отмеченные предпосылки позволяют включить в схему регистрации гемодинамических процессов несколько дополнительных структур (рис. 2):

- сосудистую систему центральной гемодинамики с магистральными сосудами (МС) – аортой и полой веной, а также сосудистые системы сердца и внутренних органов (СССиВО);
- четыре пространственно разнесенных участка 1–4 сосудистой системы правой и левой верхних конечностей, гемодинамические процессы в которых взаимосвязаны с центральной гемодинамикой; эти участки непосредственно воспринимают окклюзионные влияния при измерениях, участвуют в ответной реакции организма и здесь косвенно, используя технические средства, можно проявлять гемодинамические процессы реакции;
- центр интеграции головного мозга, представляющий центральную нервную систему, куда по системе афферентной связи передается информация от барорецепторов (БР) различных участков сосудистой системы верхних конечностей и области центральной гемодинамики;
- связи эфферентной иннервации, направленные от центра интеграции к мотонейронам и мышечным элементам кровеносных сосудов и обеспечивающие передачу командной информации, регулирующей сосудистый тонус.

Для регистрации происходящих гемодинамических процессов в их схематическом представлении (рис. 2) приведен блок «Осциллограммы процессов». В нем отражены процессы, происходящие в разных частях анализируемой системы кровообращения, которые важны при выборе возможностей их контроля и регистрации техническими средствами. В блоке процессов выделены сосудистые реакции Π_1 и Π_2 на участках 2 и 3 правой верхней конечности, происходящие при окклюзионном вмешательстве в гемодинамику и отражающие влияние воздействий на гемодинамические процессы [4]. Здесь же показаны биосигналы: тоны Короткова (ТК), фотоплетизмограмма $\Phi(t)$, давление в манжете (p_{M1}) и артериальное давление в пальце – $p_a(t)$, регистрируемое методом разгруженной стенки сосудов (метод Я. Пеньяза [6]). В этом же блоке отражены процессы: Π_4 – измерение АД тонометрическим методом [5] с помощью манжеты M_3 на левом плече; Π_3 – регистрация интервалограммы, позволяющая анализировать изменения частоты сердечных сокращений в период воздействия. При этом контроль АД на второй конечности манжетой M_3 позволяет фиксировать изменения давления в области центральной гемодинамики. Это поясняется тем, что режим слежения за АД реализуется тонометрическим способом при постоянном давлении в манжете M_3 , создаваемом на левом плече, на уровне ниже диастолического давления p_d . Полной окклюзии венозных и артериальных сосудов плеча при этом не происходит.

С целью формирования модели гемодинамических процессов в организме рассмотрим процессы, происходящие в обозначенных участках 1–4 (рис. 2).

Участок 1 представляет участок сосудистой системы в верхней трети правого плеча, примыкающий с одной стороны к проксимальному краю окклюзионной манжеты M_1 ,

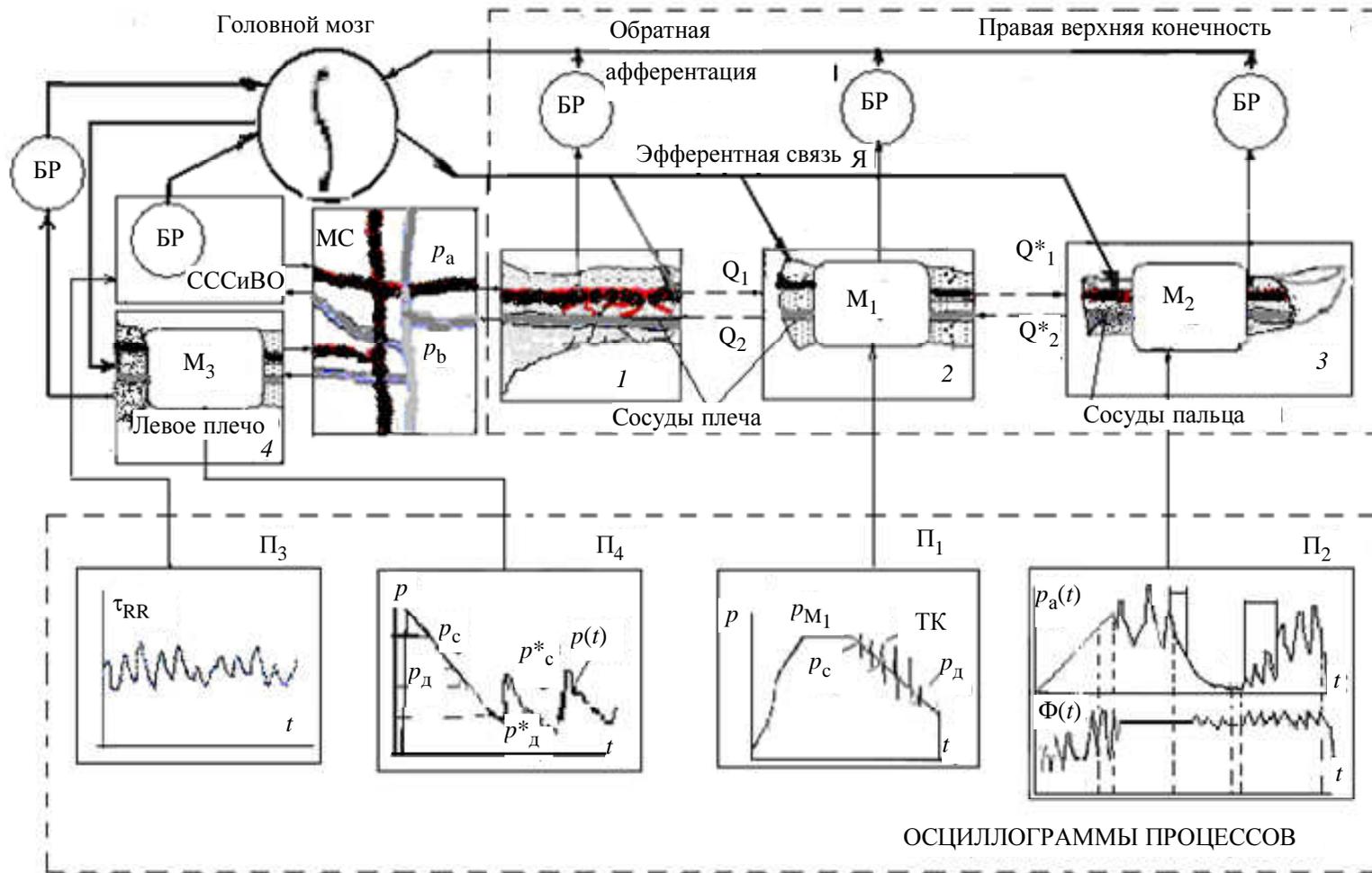


Рис. 2

с другой – сохраняющий связь с областью центральной гемодинамики. Здесь происходит ряд взаимообусловленных физиологических явлений, связанных с окклюзионным вмешательством в гемодинамику:

- повышение объема V_{1a} кровенаполнения сосудов артериального бассейна, вследствие снижения проходимости G_{a2} артерий на *участке 2*;
- понижение («опустошение») объема V_{1b} кровенаполнения бассейна венозной крови, из-за снижения, или полного прекращения оттока венозной крови из-под манжеты M_1 ;
- возврат избыточной артериальной крови через артериовенозные анастомозы участка I ($G_{ав1}$).

Важной особенностью участка I является то, что во время всей процедуры измерения АД сосуды не пережимаются и остаются неразрывно связанными с контуром кровообращения центральной гемодинамики. Тем не менее, существенно изменяется характер кровообращения: в начале воздействия с каждым сердечным сокращением возрастает объем артериальной крови и артериовенозная разница давлений и посредством артериовенозных анастомозов происходит возврат крови из участка I в полую вену. Особо отметим, что это относится к той части артериальной крови, которая не проникает в дистальные участки верхней конечности по артериальному руслу из-за окклюзии сосудов.

Участок 2 является зоной непосредственного механического воздействия на кровеносные сосуды плечевой области манжетой M_1 . Здесь так же, как и на участке I , изменяется объемное кровенаполнение артериальных и венозных сосудов V_{2a} и V_{2b} в зависимости от уровня окклюзионного давления (p_{M1}). Кроме того, в зависимости от уровня окклюзии существенно изменяется периферическое сопротивление сосудов артериального и венозного русел за счет создания искусственного препятствия протеканию крови. По мере повышения давления p_{M1} уменьшается объем кровенаполнения сосудов. При давлении $p_{M1} > p_c$ кровь полностью вытесняется из кровеносных сосудов участка 2 , и кровоток прекращается.

Гемодинамические процессы Π_2 на *участке 3* описаны в [1], [2]. Окклюзионное воздействие приводит к прекращению венозного оттока крови из конечности; дефициту артериального притока; выравниванию артериального, венозного давления и давления в сети капиллярных сосудов этого участка; перераспределению крови между сосудами высокого и низкого давления и депонированию крови в сосуды емкостного типа. Состояние кровообращения на этом участке контролируется непрерывной регистрацией сигнала АД – $p(t)$ в кровеносных сосудах пальца с помощью манжеты M_2 .

Гемодинамические процессы Π_4 на *участке 4*, регистрируемые манжетой M_3 в виде изменений артериального давления $p(t)$ на этом участке, можно отнести к сосудистой реакции, в большей мере затрагивающей область центральной гемодинамики, а кроме того, такая регистрация доступна с помощью технических средств. Это позволяет также анализировать процессы в области, приближенной к магистральным сосудам, так как сосуды левого плеча расположены ближе к ним, чем сосуды правого плеча. Такое решение фактически позволяет зафиксировать реакцию центральной гемодинамики на окклюзионное воздействие, оказываемое на правое плечо.

Можно отметить, что, кроме обозначенных возможностей регистрации реакций в области центральной гемодинамики, предусматривается регистрация интервалограммы (Π_3),

которая позволяет характеризовать изменения в работе сердца. В дальнейшем предусматривается подключение и других измерительных средств, фиксирующих реакции в разных участках сосудистой системы. Схематическое представление гемодинамических процессов (см. рис. 2) позволяет анализировать разные состояния организма по результатам измерений выбранных процессов.

Факторы внешней окклюзии действуют на передаточные звенья и функции представленных частей организма и обуславливают их реакцию. Таким образом, в качестве параметров модели предлагается использовать управляемое давление в манжете M_1 , параметры кровяного давления $p_i(t)$ на разных участках сосудистой системы, объемное кровенаполнение сосудов (по данным фотоплетизмографии и тонометрии), параметры интервалограммы (изменения ЧСС). Особо выделим, что реакции изменений объемного кровенаполнения сосудов разных участков представляются важными для анализа состояния кровообращения и для выбора алгоритма управления окклюзионными воздействиями.

Предложенное схематическое представление процессов, описывающее поведение сосудистой системы организма при измерениях артериального давления окклюзионными методами, позволяет не только качественно анализировать явления, инициированные внешним вмешательством в кровообращение всего организма, но и фиксировать происходящие процессы. Это важно в построении математических моделей и новых алгоритмов измерений для целей исследования состояния гемодинамики целостного организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попечителей Е. П., Чашин А. В. Моделирование гемодинамических процессов в верхней конечности при измерениях артериального давления окклюзионными методами // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. Москва. 2006. № 1. С. 7–15.
2. Попечителей Е. П., Чашин А. В. Исследование процессов периферического кровообращения верхней конечности // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. XIII, № 1. С. 21–24.
3. Чашин А. В. Оценка гемодинамических процессов перераспределения крови в сосудистой системе верхней конечности методами измерения артериального давления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2005. Вып. 2. С. 110–116.
4. Чашин А. В. Комплексные методы исследования гемодинамических процессов в сердечно-сосудистой системе на базе окклюзионных измерений артериального давления: Автореф. дис. ... канд. техн.-наук. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006.
5. Takeda Sunao, Ozawa Hideo, Hyogo Mitsushi et al. Continuous noninvasive blood pressure measuring apparatus and method / Patent USA 5255686, 1993.
6. Penaz. J. Photoelectric measurement of blood pressure, volume and flow in finger // Dig. 10th Int. Conf. Med. Biol. Engl. (ICMB). Dresden. 1973. P. 104.

A. V. Chastchin, E. P. Popchitelev

MODEL OF ORGANISM IN PROCESSES OF OCCLUSAL MEASUREMENTS OF ARTERIOTONY

A model, allowing analyzing the changes in cardiovascular system during measuring of arteriotony, is considered. Occlusal pressure is examined as a test affecting on the organism, then the results of measuring of arteriotony in the different areas of vascular and results of heart-throbs frequency measuring used how the indexes the changes in the organism. A similar model can be the effective mean of development of new methods and programmatic complexes for diagnostics of both the vascular system and organism on the whole.

Arteriotony, pressure of blood, occlusal pressure, the hemodynamic phenomena, functional tests, the modeling of the hemodynamic processes, redistribution of blood

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ЭКГ

Разработаны простые нечувствительные к помехам алгоритмы распознавания характерных точек электрокардиограммы, основанные на теории нечетких множеств. Предложен метод определения верхней грани среднеквадратической погрешности оценки интервалов времени между характерными точками ЭКГ. Показано, что простейшие алгоритмы обеспечивают точность оценки интервалов, не уступающую точности их оценок более сложными методами, основанными на математических преобразованиях временных последовательностей в частотную область.

Автоматический анализ ЭКГ, QRS-комплекс, Р-волна, Т-волна, расчет погрешностей

В последние годы количество публикаций, посвященных автоматической обработке ЭКГ, непрерывно растет. Появилось новое направление – разработка алгоритмов «очерчивания» (delineation), определяющих характерные точки и интервалы времени между ними (см. [1], [2] и ссылки в них). В большинстве работ этого направления для выделения характерных точек используются вейвлет- и Фурье-преобразования, многошкальные дифференциальные операторы (работающие в частотной области), предлагаются также алгоритмы, основанные на построении искусственных нейронных сетей, скрытых марковских моделях и т. д.

В настоящей работе предлагаются алгоритмы определения характерных точек ЭКГ, основанные на теории нечетких множеств.

Определение принципа предлагаемых алгоритмов. Характерными точками ЭКГ являются экстремумы и точки поворота (резкого изменения скорости нарастания или убывания потенциала сигнала). Эти точки обнаруживаются при отслеживании изменений наклона кардиограммы: в экстремальных точках наклон меняет знак, в точках поворота при неизменном знаке существенно изменяется величина наклона. Для оценки наклона кривой в зашумленной записи используются, как правило, различные методы сглаживания или фильтрации [3]. В отличие от этих методов, в предлагаемых алгоритмах участки записи, содержащие шумовые импульсы, выбрасываются из расчетов, для чего используются методы теории нечетких множеств.

Интервалы записи, длительность которых превышает $m\tau$, где τ – период опроса в секундах, m – заданное целое число, рассматриваются как элементы нечеткого множества. Строится функция принадлежности, относящая интервалы записи к подмножеству интервалов быстрого изменения скорости сигнала в том случае, когда абсолютное значение скорости превышает заданное значение v_3 на некоторой части интервала (например, на 80 или 90 % длины интервала). Общая схема алгоритма обнаружения таких интервалов состоит в следующем.

Пусть при сканировании записи обнаружена точка $i = i_1$, такая, что абсолютное значение скорости изменения сигнала v_{i1} на интервале $[i_1\tau, (i_1 + k)\tau]$ больше v_3 , где i – номер опроса датчика, $I = 1, 2, \dots, n$, $k < m$ – целое число (как правило, $1 < k < 5$). Дальнейшую последовательность можно представить в виде нескольких шагов:

1. В интервале $[i_1\tau, (i_1 + m)\tau]$ выделяются подынтервалы $[i_1\tau, (i_1 + k)\tau]$, $[(i_1 + 1)\tau, (i_1 + 1 + k)\tau]$, ..., $[(i_1 + m - k)\tau, (i_1 + m)\tau]$.

2. На подынтервалах $[j\tau, (j + k)\tau]$, $j = i_1, i_1 + 1, \dots, i_1 + m - k$, вычисляются скорости изменения сигнала $v_j = (y((j + k)\tau) - y(j\tau)) / k\tau$.

3. Подынтервалу $[j_1 \tau, (j_1 + k) \tau]$ присваивается балл 1, если $|v_j| \geq v_3$, и балл 0, если $|v_j| < v_3$.

4. Число баллов суммируется по всем подынтервалам: если сумма баллов превосходит pm , где $p < 1$ – заданное число (параметр функции принадлежности), то интервал $[i_1 \tau, (i_1 + m) \tau]$ принадлежит множеству интервалов быстрого возрастания (убывания) скорости сигнала, а точка i_1 принимается за начало этого интервала.

5. Поиск участка быстрого возрастания (убывания) сигнала продолжается на подынтервалах $[j \tau, (j + k) \tau]$, $j = i_1 + m - k + 1, i_1 + m - k + 2, \dots$, до тех пор, пока на интервале $[i_1 \tau, j \tau]$ выполняется условие функции принадлежности, то есть сумма баллов превосходит $p(j - i_1)$; за конец интервала быстрого нарастания (убывания) принимается первая точка $j = j_1$, при которой нарушается условие функции принадлежности.

Числа m , k и p являются настроечными параметрами программы, реализующей описанный алгоритм, их выбор зависит от характера полезного сигнала, частотных характеристик шума и отношения сигнал/шум. По умолчанию значения m , k и p подбираются эмпирически на основании предварительного анализа записей сигналов. В случае если сигнал значительно отличается от стандартного, в программе предусмотрена настройка этих параметров оператором. Алгоритм был успешно применен для распознавания саккад в окулограммах и более подробно описан в работе [4].

Описание алгоритмов обнаружения характерных точек ЭКГ. Общая схема алгоритмов обработки ЭКГ включает две ступени:

- 1) сначала выделяются QRS-комплексы;
- 2) затем характерные точки P- и T-волн ищутся в заданной окрестности каждого обнаруженного QRS-комплекса.

Такая схема принята во всех известных нам работах по обработке ЭКГ. Важнейшими клиническими показателями являются длительности интервалов времени между вершиной QRS-комплекса и вершиной P-волны, интервал $\tau_{P_{\max}R}$, между вершиной QRS-комплекса и началом P-волны, интервал $\tau_{P_{st}R}$, между вершиной QRS-комплекса и вершиной T-волны, интервал $\tau_{RT_{\max}}$, между вершиной QRS-комплекса и концом T-волны, интервал $\tau_{RT_{\text{end}}}$ (рис. 1).

В литературе (например, [2]) часто высказывается мнение, что выделение QRS-комплекса не представляет сложности, так как его амплитуда намного превышает амплитуды других волн ЭКГ. Однако в ряде случаев, сопровождающих ту или иную патологию, это условие не соблюдается [5]. Для иллюстрации на рис. 2 представлена запись ЭКГ, на которой QRS-комплексы имеют ярко выраженную асимметричность, амплитуды ветвей QR в среднем в пять-шесть раз меньше амплитуд ветвей RS, волны T по амплитуде (в среднем 1.2 мВ) превосходят амплитуды ветвей RS (в среднем 0.8 мВ). Запись сделана в СПб НИИ-ЛОП с целью обследования вегетативной нервной системы.

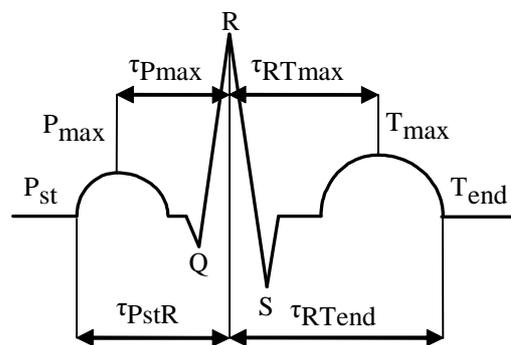


Рис. 1

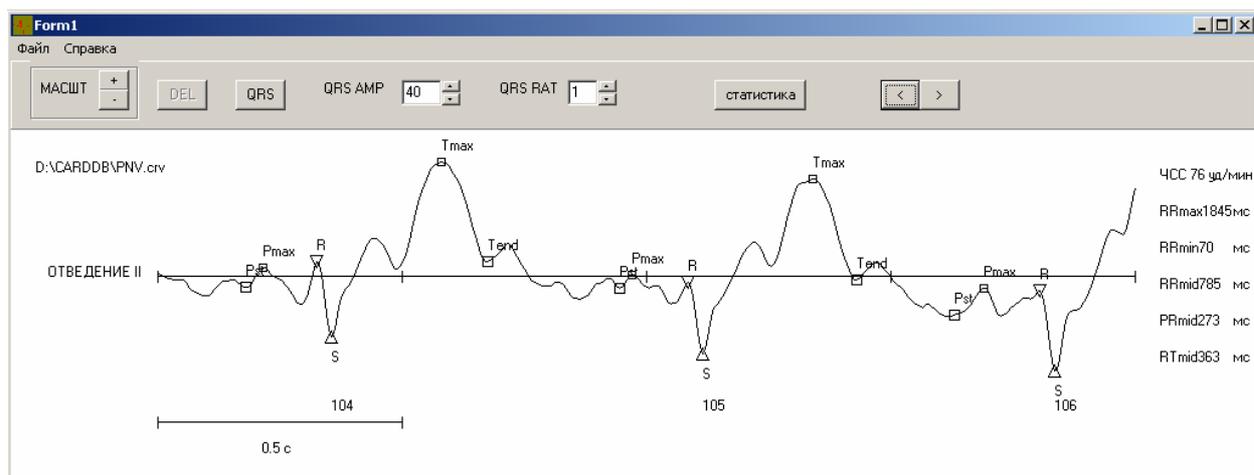


Рис. 2

Очевидно, что характерными отличиями QRS-комплекса от других волн ЭКГ следует считать высокую скорость нарастания и убывания сигнала. Поэтому в предлагаемом алгоритме обработки ЭКГ сначала обнаруживаются все интервалы быстрого возрастания и убывания потенциала сигнала. Затем для идентификации QRS-комплекса определяются пары интервалов, имеющие общую точку (пик R) и вместе образующие искомые комплексы. Определим $\varphi_{IR}(t_j)$ функцию для точек сопряжения интервалов:

$$\varphi_{IR}(t) := \begin{cases} 1 & \text{при } t_{IF} - t_{R_s} \leq s; \\ 0 & \text{при } t_{IF} - t_{R_s} > s, \end{cases}$$

где t_{IF} – абсцисса конечной точки интервала быстрого возрастания, t_{R_s} – абсцисса начальной точки интервала быстрого убывания, s – минимальное расстояние между абсциссами конечной точки восходящего и начальной точки нисходящего участков записи.

Далее определяются пары интервалов быстрого нарастания и убывания, для которых $\varphi_{IR} = 1$. Элементы, вошедшие в идентифицированные искомые комплексы, из дальнейшего перебора исключаются.

Теперь перейдем к обнаружению точек P- и T-волн. Визуальный анализ ЭКГ показал, что современная аппаратура обеспечивает настолько высокое качество записи, что даже при отключенных фильтрах положение вершин P- и T-волн не искажается шумовыми импульсами. Поэтому для выделения вершин P- и T-волн использован обычный метод поиска локальных максимумов, расположенных в областях: 160 мс перед точкой Q – вершина P-волны и 200 мс за точкой S – вершина T-волны.

Для выделения начала P-волны и конца T-волны использован вышеописанный алгоритм поиска участков быстрого возрастания (для P-волны) и убывания (для T-волны). В заданных областях, 80 мс перед вершиной P-волны и 100 мс за вершиной T-волны, ищутся, соответственно, интервалы быстрого нарастания и быстрого убывания сигнала. Значения скоростей быстрого возрастания-убывания сигнала вычисляются как средние значения скоростей на интервалах от 5 до 35 мс перед вершиной P-волны и от 10 до 50 мс за вершиной T-волны. Начало интервала быстрого возрастания является началом P-волны, а конец интервала быстрого убывания – концом T-волны.

Алгоритмы обнаружения QRS-комплексов и волн P и T были положены в основу компьютерной программы, разработанной автором в среде Borland Builder C++. Программа автоматически выделяет символами все точки кардиоцикла. Программа также вычис-

ляет число сердечных сокращений в минуту, максимальное, минимальное и среднее значения RR интервалов, средние продолжительности QRS-комплексов и P-волн, а также средние продолжительности интервалов τ_{PstR} , и τ_{RTend} в миллисекундах.

Методика оценки верхних граней случайных погрешностей выделения интервалов времени между характерными точками ЭКГ. В записи ЭКГ разброс значений каждого из интервалов τ_{PmaxR} , τ_{PstR} , τ_{RTmax} и τ_{RTend} обусловлен множеством факторов, среди которых основными являются следующие:

1. Разброс, обусловленный физиологическими особенностями работы сердца, дисперсию которого обозначим D_c .
2. Ошибки, вызванные физиологическими наложениями и имеющие дисперсию D_ϕ .
3. Ошибки, вызванные техническими помехами и имеющие дисперсию D_T .
4. Ошибки, обусловленные дискретизацией и имеющие дисперсию D_d .
5. Ошибки, возникающие вследствие неточности определения концов интервала, дисперсию которых обозначим D_A .

Так как все перечисленные причины ошибки оценки интервала являются взаимно независимыми, то дисперсия ошибки оценки равна сумме дисперсий отдельных составляющих: $D = D_c + D_\phi + D_T + 2D_d + D_A$.

Отсюда следует, что дисперсия любого из исследуемых интервалов ЭКГ является верхней границей дисперсий, обусловленных каждым из пяти перечисленных факторов, и, значит, среднеквадратическая ошибка оценки длины интервала между двумя характерными точками ЭКГ предложенным алгоритмом не превышает квадратного корня из дисперсии этого интервала. Дисперсия интервала определяется по формуле:

$$D = \sum_{i=i_b}^{i_e} T_i^2 / (i_e - i_b - 1),$$

где i – порядковый номер кардиоцикла, i_b, i_e – номера кардиоциклов начала и конца обрабатываемого участка записи, T_i – оценка длительности i -го интервала. Верхнюю грань ошибки оценки длины интервала, возникающей вследствие неточности алгоритма, можно уменьшить до величины $\sqrt{(D - 2D_d)}$, если вычислить среднеквадратическую ошибку дискретизации при заданном периоде опроса датчиков τ . При допущении равномерного распределения ошибки дискретизации в окрестности $[T_i - \tau/2, T_i + \tau/2]$ любой точки измерения T_i , $i = 1, 2, \dots$ дисперсия ошибки дискретизации

$$D_d = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} t^2 f_\xi(t) dt = \frac{\tau^2}{12},$$

где t – ошибка дискретизации (время между моментом возникновения искомой характерной точки ЭКГ и моментом ближайшего измерения T_i), $f_\xi(t)$ – плотность распределения ошибки дискретизации. Известно, что для случайной величины, равномерно распределенной на интервале $[a, b]$,

$$f_\xi(t) = \begin{cases} 0, & t < a, \\ 1/(b-a) & a \leq t \leq b, \\ 0, & t > b. \end{cases}$$

Обсуждение результатов. Исследования работы алгоритмов были проведены на 4 записях одного (II) отведения ЭКГ с частотой дискретизации 200 Гц. Длительность каждой записи – 5 мин. Общее число кардиоциклов – 1456. Записи были сделаны в СПб НИИ-ЛОР у двух здоровых лиц (1 и 2) и у двух лиц, страдающих расстройством вегетативной нервной системы (3 и 4), см. таблицу. Результаты расчетов средних значений и дисперсий массивов интервалов времени $\tau_{P_{max}R}$, $\tau_{P_{st}R}$, $\tau_{RT_{max}}$ и $\tau_{RT_{end}}$ для четырех обследуемых представлены в таблице.

Для ЭКГ, записанной с периодом опроса датчиков 5 мс, дисперсия ошибки дискретизации согласно приведенной формуле равна 2.08 мс^2 . Тогда верхние грани среднеквадратической ошибки алгоритма могут быть найдены как $\Delta T = \sqrt{D - 2D_d}$. Дисперсии интервалов D и верхние грани среднеквадратических ошибок ΔT приведены в таблице.

Пациент	$\tau_{P_{max}R}$		$\tau_{P_{st}R}$		$\tau_{RT_{max}}$		$\tau_{RT_{end}}$	
	$D, \text{ мс}^2$	$\Delta T, \text{ мс}$	$D, \text{ мс}^2$	$\Delta T, \text{ мс}$	$D, \text{ мс}^2$	$\Delta T, \text{ мс}$	$D, \text{ мс}^2$	$\Delta T, \text{ мс}$
1	38.75	5.88	152.51	12.18	116.75	10.61	206.14	14.24
2	23.50	4.39	83.55	8.91	56.00	7.20	120.09	10.77
3	24.25	4.48	108.81	10.23	75.45	8.44	151.30	12.13
4	21.00	4.10	92.90	9.42	50.25	6.79	131.17	11.27

В [4], [5] представлены результаты расчетов среднеквадратических погрешностей, полученных при сравнении оценок максимумов и концов Т-волн двумя врачами-экспертами и рассчитанными по программам авторов. Согласно этим результатам, оценки максимумов и концов Т-волн, полученные врачами-экспертами имеют среднеквадратические отклонения 15.9 и 22.4 мс соответственно, а среднеквадратические разности между оценками тех же точек программами [5] и каждым из врачей-экспертов составляют 12.9, 18.8 и 9.6, 17.0 соответственно. Сравнение этих данных с нашими результатами, приведенными в таблице, показывает, что с помощью простейших алгоритмов достигнута точность, не уступающая точности алгоритмов, основанных на вейвлет-преобразовании.

В заключение автор выражает благодарность врачу I кат. НИИ ЛОР, канд. мед. наук А. Ю. Юркову за любезно предоставленные записи кардиограмм, использованные в настоящей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A wavelet-based ECG delineator: evaluation on standard databases / Martínez J. P., Almeida R., Olmos S., et al. // IEEE Trans. Biomed. Eng. Apr. 2004. Vol. 51, № 4. P. 570–581.
2. Po-Ching Chen, Steven Lee, Cheng-Deng Kuo. Delineation of T-Wave in ECG by Wavelet Transform Using Multiscale Differential Operator // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2006. Vol. 53, № 7 July. P. 1429–1433.
3. Rangayyan R. M. Biomedical signal analysis. A Case-Study Approach. New York, 2002.
4. Бахилин В. М. Алгоритм обнаружения полезного сигнала в зашумленной записи биомедицинского сигнала методами теории нечетких множеств // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2007. Вып. 1. С. 53–58.
5. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. СПб.: Питер, 2000.

V. M. Bahilin

INSENSITIVE TO NOISE ECG SIGNIFICATION POINTS DETERMINATION ALGORITHMS

This paper proposed insensitive to noise algorithms determination of significant points, based on fuzzy sets theory. A procedure of upper limit estimation of mean square error of ECG intervals is developed. It is shown that simplest provide accuracy of intervals estimation not give up more complex methods, establish on mathematics transforms tames successive to frequency domain.

Automatic analysis of ECG, QRS-complex, P-wave, T-wave, errors account



УДК 658.1.001.76

Р. В. Пичушкин, А. Н. Мардас

О ПРИМЕНИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ЧИСТОЙ ТЕКУЩЕЙ СТОИМОСТИ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ДОЛЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассматриваются проблемы, возникающие при использовании методики расчёта чистой текущей стоимости к оценке эффективности инвестиционных проектов долевого строительства.

Долевое строительство, инвестиционный проект, индекс рентабельности, чистая текущая стоимость

Традиционно экономическая эффективность инвестиционных проектов (ИП) оценивается с помощью метода чистой текущей стоимости (ЧТС, NPV) [1]. Такое положение вещей стало следствием следующих причин:

1. Метод обладает рядом достоинств: простота, универсальность, наглядность [2].
2. Зачастую – это единственный метод оценки эффективности ИП, включённый в программу подготовки специалистов, следовательно, он же единственный, которым они владеют по окончании обучения.

Расчёт ЧТС составляет основу методики UNIDO, в которую входит и ряд других показателей: внутренняя норма доходности (ВНД, IRR), индекс рентабельности (ИР, PI), срок/период окупаемости.

Иллюстрацией применения метода чистой текущей стоимости может служить пример в табл. 1.

С определённой долей условности данный пример можно назвать моделью оценки эффективности ИП в промышленном строительстве. Отличительной особенностью такого проекта является то, что инвестиции всегда предшествуют поступлениям (выручке от реализации), что и отражается на распределении денежных потоков по периодам выполнения проекта.

Используя традиционный подход, рассчитаем ЧТС для ИП в промышленном строительстве со следующими условиями:

- проект номинально безубыточен: номинальный денежный приток равен номинальному денежному оттоку;

- суммы денежных потоков приведены с учётом 5 % инфляции за период;
- норма дисконта (R) образована из темпа инфляции – 5 % и рискованной надбавки – 5 %, т. е. равна 10 % за период;
- период равен полугодию – следовательно, проект длится 5 лет.

Расчёт в табл. 1 показывает, что ЧТС проекта отрицательна. Следовательно, руководствуясь методическими указаниями [3], его следует отклонить.

Таблица 1

ИП промышленного строительства

Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Итого
Номинальный денежный приток, д. е.	–	–	–	1 228	1 290	1 354	1 422	1 493	1 568	1 645	10 000
Номинальный денежный отток, д. е.	1 810	1 900	1 995	2 095	2 200	–	–	–	–	–	10 000
Коэффициент дисконтирования	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	–
Дисконтированный денежный приток, д. е.	–	–	–	839	801	764	730	696	665	634	5 129
Дисконтированный денежный отток, д. е.	1 645	1 570	1 499	1 431	1 366	–	–	–	–	–	7 512
ЧТС, д. е.	–1 645	–1 570	–1 499	–592	–565	764	730	696	665	634	–2 382
Кумулятивная ЧТС, д. е.	–1 645	–3 216	–4 715	–5 307	–5 872	–5 107	–4 378	–3 681	–3 016	–2 382	–

Отметим, что данный результат был предсказуем в силу равенства номинальных поступлений и оттоков. Вместе с тем в реальности присутствует особенность, которая игнорируется большинством специалистов при изложении метода ЧТС – возможное опережение поступлениями оттоков по проекту.

Именно такова практика инвестиционно-строительных проектов, финансируемых по схеме долевого строительства. В них начало денежных притоков от проекта (платежи за квартиры) практически совпадает с началом оттоков*.

Пример расчёта ЧТС такого проекта представлен в табл. 2. Исходные условия те же, что и для проекта промышленного строительства.

Из табл. 2 следует, что проект долевого строительства оказался окупаемым (ЧТС > 0), что нехарактерно для ИП с номинальной безубыточностью.

Проследим теперь зависимость между показателем чистой текущей стоимости (ЧТС) и нормой дисконта (R) для каждого из рассмотренных проектов. С этой целью на рис. 1 представлены кривые, рассчитываемые по следующей формуле:

$$\text{ЧТС} = \sum_{t=1}^{10} \frac{\text{CIF}_t - \text{COF}_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=1}^{10} \frac{\text{NCF}_t}{(1+R)^t},$$

где CIF_t – номинальный денежный приток периода t ; COF_t – номинальный денежный отток периода t ; NCF_t – чистый денежный поток периода t ; R – норма дисконта.

* Ипотечное кредитование и рынок недвижимости. Аналитический обзор. 2007 www.terra.ru.

ИП долевого строительства

Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Итого
Номинальный денежный приток, д. е.	–	1 810	1 900	1 995	2 095	2 200	–	–	–	–	10 000
Номинальный денежный отток, д. е.	793	835	877	920	966	1 015	1 065	1 119	1 176	1 234	10 000
Коэффициент дисконтирования	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	–
Дисконтированный денежный приток, д. е.	–	1 496	1 427	1 363	1 301	1 242	–	–	–	–	6 829
Дисконтированный денежный отток, д. е.	721	690	659	628	600	573	547	522	499	476	5 914
ЧТС, д. е.	–721	806	769	734	701	669	–547	–522	–499	–476	915
Кумулятивная ЧТС, д. е.	–721	85	853	1 588	2 289	2 958	2 411	1 889	1 390	915	–

Поскольку данные проекты реализуются без привлечения кредита, а инфляция по сути фактор риска, то можно считать, что рис. 1 отображает влияние рисков проекта на его доходность (ЧТС).

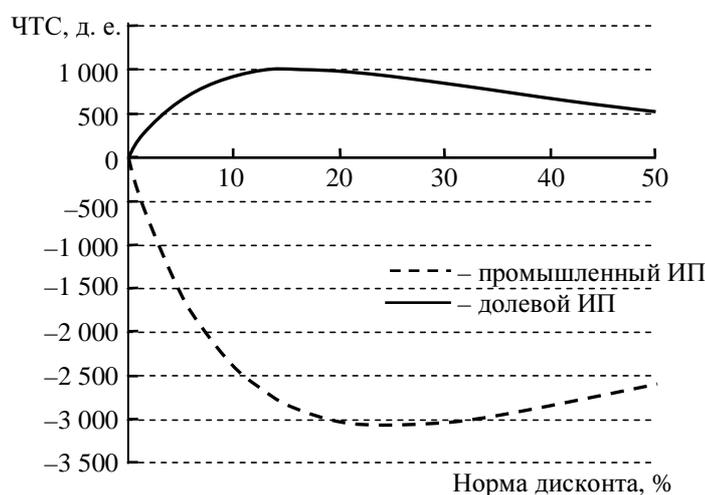


Рис. 1. Зависимость ЧТС от нормы дисконта

Традиционно считается, что показатель ЧТС отражает риск проекта по его доходности, причём чем выше норма дисконта (в данных условиях – риск), тем ниже ЧТС. Но кривая ЧТС долевого ИП опровергает эту взаимосвязь.

Построим теперь (рис. 2) зависимость дисконтированного индекса рентабельности (PI) от нормы дисконта (R), рассчитываемую как

$$PI = \sum_{t=1}^{10} \frac{NCF_t}{(1+R)^t} / \sum_{t=1}^{10} \frac{COF_t}{(1+R)^t}.$$

Видно, что наблюдается схожая ситуация – при повышении нормы дисконта (надбавки на риск) в долевым ИП растёт и индекс рентабельности.

Таким образом, слепое следование выводам теории может быть весьма опасным для инвестора. Используя завышенные оценки инфляции и риска, чтобы повысить расчётную величину ЧТС, он может выбрать нерентабельный проект.

В итоге можно утверждать, что применение метода ЧТС в каждом конкретном проекте необходимо сопровождать построением кривых по примеру рис. 1 или 2.

Таким образом, декларируемая универсальность метода ЧТС на самом деле таковой не является: при определённых типах ИП расчёты не дают объективной оценки эффективности. Это могут быть не только проекты долевого строительства, но и любые другие с похожей схемой денежных потоков.

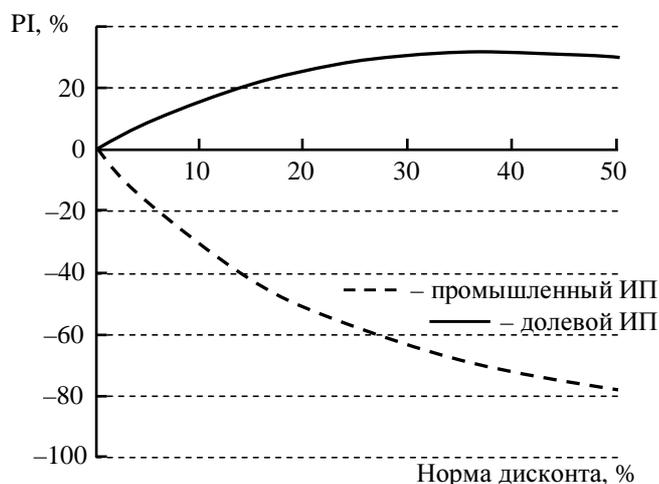


Рис. 2. Зависимость PI от нормы дисконта

Однако остаётся открытым вопрос: как же оценивать экономическую эффективность проектов долевого строительства? По мнению авторов статьи можно предложить следующее решение: переосмыслить понятие риска, вкладываемое в методику UNIDO, и трактовать его как «вероятность получения дополнительного дохода».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марголин А. М., Быстряков А. Я. Экономическая оценка инвестиций. М.: Экмос, 2001.
2. Касатов А. Д., Матиенко Н. Н., Ример М. И. Экономическая оценка инвестиций: Учеб. для вузов. СПб.: Питер, 2007.
3. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов. 21.06.1999 г. № ВК477. Официальное издание. М.: Экономика, 2000.

R. V. Pichushkin

APPLICATION NET PRESENT VALUE SHOWING FOR VALUATION EFFICIENCY OF SHARE HOLDING BUILDING INVESTMENT PROJECTS ABOUT

Problems emerged of using Net Present Value showing for valuation efficiency of share holding building investment projects is considered.

Shareholding building, investment project, profitability index, net present value

ЛИЗИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Рассматривается лизинг как эффективная схема финансирования инновационных проектов. Приводятся данные о финансировании лизинговых проектов малых и средних компаний России за период 2005–2007 гг., описываются различные преимущества лизинговых схем финансирования инновационных проектов малых и средних компаний, дается сравнение эффективности лизинговых и кредитных схем финансирования инновационных проектов. Отдельно авторы выделяют ключевую проблему, связанную с необходимостью разработки методов оценки финансовой устойчивости инициаторов инновационных проектов.

Лизинг, инновационный проект, схемы финансирования инновационных проектов, экономическая эффективность, оценка финансовой устойчивости

Реализация любого инновационного проекта всегда связана с привлечением ресурсов, в том числе финансовых в различных формах и на различных стадиях.

Привлечение финансовых ресурсов в деловой практике происходит в рамках определенной *схемы финансирования*, под которой будем понимать *всю совокупность условий, связанных с привлечением финансовых средств*, – состав участников сделки, права и обязанности сторон сделки и прочие существенные условия, в том числе установленные действующим законодательством.

В последние годы важное место на заключительных стадиях реализации инновационных проектов занимают *лизинговые схемы* их финансирования. В мировой практике лизинг является инструментом финансирования преимущественно для малого и среднего бизнеса. Эту нишу он занимает, прежде всего, в силу своего низкорискового характера. Предмет лизинга, остающийся в собственности лизингодателя до окончания срока договора лизинга, является гарантией успешного осуществления сделки для лизингодателя. Так как в большинстве стран мира при лизинге не применяются значительные налоговые льготы, такие как в России, низкий уровень рисков становится основным преимуществом этого инструмента.

Можно отметить, что в 2005–2007 гг., не теряя важности для крупных компаний как способ проектного финансирования, лизинг однозначно становится популярным продуктом для малого бизнеса. Доля сделок с малым бизнесом в общем числе выросла за рассматриваемый период с 10 до 35 %. При этом ежегодно лизинг открывают для себя более 10 тыс. компаний малого бизнеса. Многие лизинговые компании охотно работают с малыми предприятиями – доля удовлетворенных заявок составляет более 67 %. При этом у 59 % лизинговых компаний, осуществляющих сделки с малым бизнесом, доля удовлетворенных заявок составляет более 80 %. Достаточно активно лизингом интересуются и индивидуальные предприниматели, работающие по упрощенной схеме налогообложения, а значит, не имеющие возможности воспользоваться налоговыми преимуществами лизинговых схем финансирования проектов. Для них лизинг – дополнительный способ приобретения оборудования, причем зачастую более дешевый и удобный. Наиболее активно сделки с малым бизнесом заключаются в Центре и Поволжье – на их долю (без учета Москвы) приходится более 3/4 от общего объема сделок. Сравнительно слабо лизинг для малого бизнеса развит пока в Сибири, на Урале и юге России. Однако именно эти регионы являются потенциально наиболее активными областями развития лизинга для малого бизнеса в ближайшие несколько лет.

Со стороны малого и среднего бизнеса в России интерес к лизингу возникает по двум основным причинам. Во-первых, из-за высоких (по сравнению с крупным бизнесом) темпов роста мелких и средних предприятий. Во-вторых, вследствие относительно низких требований к финансовому состоянию самого лизингополучателя (зачастую акцент переносится на эффективность проекта, под который приобретается объект лизинга) лизинг становится фактически единственным инструментом финансирования, доступным для многих средних и малых предприятий, реализующих инновационные проекты. Банковские кредиты практически недоступны для основной массы инновационных предприятий в силу:

- неудовлетворительных показателей финансовой отчетности на ранних этапах реализации инновационных проектов;
- отсутствия необходимого обеспечения по кредитам;
- неприемлемого с точки зрения банков уровня соотношения «доходность–риск»;
- отсутствия данных о кредитной истории потенциального заемщика;
- необходимости выполнения банками требования Положения № 254-П «О резервах на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности».

Согласно действующему законодательству, по договору финансовой аренды (лизинга) арендодатель обязуется приобрести в собственность указанное арендатором имущество у определенного им продавца и предоставить арендатору это имущество за плату во временное владение и пользование для предпринимательских целей (см. рисунок).

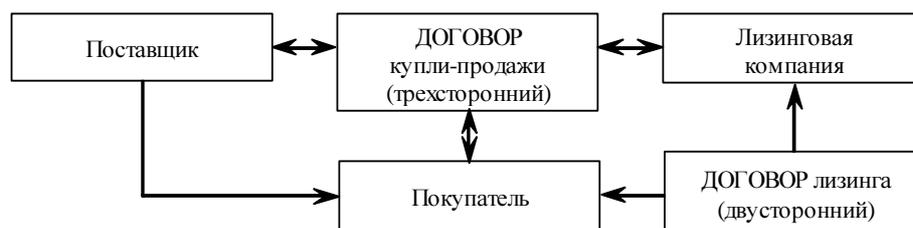


Схема лизинговой сделки

Отдельно стоит выделить эффективность лизинговых схем финансирования инновационного проекта. Источниками возмещения инвестиций в основные средства являются прибыль и амортизация. Налоговые льготы, закрепленные за лизингом гл. 25 Налогового кодекса РФ, определяют возможность применения ускоренного коэффициента амортизации, равного 3. Таким образом, по сравнению с кредитованием при лизинге возмещение инвестиций в основные средства происходит в большей степени за счет амортизации, а не за счет прибыли. Это приводит к перераспределению налога на прибыль во времени на более поздние периоды инновационного проекта и уменьшению налога на имущество. В результате применения лизинга общая сумма расходов становится меньше, чем при использовании кредита, что позволяет компании, реализующей инновационный проект, на начальном этапе развития иметь больше денежных средств в обороте, а значит, и более быстро и эффективно развиваться.

Проиллюстрируем упомянутые факты, определяя эффективность реализации инновационного проекта методом, связанным с определением чистого дохода и выручки, который также называется методом «определения выручки».

При сравнении эффективности лизинга и кредита методом, связанным с определением чистого дохода, сравнение ведется по чистому потоку денежных средств, которые остаются на счетах предприятия после реализации инновационного проекта и которыми

предприятие имеет право распоряжаться по своему усмотрению. Предполагается, что выручка предприятия постоянна и не зависит от способа инвестиций в имущество.

Сравнение эффективности лизинга и кредита методом, связанным с определением выручки, ведется по выручке предприятия, необходимой для финансирования приобретения имущества при условии, что остаток денежных средств на счетах предприятия постоянен и не зависит от способа проведения инвестиций в имущество.

Упомянутые методы связаны друг с другом, так как один сравнивает прибыль после налогообложения, а второй – до налогообложения. Рассмотрим эти методы и их связь на условном примере (см. таблицу).

Модельный пример расходов на приобретение оборудования при лизинге и кредите

Расходы	Метод, связанный с определением			
	чистого дохода		выручки	
	Кредит	Лизинг	Кредит	Лизинг
Лизинговые платежи (Л)		1 460		1 460
Оплата оборудования без НДС (О)	1 000		1 000	
Налог на имущество (И)	55		55	
Проценты по кредиту (К %)	360		360	
Экономия по налогу на прибыль (А + И + К %) · % пр или (Л) · % пр	-180	-350		
Налог на прибыль для выплаты процентов по кредиту части кредита из собственных средств (О – А) · % пр / (1 – % пр)			210	
Итого расход денежных средств	1 235	1 110	1 625	1 460
Эффект лизинга, у. е.		125		165
Эффект от стоимости оборудования, %		12,5		16,5
<i>Эффект по чистому доходу (125 у. е.) = эффект по выручке (165 у. е.) · (100 – 24 %)</i>				

Предположим, приобретается имущество стоимостью 1000 у. е. без НДС плюс НДС 180 у. е.; срок полной амортизации 9 лет; используемая норма амортизационных отчислений –11,1 % в год; коэффициент ускорения амортизации при лизинге 3; срок лизинга составит 3 года; амортизация при кредите за срок погашения кредита А = 336 у. е.; привлечены кредитные ресурсы в размере 1200 у. е. на 3 года с ежегодным погашением основного долга и процентов (К %) по ставке 15 % годовых.

Результаты сравнения по методу «определения выручки» всегда больше, чем результаты метода «определение чистого дохода» (при ставке налога на прибыль 24 % разница составляет 32 %), поэтому всегда важно учитывать, какой из методов сравнения применяется и соответствует ли он целям и особенностям деятельности лизингополучателя.

Методы можно отличить друг от друга, рассмотрев влияние налога на прибыль на эффективность лизинга. Если в перечне расходов на приобретение имущества присутствует налог на прибыль, увеличивающий расходы (за счет погашения части кредита из чистой прибыли, а не из амортизации), то данный метод – «определение выручки». Если же присутствует экономия налога на прибыль, которая формируется за счет уменьшения налогооблагаемой прибыли путем отнесения на затраты начисленной амортизации, налога на имущество и процентов по кредиту, то данный метод – «определение чистого дохода».

Рассмотрев приведенный пример и наглядно оценив эффективность лизинга, можно предположить, что в целях развития лизинговых услуг, одной из важнейших задач в настоящее время является необходимость разработки методов оценки финансовой устойчивости лизингополучателя-инициатора инновационного проекта.

Вследствие специфики лизинговой схемы требования к лизингополучателям в среднем гораздо ниже, чем, например, к претендентам на банковский кредит, а для инновационных предприятий, стремящихся закупить требуемое оборудование, лизинг особенно привлекателен тем, что позволяет получить в пользование требуемые активы, не увеличивая (или незначительно увеличивая) налоговую нагрузку.

Таким образом, рассмотрев различные подходы к определению эффективности лизинга, очень важно понимать границы эффективности лизинговых операций по сравнению с кредитованием. Ответить на этот вопрос достаточно сложно, так как каждая сделка уникальна и имеет большое количество параметров. Необходимо помнить, что на совокупный эффект значительно влияют налог на имущество и налог на прибыль.

Практика показывает, что для большого количества разных видов оборудования лизинг является эффективной формой инвестиций, обеспечивающей эффект в 5–20 % от стоимости имущества, что несомненно способствует успешной реализации инновационных проектов.

В заключение, хотелось бы отметить, что лизинг, являясь достаточно эффективным способом обновления и расширения основных средств, просто незаменим при внедрении нового высокотехнологичного оборудования, требующегося для производства инновационных продуктов. Причем здесь лизинговая компания может как просто привлечь финансирование и приобрести оборудование у указанного клиентом поставщика, так и сама найти нужное оборудование и поставщика с учетом пожеланий лизингополучателя, а иногда даже инициировать его создание. Например, в середине 2005 года появился на свет «Ту-124» – результат проекта, инициированного «Финансовой лизинговой компанией» совместно с КАПО им. Горбунова и авиакомпанией «Дальавиа».

M. Y. Liholetov, A. V. Vasiliev

LEASING, AS INNOVATION PROJECTS FINANCING TOOL

Author of this article examines leasing, as an efficiency financial scheme of innovation projects. This article describes data about leasing projects in small-business sector during 2005–2007 years, describes various advantages of leasing as an efficiency financial scheme of innovation projects, and compare cost efficiencies of leasing and credit financial schemes of innovation projects. Author of this article shows, that complex methods of financial ratings of innovation companies is absent, and this is the main problem in leasing financial schemes of innovation projects for today.

Leasing, innovation project, innovation projects financial schemes, cost efficiency, financial rating



УДК 940.1

Д. Н. Меньшиков

М. Б. ШЕИН КАК ПОЛКОВОДЕЦ В СМОЛЕНСКОЙ ВОЙНЕ 1632–1634 гг.

Рассказывается о полководческой деятельности воеводы М. Б. Шеина в годы Смоленской войны 1632–1634 гг. и рассматривается вопрос о его виновности в поражениях русских войск.

Воевода М. Б. Шеин, измена, осада, полки нового строя, Владислав IV

Смоленская война стала первым крупным военным предприятием Московского государства после окончания Смутного времени. Подготовка к ней началась сразу после окончания Смутного времени и выразилась в масштабных военных преобразованиях: была восстановлена поместная система, в Европе сделаны массовые закупки военного снаряжения, там же наняты военные специалисты, из русских людей созданы полки нового строя. На все это были потрачены огромные средства, но война закончилась полнейшим провалом – постыдной Смоленской катастрофой, после которой командующий армией М. Б. Шеин был обвинен в измене и казнен.

Если факт его измены подавляющее большинство исследователей отрицают, то по вопросу о причинах поражения в войне и о том, какую роль в нем сыграл М. Б. Шеин и за что его собственно казнили, в историографии существует несколько различных точек зрения. Часть исследователей, начиная с С. М. Соловьева [7, с. 42], [17, с. 896–897], [33, с. 164], [36, с. 1–32], объясняли военное поражение такими первоочередными причинами, как низкая боеспособность московского войска, татарский набег 1633 г., внутривластные причины и общая слабость России, еще не оправившейся от Смуты. Участь М. Б. Шеина они объясняли в первую очередь боярскими интригами и необходимостью срочно найти козла отпущения, на роль которого отлично подходил воевода разбитого войска, к тому же лишившийся своего покровителя, патриарха Филарета. А. Н. Зерцалов даже высказал мнение, что неудачи М. Б. Шеина были вызваны деятельностью его врагов [12, с. 11–29].

В то же время некоторые историки, первым из которых был Н. Е. Бранденбург [5, с. 15–16], [6, с. 183–184], [8, с. 545], высказали точку зрения о несостоятельности М. Б. Шеина как полководца и о том, что именно его ошибочные действия сыграли решающую роль в по-

ражении в войне. Некоторые, например И. Андреев, даже писали о его полной бездарности [3, с. 32–37]. Этим же объясняли и судьбу воеводы, наказанного за свои собственные промахи и бездарность, о чем прямо заявил Д. И. Иловайский, проведя параллель между М. Б. Шеиным и французским маршалом Базеном, также обвиненным в измене за свои бездарные действия в 1871 г. [13, с. 449].

Точкой расхождения мнений является объяснение, во-первых, чрезвычайно медленного продвижения московской армии из Можайска в Смоленск, а во-вторых, пассивных оборонительных действий М. Б. Шеина под самими городом, особенно после подхода туда польской армии Владислава IV. Однако эти боевые эпизоды рассматривались на основании довольно ограниченного круга источников¹, причем многие аспекты военной истории России XVII в. были изучены слабо. В связи с этим представляется необходимым рассмотреть полководческую деятельность М. Б. Шеина сугубо с военной точки зрения.

М. Б. Шеин происходил из старомосковского боярского рода, находившегося в родстве с Морозовыми, Тучковыми и Салтыковыми. Начал службу при царе Федоре Ивановиче, в Смутное время отличился в битве при Добрыничах [4, с. 3, 71] и в 1607 г. был пожалован боярином и назначен воеводой в Смоленск [4, с. 12, 94], стойкая и упорная оборона которого в 1609–1611 гг. прославила его на всю Россию. Попав при взятии города в плен, он познакомился и сблизился с патриархом Филаретом. Вернувшись в 1619 г. из плена, занимал различные высокие государственные посты, в 1628–1632 гг. возглавлял Пушкарский приказ и активно занимался внедрением новых технологий и подготовкой артиллерии к надвигавшейся войне [32, с. 47–48]. Это был мужественный, хотя и осторожный и основательный человек, отличавшийся определенной гордостью и высокомерием [7, с. 42]. Характерными чертами его были упорство и стойкость.

Несмотря на репутацию героя Смуты и близость к патриарху Филарету, поначалу кандидатура М. Б. Шеина на пост командующего главными силами даже не рассматривалась. Однако назначенные в апреле 1632 г. воеводами в полки Д. М. Черкасский и Б. М. Лыков затеяли друг с другом местническую тяжбу и были отставлены, а назначенный им на смену князь Д. М. Пожарский сказался больным и тоже попросил отставки, и в итоге во главе войска был поставлен близкий к Филарету М. Б. Шеин, бывший одним из сторонников войны.

В июне начался сбор войск в Вязьме, Можайске, Ржеве и Калуге. Он шел очень медленно, что было связано с незавершенностью подготовки к войне и слабостью поместной системы, еще не восстановившейся до конца, несмотря на целенаправленную поддержку правительства. Лишь в начале августа в Разряде был составлен окончательный наряд войск и написаны указы воеводам. В распоряжение М. Б. Шеина и А. И. Измайлова в Можайск и Вязьму нарядили в общей сложности 21 579 человек [24, л. 52–64], из которых почти половину составляла солдатская пехота², воеводам С. В. Прозоровскому и М. В. Белосельскому в Ржев назначили 4858 человек [24, л. 65–70], а Б. М. Нагому в Калугу – 1958 человек [24, л. 71–73].

Главным силам наказывалось, закончив сбор ратных людей и получив необходимые запасы, не мешкая идти из Можайска в Вязьму, оттуда выслать голов с сотнями под Дорогобуж. После его взятия воеводы должны были, опять же не мешкая, идти под Смоленск,

¹ Основной массив отечественных документальных источников по истории Смоленской войны опубликован в [1] и [2].

² Около 9 тысяч человек в 3 немецких и 4 русских полках.

обложить его и взять. При этом особо отмечалась необходимость возведения мощных укреплений против возможного прихода деблокирующих польских сил. При подходе к Смоленску полевой армии противника М. Б. Шеин должен был дать бой в открытом поле [23, л. 93–71], [35, с. 1–14]. Воеводам С. В. Прозоровскому и М. В. Белосельскому была поставлена задача выступить из Ржева к Белой, взять ее и идти под Смоленск на соединение с М. Б. Шеиным. Б. М. Нагой шел из Калуги на Серпейск и Рославль, а уже оттуда – под Смоленск [22, л. 40–48]. Их действия были поставлены в зависимость от действий главной армии.

В наказах воеводам особенно часто повторялось, что надо действовать «с поспешанием». Очевидно предполагалось воспользоваться поздним летом, по еще сухим дорогам быстро дойти до Смоленска и начать его осаду, прежде чем поляки успеют подготовить город к обороне. Время наступления было подобрано с таким расчетом, чтобы хлеб на полях уже вызрел, но собрать его не успели и Смоленск и другие польские приграничные крепости остались без запасов провианта, в то время как московское войско получило бы возможность легкой фуражировки и снабжения продовольствием. Стремительное наступление должны были упростить и симпатии местного православного населения. Можно сказать, что планировался своеобразный «блицкриг».

9 августа в Москве у Благовещенского собора состоялось торжественное выступление М. Б. Шеина в поход [11, с. 287]. Однако вместо считанных недель поход к Смоленску растянулся на 4 месяца, и поляки успели подготовить город к обороне. Впоследствии такую мешкотность вменили М. Б. Шеину в вину и рассматривали как свидетельство его измены. Однако задержка имела куда более прозаические причины.

Вместо сильного на бумаге 20-тысячного войска с многочисленной артиллерией и обильными запасами воевода по приезде в Можайск обнаружил лишь 1786 человек [24, л. 163–165]. Ему пришлось начать со сбора армии, окончившегося в целом лишь к концу августа, когда в Можайск пришли солдатские полки. Артиллерия силой в 116 пушек под командой И. Н. Арбузова [24, л. 102–105] присоединилась к армии только в сентябре [24, л. 221, 335–337]. Мешало сбору войск не только нежелание многих дворян идти на дорогостоящую войну, но и местничество [24, л. 246–48]. Похожая ситуация сложилась и у С. В. Прозоровского во Ржеве [24, л. 172, 179–185, 258], и у Б. М. Нагого в Калуге [34, с. 165].

По мере сосредоточения солдаты начали голодать из-за отсутствия достаточного количества харчевников¹. Уже 20 августа полковник А. Лесли писал, что его солдаты голодают, так как не могут нигде купить себе провианта [24, л. 143], вскоре к нему присоединились и остальные немецкие полковники [24, л. 233]. Однако нужного числа харчевников так и не было прислано [24, л. 144, 169, 174], так как Разрядный приказ оказался не готовым организовать снабжение большого числа людей. Результатом этого было не только то, что войска страдали от голода, – начались грабежи [24, л. 170–171]. Попытки улучшить положение посылкой из Москвы хлебного транспорта увенчались лишь частичным успехом [24, л. 233, 264–267], а затем положение только усугубилось.

В итоге главные силы выступили из Можайска лишь 12 сентября, так и не дождавшись многих людей и артиллерии [24, л. 283–284]. Почему же воевода, зная о слабости польских гарнизонов [37, с. 39], [39, с. 183, 188], не выступил раньше, действуя хотя бы

¹ Маркитанты.

подвижными конными частями? Воевода располагал достаточным количеством войска, которое к тому же страдало от голода, поэтому он ждал, когда оно станет хоть частично способным к ведению боевых действий, и, не имея прямого приказа на выступление, не собиравшись рисковать. И его действия на тот момент полностью соответствовали букве (но не духу) царского наказа. Конечно, сейчас мы можем точно сказать, что это было ошибкой, но ведь тогда М. Б. Шеин не располагал всей полнотой информации о положении в Польше, поэтому его действия расценивались как правильные. Однако они привели к тому, что сухое время года было упущено. Зарядили дожди, и дороги размыло. И если мы вспомним, что с войском шел большой обоз, то неудивительно, что переход из Можайска в Вязьму (около 182 км) занял почти две недели – армия пришла туда лишь 26 сентября, и в донесениях в Москву появляются жалобы на «грязи великие» [24, л. 388]. По дороге войска по-прежнему жестоко страдали от голода [24, л. 351–354].

Из Вязьмы в сторону Дорогобужа, опять-таки в исполнение царского наказа, был выслан отряд Федора Сухотина и А. Лесли, который подошел к городу и уже 18 октября [23, л. 41] взял его практически без потерь [29, л. 70]. Вслед за ними, дождавшись артиллерии, 2 октября выступил и сам М. Б. Шеин. Однако 126 км, отделяющих Вязьму от Дорогобужа, дались ему очень и очень тяжело – началась осенняя распутица [24, л. 396–404]. Войско оказалось сильно ослаблено потерей лошадей, увеличилось число дезертиров [24, л. 420–421], умерших и больных. Именно тогда растеряли все свои запасы прибывшие в войско дворяне [26, л. 48], ведь снабжения практически никакого не было [1, с. 421], [24, л. 487–88]. Попытка организовать фуражировки в Дорогобужском уезде провалилась [24, л. 489].

26 октября М. Б. Шеин пришел в Дорогобуж, а уже на следующий день ему был выслан приказ идти на Смоленск. Однако перед этим войско надо было привести в порядок, требовалось наладить снабжение и подождать отставших. А главное, было необходимо, чтобы дороги приобрели нормальный вид, поскольку они были совершенно размыты осенними дождями, и двигаться по ним было абсолютно невозможно. Рисковать измотанными войсками воевода не собирався. Надо сказать, что в этом его в Москве полностью поддержали, и никаких нареканий не возникло.

И хотя с этой точки зрения стояние в Дорогобуже было полностью оправданно, у него был огромный недостаток – потеря времени, которое на войне является одним из важнейших ресурсов. Конечно, М. Б. Шеин не стоял в Дорогобуже пассивно – он регулярно посылал в сторону Смоленска небольшие отряды, призванные тревожить поляков [25, л. 71–73, 98], однако «дорогобужское стояние» позволило полякам существенно укрепить стены [25, л. 300–305] и усилить гарнизон Смоленска [25, л. 24–29]. Серьезной, хотя тоже вполне объяснимой ошибкой стал фактический отказ от помощи местных жителей [25, л. 74] – помня о Смутном времени, воеводы, очевидно, опасались оказывания войска и снижения его надежности.

Лишь 25 ноября [25, л. 113–123] главные силы выступили из Дорогобужа и 8 декабря подошли к Смоленску, начав осаду города, гарнизон которого составляли 1649 человек [40, с. 458]. Таким образом, 384 версты между Можайском и Смоленском были пройдены за 3 месяца, да еще месяц М. Б. Шеин потратил на сбор войска, хотя на сам марш было

затрачено не более 50 дней, без учета дневок¹. Это говорит в первую очередь о плохой организации марша, снабжения и сбора войск, из-за чего и был упущен период хорошей погоды, а никак не о медлительности и бездарности воеводы, в действиях которого на этом этапе войны просматривается четкая система, которая точно так же может быть выделена и во время дальнейших его действий. Система эта очень проста – оказывающийся в положении выбора М. Б. Шеин предпочитал наименее рискованный путь и упускал одну за другой благоприятные возможности, хотя поначалу это серьезной роли не играло.

Смоленская крепость, под которой встали лагерем русские войска, была одной из сильнейших в Восточной Европе, и взятие ее было непростой задачей. М. Б. Шеин понимал это лучше, чем кто бы-то ни было другой. Воевода начал с организации обложения крепости, что оказалось непростой задачей, и лишь 10 февраля, после подхода полков С. В. Прозоровского и Б. М. Нагого, смог сообщить о полной блокаде города [11, с. 312–317].

Сразу же отказавшись от рискованного и кровопролитного открытого штурма, исход которого был совершенно неясен, М. Б. Шеин сделал ставку на ведение постепенной атаки по новейшим западноевропейским военным образцам. Этим занялись иноземные полковники А. Лесли и фон Хареслебен, а также инженеры Д. Николь и Э. Конгресс [34, с. 191–193]. Поначалу их работам мешали мерзлый грунт и отсутствие осадной артиллерии, лишь 15 марта с трех батарей начался обстрел крепости.

Еще в начале февраля в Красном, неподалеку от Смоленска, встало войско литовского польного гетмана К. Радзивилла силой в 4234 человека. В ночь с 21 на 22 февраля им была предпринята первая попытка прорыва в город, окончившаяся лишь частичным успехом. Вторая попытка была предпринята 16–17 марта, когда к городу попытались прорваться 600 пехотинцев с запасами пороха, и большинству из них это удалось, хотя М. Б. Шеин и доносил о полном разгроме поляков [1, с. 481, 487].

После этого блокада города была усилена, но на более радикальное решение этой проблемы – попробовать разгромить войско Радзивилла в полевом сражении – М. Б. Шеин так и не решился, хотя ему это советовал С. В. Прозоровский [19, с. 124–125]. (Он вообще мало слушал советов подчиненных и строго следил за соблюдением субординации. Например когда С. И. Прозоровский отправил донесение в Москву без его ведома, М. Б. Шеин устроил скандал [26, л. 42–45].) Вместо этого он стал регулярно посылать под Красный небольшие отряды [1, с. 494–495].

Это явилось наиболее грубой его ошибкой. Наличие неподалеку сильного отряда, который служил для осажденных источником поддержки и ободрения, заставляло крепость держаться. Кроме того, это служило источником напряженности и приводило к постоянным изматывающим стычкам. В то же время отказ от сражения не был нарушением наказа, где главной целью было названо взятие Смоленска. В условиях нехватки войска – а у М. Б. Шеина имелось лишь около 28 тысяч человек – и необходимости осаждать крепость это было бы логично и оправданно. Наполеон в своих военно-исторических записках указывал, что прикрытая укреплениями осадная армия, обеспечив себе снабжение, может спокойно взять кре-

¹ М. Б. Шеин выступил из Можайска 12 сентября, а под Смоленск пришел 8 декабря. Кроме этого он стоял неделю в Вязме (с 26 сентября по 2 октября) и месяц в Дорогобуже (с 27 октября по 26 ноября). Таким образом, на марше он был 50 дней, без учета промежуточных дневок.

пость на глазах противника [16, с. 223–233]. И М. Б. Шеин, руководствуясь своим опытом, мог думать так же, тем более что иноземные офицеры, имевшие опыт войны в Нидерландах, сплошь усеянных крепостями, скорее всего, убеждали его в этом.

Однако при осаде крепости его ждали неудачи – подкрепленные и постоянно ободряемые Радзивиллом поляки стойко отбивались. Им помогло также то, что обстрел крепости вскоре прекратился из-за того, что весенняя распутица прервала подвоз снарядов [1, с. 487–494]. Оба штурма, 26 мая и 10 июня, оказались отбиты, русское войско понесло тяжелые потери – суммарно до 1200 убитых и раненых [30, л. 36–37, 40–41, 54–55]. Осада затянулась, и постепенно наступило относительное затишье, прерываемое лишь периодическими обоюдными набегами небольших отрядов, вся тяжесть которых падала на войска С. В. Прозоровского [12, с. 15]. Оживление наступило к концу августа, когда поляки в ожидании подходившего войска Владислава IV произвели несколько сильных атак [31, л. 64].

По показаниям пленных и перебежчиков, королевская армия насчитывала 15–20 тысяч с 15–20 пушками и мортирами [31, л. 1–16], реально же к 28 августа, когда начались бои под Смоленском, ее количество достигло 12–14 тысяч [38, с. 18], хотя М. Б. Шеин, конечно, исходил из данных разведки. Численность находившихся в его распоряжении войск оценить довольно сложно из-за массового дезертирства обнищавших дворян и детей боярских, которые сотнями бежали со службы [1, с. 516], что в значительной степени было вызвано татарским набегом, случившимся летом 1633 г. [18, с. 212], [20, с. 471–472]. В целом можно сказать, что у него имелось немногим более 20 тысяч войска, из которых примерно 10 500 человек составляла солдатская пехота [26, л. 77–80]. Конница насчитывала около 5000 дворян и детей боярских [28, л. 49–82] и около 2000 рейтар [27, л. 1–155]. С учетом того, что дворянская конница было довольно ненадежна, а требовалось быть готовым к возможной вылазке гарнизона, можно понять не слишком сильное желание М. Б. Шеина выходить из-за укреплений и вести активные действия в поле.

Может быть, такая осторожность объяснялась еще и плохим качеством его войск, о чем писал, например, Е. В. Сташевский [34, с. 121], да и многие другие, критикуя военную организацию Московского государства¹. Действительно формирование солдатских полков проходило в жуткой спешке, и их было трудно обучить надлежащим образом. Однако к августу 1633 г. большинство солдат уже побывало в боях, а их командиры располагали временем, чтобы вымуштровать своих подчиненных. Косвенным подтверждением этому является изображение Смоленской эпопеи на гравюре Гондиуса, где можно увидеть русскую пехоту, построенную по шведскому образцу, что невозможно произвести неопытными войсками [9, л. 10]. Даже недавно подошедший к армии рейтарский полк успел получить боевое крещение [31, л. 64], да и потом проявил себя весьма хорошо [10, с. 65–67], [31, л. 228–229]. Таким образом, в распоряжении М. Б. Шеина были силы, способные при решительном полководце, каким был, например, С. В. Прозоровский, дать полевой бой и выиграть его. Однако М. Б. Шеин не был таким полководцем и предпочел риску открытого боя безопасность укреплений. Кроме того, он ждал обещанных ему подкреплений [22, л. 173].

¹ Историографический обзор по данному вопросу можно найти в [15, с. 7–57].

Тем самым инициатива была отдана полякам, которые, располагая относительно небольшими силами¹, 28 августа 1633 г. атаковали ключевой пункт русской позиции – Покровскую гору и смогли даже провести в крепость подкрепления, но, в конечном счете, были отбиты. Шло время, подкрепления так и не подошли, а к полякам подошло 12–16 тысяч запорожских казаков [38, с. 22]. Теперь, уже располагая численным превосходством, Владислав IV предпринял решительную атаку и в ходе тяжелого боя 11–12 сентября заставил М. Б. Шеина очистить Покровскую гору. Русские войска снова действовали пассивно и оборонялись в укреплениях, единственная попытка выйти в поле и прорвать окружение Покровской горы закончилась неудачно. Это означало, что теперь король, пользуясь выгодой центрального положения, мог бить русских по частям. 18 сентября его главные силы двинулись на войска С. В. Прозоровского и были отбиты лишь после ожесточенного боя. Не желая испытывать судьбу, воеводы отвели их на соединение с М. Б. Шеиным. Ход был грамотный, но исполнен отвратительно [1, с. 536] – в спешке были брошены огромные запасы [26, л. 362]. Вслед за этим были отведены войска, стоявшие в осадных траншеях, и теперь М. Б. Шеин имел в своем распоряжении всю армию, собранную в кулак. Куда же он ударил? Да никуда. Он продолжал стоять на месте и ждать. Ждал он, очевидно, все тех же подкреплений, которые, как он знал, должны были собираться в Дорогобуже, где к тому времени начала создаваться армия Д. М. Черкасского и Д. М. Пожарского [22, л. 194–199].

К активным действиям воевода перешел лишь тогда, когда положение ухудшилось почти до предела – польский король обошел русские укрепления и, встав на Жаворонковой горе, отрезал лагерь М. Б. Шеина от Дорогобужской дороги, перекрыв пути подвоза. Это угрожало окружением, и здесь уже приходилось рисковать – 9 октября под прикрытием мощного артиллерийского огня русские атаковали, и лишь ввод в дело польских резервов и слабость русской конницы спасли поляков. С наступлением ночи ожесточенный бой стих и на следующий день не возобновился. Напротив, М. Б. Шеин вступил в переговоры с противником, стремясь потянуть время и все же дожидаться подкреплений.

Однако к этому моменту было уже поздно. Подкрепления собирались медленно и тяжело. Московское государство еще не полностью оправилось от Смутного времени и не могло выдержать долгой и тяжелой войны. Израсходованные за год более чем полмиллиона рублей опустошили казну и вынудили начать взимать чрезвычайные налоги. Значительная часть наряженных в армию Черкасского и Пожарского служилых людей были нетчиками из войска М. Б. Шеина, а стрельцов для нее собирали по всей России. И все равно в итоге к январю у них набралось всего 357 человек [1, с. 578]. Не зная об этом, отрезанный Шеин, вдохновляясь своими действиями времен Смуты, продолжал сидеть в обороне, не замечая разницы между мощными крепостными стенами, окружающими богатый город, и полевым, хоть и сильно укрепленным, лагерем. С. В. Прозоровский предлагал ему организовать прорыв, но он отказался [1, с. 581–582]. Конец был закономерен: 19 февраля 1634 г. армия капитулировала.

Кто был в этом виноват? На этот вопрос можно дать разные ответы, но, в конечном счете, ответственным за поражение был главнокомандующий армией – воевода М. Б. Шеин. И, по-видимому, свою судьбу он вполне заслужил своей осторожностью. Действительно,

¹ Непосредственно в атаке участвовало около 8 тысяч человек, а еще 6 тысяч литовского войска сковывали действия С. И. Прозоровского.

в спокойной ситуации осени 1632 г., когда армия еще только двигалась к Смоленску, его медленные основательные действия, вызванные вполне объективными причинами – погодой, организацией, слабостью войска, – были вполне оправданны.

Многое в истории русского войска в Смоленскую войну было в новинку: впервые в армии были собраны огромные массы кормовой солдатской пехоты, которую нужно было снабжать, впервые в сражениях участвовали значительные контингенты наемников, подчиненных московскому воеводе, впервые со времен Смуты начиналась большая серьезная война, впервые со времени Ивана Грозного целью похода была мощная крепость. Справиться с этим новым было сложно. И вина здесь лежит не столько на воеводе, сколько на московских приказных дельцах, которые занимались организацией похода. Государство еще не вполне оправилось от Смуты, многие бояре были против войны, в стране было неспокойно. Однако по мере нарастания напряженности войны [14, с. 112–115], вызванной действиями противника, безынициативность главнокомандующего становилась все более и более преступной, хотя совершенно объяснимой, ведь на войне можно найти сотни и сотни совершенно логичных объяснений таких действий, так как всегда будет чего-нибудь не хватать. В конечном счете М. Б. Шеин стал все больше подпадать под власть событий, потерял инициативу и предоставил противнику полную свободу действий. Но при этом нельзя сказать, что он оказался безвольным человеком. Воля у него была, иначе он не смог бы удерживать Смоленск в 1609–1611 гг. и не смог продержаться в окружении почти полгода. Однако это была воля человека, привыкшего держаться до последнего, человека, который привык к простым и понятным вещам. Здесь же любое активное действие было сопряжено с риском. Оно казалось прыжком в неизвестность и могло закончиться полным разгромом. И М. Б. Шеин предпочел им действия логичные, совершенно правильные и даже одобренные свыше [22, с. 169–171], но которые, как это часто бывает, закончились позорным поражением, стоившим ему в итоге головы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акты Московского государства. – М., 1890. – Т. 1.
2. Акты, собранные в библиотеках и архивах Российской империи Археографической экспедицией Императорской Академии наук. – СПб., 1836. – Т. 3.
3. Андреев И. А. Об измене не изменявшего // Родина. – 1997. – № 6. – С. 32–37.
4. Белокуров С. А. Разрядные записки за Смутное время. – М., 1907.
5. Бранденбург Н. Е. Очерки состояния военного дела в России в первой половине XVII века // Военный сборник. – 1869. – № 9. – С. 11–16.
6. Вайнштейн О. Л. Россия и Тридцатилетняя война 1618–1648 гг. Очерки из истории внешней политики Московского государства первой половины XVII в. – М.: ОГИЗ, 1947.
7. Володихин Д. Честь воеводы // Родина. – 1998. – № 2. – С. 42–43.
8. Голицын Н. С. Русская военная история. – СПб., 1878. – Ч. 2.
9. Гондиус В. План осады и обороны г. Смоленска 1632–1634 гг.: Офорт на 16 листах, 1636 г. // Собр. фонда художественной графики Смоленского государственного музея-заповедника, учетный № СОМ9602.
10. Даниловский А. План осады города Смоленска. – СПб., 1912.
11. Дворцовые разряды 1612–1700. – СПб.: 1850. – Т. 2.
12. Зерцалов А. Н. М. Б. Шеин под Смоленском // ЧОИДР. – 1897. – Кн. 2, отд. 4. – С. 11–29.
13. Иловайский Д. И. М. Б. Шеин при ином историческом освещении // Русская старина. – 1898. – Ноябрь. – С. 439–450.
14. Клаузевиц К. фон, О войне. – М.: АСТ, 2002.
15. Курбатов О. А. Из истории военных реформ в России во 2-й половине XVII в. Реорганизация конницы на материалах Новгородского разряда 1650–1660 гг.: Автореф. дис. ... канд. ист. наук / Российская академия гос. службы при Президенте РФ. – М., 2003.

16. Наполеон Бонапарт. Войны Цезаря, Тюренна, Фридриха Великого. – М.: Кучково поле, 2005.
17. Оглоблин Н. Н. Правда о боярине М. Б. Шеине // Исторический вестник. – 1898. – № 6. – С. 877–897.
18. Новосельский А. А. Борьба Московского государства с татарами в первой половине XVII в. – М.: Наука, 1948.
19. Петров К. В. Новые источники по истории Смоленской войны 1632–1634 гг. // Очерки феодальной России. – 2000. – Вып. 4. – С. 116–131.
20. Очерки истории СССР. Период феодализма, XVII в. – М., 1955.
21. Разин Е. А. История военного искусства XVI–XVII вв. – СПб.: Полигон, 1999.
22. Разрядная книга осады города Смоленска 1631–1634 года // РНБ. – Эрмитажное собрание. – № 461.
23. РГАДА. – ф. 210. – Книги Московского стола. – № 28.
24. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Московского стола. – № 76.
25. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Московского стола. – № 85.
26. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Московского стола. – № 90.
27. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Московского стола. – № 91 ч. 4.
28. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Московского стола. – № 105.
29. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Новгородского стола. – № 26.
30. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Новгородского стола. – № 30.
31. РГАДА. – ф. 210. – Столбцы Новгородского стола. – № 45.
32. Русский биографический словарь. – СПб., 1911. – Т. 23 (Шебанов – Шютц).
33. Соловьев С. М. Сочинения. – М., 1990 – Т. 5.
34. Сташевский Е. Д. Смоленская война 1632–1634. Организация и состояние московской армии. – Киев, 1919.
35. Царские указы о походе под Смоленск // ЧОИДР. – 1849. – № 1. – Отд. 4. Смесь. – С. 1–14.
36. Юхновский Н. Действительно ли Шеин изменил под Смоленском в 1634 году? // Москвитянин. – 1856. – Т. 3, № 9. – С. 1–32.
37. Lipinski W. Początek działań rosyjskich w wojnie smoleńskiej // Przegląd Historyczno-Wojskowy. – 1932. – Т. 5. – Р. 26–61.
38. Liske K. Przyczyunki do historii wojny moskiewskiej z lat 1633–1634 // Biblioteka Ossolinskich. – Krakow, 1868. – Т. 11.
39. Radziwill A. S. Memoriale rerum gestarum in Polonia (1632–1656). – Т. 1. – Wroclaw, 1968. – LXI+234s.; Т. 2. – Wroclaw, 1970.
40. Zarys dziejow wojskowosci polskiej do roku 1864. – Warszawa, 1965. – Т. 1.

D. N. Menshikov

M. B. SHEIN AS MILITARY LEADER IN SMOLENSK WAR 1632–1634

The article is about the generalmanship of M. B. Shein during the Smolensk War in 1632–1634 and there is examined the question of his guilt in Russian defeats.

Voevoda M. B. Shein, treason, siege, new model regiments, Wladislaw IV

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ В КОНТЕКСТЕ ПРОБЛЕМЫ ЭТИКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ставится вопрос о связи между развитием творческих способностей личности и этикой профессиональной деятельности. Рассматривается проблема этики в деятельности профессиональных бизнес-коммуникаторов, предлагаются пути ее решения в идеологическом и психолого-педагогическом аспектах. Поднимается вопрос о критериях творческого развития личности студента и приводятся данные проведенного количественного исследования.

Профессиональная деформация личности, этика профессиональной деятельности, профессиональный коммуникатор, творческие способности, творческое развитие, прагматическая познавательная потребность

Проблему развития интеллектуально-творческих способностей студентов хотелось бы поставить в более широком контексте – в контексте проблемы профессиональной деформации личности, которая сама по себе тесно связана с профессиональной этикой. Дело в том, что мелкие, казалось бы незначительные, нарушения этики профессионального поведения, допускаемые в течение длительного времени, губительно действуют на личность, в результате чего у человека формируется искаженное представление о смысле и назначении собственной деятельности. Всем хорошо знакомы примеры профессиональной деформации личности учителя, врача, представителя правоохранительных органов. В любой профессии так или иначе стоит вопрос о профессиональной этике, любая профессия чревата своими опасностями для личности, это относится, безусловно, и к профессии профессионального коммуникатора.

Этическая уязвимость коммуникативной деятельности связана не только с широкими возможностями лжи, клеветы и откровенной манипуляции, которые часто можно встретить в политическом пиаре. Не менее опасными могут быть и так называемые бизнес-коммуникации, связанные с созданием положительного имиджа и формированием репутации коммерческой организации. Рассмотрим, в чем же суть этой уязвимости, и какими опасностями для человеческой личности, а следовательно, и для общества чревата эта деятельность.

Во-первых, гармонизация общественных отношений как заявляемая цель деятельности по связям с общественностью является в значительной степени иллюзией. Приведем в связи с этим высказывание Ж. Бодрийяра: «Общество роста в целом является результатом компромисса между эгалитарными, демократическими принципами, которые могут подкрепляться мифами об изобилии или благосостоянии, и основным императивом сохранения системы привилегий и господства» [1, с. 78]. Из этого следует, что связи с общественностью как социально-экономический институт на данный момент являются не более чем прокладкой, смягчающей жесткие капиталистические отношения. Эти отношения могут быть гармонизированы лишь на определенное время, после чего они обостряются с новой силой. Свидетельством тому являются всепроникающие отношения маркетинга, по отношению к которому связи с общественностью всегда занимали и будут занимать подчиненное положение. Поэтому этика

профессиональной деятельности специалиста по связям с общественностью заканчивается там, где в противоречие с ней вступают интересы рынка. Идеологи общества потребления отнюдь не заинтересованы в свободном творческом развитии личности, скорее наоборот, обществу потребления нужен человек как субъект потребления, а не как субъект творчества. Неверным, как представляется, будет считать, что те, кто формирует эту идеологию, не испытывают на себе ее влияния, – манипуляция личностью разрушает как манипулируемого, так и манипулятора, формируя его жесткие прагматические установки.

Вторая причина того, что профессия специалиста по связям с общественностью (а также профессии маркетолога и рекламиста) является уязвимой с этической точки зрения, еще более серьезна. Создаваемые этими специалистами многочисленные тексты умножают виртуальность современного мира. Переструктурирование и переакцентирование информации, формирование имиджа, конструирование мифа – это элементы одной системы создания некоего вымышленного мира, мира фикций, иллюзий, широко продуцируемого в СМИ. Как отмечал Ж. Бодрийяр, практически весь современный мир функционирует как мир «кажущихся», видимостей, симулякров-фантомов сознания, мало соотносимых с реальностью. Такой мир Бодрийяр называл гиперреальностью. Этот мир можно было бы назвать своеобразной «третьей природой». Если под второй природой понимать культуру, в этой «третьей природе» мы имеем дело не с образами культуры, а с имиджами культуры. Этот мир активно моделирует систему человеческих взаимоотношений в обществе, в семье, способствует усвоению человеком, особенно молодым, стереотипных социальных ролей и, в конечном итоге, в том виде, в котором он существует сейчас, разрушительно действует на личность, подавляя творческое начало, свободную личную инициативу творить свою жизнь, ориентируясь на свои, а не навязанные ему извне ценностные установки. Как считают некоторые психологи, философы и культурологи, человек начинает плохо различать добро и зло, ведь он погружен в мир симулякров-лжеподобий. Симулякры лишают культуру определенности и однозначности, устойчивости и сущностной укорененности. И границы форм этой реальности становятся расплывчатыми, неопределенными, текучими.

Возможно ли в принципе преодоление этих опасностей, возможно ли действительное решение проблемы этики профессиональной деятельности специалиста по связям с общественностью? Решение этой проблемы, как представляется, должно идти в двух аспектах, тесно связанных между собой: идеологическом и психолого-педагогическом. В идеологическом плане речь идет о том, чтобы пересмотреть принципы деятельности специалиста по связям с общественностью, сориентировать ее не столько на решение проблем коммерческой организации, сколько на «гуманитарный» контроль за ее деятельностью. Отметим, что это несколько не противоречит управленческой сущности ПР-деятельности и, более того, находится в ключе современных представлений о связях с общественностью, которые в соответствии с тенденциями третьего периода своего развития должны переставить акценты своей деятельности с «выхода» на «вход» в социальную систему. ПР-специалист должен следить за тем, чтобы прибыль организации увеличивалась не за счет разнообразных манипуляций общественным сознанием (а между тем, даже казалось бы невинная привязка дня создания компании к какой-нибудь социально значимой дате уже является манипуляцией). В этом смысле ПР-специалист должен ограничи-

вать прибыль организации, за что последняя должна платить ему высокую зарплату. Возможно, сейчас это звучит как утопия, однако можно вспомнить о том, что в начале развития капиталистических отношений в США и обычный ПР, стремящийся смягчить жесткие рыночные отношения, был в новинку и был многими отвергаем. По сути дела в современном мире ПР-специалист должен стать «гуманитарным агентом», противостоящим идеологии общества тотального потребления и заботящимся об устранении препятствий на пути развития человеческой личности, и в этом смысле связи с общественностью должны интегрироваться не с маркетинговыми и рекламными, а с педагогическими коммуникациями. Возможно, ПР собственной профессии – связей с общественностью – должен заключаться именно в том, чтобы создать соответствующее отношение к ней.

Этот, идеологический, аспект решения проблемы профессиональной этики связан с психолого-педагогическим, в рамках которого речь идет об образовании личности ПР-специалиста и, в частности, о развитии его подлинно творческих способностей. Задача высшего коммуникативного образования – готовить не хорошо продаваемый товар, а гуманитарно образованных, прагматически ориентированных людей, способных осознать свою высокую миссию в обществе.

Разговор о необходимости развития творческих способностей человека стал на сегодняшний день одним из общих мест, на любой ступени образования, на какую бы деятельность оно ни ориентировало человека, поднимается вопрос развития человеческих способностей, которые, как предполагается, будут способствовать лучшему выполнению человеком его социальной функции. Однако при этом упускается из виду, что чаще всего нормативные, востребуемые социумом способности противостоят подлинному творчеству и подлинному развитию личности. Прочитаем в этой связи В. Д. Шадрикова: «Способности нередко входят в противоречие с внешним миром. Возможно, творческое начало способностей заключается в том, чтобы выйти за границы этого мира. Тот, кто свыкся с оковами, подчинил себя требованиям мира, может проявлять способности к исполнению лучше и удачливее того, кто пытается вырваться из оков. Однако лучший исполнитель, как правило, не способен на творчество» [2, с. 5]. Между тем рано или поздно социальная реализация для человека перестает быть единственной абсолютной и безусловной ценностью. Сошлемся на К. Г. Юнга. Человек второй половины жизни скорее нуждается в «познании собственной сущности, чтобы понять смысл своей индивидуальной жизни. ... Он воспринимает свою творческую деятельность, социальная бесполезность которой для него совершенно очевидна, как работу и благо сами по себе» [3, с. 76]. Человек, таким образом, приобретает внутреннюю устойчивость и доверие к самому себе и, возможно, по-новому осмысливает свою социальную жизнь. В разговоре о высшем профессиональном образовании можно было бы возразить, что предметом педагогической деятельности в вузе является человек первой половины жизни, однако не следует забывать, что для большинства людей высшее образование является последней ступенью формального образования, т. е. такого, где присутствует педагогическая поддержка. То есть обучение в вузе – это последняя возможность получить некоторую жизненную ориентацию со стороны, тем более важную, что это происходит в контексте подготовки к профессиональной деятельности.

В пользу необходимости развития истинно творческих способностей свидетельствуют также следующие данные психологии и антропологии. Ученые пришли к выводу, что уже на самых ранних этапах эволюции отбор в линии, ведущей к человеку, шел не столько по направлению отбора самых «умных», сколько по отбору самых «контролирующих себя». С помощью тренировки самоконтроля развиваются функции передних отделов больших полушарий мозга. Однако целью такого контроля должно быть не столько стремление как можно лучше устроиться в социальном мире, сколько развитие форм надситуативной активности, связанной с творчеством, с преобразованием этого мира. Только при таком условии человеческая психика поднимается на более высокий уровень развития.

Развитие подлинных творческих способностей индивида происходит в сочетании с воспитанием его нравственных качеств. С точки зрения В. Д. Шадрикова, не существует способностей вне норм и ценностей, эту связь надо видеть и раскрывать. Поэтому вопрос развития подлинно творческих способностей тесно связан с этическими вопросами, а развитие творческих способностей в системе высшего профессионального образования – с вопросами этики профессиональной деятельности.

Проблема развития способностей неизбежно приводит к вопросу о путях их изучения. В связи с этим необходимо отметить, что в соответствии с современным подходом к творческим способностям как комплексной личностной категории изучать следует не отдельные способности, а целостную личность в ее творческом развитии.

Общей когнитивной основой творческого развития (а следовательно, и творческих способностей) человека, как показали наши исследования, являются непрагматическая познавательная потребность, а также расположенность к ее активному и многообразному удовлетворению. Познавательная потребность как универсальная потребность в информации присуща всему живому. Однако эта потребность в познании не обязательно должна диктоваться необходимостью удовлетворения только социально-биологических потребностей. Как отмечают П. В. Симонов и П. М. Ершов в работе «Темперамент, характер, личность», «существует потребность в информации как стремление к новому, ранее неизвестному, безотносительно к его прагматическому значению в смысле удовлетворения каких-либо биологических и социальных нужд» [4, с. 29]. Эта потребность может проявляться очень по-разному в разных возрастных и социальных группах. Если непрагматичность познавательной потребности у ребенка обусловлена психофизиологическими особенностями его возраста, то для студента она является уже совсем необязательной и, следовательно, может быть показателем расположенности к творческому развитию. С наличием и характером непрагматической познавательной потребности, как представляется, связаны и другие критерии творческого развития личности студента.

Первым из таких критериев является *коммуникативный* критерий, под которым понимается способность молодого человека к взаимообогащающему общению не только со своими сверстниками, но и с представителями других возрастных групп. Межличностное и межгрупповое общение в единстве его рациональных, эмоциональных и интуитивных компонентов, ориентированное не только и не столько на решение прагматических задач, является важным фактором удовлетворения непрагматической познавательной потребности и может носить ярко выраженный творческий характер. Для того чтобы общение

было таковым, необходимо развитие определенной группы способностей, которые можно назвать коммуникативно-творческими. По нашей классификации, они входят в подгруппу интеллектуально-творческих способностей, поскольку предполагают быстрое и адекватное реагирование на коммуникативные случайности, способность к «боковому мышлению», восприимчивость к мелочам, способность к эстетической оценке, к прочтению информации, переданной в различных кодах. Однако некоторые из коммуникативно-творческих способностей могут быть отнесены к интеллектуально-личностной подгруппе, например, ориентация на личностные, а не групповые ценности, открытость ума ко всему новому. В то же время такие способности, как эмпатия, как способность к целостному охвату коммуникативного события, могут быть названы творчески-интеллектуальными. Отметим также, что соответствие данному критерию предполагает и способность к внутрисубъектной, или «автокоммуникации», являющейся как причиной, так и следствием межличностной коммуникации.

Другим критерием творческого развития личности студента является *эстетический* критерий. Именно эстетическая потребность является принципиально неудовлетворимой и потому не прагматической. Способность воспринимать и оценивать явления окружающего мира с эстетической точки зрения свидетельствует об отсутствии пагубно влияющего на личность ее раннего прагматизма и является необходимым условием для развития творческих способностей. Эстетическое восприятие и оценка окружающего мира предполагают способность общения с продуктами чужого творчества, использования их как стимула для собственного творчества. Важной эстетической творческой способностью является способность к иронии, к иронически-отстраненному взгляду на мир и на себя самого в тех случаях, когда это необходимо. Безусловно, эстетическая потребность предполагает актуализацию и других эстетических категорий, таких как прекрасное, возвышенное, трагическое и многие другие. Мы выделяем именно иронию, ориентируясь на современную социокультурную ситуацию, многие реалии которой требуют от личности непрямого иронического переосмысления во избежание ее излишней прагматизации. Способность к эстетической оценке явлений окружающего мира, по нашей классификации, входит в подгруппу интеллектуально-творческих способностей.

Третьим критерием творческого развития личности студента является критерий *поливариантности выбора*. Наличие непрагматической познавательной потребности, по нашему мнению, предполагает у молодого человека представление о множественности возможных для него жизненных путей, что отнюдь не противоречит уже сделанному профессиональному выбору и не исключает движения к поставленной цели, пути к которой могут быть многообразными. Представление о поливариантности будущего жизненного пути во многом связано, как представляется, с дивергентностью мышления, предполагающего множество верных решений одной задачи. Дивергентное мышление можно отнести, по предложенной нами классификации, к подгруппе творчески-интеллектуальных способностей.

Четвертым, *деятельностным*, критерием является установка на творчество, многообразие которого отнюдь не исчерпывается материально продуктивной деятельностью. Это может быть творчество общения или жизнетворчество в самом широком смысле слова, под которым понимается свобода выбора решений относительно собственной жизни. Данная установка связана с мотивационно-волевыми качествами личности, которые яв-

ляются неперенным условием творческой реализации человека. Непрагматическая познавательная потребность влечет за собой творческое развитие лишь при ее активном удовлетворении, которое рано или поздно выводит личность на созидательный уровень. Лишь деятельность – материальная, мыслительная, духовная, коммуникативная – обнаруживает и развивает творческие способности личности.

Помимо приведенных ранее, могут быть выделены, как представляется, и другие критерии творческого развития личности студента, связанные, в частности, с характером его учебно-научной деятельности, однако все они будут носить более частный характер и являться производными от рассмотренных. Необходимо отметить также, что личность любого молодого человека в той или иной степени отвечает данным критериям и потому в определенной степени может быть названа творческой.

В соответствии с выделенными критериями было проведено количественное исследование группы студентов, обучающихся по специальности «связи с общественностью», которое позволило сделать следующие выводы:

1. С точки зрения критерия коммуникативности в целом, можно дать положительную оценку творческому развитию опрошенной группы студентов, поскольку большинство из них в той или иной степени признают все (рациональный, эмоциональный, интуитивный), а не только рациональный, компоненты общения, настроены на взаимообогащающее общение с людьми разного возраста. Однако, как уже было отмечено, тревожными симптомами являются сравнительно высокий процент тех, кто характеризует свою внутреннюю жизнь как монолог, а также слабо выраженная в данной группе установка на внутренний полилог личности. Заметим, что именно внутренний полилог способен обеспечить толерантность личности, столь необходимую для представителей коммуникативных профессий.

2. Оценивая эстетический критерий, можно сказать, что среди данной группы студентов наблюдается тенденция к некоторому завышению своей эстетической потребности, а также к наличию у них чувства юмора. Прийти к выводу о завышенности представления студентов о наличии у себя чувства юмора позволили результаты ответа на вопрос: «Может ли утрата крупной суммы денег быть смешной?» Оказалось, что лишь определенный процент тех, кто считает, что обладает чувством юмора, однозначно признает такую возможность. Между тем главным показателем чувства юмора, как свидетельствуют психологи, является способность посмеяться над самим собой.

3. Большинство студентов опрашиваемой группы представляют свою будущую профессиональную деятельность только в самых общих чертах и справедливо считают, что для человека важнее не столько социальный успех, сколько жизнь сама по себе во всех ее многообразных проявлениях. Однако обучение в институте большинство студентов склонны рассматривать в первую очередь как путь к достижению жизненных целей, т. е. прагматически.

4. Менее половины группы опрашиваемых студентов заполняют свой досуг творческими занятиями, большой процент респондентов предпочитает свойственные возрасту развлечения.

Полученные результаты, как представляется, дают основание говорить об актуальности работы по интеллектуально-творческому развитию личности, которая должна проводиться не эпизодически или факультативно, а целенаправленно, на всех этапах обучения и на всех дисциплинах и должна быть связана с проблемами профессиональной этики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодрийяр Ж. Общество потребления. Его мифы и структуры / Пер. с фр. и примеч. Е. А. Самарской. – М.: Республика; Культурная революция, 2006.
2. Шадриков В. Д. Деятельность и способности. – М.: Логос, 1994.
3. Юнг К. Г. Проблемы души нашего времени / Пер. с нем. А. Боковой. – М.: Академический проект, 2007.
4. Симонов П. В., Ершов П. М. Темперамент, характер, личность. – М.: Наука, 1984.

M. E. Kudryavtzeva

INVESTIGATION OF INTELLECTUAL-AND-CREATIVE ABILITIES OF THE STUDENT AT THE ASPECT OF THE PROFESSIONAL ACTIVITY ETHICS

The connection between the development of creative abilities and the ethics of professional activity is explored. The problem of professional ethics explored, particularly, in connection with public relations. Problems tasks is viewed at ideological and pedagogical aspects.

Professional deformation of the person, creative development, ethics of professional activity, public relation professional, creative abilities, no pragmatic cognitive interest



УДК 621(091)

В. А. Урвалов

ПИОНЕР БЕСПРОВОЛОЧНОЙ ТЕЛЕФОНИИ С. Я. ЛИФШИЦ

Рассматривается вклад С. Я. Лифшица в первые исследования возможности передачи звуковых сигналов с помощью высокочастотных затухающих колебаний.

С. Я. Лифшиц, А. С. Попов, С. В. Тиминский, модуляция радиосигналов, затухающие колебания

Сегодня человек, беседующий по мобильному телефону, – обычное явление. Но первым в мире услышал по радио звуки живого голоса выпускник Московского университета С. Я. Лифшиц. В одной из статей он пишет: «Летом 1902 г. мне удалось передать отдельные слова на расстояние 2 верст» [1]. Для опытов он использовал элементарные приборы, предоставленные ему кафедрой физики в последний год учебы (рис. 1 – функциональная схема опытов С. Я. Лифшица по радиотелефонии [1]. Здесь M – угольный микрофон; M' – детектор Попова; I – катушка Румкорфа; I' – трансформатор; f – искровой промежуток; E, E' – батарея; A, A' – антенна; T, T' – заземление; B – телефон). Как известно, в это время кафедрой физики и физической лабораторией МГУ руководил блестящий экспериментатор П. Н. Лебедев, много сделавший для утверждения учения Максвелла – Герца. Конец опытов С. Я. Лифшица совпал с окончанием университета весной 1903 г.

Увлеченный идеей радиотелефонии 22-летний выпускник МГУ обратился за советом к основоположнику радиотехники А. С. Попову и получил от него приглашение продолжить свои исследования в Электротехническом институте, недавно переехавшем в новое просторное здание на Аптекарском острове. Изложенная С. Я. Лифшицем идея передачи звуков с помощью электромагнитных волн не застала А. С. Попова врасплох. В 1899 г., находясь в служебной командировке в Цюрихе, он получил телеграмму от своих помощников П. Н. Рыбкина и Д. С. Троицкого, обнаруживших новое свойство когерера (когерер – трубочка с металлическим порошком, сопротивление которого резко падает под действием электромагнитной волны. Чтобы вернуть когереру высокое сопротивление, т. е. чувствительность, его требовалось встряхнуть.). По возвращении из-за границы А. С. Попов исследовал обнаруженное его помощниками явление, идентифицировал его как одностороннюю

проводимость когерера, разработал ряд новых когереров, не требующих встряхивания, на их основе создал первый в мире детекторный приемник для приема «морзянки» на слух и запатентовал его в России и во Франции, а новый тип когерера – в Англии [2], [3].

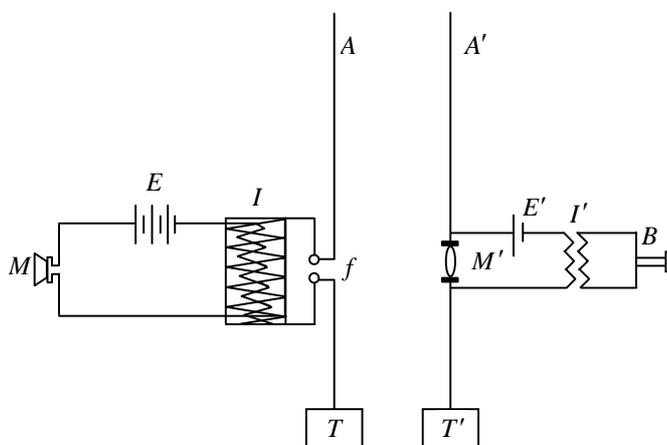


Рис. 1

У С. Я. Лифшица был предшественник. В Мемориальном музее А. С. Попова хранится письмо к ученому подпоручика Полтавского пехотного полка С. В. Тиминского от 10 февраля 1901 г. с описанием «комбинации микрофона, введенного в цепь батареи и индукториума Румкорфа, а затем конденсатора и трансформатора Тесла, полюсы которого соединены с мачтой и землей». «Молодой мечтатель» (так он назвал себя в письме) полагал, что предложенное им устройство создаст «ряд волн, достигающих отдаленной станции, проходящих через ее вращающийся когерер, введенный в обмотку индуктивной спирали, и вызывающих соответственные колебания в телефонной трубке». Непрерывную чувствительность когерера изобретательный подпоручик думал получить путем вращения трубки с опилками. «Так как трубка заполнена опилками не вполне, то при вращении ее опилки равномерно перемещаются, чем постоянно нарушается сцепление частиц» [4].

Из сообщений печати А. С. Попов знал об опытах 1901–1902 гг. по беспроволочной «световой» телефонии немецких ученых Г. Т. Симона (в Эрлангене) и Э. Румера (близ Потсдама) с модуляцией звуковой частотой светового излучения дугового генератора В. Дудделя на передающей станции и с селеновым фотоэлементом в приемнике. Э. Румеру удавалось перекрывать расстояние до 7,5 км [5], [6]. Способ восходит к известному «фотофону» А. Г. Белла (1880) с использованием модуляции отраженного зеркалом солнечного луча [7], [8].

Телефонированием без проводов занимался французский компаньон Попова Эжен Дюкрете, экспериментировавший в 1902 г., как и его соотечественник М. Меш и подполковник русской армии Е. В. Пилсудский, закапывая в землю разнесенные на 10–20 м металлические листы. Изолированные проводники от них соединяли с вторичной обмоткой катушки Румкорфа, в первичную обмотку которой включали микрофон с батареей. Для приема служили такие же закопанные в землю листы, к которым подключались телефоны. Дальность «земляной» телефонии была на порядок меньше, чем «световой» [5], [9].

А. С. Попов с большим вниманием отнесся к письму С. Я. Лифшица, опыты которого лежали в русле беспроволочной телеграфии (радиотелеграфии) с тем же составом аппаратуры при добавлении одного нового прибора – микрофона. Для опытов по радиотелефонии

он выделил две комнаты в противоположных крыльях П-образного учебного корпуса и необходимые приборы. Передающая часть совпадала с тем, что предлагал С. В. Тиминский [4]. В приемнике использовался декогерер (детектор) А. С. Попова в виде контакта между углем и стальными иголками, который соединялся с телефоном, антенной и землей. Принципиальная схема приемопередающей радиотелефонной станции, разработанной в 1903 г. в Электротехническом институте, показана на рис. 2 (1 – антенна, 10 – когерер, 11 – заземление, 12 и 25 – батарея, 13 – звонок вызова, 14 – телефонная трубка, 18 – детектор, 24 – спираль Румкорфа, 28 – искровой зазор). Работа продвигалась успешно, и экспериментаторы решили выступить с докладом и демонстрацией опытов на III Всероссийском электротехническом съезде 4 (17) января 1904 г. [1].

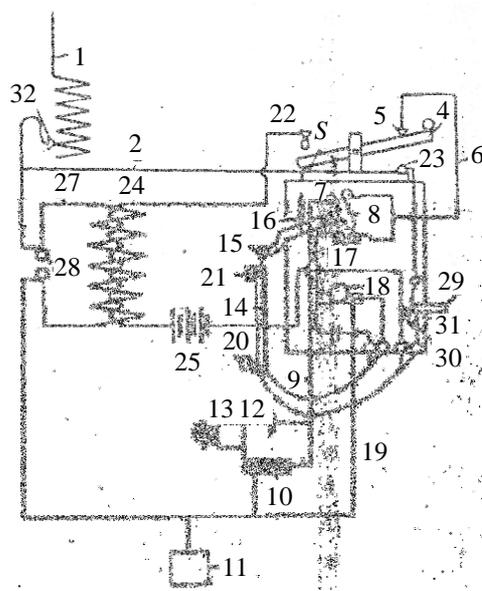


Рис. 2

По воспоминаниям С. Я. Лифшица, «Попов, говоря о беспроволочной телефонии, главным образом выставлял мои заслуги, а свою роль оставил в тени, как это ему свойственно.

Попов остался очень доволен как своим докладом на съезде, так и моей демонстрацией. Съезд, а за ним русская и иностранная печать отметили то, что было показано делегатам съезда, как демонстрацию впервые осуществленного телефонирования без проводов с помощью затухающих электромагнитных волн» [10].

9 (22) марта 1904 г. по рекомендации Попова С. Я. Лифшиц был принят в Русское физико-химическое общество [11], а 13 (26) апреля того же года выступил на заседании Физического отделения РФХО с докладом, в котором дал объяснение физическим процессам, протекающим при передаче звуковых сигналов. До этого он пользовался зеркальным осциллографом для исследования динамического спектра речи, записывал электрический сигнал различных фонем (элементарных звуков) на вращающуюся фотографическую пластинку [1], [10], [12] и установил, что в зависимости от силы тока в первичной обмотке индуктора Румкорфа изменялось число парциальных разрядов во вторичной обмотке, причем каждой букве соответствовало определенное число разрядов (на рис. 3 представлены осциллограммы (фонемы) гласных звуков, записанные С. Я. Лифшицем (сверху вниз: **О**, **Е** и **У**, **А**, **И**). Определить тип модуляции в современных терминах, пользуясь описанием С. Я. Лифшица, затруднительно, так как в нем обнаруживаются элементы как частотной, так и амплитудной модуляции.

Летом из-за каникул работы С. Я. Лифшица в Электротехническом институте прекратились, а осенью он получил возможность выехать на два года для стажировки за границу. По совету А. С. Попова он выбрал Физический институт в Страсбурге, где в это время у Ф. Брауна работали ассистентами Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси. Неизвестно, заинтересовали или нет идеи беспроводного телефона маститых радиофизиков, но С. Я. Лифшиц вместо двух лет пробыл в Страсбурге только один семестр. Летом 1905 г. он вернулся в Москву, по его словам, для улаживания личных дел. Роковой день 31 декабря (по старому стилю), унесший жизни его отца (умер от разрыва сердца) и его учителя А. С. Попова (умер от кровоизлияния в мозг), изменил все его планы [12].

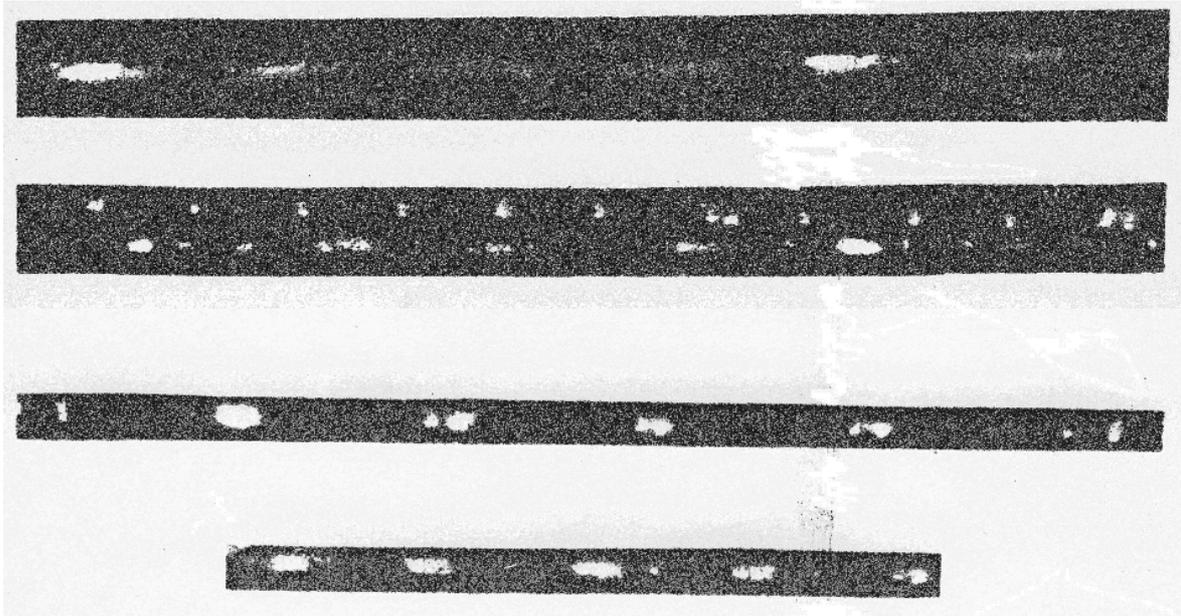


Рис. 3

Сведения о дальнейшей жизни и деятельности пионера беспроводной телефонии весьма скудны. В 1920-е гг. он проявлял интерес к фотографии и кинематографии [14], [15]. Тогда же он опубликовал популярную брошюру о теории относительности А. Эйнштейна [16]. Наконец, он проявил себя как пионер в области архитектурной акустики, занимая в 1927 г. соответствующую кафедру в МВТУ им. Н. Э. Баумана. На его учебник по этой дисциплине [17] откликнулся рецензией известный акустик С. Н. Ржевкин [18]. Рецензент отметил, что исследования С. Я. Лифшицем акустических данных московских театров и концертных залов, как и его теория оптимума реверберации (гулкости), являются ценным вкладом в науку и постоянно цитируются в отечественной и зарубежной литературе. В изданном курсе лекций, читанных автором на строительном факультете МВТУ и во ВХУТЕМАСе, С. Я. Лифшиц собрал богатый материал, использовав новейшие литературные данные и собственный опыт. Этот курс выдержал три издания, последнее вышло в 1937 г., еще раньше была опубликована монография [19], [20]. Весьма ценные и интересные воспоминания С. Я. Лифшица о его работе с А. С. Поповым в области беспроводной телефонии были написаны им в 1945 г. [13], и это была последняя опубликованная работа 65-летнего ученого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лифшиц С. Я. Телефонирование без проводов с помощью электромагнитных волн // Тр. Третьего Всероссийского электротехнического съезда. 1903–1904. Т. 3. – СПб., 1906. – С. 313–317.
2. Привилегия № 6066 / А. С. Попов. Приемник депеш, посылаемых помощью электромагнитных волн; заявл. 14.07.1899; выдана 30.11.1901.
3. Пат. Великобритании № 2797 / А. S. Popov. Improvements in Coherers for Telephonic and Telegraphic Signalling; заявл. 12.02.1900; выдан 7.04.1900.
4. Тиминский С. В. Письмо к А. С. Попову // Коллекция А. С. Попова: Каталог / Сост.: Л. И. Золотинкина, Н. Н. Курицына, Е. Г. Кьяндская-Попова и др; ЦМС им. А. С. Попова. – СПб., 1995. – С. 113–115.
5. Критский М. Н. Сущность и основания беспроводного (радио) телеграфа и беспроводного телефонирования. – СПб., 1904.
6. Хольц А. Телеграфия без проводов. Телефония. Т. XV – доп. / Пер. с нем. В. И. Витта. – СПб.: Изд-во Г. В. Гольстена, 1909. – С. 388–398.
7. McNicol D. H. History of radio. Down to 1925 // IEEE Trans. – 1984. – Vol. CE-30, № 2. – P. 142.
8. Уилсон М. Американские ученые и изобретатели. – М.: Знание, 1964.

9. Бренев И. В. Начало радиотехники в России. – М.: Сов. радио, 1970.
10. Лифшиц С. Я. Моя работа с А. С. Поповым // 50 лет радио. 1895–1945. Вып. 2. Изобретение радио А. С. Поповым / Под ред. А. И. Берга. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – С. 277–282.
11. Протокол 225(275)-го заседания Физического отделения РФХО от 9 марта 1904 г. // ЖРФХО. – 1904. – Т. XXXVI. – С. 69.
12. Золотинкина Л. И., Урвалов В. А. Столетие беспроводного телефона (о работах А. С. Попова и С. Я. Лифшица в 1903 г.) // Матер. науч.-техн. конф., посвященной Дню радио и 300-летию Санкт-Петербурга. СПб., апрель 2003. НТОРЭС им. А. С. Попова. – СПб., 2003. – С. 260–261.
13. Лифшиц С. Я. Воспоминания о работе с А. С. Поповым: Рукопись // Мемориальный музей А. С. Попова.
14. Пат. СССР № 2678, 2679, 2680 / С. Я. Лифшиц. Способы получения рельефных кинематографических изображений, рассматриваемых невооруженным глазом; Опубл. 30.04.27.
15. Васильев Ю. В. Фотолюбитель / Предисл. С. Я. Лифшица. – М.: 1930.
16. Лифшиц С. Я. Принципы относительности А. Эйнштейна. – М.: Печатник, 1922.
17. Лифшиц С. Я. Курс архитектурной акустики. – М.: Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1927.
18. Ржевкин С. Н. Рецензия // УФН. – 1927. – Вып. 3. – С. 402–403.
19. Лифшиц С. Я. Акустика зданий и их изоляция от шума и сотрясений. – М.; Л.: ОГИЗ, 1931.
20. Лифшиц С. Я. Курс архитектурной акустики. Изд. 3-е. – М.; Л.: ОНТИ, 1937.

V. A. Urvalov

PIONEER OF WIRELESS TELEPHONY SAMUIL (SEMEN) YAKOVLEWITCH LIFSHITS

Considered the Contribution of S. Y. Lifshits in the First Investigations of Transmission of Audio Signals by High Frequency Discontinuous Waves.

S. Y. Lifshits, A. S. Popov, S. V. Timinsky, Modulation of high Frequency Signals, Discontinuous Waves

УДК 621(091)

В. П. Северинова

Л. И. ШПЕРГАЗЕ – КРУПНЕЙШИЙ ДЕЯТЕЛЬ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Рассматривается деятельность выпускника ЭТИ Л. И. Шпергазе как инженера и организатора электротехнической промышленности в России.

Л. И. Шпергазе, Л. М. Эриксон, ЭТИ, П. Д. Войнаровский, «Л. М. Эриксон и К°», приборы управления артогнем, завод «Красная заря», АТС

В архивах Санкт-Петербурга автором были обнаружены материалы, показывающие масштабы деятельности Льва Ивановича Шпергазе, директора крупнейшей телефонной фабрики «Л. М. Эриксон» (с августа 1922 г. – телефонный завод «Красная заря»), организатора промышленности связи России первой четверти XX в., высококвалифицированного инженера и талантливого педагога. Однако до настоящего времени имя этого крупного деятеля было несправедливо забыто; оно даже не упомянуто в опубликованных работах известных историков электросвязи Е. Н. Шошкова, И. А. Бренева и др.

Лев Иванович Шпергазе родился в Санкт-Петербурге 27 (15) апреля 1874 г. В 1894 г. он окончил известную гимназию Мая, в которой в разное время учились члены семей Бенуа, Добужинских, Рерихов, Римских-Корсаковых, Семеновых-Тяншанских, в том числе академик Д. С. Лихачев. В 1894 г. Лев Иванович поступил в петербургский Электротехнический институт Императора (ЭТИ), первое в России высшее учебное заведение, в котором готовили специалистов по электросвязи – телеграфии и телефонии.

Телефония, необходимость в которой в России 1890-х гг., вызвана потребностями промышленности, торговли и общественной жизни, только начинала развиваться. Первым преподавателем курса телефонии в Электротехническом институте и автором первых научных трудов по этой дисциплине на русском языке был Павел Дмитриевич Войнаровский (1866–1913). Его труд «Теоретическое и практическое руководство по телефонии», изданный типографией Министерства внутренних дел в 1898 г., долго использовался как учебное пособие.

Дипломный проект по телефонии студента Л. И. Шпергазе был представлен Электротехническим институтом на Всемирной выставке в Париже в 1900 г. За участие в этой выставке по разделу «Промышленное, техническое, ремесленное и коммерческое образование» институту были присуждены диплом и медаль.

По окончании в 1900 г. Электротехнического института Лев Иванович был оставлен на два года в ЭТИ для подготовки к преподавательской деятельности в области телефонии под руководством П. Д. Войнаровского. В задания Шпергазе входило изучение новых вопросов телефонии – создания больших центральных телефонных станций и их автоматизации.

С 1902 г. он уже читал лекции по разработанному им самим спецкурсу «Телефонное оборудование и центральные телефонные станции», а с 1904 по 1913 г. был штатным преподавателем ЭТИ. В эти годы, освещая новые вопросы телефонии, Лев Иванович опубликовал такие научные труды, как «Центральные телефонные станции» (литографированные издания лекций, прочитанных в ЭТИ в 1902–1903 гг., 232 стр.), «Сигнальное приспособление для многократных коммутаторов в телефонных станциях» (публикация в журнале «Электротехник», 1902 г., № 1, и в сборнике «Записки инженеров-электриков», вып. 1), «Телефонные сети с центральной батареей» (там же). В последнем труде описывалась система телефонной коммутации с центральной батареей, позволяющая организовывать телефонные сети больших городов, что представляло собой новый этап развития телефонии.



*Лев Иванович
Шпергазе (1902 г.)*

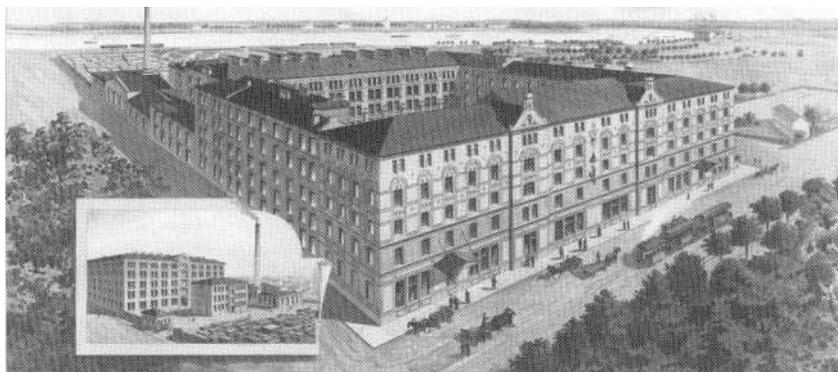
Организаторские и инженерные качества Л. И. Шпергазе особенно ярко проявились во время работы на заводе «Л. М. Эрикссон и К°». В 1897 г. шведский предприниматель Л. М. Эрикссон организовал в Петербурге, на 20-й линии Васильевского острова, мастерскую по сборке телефонных аппаратов. В 1900 г. телефонная фабрика, выросшая из мастерской, была переведена в новые здания, построенные по проекту К. К. Шмидта на Б. Сампсоньевском пр. Выборгской стороны.

В этом же году пришел работать на завод молодой инженер Л. И. Шпергазе. В 1902–1903 гг. под его руководством в Риге была смонтирована телефонная станция по образцам Стокгольмского завода «Л. М. Эрикссон и К°». Эта работа дала ему первый ценный опыт строительства центральных станций емкостью до 10 тыс. абонентов. Деловые качества Л. И. Шпергазе были по достоинству оценены руководством фабрики. В 1902 г. ему поручили исполнять обязанности главного инженера и заведующего фабрикой по доверенности.

В 1905 г. петербургское отделение компании «Л. М. Эрикссон и К°» было преобразовано в Русское акционерное общество, которое выкупило у Ларса Магнуса Эрикссона телефонный завод с землей и со всеми находящимися на ней постройками, машинами, станками, запасами материалов. Владельцем большей части акций стал Стокгольмский завод

Эриксона. В правление акционерного общества входили два директора: по торговой части директорские функции исполнял шведский подданный Эрик Андреевич Сандберг, технический отдел возглавлял русский инженер Л. И. Шпергазе. Под руководством Л. И. Шпергазе завод «Л. М. Эриксон и К^о» успешно развивался.

В 1905 г. Россия по телефонизации занимала последнее место в Европе. Один аппарат в России приходился на 2 тыс. жителей, в Швеции – на 45 человек, в Германии – на 100, в Великобритании – на 120, во Франции – на 280. Торгово-промышленная, культурная и общественная жизнь в стране требовала развития телефонного дела. Расширялось строительство земских и уездных телефонных сетей общего пользования, увеличивалось количество междугородных сообщений. С ростом потребностей рынка строились новые корпуса завода, увеличивалась производственная мощность. Количество рабочих и служащих в 1905–1909 гг. составляло 475 человек. Под руководством Л. И. Шпергазе завод «Л. М. Эриксон и К^о» стал самым крупным телефонным предприятием России.



Завод «Л. М. Эриксон и К^о» в Санкт-Петербурге в начале XX в.

Во времена русско-японской войны на заводе для нужд армии были выпущены новый тип военно-полевого аппарата с фоническим вызовом, применявшийся в инженерных войсках до 1909 г., и военно-полевой коммутатор на шесть линий. Аппараты системы с центральной батареей выпускались в 1906 г. для петербургской телефонной сети, в 1907 г. – для московской телефонной сети, в 1909 г. – для бакинской. Для центральной телефонной станции изготавливались коммутаторы типа «Мультипль» на 3 тыс. абонентов и коммутаторы того же типа с увеличенной емкостью на 1000 номеров для нижегородской телефонной станции. Выпускались особые водонепроницаемые аппараты для кораблей, переносные аппараты для железных дорог, настольные и настенные аппараты для населения.

Л. И. Шпергазе тщательно подбирал состав инженерной группы завода. В основном это были инженеры, окончившие Электротехнический институт: А. М. Хабаров, А. А. Величко, А. А. Паршин, И. Г. Моругин, Н. Н. Трехцинский, В. К. Якимов, Ф. Л. Дубовсков, В. П. Кузьмин, А. И. Филиппов, Б. Ф. Либих и др., – ставшие со временем ведущими специалистами в области электросвязи.

Сложность технологии производства требовала высокой культуры организации работ, высокой квалификации сотрудников. Правление заботилось о своих работниках. Для них были созданы хорошие условия труда, подъемники (лифты), умывальники, душевые, столовые. Форменная одежда состояла из пиджачного костюма, галстука и шляпы.

В 1910 г. на заводе было организовано производство приборов управления артиллерийским огнем, включая системы центрального управления прицельными механизмами, автоматической наводки орудия с центрального поста и др. Для руководства этими работами и разработки новых приборов Л. И. Шпергазе пригласил инженер-полковника Якова Николаевича Перепелкина, талантливого специалиста в области артиллерийской техники (он проработал на заводе с 1910 по 1918 г.). Для обеспечения выпуска новой продукции появились новые цеха – литейный и кузнечный, оборудованный фрикционными прессами, приводным и пневматическим молотами. На заводе была разработана система автоматической установки прицелов орудий из одного пункта. Ее установили на крейсере «Диана», на форте «Красная горка», на четырех линкорах: «Полтава», «Севастополь», «Гангут» и «Петропавловск», – на двух батальных батареях восьмидюймовых орудий морской крепости Петра Великого. Изготовлены были также приборы управления торпедными аппаратами и приборы для определения курсов и скоростей кораблей противника с помощью радиоуправления и двух кораблей.

Русское акционерное общество успешно развивалось – основной капитал его в 1905–1909 гг. составлял 500 тыс. рублей, в 1913 г. – 1 миллион, к концу 1914 г. – 2 миллиона, в 1916 г. – 4 миллиона. Оно имело свои представительства в Московской, Тверской, Смоленской, Калужской, Тульской, Рязанской, Владимирской и других губерниях. В 1916 г. произошло еще одно укрупнение производства: было заключено соглашение между САТАБ (Стокгольмская всеобщая компания телефонов) и РЛМЭ (Русское акционерное общество «Л. М. Эрикссон») для совместных работ по телефоностроительной деятельности в России (исключая Финляндию), изготовления телефонной продукции и ее продажи, эксплуатации телефонных сетей. Правление нового сообщества состояло из семи человек, включая председателя и трех представителей с каждой стороны. Были куплены новые участки земли по Б. Сампсоньевскому проспекту, Фризову и Бабурину переулкам, построены новые корпуса. Число рабочих на фабрике достигло 3248 человек, трудившихся в две смены. В число акционеров вошли Азовско-Донской банк и два шведских банка.

Максимального развития телефонное производство и производство приборов сложной и точной электромеханики достигли в 1917 г. Однако из-за Февральской и Октябрьской революций многие работы были приостановлены. Для завода и его директора Льва Ивановича Шпергазе наступили трудные времена. В январе 1919 г. в связи с декретом о национализации был изъят капитал акционерного общества, принадлежащий не только русскому заводу «Л. М. Эрикссон и К^о», но и шведским акционерам и банкам.

19 марта 1919 г. вышло постановление ВСНХ о переходе в ведение Республики предприятий электротехнической промышленности слабого тока. Завод Русского акционерного общества «Л. М. Эрикссон» был национализирован. Передача завода в собственность государства состоялась 21 июня 1919 г. От имени Акционерного общества акт о сдаче завода подписали Л. И. Шпергазе и В. К. Якимов, а приняли завод И. Наугольный, С. Нужин и И. Яковлев (член партии с 1917 г., был назначен «красным» директором завода). В этом же году предприятия электротехнической промышленности были объединены в трест слабого тока (ОГЭП). Главным управляющим секции «Л. М. Эрикссон» стал Л. И. Шпергазе, он по-прежнему занимался вопросами организации телефонной промышленности. В трудное

время хозяйственной разрухи Л. И. Шпергазе сохранил телефонное производство, несмотря на голод, топливный кризис, нехватку комплектующих деталей и квалифицированных специалистов, мобилизованных в армию в связи с гражданской войной и интервенцией.

К январю 1922 г. количество рабочих на заводе уменьшилось до 123 человек, служащих – до 42. Но, несмотря на все трудности, завод выполнял военные заказы для Главного артиллерийского управления, Главного военно-воздушного управления, Химического комитета при Главном артиллерийском управлении, заказы городского хозяйственного отдела по топливу – по установке аппаратов на Шуваловских торфяных разработках, единственном источнике топлива для электростанций городских трамваев. В 1921–1922 гг. завод выполнил серьезный и ответственный заказ по изготовлению двух дуговых генераторов для детскосельской радиостанции и для Петроградского политехнического института. В эти годы завод считался «наиболее сохранившим свою дееспособность» петроградским предприятием слабого тока.

В августе 1922 г. завод «Л. М. Эриксон и К^о» был переименован в петроградский завод «Красная заря», и только в конце 1922 г. началось восстановление производства. 9 марта 1922 г. Президиум ВСНХ принял решение о создании общероссийского электротехнического треста заводов слабого тока. Состав правления нового треста назначал Главэлектро ВСНХ (по согласованию с Северо-Западным промышленным бюро) сроком на два года. В мае 1924 г. Л. И. Шпергазе – член правления, в сентябре – директор-распорядитель Всероссийского треста заводов слабого тока. Ему присвоили высший 17-й разряд по штатному расписанию. При советской власти Л. И. Шпергазе, как и прежде, самоотверженно выполнял свои обязанности руководителя Электрослаботочного объединения, куда входил и завод «Красная заря». В это время в тресте работают также председатель правления И. П. Жуков, имеющий по штатному расписанию 17-й разряд, член правления В. П. Вологдин (17-й разряд), зав. производственной частью А. Ф. Шорин (16-й разряд), начальник телефонного отдела А. А. Величко (16-й разряд), начальник радиоотдела Е. А. Бернарделли (16-й разряд).

Лев Иванович внес вклад и в новое направление развития телефонии – создание единой автоматической сети связи. Вопрос автоматизации больших телефонных сетей интересовал Шпергазе еще в период его подготовки к преподавательской деятельности.

В 1923 году в Швеции начала работать первая в мире АТС машинной системы с 50-контактными искателями, разработанная фирмой «Л. М. Эриксон». В январе 1925 г. по поручению Электротехнического треста заводов слабого тока и его директора-распорядителя Л. И. Шпергазе в Стокгольм был командирован заведующий отделом автоматических станций Вениамин Андреевич Сергеевский. При содействии Л. И. Шпергазе было восстановлено нарушенное в 1919 г. сотрудничество нашей страны со шведской фирмой «Л. М. Эриксон». В том же году с этой фирмой был заключен договор о технической помощи в освоении машинных АТС. Фирмой были составлены проекты и выполнены чертежи для четырех первоочередных районных станций Москвы и ростовской телефонной станции емкостью на 6 тыс. номеров (АТС в Ростове-на-Дону был смонтирована в 1928 г., введена в эксплуатацию в 1929 г., московские АТС – в 1930–1931 гг.).

В ноябре 1925 г. по состоянию здоровья Л. И. Шпергазе уволился с должности директора-распорядителя, передав дела И. Ф. Кадацкому. Лев Иванович скончался после тяжелой болезни 14.10.1927 г. и похоронен на Смоленском лютеранском кладбище в фа-

мильном склепе вместе со своей приемной матерью Эмилией Павловной Шаффе и женой сына Татьяной Дмитриевной Шпергазе. Семейное захоронение Шпергазе–Шаффе находится рядом с могилой академика архитектуры Д. И. Гримма (1823–1898), преподававшего архитектуру в Академии художеств А. Н. Векшинскому – автору проекта I корпуса ЭТИ – СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Наряду с руководством промышленным предприятием Л. И. Шпергазе нес на своих плечах груз государственных и общественных обязанностей. Он являлся одним из главных деятелей по учреждению Санкт-Петербургской артели электромонтеров и председателем ее правления. Также он являлся членом Совета торговли и мануфактур (1911–1916 гг.), гласным (депутатом) Городской Думы (1913–1917 гг.), членом исполнительной городской комиссии по сооружению каналов и переустройству водоснабжения Петербурга (1914–1923 гг.), членом Главного по фабричным и горнозаводским делам присутствия (1916–1917 гг.), петербургским присяжным столоначальником по делам страхования рабочих.

Л. И. Шпергазе – старейший участник работ ЦЭСа, член комиссии ГОЭЛРО по Северному району.

Электротехнический университет СПбГЭТУ «ЛЭТИ» может гордиться своим выдающимся выпускником.

V. P. Severinova

LEV IVANOVITCH SHPERGAZE – THE PROMINENT ACTIVIST OF TELECOMMUNICATIONS

Considered the activity of ETI graduate L. I. Shpergaze as an engineer and electrotechnical industry organizer in Russia.

L. I. Spergaze, L. M. Ericson, ETI, P. D. Voinarovsky, «L. M. Ericson & Co», artillery fire control equipment, factory «Krasnaya Zarya», АТЕ