

7' 2008

**Известия
СПбГЭТУ "ЛЭТИ"**

Ежемесячный журнал



Содержание

Редакционный совет:

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

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Одит М. А., Вендик И. Б., Вендик О. Г. Метаматериал на решетке
связанных диэлектрических резонаторов 3

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЭЛЕКТРОНИКА

Грама Д. М., Петров А. С., Попов С. Д., Степанов Р. М., Чилаева Е. В.
Автоэпитаксиальные структуры арсенида индия для ИК ФПУ 13

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Першин А. В. Модель агентной системы для поиска в сети 19

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Сабинин О. Ю., Тревгода С. А. Технология автоматического
реферирования технического текста 25

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Белов М. П., Бугаев В. Л. Моделирование системы управления
насосами насосной станции 35

Пронин М. В., Шонин О. Б., Коськин Ю. П., Воронцов А. Г.,
Железняк И. Н. Моделирование систем с транзисторными
преобразователями и многофазными асинхронными
машинами с учетом тепловых процессов 41

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ковальчук Л. Н., Парфенов В. А., Парфенов Вл. А. Универсальный
Nd: YAG-лазер для технологических применений 53

Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование зависимости
длительности акустического импульса преобразователя
с электрической нагрузкой от значения коэффициента
электрохимической связи 59

БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ЭКОЛОГИИ

Измайлова З. Т. Биомеханический анализ состояния чрескостного
остеосинтеза бедренной кости с учетом мышечных усилий 63

* * *

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

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Новакова Н. Е. Системы принятия проектных решений в САПР: особенности применения в учебном процессе 67

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

Звонцов А. В., Семенов В. П. Развитие инновационного предпринимательства в России 73

Кононова И. В., Соболев В. С. Процессная модель системы менеджмента качества гостиницы 79

ИСТОРИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Золотинкина Л. И., Урвалов В. А. Начальный этап развития радиотехники в России (1895–1917) 87

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Чернухов С. А. Что такое "оценка антропогенных систем" 93

Учредитель:

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

Свидетельство о регистрации

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

* * *

Редакторы:

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

Подписано в печать 24.10.08 г.

Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура "Times New Roman".

Печ. л. 12,25.

Тираж 300 экз. Заказ 49.

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 621.315.616

М. А. Одит, И. Б. Вендик, О. Г. Вендик

МЕТАМАТЕРИАЛ НА РЕШЕТКЕ СВЯЗАННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Рассматривается модель искусственного изотропного материала, состоящего из упорядоченной структуры сферических диэлектрических резонаторов. Материал в определенном частотном диапазоне обладает отрицательными значениями эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей. В случае, если сферические резонаторы расположены на значительном расстоянии друг от друга, для получения одновременно отрицательных проницаемостей необходимо использовать два типа резонаторов с разными радиусами. Показано, что наличие связи между близко расположенными резонаторами и использование многомодового режима может привести к эффекту отрицательного коэффициента преломления.

Метаматериал, отрицательные диэлектрическая и магнитная проницаемости, изотропия, связанные резонаторы

В последнее время резко возрос интерес к новым типам искусственных материалов, получивших название *метаматериалы* [1]–[4]. Метаматериалы – это искусственные композитные среды, состоящие из диэлектрических или проводящих элементов, образующих регулярную структуру, характеризующуюся отрицательными эффективными диэлектрической и магнитной проницаемостями (ϵ и μ) и, соответственно, отрицательным коэффициентом преломления. В таких средах наблюдается отрицательная дисперсия и распространяющаяся волна является обратной. Все эти свойства проявляются в ограниченном частотном диапазоне [5]. На основе метаматериалов возможна разработка таких уникальных устройств [6], как плоские электромагнитные линзы, не имеющие дифракционного предела (суперлинзы) [7], маскирующие оболочки [8]–[10] и др., что и вызывает повышенный интерес к их практической реализации.

Впервые такие среды были реализованы и экспериментально исследованы в 2000 г. на резонансных элементах в виде расщепленных кольцевых резонаторов (магнитный дипольный момент) и линейных вибраторов (электрический дипольный момент) [7], [11].

Оба вида элементов выполнялись из проводника с хорошей проводимостью и располагались в среде с малой диэлектрической проницаемостью. Для реализации «электрических» и «магнитных» резонансных элементов в 2003 г. было предложено использовать 2 типа сферических частиц, изготовленных из материалов с большими диэлектрической ($\epsilon \gg 1$) и магнитной ($\mu \gg 1$) проницаемостями [12]. Эта работа оказалась чисто теоретической, так как такие резонаторы не могли быть реализованы на практике.

Более реалистичным оказалось предложение использовать только диэлектрические сферические частицы, в которых возбуждаются резонансные моды H_{111} и E_{111} [13], [14]. Численный расчет на основе полноволнового анализа показал, что среда, содержащая две подрешетки диэлектрических сфер, в которых возбуждаются резонансные моды H_{111} и E_{111} , обладает отрицательным коэффициентом преломления [13]–[15]. Было также показано, что если подрешетки диэлектрических сфер обладают кубической симметрией, то тензоры усредненной диэлектрической и магнитной проницаемостей среды изотропны [16]. В первоначальной постановке рассматривалась решетка из диэлектрических резонаторов, слабо связанных друг с другом, что позволило пренебречь взаимным влиянием полей в резонаторах и рассматривать решетку невзаимодействующих магнитных и электрических диполей. Однако последующее экспериментальное исследование показало неэффективность возбуждения электрического диполя [17], что поставило под сомнение возможность практической реализации метаматериала на решетке из сферических резонаторов с двумя разными модами.

В последнее время появились публикации, посвященные моделированию и разработке метаматериалов на основе диэлектрических резонаторов (в виде цилиндров или кубов), в которых принципиальную роль играет связь резонаторов друг с другом [18], [19]. Было показано, что наличие связи между резонаторами и использование многомодового режима может привести к эффекту отрицательного коэффициента преломления.

В данной статье рассматривается возможность создания метаматериала в виде решетки одинаковых диэлектрических сферических резонаторов, сильно связанных друг с другом. Вначале рассмотрены свойства метаматериала на двух подрешетках невзаимодействующих диэлектрических резонаторов, затем – выполнено моделирование линеек и решеток связанных диэлектрических резонаторов.

Свойства метаматериала на решетке диэлектрических сферических резонаторов двух типов. Рассмотрим структуру, содержащую две подрешетки диэлектрических сфер, в которых возбуждаются резонансные моды H_{111} и E_{111} . Примем, что подрешетки сферических частиц, имеющих разные радиусы, организованы в виде структуры NaCl (рис. 1). Размер элементарной ячейки $s \geq 4(a_1 + a_2)$. Радиусы сфер выбираются из условия равенства резонансных частот соответствующих резонансных мод.

Рассмотрим дифракцию на сферической частице плоской электромагнитной волны с амплитудой электрического поля E_0 , линейно-поляризованной вдоль оси x . Волна распространяется вдоль оси z в матрице с диэлектрической проницаемостью ϵ_m и волновым числом k_2 (рис. 2, a , сверху).

Тогда

$$\vec{E}(z,t) = \vec{e}_x E_0 e^{i(\omega t - k_2 z)}, \quad \vec{H}(z,t) = \vec{e}_y \frac{k_2}{\omega \mu_0} E_0 e^{i(\omega t - k_2 z)}. \quad (1)$$

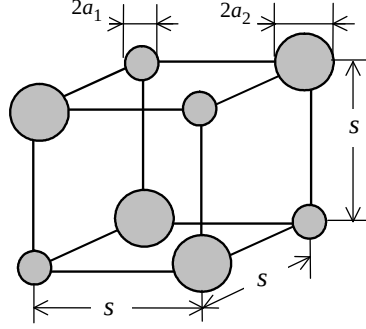


Рис. 1

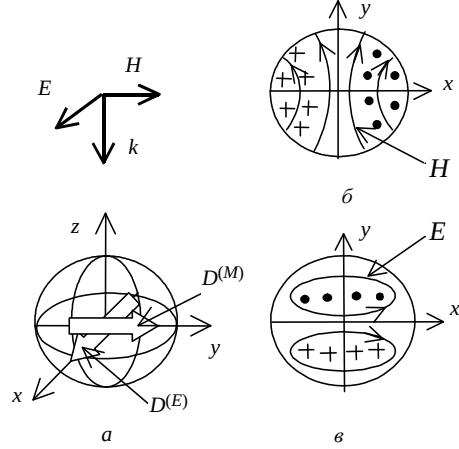


Рис. 2

Решение задачи дифракции [16], [20]–[22] позволяет найти распределение электромагнитного поля внутри сферических резонаторов $\vec{E}^{(t)}(r, \theta, \varphi)$ и $\vec{H}^{(t)}(r, \theta, \varphi)$. Распределения электромагнитных полей для резонансов с магнитным и электрическим типами полей показаны соответственно на рис 2, б и в. Электрический дипольный момент сферической частицы, ориентированный вдоль оси x, и магнитный дипольный момент сферической частицы, ориентированный вдоль оси y (рис. 2, а), находим интегрированием полей по объему сферы:

$$D_x^{(E)} = \varepsilon_0 \varepsilon_d \int_{V_{sph}} [\vec{E}^{(t)}(r, \theta, \varphi) \vec{e}_x - E_0] dv, \quad (2)$$

$$D_y^{(M)} = \mu_0 \int_{V_{sph}} [\vec{H}^{(t)}(r, \theta, \varphi) \vec{e}_y - \frac{k_2}{\omega \mu_0} E_0] dv, \quad (3)$$

где ε_d – диэлектрическая проницаемость материала сферических частиц, ε_0 – диэлектрическая проницаемость среды, в которой расположены частицы.

Усредненная макроскопическая намагниченность и усредненная макроскопическая диэлектрическая поляризация могут быть найдены как соответствующий дипольный момент, деленный на объем, занимаемый ячейкой, в которой находятся частицы. Соответственно относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды получаются в следующем виде:

$$\varepsilon_r^{(eff)}(\omega) = \frac{2D_x^{(E)}(\omega)}{s^3 \varepsilon_0 E_0} + \varepsilon_m, \quad (4)$$

$$\mu_r^{(eff)}(\omega) = \frac{2D_y^{(M)}(\omega)}{s^3 E_0 \frac{k_2}{\omega}} + 1, \quad (5)$$

где s^3 – объем ячейки.

После вычисления интегралов (2) и (3) получаем [16]:

$$\varepsilon_r^{(\text{eff})}(\omega) = \frac{4}{3} \pi a_2^3 \frac{2}{s^3} \varepsilon_d b_1^{(t)}(k_1 a_2) I(k_1 a_2), \quad (6)$$

$$\mu_r^{(\text{eff})}(\omega) = \frac{4}{3} \pi a_1^3 \frac{2}{s^3} \sqrt{\varepsilon_d} a_1^{(t)}(k_1 a_1) I(k_1 a_1), \quad (7)$$

где a_1 и a_2 – радиусы сферических частиц, $a_2 > a_1$, $a_1^{(t)}$ и $b_1^{(t)}$ – амплитуды сферических волновых функций, $I(\zeta)$ – результат интегрирования по объему частиц. Полученную функцию в пределах $3 < \zeta < 5$ можно аппроксимировать следующей простой формулой:

$$I(\zeta) = 0.1852(4.5 - \zeta) + 0.0438(4 - \zeta)^2.$$

Частотные зависимости $\varepsilon_r^{(\text{eff})}(\omega)$ и $\mu_r^{(\text{eff})}(\omega)$ определяются частотными зависимостями амплитуд мод $a_1^{(t)}$ и $b_1^{(t)}$, возбужденных в сферических частицах: H_{111} в частицах меньшего радиуса a_1 и E_{111} в частицах большего радиуса a_2 . Радиусы частиц a_1 и a_2 выбираются из условия равенства резонансных частот двух мод.

На рис. 3 показаны частотные зависимости $\varepsilon_r^{(\text{eff})}(\omega)$ и $\mu_r^{(\text{eff})}(\omega)$ [21].

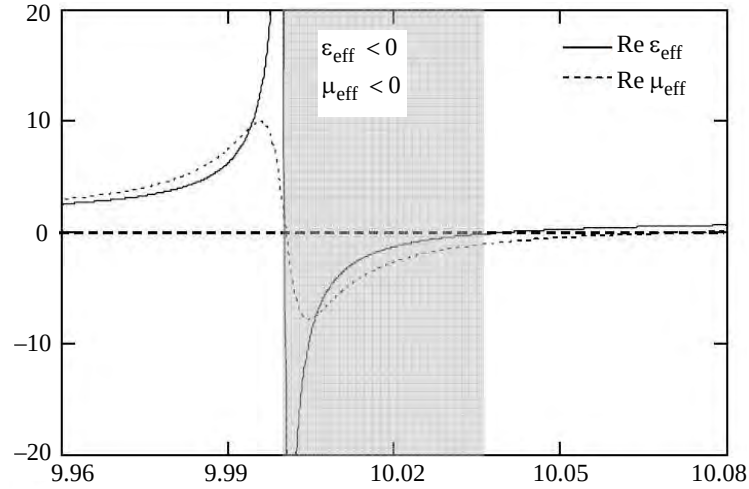
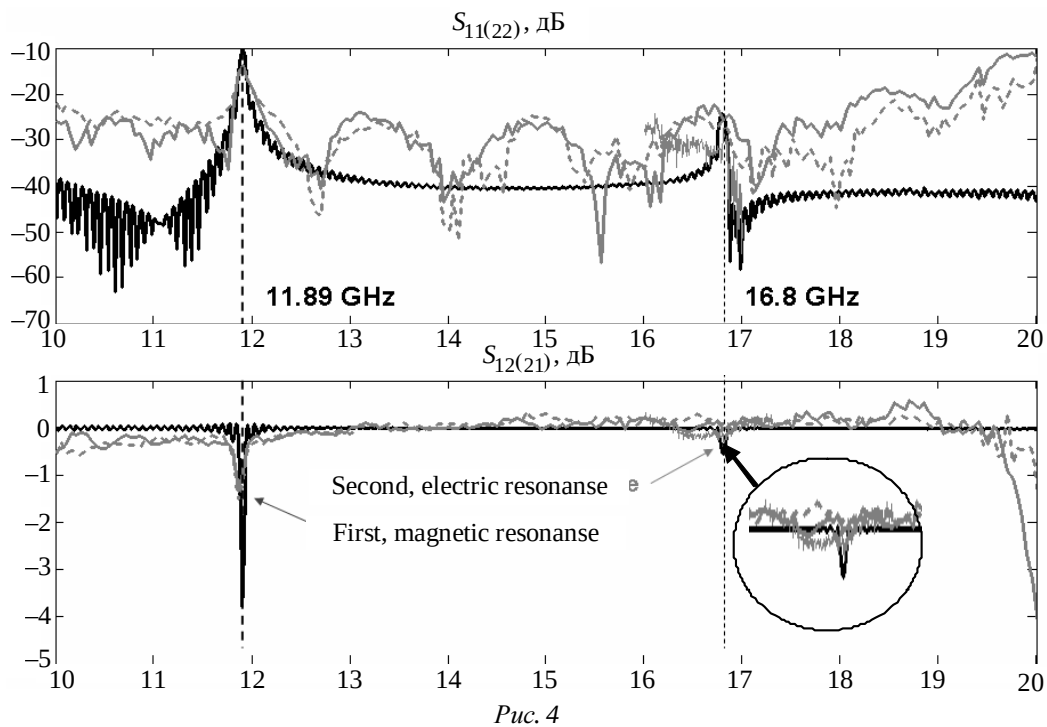


Рис. 3

В заштрихованной частотной области диэлектрическая и магнитная проницаемости отрицательны, что сопровождается отрицательной дисперсией среды. Электромагнитная волна, распространяющаяся в такой среде, является обратной.

Было проведено экспериментальное исследование резонансных свойств сферического диэлектрического резонатора в прямоугольном волноводе [17]. Результаты измерений на образцах, выполненных из керамики [23], с параметрами $\varepsilon = 378$ и $\text{tg } \delta \approx 0.004$ приведены на рис. 4 в сравнении с результатами расчета. Резонанс магнитного типа, соответствующий основной моде в диэлектрической сфере ($f_1 = 11.89$ ГГц), отчетливо проявляется в виде резонансного пика не пропускания, в то время как резонанс электрического типа

($f_2 = 16.8$ ГГц) выражен гораздо слабее. Резонансная диэлектрическая сфера на частоте f_1 формирует магнитный диполь и определяет эффективную отрицательную магнитную проницаемость среды, а на частоте f_2 формируется электрический диполь, ответственный за отрицательную эффективную диэлектрическую проницаемость среды. Следует ожидать, что слабо выраженный резонансный отклик электрического диполя приведет к меньшему вкладу этих резонаторов в отрицательную диэлектрическую проницаемость метаматериала на решетке диэлектрических резонаторов, по сравнению с эффективной магнитной проницаемостью. Численное электродинамическое моделирование показало, что решетка из магнитных диполей на сферах с магнитным резонансом ведет себя как среда с эффективной отрицательной магнитной проницаемостью и обеспечивает непропускание волны в резонансной области, в то время как решетка из электрических диполей на сферах с электрическим резонансом демонстрирует слабые резонансные свойства, и волна проходит через эту среду, испытывая небольшое ослабление. В связи с этим была предпринята



попытка синтезировать регулярную среду, состоящую из одинаковых диэлектрических сферических резонаторов с магнитным резонансом, и для возбуждения электрического диполя использовать связь этих резонаторов друг с другом.

Метаматериал на основе связанных резонаторов. В качестве объекта исследования была выбрана линейка сферических диэлектрических резонаторов. Откликом на электромагнитную волну, распространяющуюся вдоль цепочки резонаторов, является коэффициент передачи S в частотном диапазоне. В качестве рабочей частоты была выбрана резонансная частота основной моды, обеспечивающей генерацию магнитного диполя. Результаты моделирования для двух значений расстояний между сферическими резонаторами ($\epsilon_d = 400$, $a_1 = 1.065$ мм, $\text{tg } \delta = 0$) приведены на рис. 5. Моделирование выполнялось с помощью программы CST Microwave Studio.

Первоначально исследовалась одномерная цепочка из 10 сферических резонаторов с радиусом 1.065 мм и диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 400$. В случае, когда резонаторы расположены на значительном расстоянии друг от друга, составляющем несколько радиусов, на зависимости коэффициента передачи от частоты наблюдается провал в районе резонансной частоты 7.13 ГГц (рис. 5, *а*). При уменьшении расстояния между резонаторами провал, наблюдаемый для коэффициента прохождения на резонансной частоте, начинает расщепляться и в узкой частотной области наблюдается рост коэффициента пропускания (рис. 5, *б*). Чем меньше расстояние между соседними сферами, тем шире область пропускания и большие значения принимает коэффициент прохождения в этой области. Кроме того, для близко-расположенных сфер полоса пропускания несколько смещается в область высоких частот.

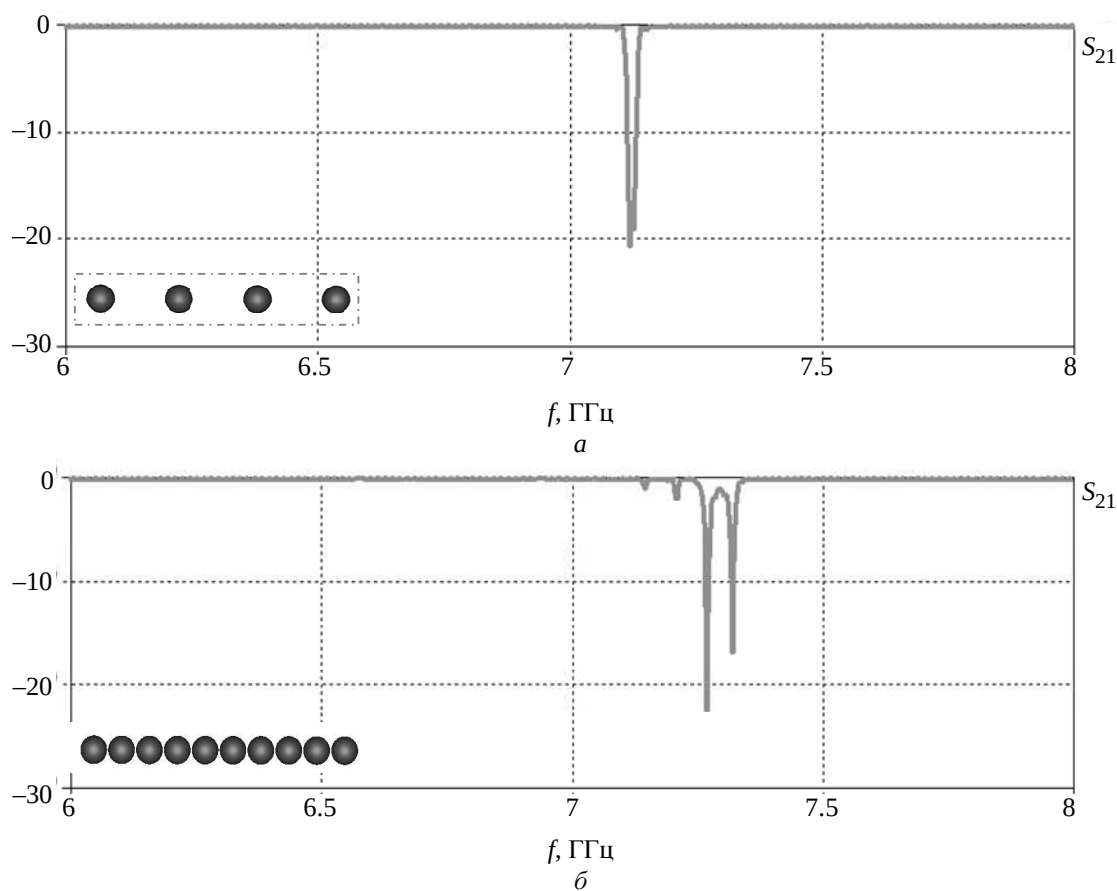


Рис. 5

Связь диэлектрических резонаторов приводит к возникновению многомодового режима, при котором в области связи возникает электрическое поле, индуцирующее электрический диполь. Совокупность распределенных в пространстве электрических и магнитных диполей определяет эффективные параметры среды ϵ_{eff} и μ_{eff} , которые в резонансной области могут принимать отрицательные значения.

Одной из характеристик метаматериала является наличие в нем обратной волны. С целью демонстрации этого эффекта было изучено распределение электромагнитной волны в разные моменты времени. На рис. 6 представлена картина распределения поперечной y -компоненты напряженности магнитного поля волны в плоскости расположения

сферических резонаторов. Картины поля отображены для четырех разных моментов времени: начального ($t = 0$), одной восьмой части периода ($t = T/8$), четверти периода ($t = T/4$) и трех восьмых периода ($t = 3T/8$). Плоская электромагнитная волна падает на структуру, распространяясь слева направо. Из сравнения рисунков видно, что с течением времени волна, распространяющаяся вдоль цепочки резонаторов, перемещается в противоположном направлении. Максимум напряженности магнитного поля смещается влево для каждого последующего момента времени, тогда как энергия в среде передается слева направо.

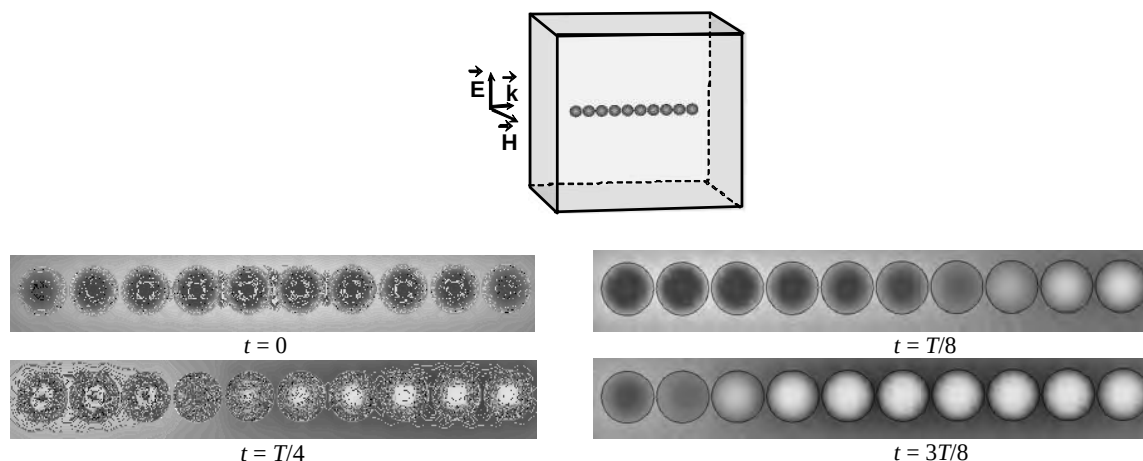


Рис. 6

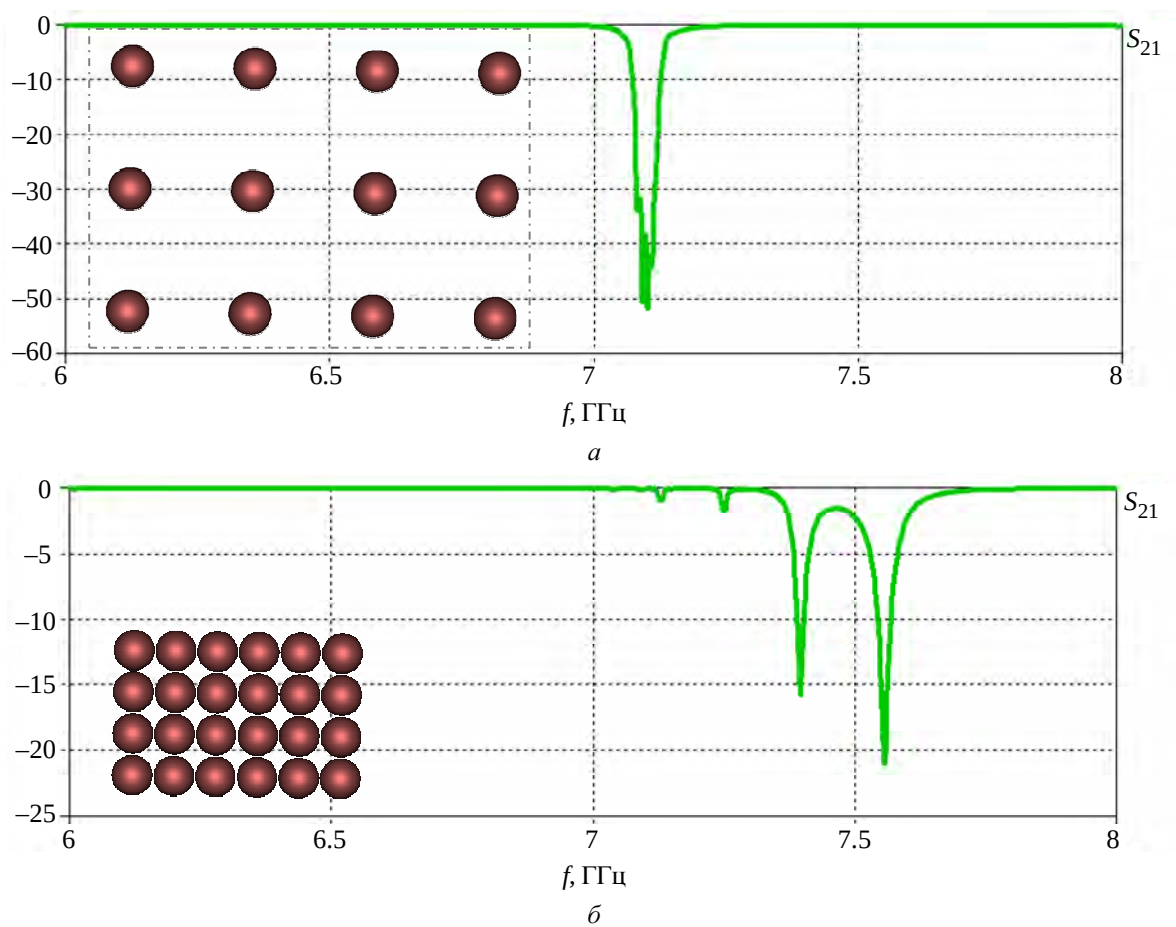


Рис. 7

На следующем этапе был выполнен анализ структуры, состоящей из 24 диэлектрических сфер, размещенных в одной плоскости (рис. 7). Частота резонанса магнитного типа для частиц радиусом 1.065 мм с диэлектрической проницаемостью 400 равна 7.12 ГГц. Как и в одномерном случае, в случае, если сферы расположены на большом расстоянии друг от друга (более 3 мм), вблизи резонансной частоты находится диапазон запираания. Однако, как следует из рис. 7, б, в случае, когда сферические частицы расположены близко друг от друга, коэффициент передачи S_{21} имеет диапазон пропускания, заключенный между двумя пиками непропускания. Следует ожидать, что для данного частотного диапазона эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости моделируемой структуры отрицательны, а значит, в среде присутствует обратная электромагнитная волна, направление распространения которой противоположно направлению распространения падающей плоской волны.

На рис. 8 представлена картина распределения фазы поперечной составляющей напряженности магнитного поля электромагнитной волны. В левой части приведено распределение в среде без резонаторов. В правой части отображена фаза для структуры, содержащей 24 сферических резонатора. Как видно из рисунка, в плоскости диэлектрических резонаторов в направлении движения волны наблюдается изменение ее фазы от 180 до 360°, т. е. ее положительный прирост. Источник электромагнитной волны находится в левой части. Положительный прирост фазы в направлении распространения волны свидетельствует, что ее фазовая скорость отрицательна. Наличие обратной волны в такой структуре подтверждает, что среда проявляет свойства метаматериала с отрицательными значениями эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей.

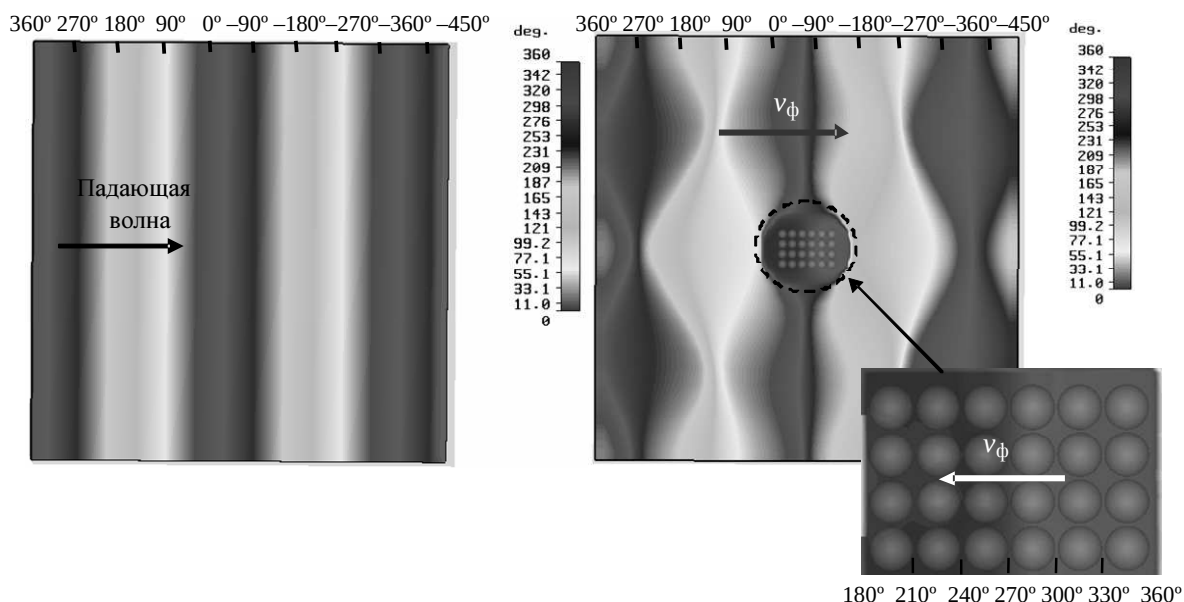


Рис. 8

Выводы. Результаты моделирования показывают, что решетка сильносвязанных диэлектрических сферических резонаторов обладает свойствами метаматериала. Свойства проявляются в узком частотном диапазоне, в котором в резонаторах возбуждается ос-

новная мода, формирующая магнитные диполи, а в области связи между резонаторами генерируются электрические диполи. Данная структура изотропна в силу изотропии периодической решетки и составляющих ее частиц – сферических резонаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

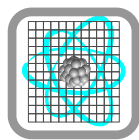
1. Caloz C., Itoh T. *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*. New York: Wiley, 2004.
2. Eleftheriades G. V., Balmain K. G. *Negative Refraction Metamaterials: Fundamental Principles and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2005.
3. Engheta Ed. Nader, Ziolkowski R. W. *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*. Wiley-IEEE Press, 2006.
4. Marqués R., Martín F., Sorolla M. *Metamaterials with Negative Parameters: Theory, Design and Microwave Applications*. New Jersey: John Wiley & Son Inc., 2008.
5. Веселаго В. Г. Электродинамика сред с одновременно отрицательными величинами ϵ и μ // УФН. 1967. Т. 92, июль. С. 517–526.
6. Single-Negative, Double-Negative, and Low-index Metamaterials and their Electromagnetic Applications / A. Alu, N. Engheta, A. Erentok, R. W. Ziolkowski // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine*. 2007. Vol. 49, Issue 1. P. 23–36.
7. Pendry J. B. Negative refraction makes a perfect lens // *Phys. Rev. Letters*. 2000. Vol. 85. P. 3966–3969.
8. Shalaev V. Optical metamaterials and applications // *The 1st Metamaterial Congress*, Rome, Oct. 2007.
9. Metamaterial Electromagnetic Cloak at Microwave Frequencies / D. Schurig, J. J. Mock, B. J. Justice et al. // *Science*. 2006. Vol. 314, № 5801. P. 977–980.
10. Одит М., Вендик И. Применение метаматериалов в технологии маскировки. // Тез. докл. науч.-техн. семинара «Инновационные разработки в СВЧ-технике и электронике», 5 февр. 2008. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. С. 10.
11. A Composite Media with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity / D. R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2000. 84, № 18. P. 4184–4187.
12. A Double Negative (DNG) Composite Medium Composed of Magnetodielectric Spherical Particles Embedded in a Matrix / C. L. Holloway, I. F. Kuster, J. Baker-Jarvis, P. Kabos // *IEEE Trans. on AP* 2003. Vol. 51, № 10. P. 2596–2603.
13. Kolmakov I. A., Gashinova M. S., Vendik O. G. Modeling of Artificial Isotropic Double negative (DNG) Media Composed by Spherical Particle Lattices Embedded in a Dielectric Matrix // *Seminar Proceedings Book of 11th International Student Seminar*, St. Petersburg, June 2004. P. 27–30.
14. Vendik O. G., Gashinova M. S. Artificial Double Negative (DNG) Media Composed by Two Different Dielectric Sphere Lattices Embedded in a Dielectric Matrix // *Proc. EuMC34*, Amsterdam, Oct. 2004. P. 1209–1212.
15. Lattice of dielectric particles with double negative response / A. Kolmakov, L. Jylhä, S. A. Tretyakov, S. Maslovski // *XXVIIIth General Assembly of International Union of Radio Science (URSI)*, New Delhi, India. Oct. 2005. P. 23–29. BCD.5(0109).pdf.
16. Вендик И. Б., Вендик О. Г., Гашинова М. С. Искусственная диэлектрическая среда, обладающая одновременно отрицательной диэлектрической и отрицательной магнитной проницаемостями // *Письма в ЖТФ*. 2006. Т. 32, вып. 10. С. 30.
17. Odit M., Vendik I., Vendik O. 3D Isotropic metamaterial based on dielectric resonant spheres // *Proc. of 1st Metamaterial Congress*, Rome, Oct. 2007.
18. FDTD Study of Resonance Processes in Metamaterials / E. A. Semouchkina, G. B. Semouchkin, M. Lanagan, C. A. Randall // *IEEE transactions on microwave theory and techniques*. 2005. Vol. 53, № 4.
19. Rennings A., Caloz C., Wolff I. A Novel Clustered Dielectric Cubes Metamaterial (CDC-MTM) // *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, 9–14 July 2006. P. 483–486.
20. Стрэттон А. Дж. Теория электромагнетизма. М., Л.: Оборонгиз, 1948. С. 493.
21. Vendik I. B., Vendik O. G., Odit M. A. Modeling of isotropic double negative media for microwave applications // *Opto-Electronics Review*. 2006. Vol. 14, № 3. P. 179–186.
22. Vendik I., Vendik O., Odit M. Isotropic artificial media with simultaneously negative permittivity and permeability // *Microwave and Optical Technology Letters*. 2006. Vol. 48, Issue 12. P. 2553–2556.
23. Tunability and microwave dielectric properties of BaO-SrO-Nd₂O₃-TiO₂ – ceramics / E. A. Nenasheva, N. F. Kartenko, O. N. Trubitsina et al. // *Journ. of the European Ceramic Society*. 2007. P. 2845–2848.

M. A. Odit, I. B. Vendik, O. G. Vendik

METAMATERIAL BASED ON COUPLED DIELECTRIC RESONATORS

A model of metamaterial based on spherical cubic structure is considered. The structure exhibits properties of material with negative effective permittivity and permeability. Experimental results are presented. New model with closely positioned spherical dielectric resonators was introduced. The magnetic dipole is provided by Mie resonance in a spherical particle and electric dipole is provided by a mutual interaction between resonators. Modelling of 2D structure shows backward wave existence in a medium being considered.

Metamaterial, negative effective permittivity and permeability, isotropy, coupling dielectric resonators



УДК 621.382.2.23

Д. М. Грама, А. С. Петров, С. Д. Попов,
Р. М. Степанов, Е. В. Чилаева

АВТОЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ АРСЕНИДА ИНДИЯ ДЛЯ ИК ФПУ

Автоэпитаксиальные слои InAs выращивались методом газофазной эпитаксии в хлоридно-гидридной системе на подложках диаметром 76 мм, ориентированных в плоскости (111)А. Исследование выращенных слоев показало, что при изменении температуры процесса изменяется механизм эпитаксиального роста InAs. На чистоту выращиваемого слоя в первую очередь влияет чистота исходных материалов и отношение молярной доли индия к молярной доле мышьяка в газовой фазе. Слои, выращенные в оптимальных условиях, характеризуются концентрацией носителей заряда $(1.5...3.0)10^{15} \text{ см}^{-3}$ при подвижности $(0.8...1.2)10^5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ при 77 К.

Газофазная эпитаксия, кинетические ограничения, термодинамические ограничения, концентрация и подвижность основных носителей заряда, поверхностная плотность дефектов, механическая и химико-механическая полировка

Эпитаксиальный арсенид индия (InAs) находит широкое применение в полупроводниковой оптоэлектронике. На основе структур InAs ведутся разработки вакуумных и твердотельных фотоприемных устройств (ФПУ), чувствительных в инфракрасном (ИК) диапазоне [1]. При этом к структурам предъявляется ряд весьма жестких требований по чистоте материала и его структурному совершенству.

Прежде всего структуры должны характеризоваться низким содержанием остаточных примесей, отсутствием структурных дефектов на поверхности слоя большой площади (до 45 см²). В настоящей статье рассмотрены вопросы влияния условий получения эпитаксиального InAs на электрофизические и структурные характеристики, определяющие его пригодность в качестве основы ИК ФПУ. Исследована возможность снижения плотности дефектов на поверхности структур путем их полировки.

Методика получения и исследования слоев арсенида индия. Автоэпитаксиальные слои арсенида индия выращивались методом эпитаксии из газовой фазы по хлоридно-гидридной методике. Выращивание производилось на модернизированной промышленной установке ЭТР-100 с вертикальным реактором открытого типа при атмосферном давлении в потоке водорода. Используемая система финишной очистки водорода обеспечивала уровень

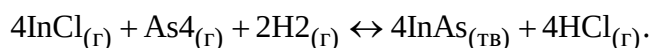
чистоты, соответствующий «точке росы» $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве источника мышьяка использовалась 10 %-я газовая смесь арсина с водородом. В верхней части реактора располагался контейнер с индием марки ИН-0000, через который пропусклся газообразный хлористый водород. Взаимодействуя с индием, хлористый водород образовывал летучий монохлорид индия, который, смешиваясь с арсином, поступал в центральную часть реактора, где располагался кварцевый подложкодержатель на три подложки. В качестве подложек использовались монокристаллические пластины InAs диаметром 76 мм, ориентированные в плоскости (111)А и легированные серой до концентраций $n = (1.0 \dots 1.5)10^{18}\text{ см}^{-3}$. Температура в зоне источника индия составляла $800 \dots 820\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура в зоне подложкодержателя изменялась в пределах от 600 до $680\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поток газа-носителя – водорода в направлении, параллельном оси реактора, составлял 3...4 л/мин. Потоки хлористого водорода и газовой смеси арсина с водородом на входе в реактор изменялись в пределах от 20 до 50 мл/мин и 200...500 мл/мин соответственно.

Толщина эпитаксиального слоя определялась по изменению массы подложки до и после наращивания слоя. Концентрацию носителей заряда и их подвижность определяли путем измерения магнитосопротивления в направлении, перпендикулярном поверхности слоя. При подсчете плотности дефектов на поверхности эпитаксиального слоя использовали микроскоп МЕТАМ Р-2, соединенный с ВЕВ-камерой Logitech Quick Cam Pro 4000.

С целью снижения плотности поверхностных дефектов эпитаксиальные слои полировали. Полировка поверхности структур включала в себя два этапа. Первый этап – механическая полировка алмазными суспензиями и пастами зернистостью 1 и 0.5 мкм. На этом этапе с поверхности снималось от 2 до 6 мкм эпитаксиального слоя за 5...10 мин. Второй этап представлял собой химико-механическую полировку с использованием в качестве полирующей суспензии смеси аэросила-380 и моноэтаноламина. Толщина слоя, удаляемого при химико-механической полировке, составляла 0.5...1.0 мкм.

Исследование скорости роста эпитаксиальных слоев. Основными технологическими факторами, влияющими на скорость роста слоя, являются значения потоков ростообразующих компонентов и температура роста эпитаксиального слоя. На рис. 1 представлены зависимости скорости роста слоя от температуры процесса роста при разных значениях потока хлористого водорода через источник индия.

Температурная зависимость скорости роста для слоев ориентации (111)А имеет вид кривой с максимумом при температуре около $620\text{ }^{\circ}\text{C}$. При низких температурах скорость роста не зависит от потока хлористого водорода. Такой вид зависимости характерен для случая, когда скорость роста лимитируется кинетическими факторами, такими как скорость адсорбции ростообразующих компонентов на поверхность роста, диффузии компонентов по поверхности и десорбции продуктов реакции [2]. При увеличении температуры скорость роста начинает зависеть от концентрации монохлорида индия в реакторе. По-видимому, лимитирующей стадией эпитаксиального роста при больших температурах становится скорость массопереноса ростообразующих компонентов к поверхности роста. При дальнейшем повышении температуры начинают сказываться термодинамические ограничения, а именно, рост равновесной концентрации монохлорида индия в газовой фазе, приводящий к разложению твердой фазы арсенида индия [3]:



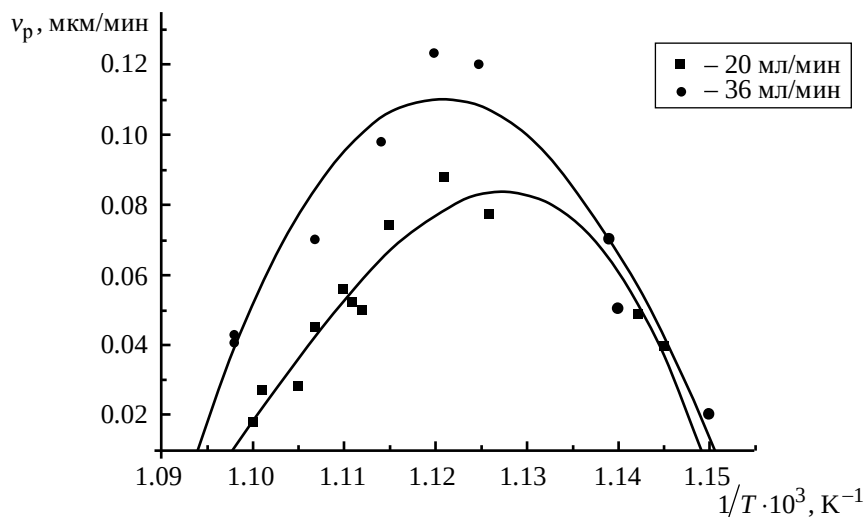


Рис. 1

Исследование электрофизических характеристик слоев. Слои арсенида индия специально не легировались и всегда имели n -тип проводимости. Проводимость определялась мелкими донорами, такими как S, Se, Te, всегда присутствующими в исходных компонентах и материалах оснастки реактора. На рис. 2 представлена зависимость подвижности носителей заряда от их концентрации при температуре 77 К.

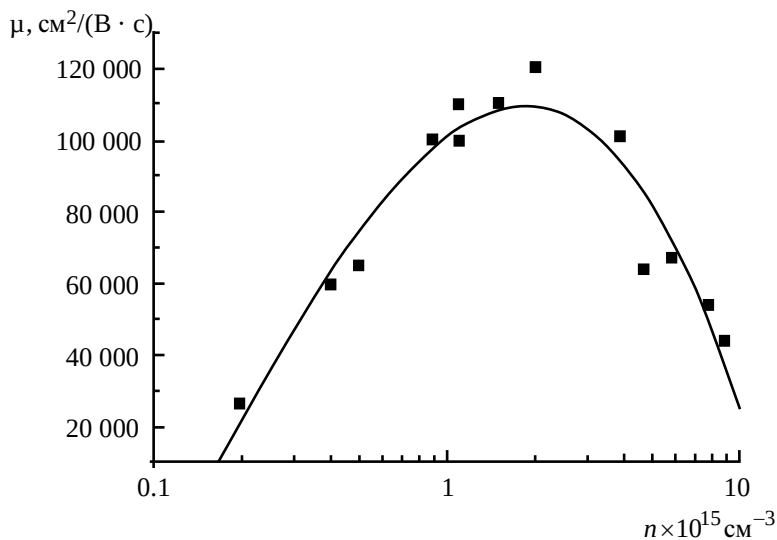


Рис. 2

Значения подвижности, близкие к теоретически достижимым [4], наблюдаются при концентрации носителей заряда около $2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Заметной зависимости подвижности от температуры роста и концентрации монохлорида индия в газовой фазе не выявлено. Слои с концентрацией носителей менее 10^{15} cm^{-3} получены в условиях, когда соотношение $X_{\text{In}}/X_{\text{As}}$ (отношение молярной доли индия к молярной доле мышьяка в газовой фазе) становится больше единицы. Недостаток мышьяка приводит к образованию структурных дефектов, вакансий мышьяка в эпитаксиальном InAs [5]. В сочетании с различными примесями эти дефекты могут проявляться в виде как донорных, так и акцепторных уровней в запрещенной зоне InAs. Снижение подвижности носителей заряда и уменьшение концентрации свидетельствует о том, что в данном случае имеет место образование дефектов преимущественно акцепторного типа.

Увеличение концентрации носителей заряда выше $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, как правило, происходило после заполнения источника новой партией металлического индия. Рост подвижности при одновременной стабилизации концентрации носителей на уровне $(1...3)10^{15} \text{ см}^{-3}$ наблюдался после длительного (не менее 30 ч) отжига вновь заполненного источника в водороде при температуре 850°C .

Влияние температуры выращивания на морфологию поверхности слоев. Изменение механизма эпитаксиального роста при изменении температуры роста приводит к изменению характера дефектов на поверхности выращиваемых слоев. На рис. 3 и 4 представлены фотографии поверхности слоев, выращенных в условиях термодинамических ($t_p = 630^\circ\text{C}$) и кинетических ($t_p = 610^\circ\text{C}$) ограничений процесса эпитаксиального роста. При повышенных температурах роста основным видом дефектов на поверхности эпитаксиального слоя являются крупные треугольные образования. Поверхностная плотность таких дефектов может изменяться от 2 до 50 см^{-2} . При переходе к режимам роста, при которых осаждение слоя лимитируется кинетическими факторами, размеры дефектов уменьшаются, а их поверхностная плотность увеличивается до 10^4 см^{-2} .

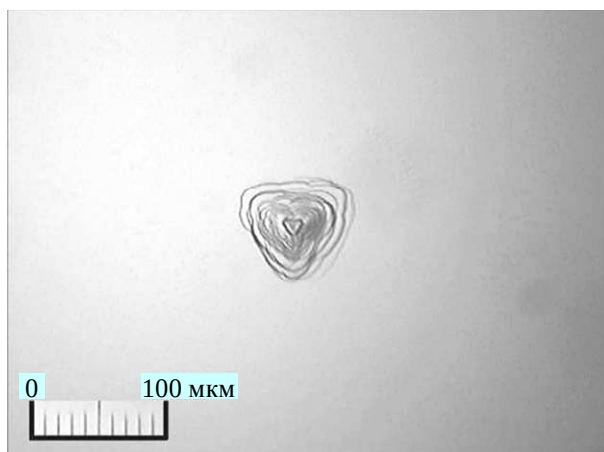


Рис. 3

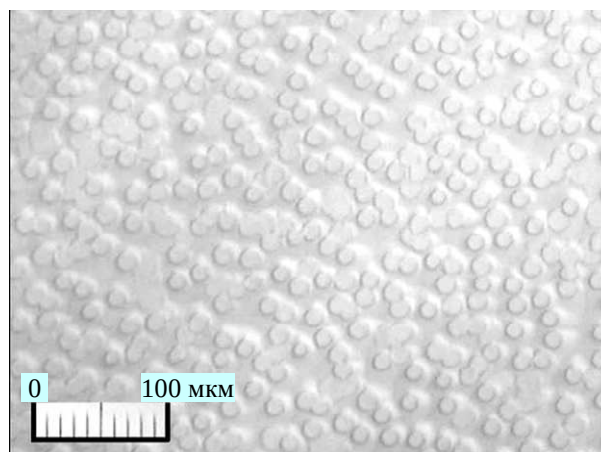


Рис. 4

С целью установления природы структурных дефектов производилась подполировка поверхности эпитаксиальных слоев. Вид дефектов после полировки слоя, полученного в условиях, при которых скорость роста лимитируется массопереносом в газовой фазе, представлен на рис. 5. Обнаружено, что пирамидальные дефекты зарождаются вблизи границы раздела «подложка – эпитаксиальный слой» и по мере роста слоя линейные размеры дефекта увеличиваются. Возникновение таких дефектов может быть связано с загрязнением поверхности подложек, в частности, с наличием пылинок, адсорбированных на поверхности подложки из воздуха рабочей зоны при загрузке подложек в реактор.

Дефекты, наблюдаемые на поверхности слоев, выращенных в условиях кинетических ограничений скорости роста, обычно убираются после подполировки поверхности на глубину 2...4 мкм. При этом дефектов, аналогичных изображенным на рис. 5, не наблюдается, т. е. дефекты, возникающие вблизи границы раздела «слой – подложка», имеют склонность к аннигиляции и зарастают, не выходя на поверхность эпитаксиального слоя. При

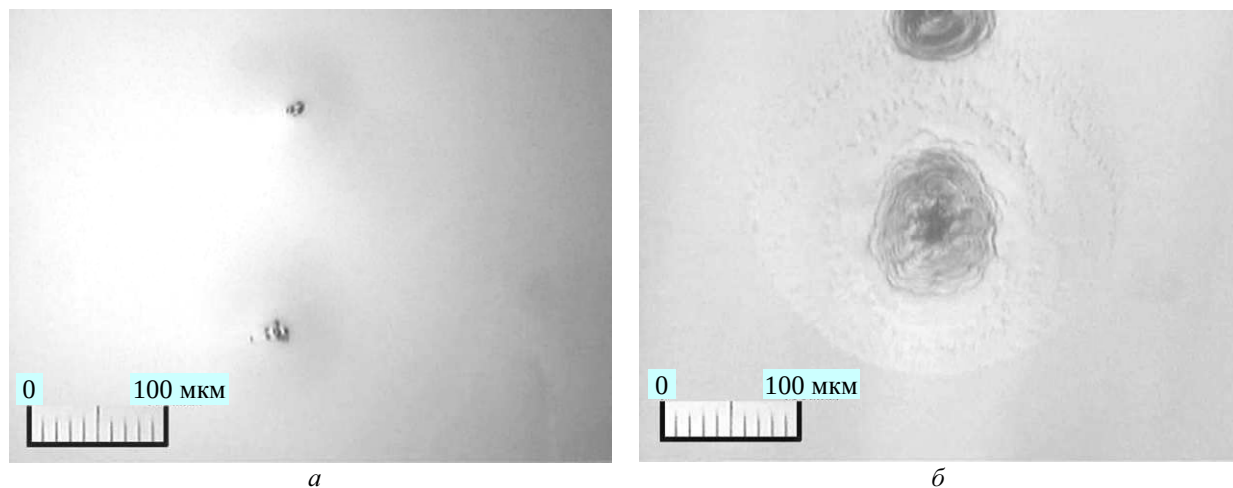


Рис. 5

получении структур, предназначенных для использования в широкоформатных ИК ФПУ, в условиях жестких требований к количеству дефектов на поверхности эпитаксиального слоя (2...100 мкм до 100 шт./см², 100...300 мкм до 5 шт./см²), целесообразно производить эпитаксиальное наращивание при температурах, при которых процесс роста лимитируется кинетическими ограничениями, с последующей подполировкой поверхности. Авторами настоящей статьи получены слои толщиной 12...15 мкм с морфологией поверхности, аналогичной представленной на рис. 4. Производилась механическая или химико-механическая полировка образцов, в результате которой удалялось от 3 до 6 мкм эпитаксиального слоя. Полученные структуры характеризовались практически полным отсутствием дефектов на поверхности при толщине слоя 6...9 мкм, концентрации носителей заряда $(1.5...3.0)10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижности $(0.8...1.2)10^5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ при 77 К.

Таким образом, при изменении температуры эпитаксиального роста InAs происходит изменение механизма эпитаксиального роста InAs, что позволяет изменять скорость роста и морфологию поверхности. На чистоту выращиваемого слоя в первую очередь влияют чистота исходных материалов и отношение молярной доли индия к молярной доле мышьяка в газовой фазе. Слои, выращенные в оптимальных условиях, характеризуются концентрацией носителей заряда $(1.5...3.0)10^{15} \text{ см}^{-3}$ при подвижности $(0.8...1.2)10^5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ при 77 К. Получение структур диаметром до 76 мм с бездефектной поверхностью возможно при полировке поверхности после эпитаксиального наращивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковтонюк Н. Ф., Мисник В. П., Соколов А. В. Видиконы, чувствительные в средней инфракрасной области спектра с фотомишенями на структурах полупроводник – диэлектрик // Прикладная физика. 2005. № 6. С. 134–140.
2. Киреев В. Ю., Столяров А. А. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы. М.: Техносфера, 2006.
3. Исследование роста эпитаксиальных слоев InAs в хлоридно-гидридной системе / В. В. Лебедев, Г. Б. Лунькина, А. А. Матяш, С. С. Стрельченко // Электронная техника. Сер. Материалы. 1974. Вып. 2. С. 35–41.
4. Электрофизические свойства эпитаксиального InAs и узкозонных твердых растворов на его основе / Т. И. Воронина, Т. С. Лагунова, К. Д. Моисеев и др. // ФТП. 1999. Т. 33, вып. 7. С. 781–788.
5. Исследование структурных дефектов в эпитаксиальных слоях InAs / А. Н. Баранов, Т. И. Воронина, А. А. Гореленок и др. // ФТП. 1992. Т. 26, вып. 9. С. 1612–1624.

D. M. Grama, A. S. Petrov, S. D. Popov, R. M. Stepanov, E. V. Chilaeva

INAs AUTOEPITAXIAL STRUCTURES FOR INFRA-RED RANGE PHOTODETECTORS

InAs autoepitaxial layers were grown by CVD on 76 mm substrate in crystal direction (111)A. Exploration demonstrate, that the mechanism of InAs epitaxial growth changes under temperature fluctuation. Layer purity depends, first of all, on initial materials purity and indium mole fraction at arsenic mole fraction ratio in gas phase. Layer growth in optimal conditions characterizes majority-carrier concentration $(1.5...3.0)10^{15} \text{ cm}^{-3}$ and carrier mobility $(0.8...1.2) 10^5 \text{ cm}^2/(B \cdot c)$ under 77 K.

CVD method, kinetic limitation, thermodynamic limitation, majority-carrier concentration and mobility, surface defect density, mechanical and chemical-mechanical polishing



УДК 681.324

А. В. Першин

МОДЕЛЬ АГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОИСКА В СЕТИ

Обсуждаются способы построения системы мобильных агентов для решения задачи поиска в сети, определяются компоненты, задачи и функции системы мобильных агентов. Предлагается архитектура специализированного агента с использованием абстрактных шаблонов, допускающая для увеличения быстродействия адаптацию к состоянию сети благодаря сборке агента из готовых компонентов на этапе создания.

Мобильные агенты, распределенные системы поиска, моделирование агентных систем

Задача поиска в сети, определенная в терминах *поставщик-потребитель*, была рассмотрена в [1], подобная постановка задачи актуальна для таких систем, как сети продажи товаров, системы планирования перевозок, системы резервирования мест в гостиницах или бронирования билетов. Традиционная архитектура таких систем является централизованной, объединяющей данные всех поставщиков в единой базе данных, что требует значительных ресурсов. Альтернативой являются децентрализованные системы, например системы, построенные с использованием мобильных агентов [2]–[4], позволяющие достичь большей эффективности благодаря уменьшению объема передаваемой информации и увеличению степени параллелизма, что снижает требования к производительности компьютеров сети.

Для анализа работы агентных поисковых систем было проведено моделирование. Ввиду того, что построение правдоподобной аналитической модели мобильных агентов связано со значительными трудностями по причине ограниченности формальных методов теории массового обслуживания, то для получения более точных результатов моделирования целесообразно использовать имитационное моделирование, которое позволяет получать модели практически произвольной детализации и сложности. Модель сети, в которой производится поиск, приведена на рис. 1.

Представленная модель сети имеет следующие ограничения:

1. Все пути пакетов проходят через один канал данных, и не учитываются промежуточные переключатели и каналы данных между ними. Это означает, что задержки передачи канала данных и шлюзов должны моделировать суммарную задержку и пропускную способность всех промежуточных элементов реальной сети.

2. Все поставщики и потребители подключены только к единому маршрутизатору, в то время как реальные поставщики имеют доступ из различных подсетей, следовательно, разных переключателей и шлюзов. Рассматриваемая модель соответствует структуре, когда с центральным сервером работает одна организация, имеющая группу терминалов, обслуживающих потребителей.

3. Параметры приведенной модели определяют поток запросов потребителей с экспоненциальным распределением. Следующий запрос формируется после получения ответа на предыдущий, при этом запросы других потребителей ожидают обслуживания в ограниченной очереди с терпеливыми заявками.

4. Упрощенная модель протокола ТСР. Не моделируется модель скользящего окна, так как объем данных, передаваемых при каждом запросе, уменьшается на несколько (два-три) пакетов, что недостаточно для заполнения окна пакетами.

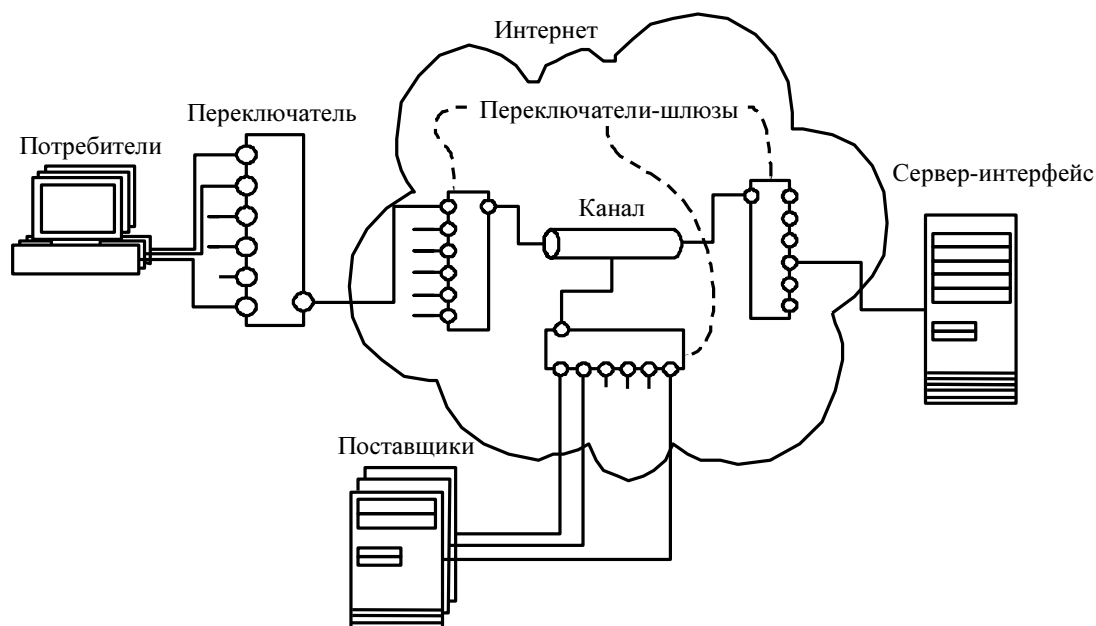


Рис. 1

На рис. 2 представлена схема компонентной модели сети, соответствующая сети, представленной на рис. 1. Модель строилась в среде Anylogic [5]*, на базе стандартных компонентов были построены компоненты агентной системы поиска. На схеме приняты следующие обозначения: U – потребитель, S – переключатель, C – канал данных, W – центральный сервер, P – поставщик.

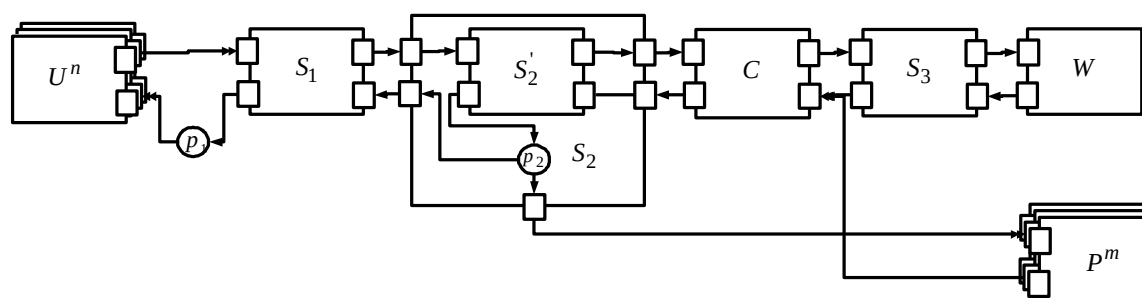


Рис. 2

* AnyLogic Technical Overview (core modeling language), 1992–2005 XJ Technologies Company Ltd, www.xjte.com.

Сеть собирается из следующих компонентов: множества потребителей U^n ; множества поставщиков P^m ; сетевых переключателей S_1, S_2, S_3 ; канала передачи данных C . Особенностью является наличие элементов p_1, p_2 , которые выполняют функции перенаправления пакетов: p_1 – направляет пакеты ответов на потребителя, которому данный ответ предназначен; p_2 – направляет пакеты в зависимости от их адреса назначения либо на компоненты, моделирующие работу серверов поставщиков P^m , либо на компоненты потребителей U^n . Направление пакета определяется благодаря анализу его атрибута, отвечающего за адрес назначения. Основным принцип модели заключается в том, что любой пакет должен пройти через 2 переключателя и канал данных, влияя тем самым на общую пропускную способность.

Алгоритм поиска, моделируемый с помощью рассматриваемой модели, представлен на рис. 3.

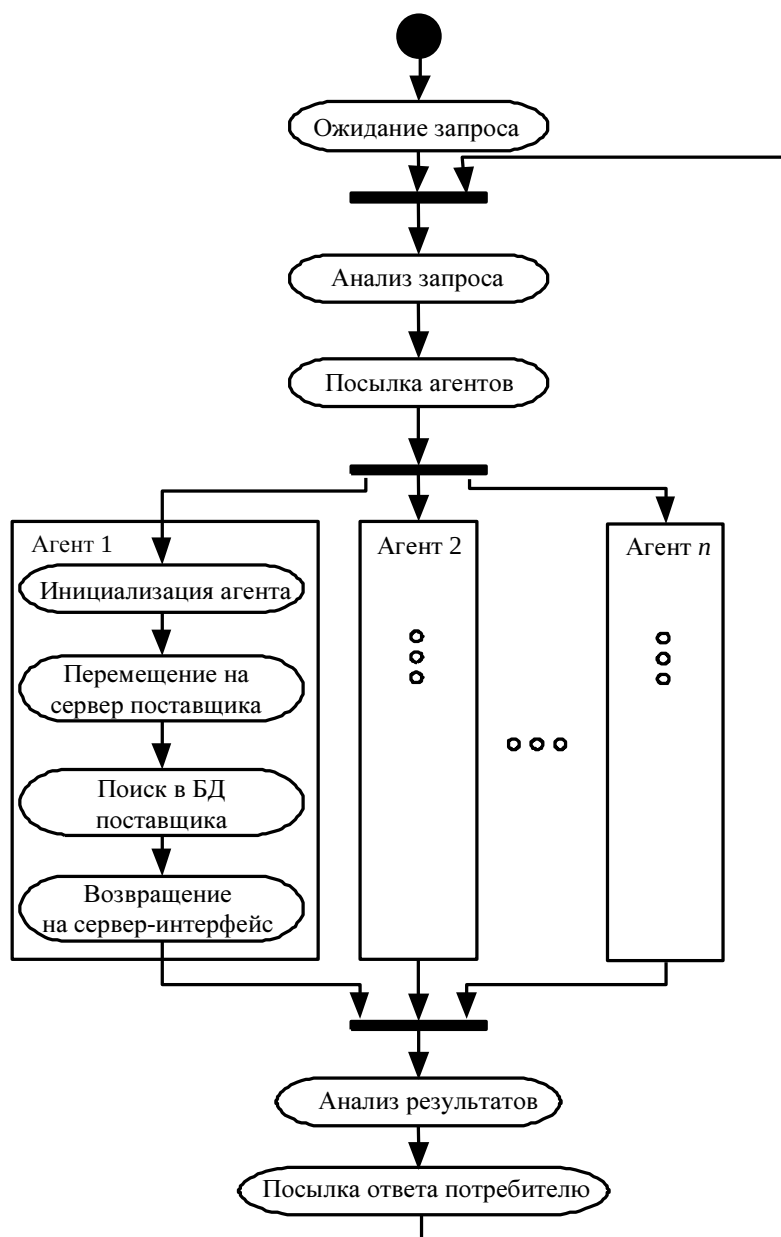


Рис. 3

Данный алгоритм обеспечивается согласованным взаимодействием блоков управления серверов и потребителей.

Реализация данного поведения требует различных реакций системы в зависимости от типа запроса на входе: 1) если на вход приходит запрос пользователя, то необходимо породить группу агентов; 2) если вернулся поисковый агент и он последний, то необходимо выдать результат пользователю; 3) если вернувшийся агент не последний, то дожидаться оставшихся агентов. На рис. 4 приведена карта (statechart) [6] состояний сервера *W*, которая обеспечивает описанное поведение.

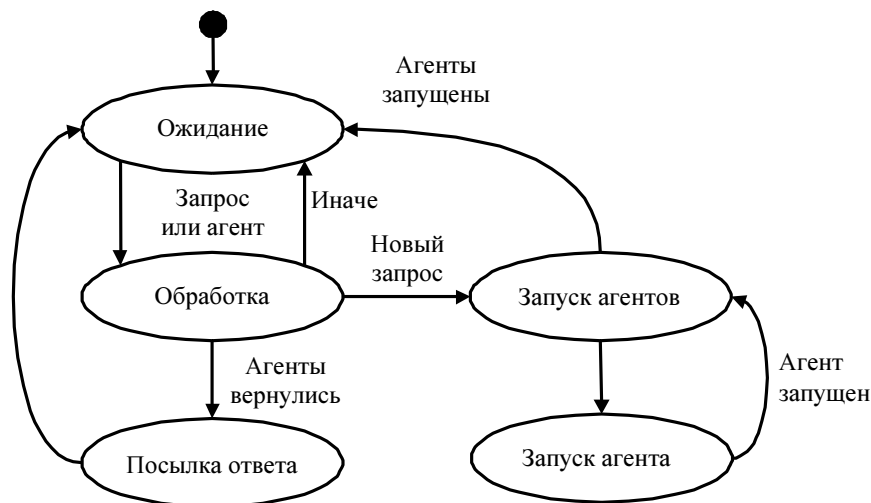


Рис. 4

На карте состояний переходы из одного состояния в другое обусловлены событиями, происходящими в системе моделирования. При изменении состояния генерируется управляющее воздействие, которое обуславливает дальнейшее поведение модели. Модуль управления может хранить статус нескольких заявок пользователей, что позволяет в промежуток ожидания возвращения агентов параллельно обрабатывать запросы других пользователей. Время обработки включает в себя время всех операций, которые необходимо произвести для формирования ответа, в том числе и время взаимодействия с дополнительными сервисами хоста (базами данных).

В процессе моделирования были получены результаты, которые представлены в виде семейства графиков, каждый график соответствует определенной нагрузке, зависящей от количества потребителей в системе. Были получены семейства графиков, отражающие зависимости следующих характеристик от количества поисковых агентов в группе: 1) времени поиска (рис. 5); 2) загрузки центрального сервера (рис. 6); 3) загрузки серверов поставщиков (рис. 7).

На семействе графиков (рис. 5) приведены кривые, каждая из которых соответствует определенной нагрузке на систему, зависящей от количества работающих потребителей (1, 25, 50, 75, 100). Каждая кривая имеет свой характерный минимум в соответствующих точках (32, 10, 6, 5, 4), определяющих количество агентов, при котором поиск выполняется наиболее быстро ($t \rightarrow \min$). Будем называть значения оси абсцисс в точках минимума оптимальным количеством агентов для заданной нагрузки. При увеличении нагрузки точка оптимального количества агентов становится более выраженной и смещается влево, т. е. оптимальное количество поисковых агентов уменьшается при увеличении нагрузки системы. Точка минимума определяется двумя факторами, один из которых уменьшает время выполнения запроса, а другой увеличивает: 1) при увеличении количества агентов на запрос потребителя время выполнения запроса потребителя должно уменьшиться благодаря боль-

шей степени параллелизма; 2) большая степень параллелизма увеличивает количество агентов в системе. Когда количество агентов превышает некоторый порог, снижается производительность. При увеличении нагрузки в системе растут потери пакетов, в результате чего запросы, ответы, агенты не доходят до назначения, что порождает повторные запросы, которые лавинообразно увеличивают нагрузку на систему (рис. 5).

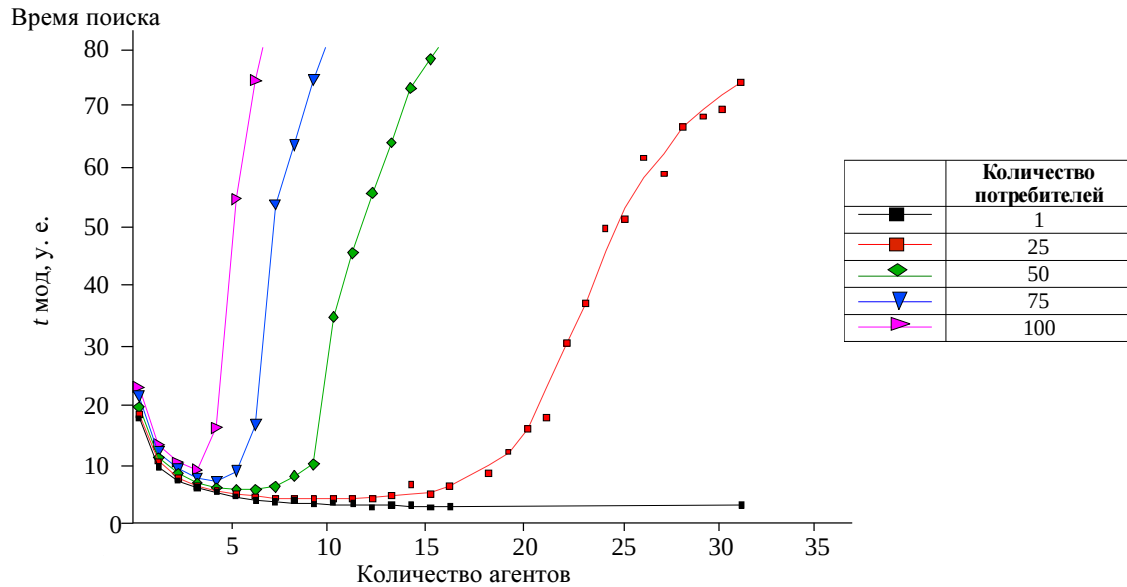


Рис. 5

Вид семейства графиков нагрузки центрального сервера (рис. 6) показывает, что точка оптимального количества агентов находится перед точкой насыщения сервера, когда нагрузка близка к 1.0 (100 %).

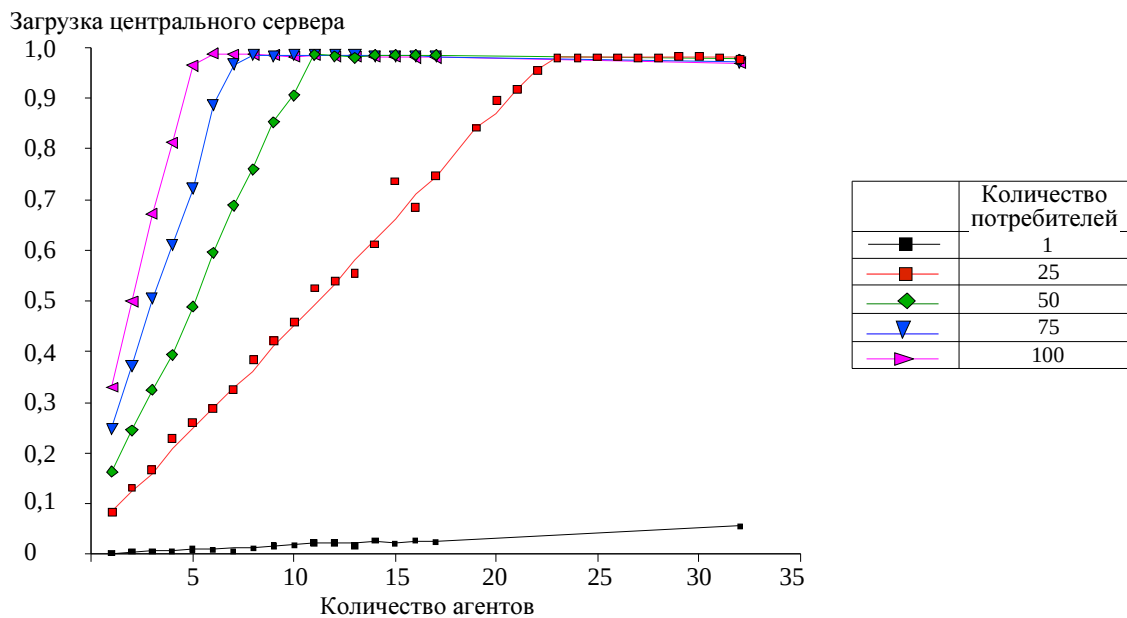
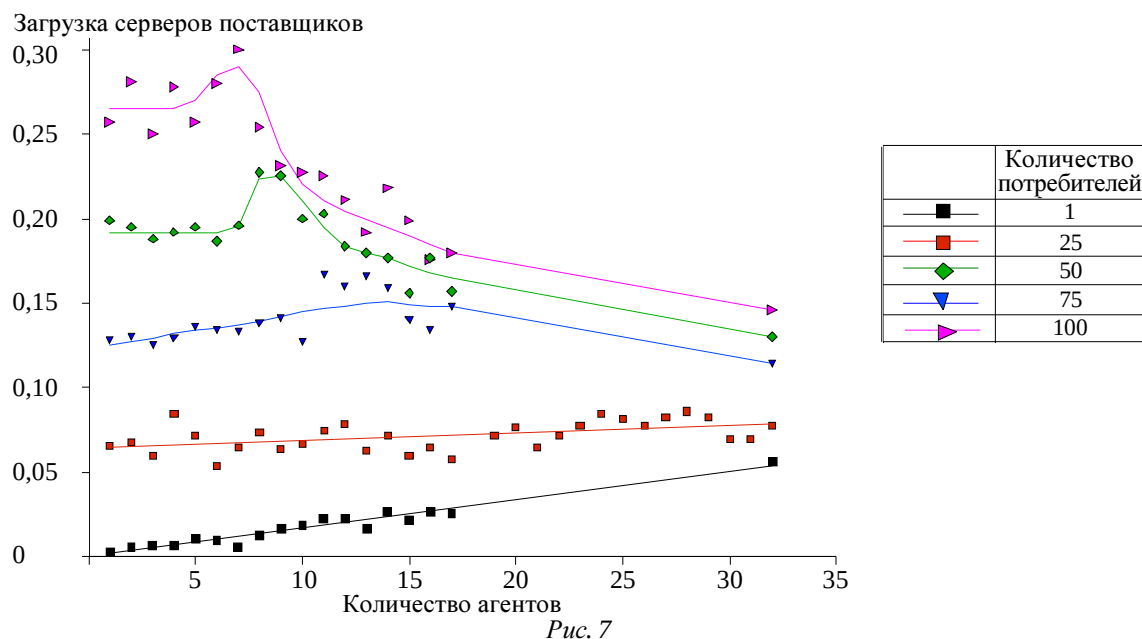


Рис. 6

В семействе кривых загрузки серверов поставщиков на нагрузочных кривых, соответствующих количеству потребителей в системе 50, 75, 100 (рис. 7), наблюдаются характерные минимумы в точках, соответствующих количеству агентов 7, 9, 16 соответственно. Наблюдаемые максимумы соответствуют точкам конца интервалов оптимальных значений степени параллелизма, когда начинается рост времени выполнения запроса (рис. 5). Наличие таких максимумов обусловлено тем, что при перегрузке сервера запросы потребителей

начинают теряться, терминалы потребителей, чтобы послать повторный запрос, ждут истечения тайм-аута, что увеличивает интервал между запросами и приводит к снижению интенсивности запросов, вызывающей снижение нагрузки на серверы поставщиков.



Как показало имитационное моделирование, время поиска очень сильно зависит от количества агентов в поисковой группе. Минимальное и максимальное времена поиска могут отличаться на порядок при одинаковой загрузке в системе. Увеличение количества агентов не означает ускорение поиска. Оптимальное количество агентов, при котором обеспечивается наименьшее время поиска, очень сильно зависит от конфигурации и параметров в системе. Кривые, отражающие зависимость времени поиска от количества агентов при различном количестве потребителей в системе, имеют характерные минимумы, определяющие оптимальное соотношение агентов и потребителей в системе. Для обеспечения высокой производительности необходимо правильно выбирать количество поисковых агентов в зависимости от нагрузки на систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомичев В. С., Першин А. В. Архитектуры сетевых поисковых систем // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2006. № 3. С. 3–8.
2. Таненбаум Э. С., Ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003.
3. Орфали Р., Харки Д., Эдвартс Д. Основы CORBA. М.: МАЛИП, 1999.
4. CORBA Facilities: Mobile Agent System Interoperability Facilities Submission: MASIF Revision / Object Management Group Framingham Corporate Center, 1998. № 3.
5. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: BHV, 2005.
6. Бенькович Е., Колесов Ю., Сениченков Ю. Практическое моделирование динамических систем. СПб.: BHV, 2001.

A. V. Pershin

MODEL OF AGENT SEARCHING SYSTEMS

Model of agent searching system, network environment of the model, a searching algorithm and a server statechart are described. Components model is based on AnyLogic system libraries. Simulation process was carried out in AnyLogic system. Following characteristics were discovered: searching time, server loading, supplier server loading. These characteristics are depended on number of agents in system and uses activity. Optimal number of agents for parallel searching was got.

Mobile agents, distribution searching systems, modeling of agent system



УДК 004.83:316.77

О. Ю. Сабинин, С. А. Тревгода

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕФЕРИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТА

Рассматривается анализ технического текста на русском языке на основе ключевых фраз и алгоритм построения дискурсной структуры текста на основе заданных аксиом. Приводятся алгоритмы различных этапов процессов анализа и построения структуры текста.

Реферирование, риторический парсинг, ключевая фраза, риторические отношения, аннотация, корпус, дискурсный маркер, дискурсная структура текста, дискурсное дерево, аксиома

Интернет делает потенциально доступными огромные объемы информации и тем самым ставит новые проблемы эффективной работы с такими объемами. В ситуации «информационной перегрузки» особенно актуальными становятся автоматические методы работы с большим количеством информации, в частности – методы получения сжатого представления текстовых документов – рефератов или аннотаций. В настоящее время существует два основных подхода к автоматическому реферированию [1]. Первый подход ориентирован на извлечение фрагментов исходного текста (экстракция), из которых и составляется реферат. Второй предполагает использование более изощренных методов лингвистического и семантического анализа (абстракция).

По результатам анализа указанных подходов к реферированию технического текста был выбран подход, основанный на экстракции. Реализация этого подхода базируется на построении дискурсной структуры текста и предполагает два основных этапа: разбор текста и собственно построение дискурсного дерева. Выходными данными первого этапа и одновременно входными для следующего служит набор риторических отношений.

Рассмотрим подход к определению риторических отношений между элементарными текстовыми единицами (ЭТЕ) на основе анализа ключевых фраз. Исходя из теории риторической структуры [2], связные тексты не просто представляют собой набор предложений, а имеют внутреннюю структуру, которая характеризуется набором дискурсных (риторических) отношений, то есть отношений, несущих некую семантическую информацию о текстовых частях, которые они соединяют.

Одной из главных задач в построении дискурсной структуры является определение набора риторических отношений между элементарными текстовыми единицами или частями предложений. На данный момент большинство исследователей считают, что решить эту задачу можно только с использованием глубокого семантического анализа текста [3]. В данной статье предлагается альтернативный подход к решению этой задачи: на основе анализа ключевых фраз. Такой подход представляется разумным ввиду отсутствия полных баз знаний, соответствующих словарей для русского языка, а также ввиду необходимости иметь специалистов в конкретной области.

Построение дискурсной структуры текста предполагает выполнение двух основных этапов: определение риторических отношений внутри исходного текста и собственно построение дискурсного дерева. Выходом первого этапа и одновременно входными данными для следующего является набор риторических отношений.

Процесс определения риторических отношений начинается с разбиения текста на ЭТЕ. В качестве индикатора границ между ними и для определения отношений между ЭТЕ могут эффективно использоваться ключевые фразы. К сожалению, результаты лингвистических исследований в области ключевых фраз не дают никаких рекомендаций на этот счет [4]. В данной статье предлагается следующая схема их использования. Определяется список ключевых фраз, для каждой из них выбирается несколько текстов из корпуса русского языка (информационно-справочная система, основанная на собрании русских текстов в электронной форме), анализируется роль данной ключевой фразы в тексте, в том числе то, какое риторическое отношение она определяет. Результатом применения этой схемы является набор специальных параметров для каждой ключевой фразы, которые содержат информацию о ключевой фразе и о связанном с ней риторическом отношении.

Алгоритм определения риторических отношений основан на эмпирических данных, полученных из корпуса, и включает в себя четыре этапа:

1. Разбиение текста на предложения и определения для каждого из них набора ключевых фраз, или дискурсных маркеров.
2. Разбиение каждого предложения на части (ЭТЕ).
3. Определение риторических отношений среди ЭТЕ.
4. Определение риторических отношений для еще несвязанных элементов.

Рассмотрим подробно каждый из этих этапов.

Первый этап. Определяются регулярные выражения для ключевых фраз. Далее анализируется весь текст целиком и запоминается расположение ключевых фраз и других орфографических маркеров в тексте. Пример регулярных выражений для текста:

Вчера делегаты выбрали нового представителя. Хотя Иванов получил только 24 голоса, он выиграл выборы. Затем участники аплодировали в течение трех минут. Последующие дискуссии были короткими из-за предстоящей встречи. Но срочные вопросы смогли разрешить – к примеру, строительство новой дороги,
представлен в табл. 1, а их семантика – в табл. 2.

Таблица 1

Маркер	Регулярное выражение
Although	<code>[\\s\\t\\n]Хотя(\\s\\t\\n)</code>
Then	<code>[\\s\\t\\n]Затем(\\s\\t\\n)</code>
Because	<code>[,][\\s\\t\\n]из[\\s\\t\\n]-[\\s\\t\\n]за(\\s\\t\\n)</code>
But	<code>[\\s\\t\\n]Но(\\s\\t\\n)</code>
For example	<code>[,][\\s\\t\\n]+к[\\s\\t\\n]+примеру(\\s \\t\\n)</code>
COMMA	<code>,(\\s\\t\\n)</code>
OPEN_PAREN	<code>[,][\\s\\t\\n]+(</code>
CLOSE_PAREN	<code>)(\\s\\t\\n)</code>
DASH	<code>[,][\\s\\t\\n]+-(\\s\\t\\n)</code>
END_SENTENCE	<code>(\\.")(\\s\\t\\n){1,3}(\\s\\t\\n){1,3}(\\s\\t\\n){1,3}(\\s\\t\\n){1,3}</code>
BEGIN_PARAGRAPH	<code>\\s*((\\n\\t[\\s\\t\\n]*)(\\n[\\s\\t\\n]{2,}))</code>

Таблица 2

Символ	Семантика
<code>\\s</code>	пробел
<code>\\t</code>	Знак табуляции
<code>\\n</code>	Знак новой строки
<code>[e]</code>	Может быть, а может и нет
<code>()</code>	Группировка
<code>a b</code>	Альтернативы
<code>e+</code>	Один или более раз
<code>e*</code>	Ноль или более раз
<code>e{n,}</code>	По крайней мере n раз

Второй этап. Анализатор текста обрабатывает его слева направо по предложениям и выполняет действия, связанные с набором маркеров. То есть входными данными являются предложение со связанным с ним набором потенциальных дискурсных маркеров, а выходом – то же предложение, разбитое на части, с установленными реальными дискурсными маркерами (сигнализирующими о риторическом отношении).

Итак, алгоритм имеет на входе предложение и массив маркеров, которые есть в предложении. Каждый маркер содержит следующую информацию:

- действие анализатора;
- позиция ключевой фразы в предложении.

Главное преимущество этого алгоритма в его скорости: он линейен по отношению к размеру входного текста. Имеется ряд ограничений ввиду того, что он использует только ключевые фразы для анализа текста, то есть поверхностные методы, и не может правильно определить границы ЭТЕ там, где необходима еще и семантическая информация о тексте.

Третий этап. На предыдущем шаге были определены ЭТЕ и связанный с ними набор дискурсных маркеров, которые являются входными данными для данного этапа – этапа определения риторических отношений. Алгоритм пробегает по всем ЭТЕ и для каждого маркера строит дизъюнктивное множество отношений, о которых сигнализирует текущий маркер. Дизъюнктивное множество отношений является исключающим, так как любое отношение из него может быть использовано только один раз. Допустим, к примеру, что алгоритм обрабатывает i -ю единицу из последовательности и что она содержит маркер, который сигнализирует о риторическом отношении, связывающем текущий элемент с элементом ДО, являющимся сателлитом. Тогда результатом будет декартово произведение $\{i, i + 1, \dots, i + \text{Dist_sal}(m)\} \times \{i - \text{Max}(m), i - \text{Max}(m) + 1, \dots, i - 1\}$, где $\text{Dist_sal}(m)$ означает поле «Distance to salient unit», полученное из корпуса, а $\text{Max}(m)$ – поле «Clause distance», если элементами отношения являются части предложений, и «Sentence distance» – если элементами отношения являются предложения. Графическое представление этих пар элементов показано на рис. 1 (пары разделены пунктирной линией).

Алгоритм автоматически строит дизъюнктивные гипотезы из множества всех пар декартова произведения. Входными данными являются набор ЭТЕ и список соответствующих дискурсных маркеров, а выходными – список дизъюнктивных отношений, которые лежат между ЭТЕ. Наличие дизъюнктивных отношений связано с тем, что не всегда ключевая фраза может однозначно сигнализировать об одном риторическом отношении.

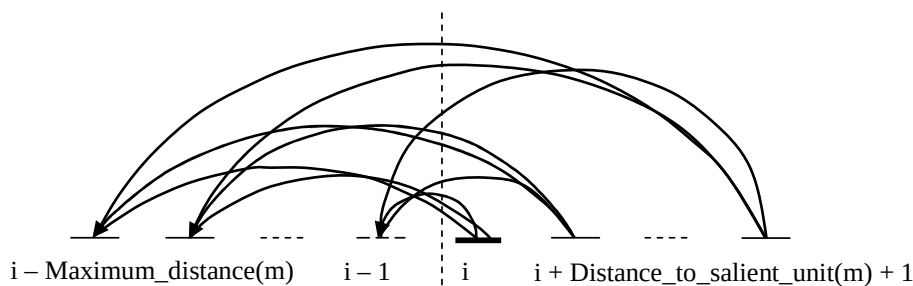


Рис. 1

Четвертый этап. Не всегда алгоритм определения риторических отношений с помощью дискурсных маркеров выдает на выходе отношения для всех частей предложений. Для несвязанных элементов необходимо выполнить дополнительные действия для определения отношений следующим образом: алгоритм предполагает, что если два предложения «говорят» об одном и том же, то вероятно, что последующее предложение детализирует предыдущее. Иначе они относятся к разным темам. Решение по поводу «схожести» вычисляется через количество похожих слов в двух предложениях. Если оно больше некоторого порога, то используется риторическое отношение ELABORATION (уточнение), иначе – JOINT (соединение).

Входными данным для алгоритма являются набор ЭТЕ и найденное на предыдущем шаге множество уже риторических отношений. Выходными – полный набор дизъюнктивных риторических отношений между элементами ЭТЕ.

При построении дискурсного дерева прежде всего необходимо использовать основные положения теории риторической структуры (TPC) [4]:

- ЭТЕ представляют собой непересекающиеся части текста;
- риторические отношения связывают текстовые части разного объема;
- ЭТЕ имеют в тексте различную значимость;
- структура текста может быть представлена в виде дерева.

Для того чтобы разработать алгоритм построения дискурсного дерева, необходимо ввести следующие дополнительные предположения: текст может быть разбит на непересекающиеся ЭТЕ и представлен в виде древовидной структуры следующим образом:

- ЭТЕ являются листьями дерева;
- листья в дереве при обходе его слева направо имеют такой же порядок, как ЭТЕ в тексте;
- имеется ряд ограничений на структуру дерева.

Необходимым этапом при формализации процесса построения дискурсной структуры текста является определение ограничений (признаков), характеризующих корректные древовидные структуры, то есть тех ограничений, которые удовлетворяют необходимым требованиям к структуре. Некоторые ограничения, которым должны удовлетворять корректные древовидные структуры, представлены в TPC. Центральным понятием этой теории является риторическое отношение между двумя непересекающимися текстовыми элементами: ядром и сателлитом или ядром и ядром. Отличие ядра N от сателлита S заключается в том, что ядро, во-первых, имеет большее значение в тексте и, во-вторых, не зависит от сателлита. Примеры отношений представлены на рис. 2.

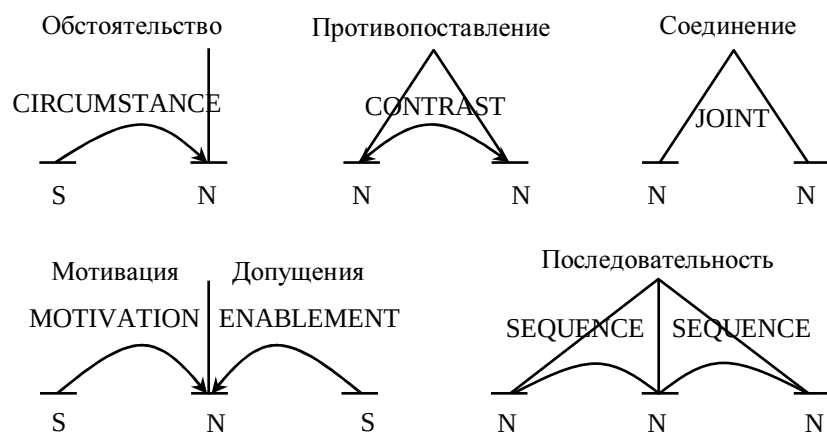


Рис. 2

Согласно ТРС, анализ текста представляет собой применение набора схем отношений со следующими ограничениями:

- риторические структуры являются деревьями, в которых элементы одного уровня представляют собой непрерывный текст;

- элементы могут быть двух типов: ядро и сателлит;

- каждый текстовый элемент может быть связан с другим только одним отношением.

Однако этих ограничений недостаточно для построения корректного дерева. В ТРС нет формальной спецификации, которая позволила бы отличить корректное дерево от некорректного, а также алгоритмов для построения корректных деревьев [5].

Для восполнения этого пробела введем следующий критерий для определения корректной структуры текста: если риторическое отношение R лежит между текстовыми элементами, являющимися узлами дерева, тогда это же отношение R лежит между по крайней мере двумя наиболее важными элементами-потомками этих узлов. Основная идея этого критерия заключается в том, что ЭТЕ-ядра играют большую роль в тексте, нежели ЭТЕ-сателлиты, и, в принципе, при удалении всех сателлитов смысл текста должен сохраниться. Если применить этот принцип рекурсивно ко всему тексту, представляя его в виде дерева, мы получим дерево, удовлетворяющее критерию.

Кроме того, при построении дерева возникает необходимость в разрешении неопределенности нахождения риторических отношений. Для решения этой задачи используется дизъюнктивное исключающее множество риторических отношений, которое содержит набор всех возможных отношений, и при этом предполагается, что в процессе построения риторической структуры отношение из такого множества может быть использовано только один раз. Например, для такого текста (на него будем ссылаться в дальнейшем):

[Иван любит сладости.]^A [Больше всего Иван любит мороженое и шоколад.]^B

[В отличие от Ивана, Мария любит фрукты.]^C [Особенно бананы и яблоки.]^D

получаем следующий набор риторических отношений:

$$RR = \begin{cases} \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, A, C) \text{ } \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, A, D) \text{ } \\ \quad \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, B, C) \text{ } \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, B, D) \\ \text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, B, A) \\ \text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, D, A) \text{ } \text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, D, B) \text{ } \\ \quad \text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, D, C), \end{cases}$$

где $\text{rhet_rel}(R, S, N)$ обозначает риторическое отношение R между ЭТЕ S и N , причем S – сателлит, а N – ядро. Примером дизъюнктивного исключающего множества риторических отношений являются первый и третий элементы множества RR .

Тогда задача построения структуры текста формулируется следующим образом: дана последовательность ЭТЕ $U = u_1, u_2, \dots, u_n$ и множество RR простых риторических отношений и дизъюнктивных исключающих отношений, которые лежат между элементами из U . Требуется найти все корректные структуры из линейной последовательности U .

Данный подход предполагает построение дерева снизу вверх. Идея алгоритма состоит в следующем. Изначально каждая ЭТЕ i ассоциирована с элементарным деревом, которое имеет статус NUCLEUS (ядро) либо SATELLITE (сателлит), тип LEAF (лист) и множество наиболее важных ЭТЕ-потомков $\{i\}$. Вначале любое отношение из множества RR может быть использовано при связи двух элементов в более сложные деревья. После построения всех элементарных деревьев риторическая структура может быть получена соединением смежных деревьев в большие при условии, что на каждом шаге получается корректная древовидная структура. С каждым шагом связано множество риторических отношений, которые могут быть использованы на следующих шагах. В самом начале элементарное дерево может быть преобразовано в большее с использованием всего набора RR . Но как только одно из отношений было использовано, оно становится недоступным для дальнейших преобразований.

Параметрами алгоритма построения риторической структуры являются:

- множество ЭТЕ $U = u_1, u_2, \dots, u_n$;
- множество констант NUCLEUS, SATELLITE, LEAF, NULL;
- имена всех риторических отношений;
- объекты типа $\text{tree}(\text{status}, \text{type}, \text{promotion}, \text{left}, \text{right})$ – будут описаны далее.

Объекты, имеющие форму $\text{tree}(\text{status}, \text{type}, \text{promotion}, \text{left}, \text{right})$, обеспечивают функциональное представление корректных деревьев. Переменная status может иметь значения NUCLEUS или SATELLITE; type содержит имя риторического отношения; promotion представляет собой подмножество элементов из U ; left и right могут быть либо NULL, либо рекурсивным определением через объект tree . Например, отношение $\text{rhet_rel}(\text{JUSTIFICATION}, A_1, B_1)$ может быть представлено следующим образом:

```
tree(NUCLEUS, JUSTIFICATION, {B1},
tree(SATELLITE, LEAF, {A1}, NULL, NULL),
tree(SATELLITE, LEAF, {B1}, NULL, NULL))
```

Объект $\text{tree}(\text{status}, \text{type}, \text{promotion}, \text{left}, \text{right})$ соответствует корректной текстовой структуре тогда и только тогда, когда аргументы status , type , promotion имеют такие же значения, как у корня текстовой структуры, и если аргументы left и right соответствуют левому и правому поддеревьям корректной структуры соответственно.

Определим следующие предикаты:

- $\text{position}(u_i, j)$ равен истине, если u_i стоит на j -й позиции в $U = u_1, u_2, \dots, u_n$;
- $\text{hold}(rr)$ равен истине для данного текста тогда и только тогда, когда риторические отношения в rr лежат между ЭТЕ текста.

- $S(l, h, \text{tree}(...), R_{lh})$ равен истине, когда корректную текстовую структуру, которая соответствует аргументу $\text{tree}(...)$, можно построить на текстовом отрезке $[l, h]$, используя риторические отношения между элементами этой части текста.

Аргумент R_{lh} содержит множество риторических отношений, которые могут быть использованы для расширения дерева $[l, h]$, то есть отношений, которые лежат между элементами текста и не были еще использованы в построении дерева $\text{tree}(...)$.

Например, для текста, приведенного ранее, истинен следующий предикат:

$S(1, 2, \text{tree}(\text{NUCLEUS}, \text{JUSTIFICATION}, \{A\},$
 $\text{tree}(\text{NUCLEUS}, \text{LEAF}, \{A\}, \text{NULL}, \text{NULL}),$
 $\text{tree}(\text{SATELLITE}, \text{LEAF}, \{B\}, \text{NULL}, \text{NULL})),$
 $RR \setminus \{\text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, B, A)\});$

- $\text{hypotactic}(\text{name})$ равен истине, если name представляет собой асимметричное отношение; например: $\text{hypotactic}(\text{CONTRAST}) = \text{false}$, $\text{hypotactic}(\text{CAUSE}) = \text{true}$;

- $\text{paratactic}(\text{name})$ равен истине, если name представляет собой симметричное отношение; например: $\text{paratactic}(\text{CONTRAST}) = \text{true}$.

Теперь определим множество аксиом, которые будут применяться при построении корректного дискурсного дерева. Для начала следует привести два уже известных предиката, которые используются при определении аксиом:

$$\text{hold}(RR) \tag{1}$$

$$\text{position}(u_i, j) \tag{2}$$

Полагается, что для любой ЭТЕ u_i на позиции j в начальной последовательности $U = u_1, u_2, ..., u_n$ существует корректная текстовая структура S , которая имеет статус NUCLEUS или SATELLITE, type LEAF и promotion $\{u_i\}$; любое отношение из множества RR может быть использовано для расширения S . Таким образом, текст с N ЭТЕ может иметь N аксиом, имеющих форму (3), и N аксиом, имеющих форму (4):

$$\text{position}(u_i, j) \wedge \text{hold}(RR) \rightarrow S(j, j, \text{tree}(\text{NUCLEUS}, \text{LEAF}, \{u_i\}, \text{NULL}, \text{NULL}), RR); \tag{3}$$

$$\text{position}(u_i, j) \wedge \text{hold}(RR) \rightarrow S(j, j, \text{tree}(\text{NUCLEUS}, \text{LEAF}, \{u_i\}, \text{NULL}, \text{NULL}), RR). \tag{4}$$

Так как набор RR может содержать дизъюнктивные отношения, нужно быть уверенным, что отношение из таких множеств используется только один раз. Для этого определяется одно специальное действие над множеством $\in_{\oplus}$ и один специальный оператор $\setminus_{\oplus}$. Оператор $\setminus_{\oplus}$ означает, что использовать отношение из дизъюнктивного исключающего множества можно только один раз; действие $\in_{\oplus}$ сигнализирует о нахождении отношения в дизъюнктивном исключающем множестве. Например, если

$$rr = \begin{cases} \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, 1, 2) \oplus \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, 1, 3) \\ \text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, 3, 1), \end{cases}$$

то

$$rr \setminus_{\oplus} = \{\text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, 1, 2)\} = \{\text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, 3, 1)\}.$$

Предположим, что существуют два текстовых элемента: $[l, b]$, характеризуемый структурой $tree_1(\dots)$ и риторическими отношениями rr_1 , и $[b + 1, h]$, который характеризуется структурой $tree_2(\dots)$ и риторическими отношениями rr_2 . Предположим также, что риторическое отношение $\text{rhet_rel}(\text{name}, s, n)$ лежит между элементом s , содержащимся во множестве promotion элемента $[l, b]$, и элементом n , который содержится во множестве promotion элемента $[b + 1, h]$ ($\text{rhet_rel}(\text{name}, s, n)$ может быть использовано для соединения $[l, b]$ и $[b + 1, h]$), и допустим, что отношение асимметрично. В таком случае элементы $[l, b]$ и $[b + 1, h]$ могут быть соединены в $[l, h]$, который представляет собой корректную структуру, чей статус NUCLEUS или SATELLITE, тип name , promotion равно promotion второго элемента. Множеством риторических отношений, которые могут быть использованы для дальнейших преобразований, является $rr_1 \cap rr_2 \setminus \{\text{rhet_rel}(\text{name}, s, n)\}$. Набор аксиом для этого случая представлен ниже:

$$\begin{aligned}
& [S(l, b, \text{tree}_1(\text{SATELLITE}, \text{type}_q, p_1, \text{left}_1, \text{right}_1), rr_1) \wedge \\
& S(b + 1, h, \text{tree}_2(\text{NUCLEUS}, \text{type}_2, p_2, \text{left}_2, \text{right}_2), rr_2) \wedge \\
& \text{rhet_rel}(\text{name}, s, n) \in_{\oplus} rr_1 \wedge \text{rhet_rel}(\text{name}, s, n) \in_{\oplus} rr_2 \wedge \\
& s \in p_1 \wedge n \in p_2 \wedge \text{hypotactic}(\text{name})] \rightarrow \\
& \rightarrow S(l, h, \text{tree}(\text{NUCLEUS}, \text{name}, p_2, \text{tree}_1(\dots), \text{tree}_2(\dots)), \\
& rr_1 \cap rr_2 \setminus \{\text{rhet_rel}(\text{name}, s, n)\})
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
& [S(l, b, \text{tree}_1(\text{SATELLITE}, \text{type}_q, p_1, \text{left}_1, \text{right}_1), rr_1) \wedge \\
& S(b + 1, h, \text{tree}_2(\text{NUCLEUS}, \text{type}_2, p_2, \text{left}_2, \text{right}_2), rr_2) \wedge \\
& \text{rhet_rel}(\text{name}, s, n) \in_{\oplus} rr_1 \wedge \text{rhet_rel}(\text{name}, s, n) \in_{\oplus} rr_2 \wedge \\
& s \in p_1 \wedge n \in p_2 \wedge \text{hypotactic}(\text{name})] \rightarrow \\
& \rightarrow S(l, h, \text{tree}(\text{SATELLITE}, \text{name}, p_2, \text{tree}_1(\dots), \text{tree}_2(\dots)), \\
& rr_1 \cap rr_2 \setminus \{\text{rhet_rel}(\text{name}, s, n)\}).
\end{aligned} \tag{6}$$

Аналогично определяются аксиомы для остальных возможных случаев: $N, S \rightarrow S$; $N, S \rightarrow N$; $N, N \rightarrow S$; $N, N \rightarrow N$ (аксиомы 7–10). В итоге получается шесть аксиом.

Алгоритм построения всех возможных корректных деревьев может быть описан следующим образом.

Входные данные: текст T из n ЭТЕ и множества RR риторических отношений между ЭТЕ.

Выходные данные: все корректные деревья.

Вначале для набора риторических отношений RR применяется аксиома (1). Далее в случае успеха для каждой из ЭТЕ применяем аксиомы (2)–(4), которые дадут листья будущего дискурсного дерева. Затем, используя критерий определения корректного дерева для всех размеров текстовых элементов от 1 до $(N-1)$, для всех связанных риторическим отношением применяем все аксиомы (5)–(10). В итоге на выходе получим набор результирующих аксиом с $S(l, h, \text{tree}, RR)$, где l и h являются первой и последней ЭТЕ соответственно, покрывающий весь текст.

Рассмотрим пример использования такого подхода на основе текста, приведенного ранее. Отношения представлены ниже:

$$RR = \begin{cases} \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, 1, 2) \oplus \text{rhet_rel}(\text{CONTRAST}, 1, 3) \\ \text{rhet_rel}(\text{ELABORATION}, 3, 1) \end{cases}.$$

Тогда результат алгоритма на каждом шаге выглядит следующим образом:

1. hold(RR) Аксиома (1)
2. position(1,1) Аксиома (2)
3. position(2, 2) Аксиома (2)
4. position(3, 3) Аксиома (2)
5. S(1,1, tree(NUCLEUS,LEAF,{1}, NULL,NULL), RR) 1, 2, Аксиома (3)
6. S(2, 2, tree(NUCLEUS,LEAF,{2}, NULL,NULL), RR) 1, 3, Аксиома (3)
 S(1, 2, tree(NUCLEUS,CONTRAST,{1, 2}
7. tree(NUCLEUS,LEAF,{1}, NULL,NULL), 5, 6, Аксиома (9)
 tree(NUCLEUS,LEAF,{2}, NULL,NULL)),
 {rhet_rel(ELABORATION, 3,1)})
8. S(3,3, tree(SATELLITE,LEAF,{3},NULL,NULL),RR) 1, 4, Аксиома (4)
 S(1, 3, tree(NUCLEUS,ELABORATION,{1, 2}
9. tree(NUCLEUS,CONTRAST,{1, 2}, 7, 8, Аксиома (5)
 tree(NUCLEUS,LEAF,{1}, NULL,NULL),
 tree(NUCLEUS,LEAF,{2}, NULL,NULL)), {∅})

Дискурсное дерево (дискурсная структура текста) показано на рис. 3.

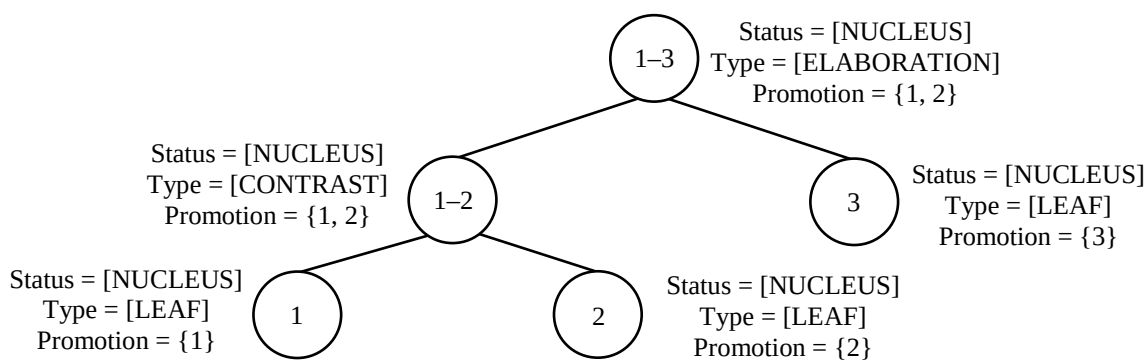


Рис. 3

Предложенный подход к построению дискурсной структуры текста, представленной в виде дерева, с помощью набора риторических отношений позволяет разработать и реализовать алгоритм автоматического реферирования текста. Преимуществами данного алгоритма являются обеспечение робастной реализации, достаточно высокое качество результирующей выжимки и отсутствие необходимости в источниках знаний и словарях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тревгода С. А., Сабинин О. Ю. Системы автоматического реферирования текста // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. СПб., 2008. С. 23–27.
2. Mani I. Automatic summarization (Natural Language Processing). Amsterdam / Philadelphia: John Benjamins Publishing Company, 2001.

3. Mani I., Maybury M. T. Advances in automatic text summarization. Cambridge: The MIT Press, 1999.
4. Marcu D. The theory and practice of discourse parsing and summarization. Cambridge: The MIT Press, 2000.

O. Y. Sabinin, S. A. Trevgoda

TECHNICAL TEXT SUMMARIZATION TECHNOLOGY

Analysis of technical text based on cue phrases and discourse tree building are considered. Different stages of this processes are presented.

Summarization, rhetorical parsing, rhetorical relations, annotation, corpus, discourse marker, cue phrase, annotation



УДК 62-581.6

М. П. Белов, В. Л. Бугаев

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСАМИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Рассматривается моделирование системы управления насосами насосной станции с учетом различных режимов работы. При моделировании учитывается гидравлический удар, возникающий при пуске насосов. Моделирование проводится с элементами визуализации динамических процессов.

Моделирование, насос, система управления

Водонапорные сооружения предназначены для подачи хозяйственно-питьевой воды с заданным давлением в жилые дома и предприятия. Технологический процесс заключается в поддержании давления на выходе станции на уровне заданного значения. Давление поддерживается на заданном уровне регулированием производительности одного или нескольких насосов различными способами.

Наиболее эффективный способ регулирования предусматривает изменение скорости вращения рабочего колеса насоса. Благодаря этому можно обеспечить требуемый напор во всей области регулирования, не ухудшая при этом КПД насоса в сравнении с дросселированием.

Насосные агрегаты установлены с учетом максимального расхода, который возникает при пиковых значениях потребления воды в утренние и вечерние часы или в экстремальных случаях. Если производительность насосных агрегатов не регулируется, при минимальном расходе в напорном трубопроводе возникает избыточное давление. Это вызывает:

- непроизводительные потери электроэнергии на создание избыточного давления;
- потери воды за счет избыточного расхода и утечек на негерметичных стыках;
- большие затраты на ремонт и замену электродвигателей, насосов и контактной аппаратуры в связи с необходимостью прямых пусков;
- затраты на устранение аварий трубопроводов в связи с избыточным напором и гидроударами;

- низкое качество водоснабжения, которое выражается в неравномерном давлении и высокой вероятности отсутствия воды;
- избыточное расходование воды населением за счет создания запаса на случай отключения подачи воды.

Одно из главных преимуществ использования регулируемого электропривода насосных агрегатов – возможность адаптации его параметров к характеристикам гидравлической сети посредством выбора рациональной номинальной скорости вращения рабочего колеса, соответствующей основному режиму работы установки. При этом номинальная скорость может быть как выше, так и ниже стандартного значения. Второе принципиальное преимущество регулируемого электропривода при переменной производительности насосного агрегата заключается в энергосбережении.

При проектировании современных насосных подстанций предъявляются следующие требования к режимам функционирования системы управления:

- круглосуточное непрерывное функционирование;
- автоматический режим управления насосными агрегатами;
- ручной режим управления агрегатами, оборудованными устройствами плавного пуска, с пульта оператора;
- ручной режим управления каждым агрегатом с диспетчерского пункта;
- автоматический режим управления дренажным насосом;
- ручной режим управления задвижками с пульта управления задвижками.

Современная технология транспортировки воды превращает магистральный трубопровод в единую динамическую систему, требующую согласованной работы всех насосных станций, вследствие чего существенно повысились требования к надежности систем регулирования. Большое значение приобретает управление работой водопроводов при переходных режимах. Неустановившиеся процессы в магистральном водопроводе, вызванные изменениями гидравлического режима перекачки, остановка или пуск насосных агрегатов, регулирование давления и расхода, отключение или подключение попутного сброса или подкачки и т. п. сопровождаются распространением волн повышенного и пониженного давления от источника возмущения по всей трубопроводной системе. Перераспределение давления, нарушая работу насосных станций, нередко приводит к остановке работающих в поднапорном режиме станций или всего эксплуатационного участка, к динамическим перегрузкам линейной части водопровода, которые в отдельных случаях могут превысить предел прочности труб, а также к перегрузкам оборудования насосной станции или к кавитации в насосах. Для предупреждения последствий возмущения водопроводы оснащаются системами автоматической защиты, регулирования и сглаживания волн покошенного давления.

Несмотря на значительное число работ, посвященных исследованию неустановившегося течения жидкостей в трубопроводах, практика эксплуатации магистральных водопроводов в условиях современной технологии перекачки и функционирования ставит новые гидродинамические задачи к расчету систем автоматического регулирования и защиты трубопроводов. Их решение обеспечит более надежную эксплуатацию систем транспортировки жидкости по трубам при переменных гидравлических режимах.

Получить простые расчетные формулы для сложной трубопроводной системы не всегда возможно, особенно если речь идет о нестационарном волновом течении в сложной трубопроводной системе при наличии насосных станций и попутных сосредоточенных отборов и подкачек воды. Научные исследования либо касаются течения в линейной части трубопровода, либо относятся к сложным трубопроводным системам, но не учитывают волнового характера течения. Задача о нестационарном волновом течении в сложной трубопроводной системе крайне актуальна.

В общем случае система уравнений неустановившегося движения с промежуточными насосными станциями и попутными отборами и подкачками жидкости имеет вид:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} + \sum_{i=1}^k P_{ci} \delta(x - x_i) [\sigma(t_i - t_{1i}) - \sigma(t_i - t_{2i})] &= \frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \frac{\lambda \rho W^2}{2D}, \\ -\frac{1}{c^2} \frac{\partial P}{\partial t} &= \frac{\partial(\rho W)}{\partial t} \pm \sum_{j=1}^m \frac{q_j(t)}{F} \delta(x - x_j) [\sigma(t_j - t_{1j}) - \sigma(t_j - t_{2j})], \end{aligned} \quad (1)$$

где $P(x, t)$ – давление в сечении x трубопровода; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; ρ – плотность жидкости; $W(x, t)$ – скорость жидкости; D – диаметр трубы; c – скорость звука в среде; t_1, t_2 – время включения и отключения агрегатов; F – площадь поперечного сечения трубопровода; $P_{ci} - (x_i, t)$ – давление, создаваемое агрегатами i -й насосной станции; k – число промежуточных насосных станций; $q_j(t)$ – производительность j -го отбора (подкачки), знак (+) перед $q_j(t)$ соответствует отбору, знак (–) – подкачке; x_i, x_j ($i \in [1, m], j \in [1, k]$) – координаты точек расположения станций и отводов; $t_{1i}, t_{2i}, t_{1j}, t_{2j}$ – моменты включения и отключения i -й станции и j -го отбора (подкачки) соответственно; $\delta(x)$ – дельта-функция Дирака; $\sigma(t)$ – единичная ступенчатая функция.

Получить простые расчетные формулы для такого объекта представляется весьма затруднительным, так как речь идет о нестационарном волновом течении в сложной трубопроводной системе при наличии насосных станций и попутных сосредоточенных отборов и подкачек воды с разрывом непрерывности производной давления по координате x .

В [1] с учетом гидравлических сопротивлений получена линеаризованная система уравнений для распределенного линейного участка трубопровода, описывающая неустановившееся движение реальной жидкости:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial P(x, t)}{\partial x} &= \frac{\partial Q(x, t)}{\partial t} + 2aQ(x, t), \\ -\frac{\partial P(x, t)}{\partial t} &= c^2 \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} \end{aligned} \quad (2)$$

с соответствующими начальными условиями $P(x, 0)$ и $Q(x, 0)$ и граничными условиями, где $P(x, t)$ – давление в сечении x трубопровода; $Q(x, t)$ – массовая скорость частиц жидкости в трубопроводе (объемный расход); c – скорость звука в среде; a – приведенный линеаризованный коэффициент гидравлического сопротивления.

В отношении уравнений состояния принято предположение, выдвинутое Н. Е. Жуковским: плотность жидкости и площадь поперечного сечения трубы зависят от внутреннего давления, согласно закону Гука. Линейный закон деформации материала трубы и

жидкости имеет в виду изотермический процесс. Инерция стенок трубопровода при деформациях не учитывается. Неучтенная в выводе уравнений инерция его стенок может проявиться сколько-нибудь заметно при колебаниях давления в трубопроводе, вызванных каким-либо периодическим возмущающим воздействием высокой частоты.

Так как при выводе уравнений (1) не делалось никаких предположений о виде закона трения, эти уравнения, вообще говоря, справедливы для любых, кроме немонофазных, потоков газа и жидкости, как ньютоновской, так и неньютоновской. Для получения замкнутой системы относительно неизвестных процесса подачи воды необходимо добавить зависимость напряжения трения от свойств жидкости и параметров течения. Для замыкания системы И. А. Чарный использовал гипотезу квазистационарности, впервые принятую С. А. Христиановичем для расчета неустановившегося течения в открытых руслах. Согласно этой гипотезе напряжение трения на стенках трубы при неустановившемся течении зависит от мгновенной в сечении скорости жидкости, а также от коэффициента гидравлического сопротивления в формуле Дарси–Вейсбаха. Эта зависимость имеет тот же вид, что и при установившемся движении.

Для движения реальной жидкости с дозвуковой скоростью И. А. Чарным показана возможность пренебрежения динамическим давлением, соответствующим скоростному напору.

Расчет неустановившегося движения в трубопроводе представляет собой смешанную задачу теории гиперболических уравнений, заключающуюся в отыскании решения $P(x, t)$ и $W(x, t)$ последней системы в области $G: x < 1, t > 0$, удовлетворяющего начальным и граничным условиям.

Математическая постановка задачи, основанная на введении в осредненные уравнения движения жидкости членов, учитывающих сопротивление трубы, позволила перейти к решению прикладных задач по неустановившемуся движению жидкости в магистральных водопроводах значительной протяженности, для которых необходимо учитывать одновременно вязкость и сжимаемость жидкости.

Весьма важными вопросами, решенными в работах И. А. Чарного, были теоретические и экспериментальные исследования возможности линеаризации исходных нелинейных уравнений и использования их для решения задач прикладной теории неустановившегося движения реальной жидкости.

При описании подсистемы «Насос» сделаны следующие допущения:

- жидкость реальная, несжимаемая,
- отсутствуют потери напора и давления,
- момент инерции насоса не зависит от скорости вращения двигателя,
- учитывается гидравлический удар.

Установившийся режим работы насосного агрегата (НА) определяется равенством между напором, развиваемым НА, и суммой статического напора подъема столба жидкости $H_{ст}$ и динамических падений давления в протекающей через насос и трубопровод напорной магистрали жидкости. Напор, развиваемый НА, и динамическое падение давления при протекании через него жидкости определяются QH -характеристикой насоса. Статический напор $H_{ст}$ и динамическое падение давления при протекании по трубопроводам жидкости определяются технологическими и конструктивными особенностями гидравлической системы и описываются QH -характеристикой магистрали [2].

Заводом-изготовителем для номинальной скорости вращения насосного агрегата дается его QH-характеристика

$$H = f(Q),$$

где $H = p_1 - p_0$ – напор, развиваемый насосным агрегатом при номинальной скорости вращения, p_1 и p_0 абсолютные давления на входе и выходе насоса; Q – расход жидкости, протекающей через насосный агрегат, и зависимость коэффициента полезного действия агрегата при изменении расхода протекающей через него жидкости $\eta = f(Q)$, где $\eta = N_{\text{пол}}/N_{\text{вал}}$ – коэффициент полезного действия, определяющий соотношение полезной гидравлической мощности $N_{\text{пол}} = HQ$ и механической мощности $N_{\text{вал}}$, подводимой к валу насоса.

Эти характеристики и зависимости даются, как правило, в графической или табличной форме.

Для математического описания насоса необходимо записать основные его характеристики [2]: $Q = k_Q \omega$; $H = k_H \omega^2$; $N_{\text{пол}} = HQ$.

Коэффициент полезного действия насоса можно определить по упрощенной формуле:

$$\eta = \frac{HQ}{N_0 + (N_H - N_0) \frac{Q}{Q_H}},$$

где N_0 – мощности потерь при нулевой подаче (мощности работы на закрытую задвижку), N_H – номинальная механическая мощность на валу при номинальном расходе.

Компьютерная модель системы управления одним насосом приведена на рис. 1, а тремя насосами – на рис. 2.

Уровень воды в резервуаре будет рассчитываться как $l = Q \frac{1}{P}$.

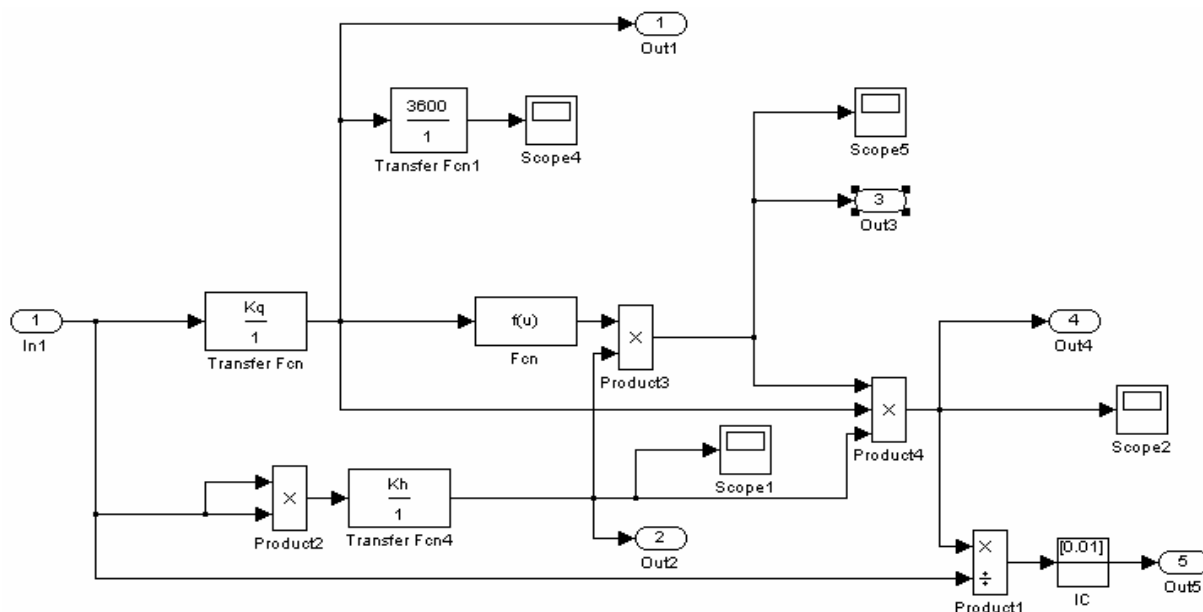
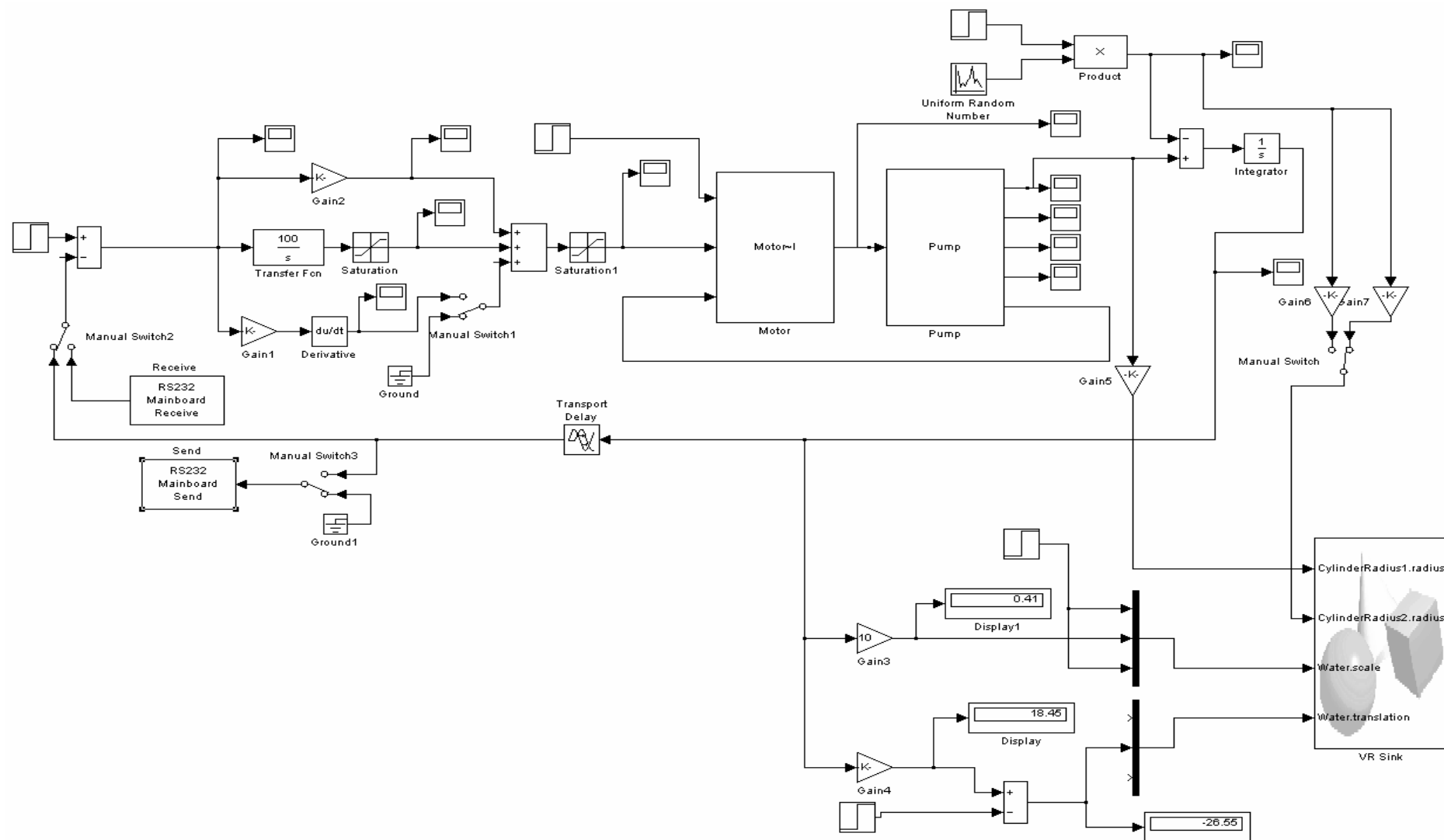


Рис. 1



Puc. 2

В качестве регулятора в системе управления уровнем воды в резервуаре на практике применяют регуляторы с ПИ- или ПИД-алгоритмами. Применим ПИД-регулятор. Реализации ПИД-регулятора, которые применены в контроллере и представлены в среде MATLAB, имеют возможность отключить дифференцирующую составляющую. Поэтому в случае необходимости структура может быть легко преобразована к ПИ-регулятору.

Для визуализации динамических процессов воспользуемся следующими программными средствами: пакетом Autodesk MAP 3D 2006, модель из которого необходимо экспортировать с расширением *.3ds; программой V-Realm Builder именуются параметры, которые будут меняться из Simulink, после чего происходит настройка блока VR Sink в самой среде MATLAB Simulink. Необходимо указать имя модели с расширением *.wrl и отметить изменяемые параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Чарый И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.: Машиностроение, 1975.
2. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов. М: Изд. центр «Академия», 2004.

M. P. Belov, V. L. Bugaev

MODELLING OF A CONTROL SYSTEM BY PUMPS PUMP STATION

In article modelling a control system by pumps of pump station is considered in view of various operating modes. At modelling the hydraulic impact arising at start-up of pumps is taken into account. Modelling is made with elements of visualization of dynamic processes.

Modelling, the pump, control system

УДК 62.581.6206

*М. В. Пронин, О. Б. Шонин, Ю. П. Коськин,
А. Г. Воронцов, И. Н. Железняк*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С ТРАНЗИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ И МНОГОФАЗНЫМИ АСИНХРОННЫМИ МАШИНАМИ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается модель системы с мощной низковольтной многофазной асинхронной машиной и многотактными транзисторными инверторами. Перераспределение токов в машине в зависимости от частоты моделируется лестничными схемами замещения статорных и роторных контуров. Модель воспроизводит основные процессы в системе, включая влияние частотно-зависимых параметров на потери энергии. Рассматриваются результаты моделирования и экспериментального исследования электромеханических и тепловых процессов в машине при различных условиях питания.

Асинхронный двигатель, ШИМ, взаимодействие машины и полупроводникового преобразователя, тепловые процессы, моделирование

Компьютерные модели асинхронных машин (АМ) и полупроводниковых преобразователей (ПП) широко используются при исследованиях и разработке электромеханических систем. Полнота и сложность моделей определяются адекватным описанием не только основных, но и специфических свойств систем (биения токов в многофазных АМ 0, 0,

поглощения энергии высокочастотных колебаний в АМ 0, 0, температурных зависимостей параметров АМ и их влияния на механические и тепловые процессы). При оценке КПД систем и решении задач электромагнитной совместимости ПП и АМ требуется корректная оценка энергетических потерь, в том числе высокочастотных. Эти потери зависят от высших гармоник напряжения и частотно-зависимых параметров АМ.

С целью определения частотной зависимости параметров шестифазного двигателя (АД) мощностью 2 МВт, напряжением 960 В выполнены измерения входных параметров статорных обмоток в диапазоне эффективной ширины спектра напряжений инвертора.

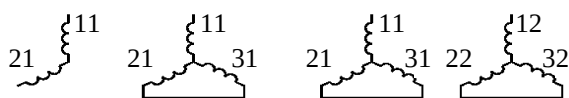


Рис. 1

Схемы измерений изображены на рис. 1. Результаты, полученные с помощью прецизионного RLC-измерителя, представлены на рис. 2.

Из полученных кривых следует, что увеличение частоты от 50 до 1180 Гц приводит к десятикратному увеличению активного сопротивления фазы АД. Входная индуктивность фазы L_{s1} изменяется от 0.22 до 0.17 мГн в диапазоне частот 0.05 ... 20 кГц и остается постоянной при дальнейшем росте частоты до 50 кГц.

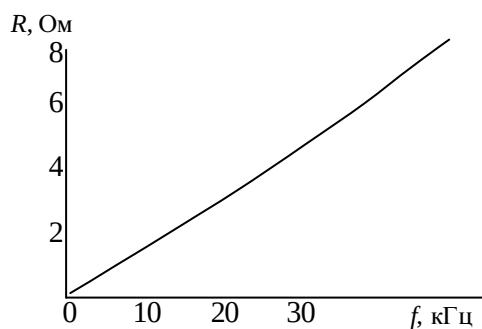
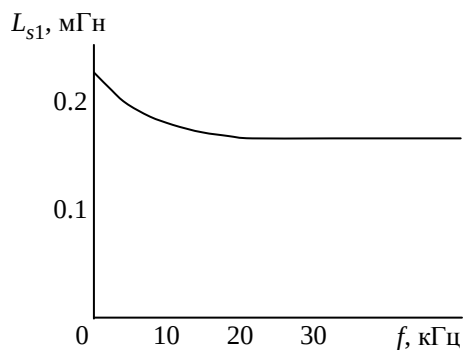


Рис. 2

Перераспределение токов и соответствующее изменение параметров АМ можно воспроизвести лестничными схемами замещения роторных контуров 0. Такой подход обеспечивает адекватное определение пусковых характеристик и корректную оценку потерь энергии на повышенных частотах. При увеличении мощности низковольтных АМ высокочастотные потери энергии становятся одним из основных факторов, влияющих на их тепловое состояние. С целью отображения взаимосвязанных электромеханических и тепловых процессов разработанная ранее компьютерная модель системы с многофазным АД и инверторами была усовершенствована лестничными схемами замещения, было учтено вытеснение токов в статоре АМ, учтены добавочные потери и потери в стали АМ, использована подсистема расчета тепловых процессов, определены ее связи с электромеханической подсистемой.

Электромеханическая модель системы с многофазным асинхронным двигателем и инверторами. Рассматривается электропривод с несколькими двухуровневыми транзисторными инверторами напряжения (ИН) и многофазной АМ (рис. 3). ИН питаются от источников постоянного напряжения с ЭДС e_{h1} и e_{h2} , индуктивностями L_h , активными сопротивлениями R_h и токами i_{h1} и i_{h2} . На входе ИН имеются емкости C с токами i_{C1} и i_{C2} . Каждая трехфазная обмотка АМ питается от нескольких параллельно включенных ИН. Параллельная работа ИН обеспечивается фазными дросселями с индуктивностями L_{sy} и активными

сопротивлениями R_f (или уравнительными дросселями со взаимной индуктивностью подфаз L_{ym}). Потери энергии в ИН учитываются сопротивлениями R_p . Напряжения фаз ИН u_{njm} , токи i_{njm} , номер фазы $n = 1, 2, 3$, номер ИН $j = 1, \dots, J_v$, номер трехфазной обмотки АМ $m = 1, \dots, M$.

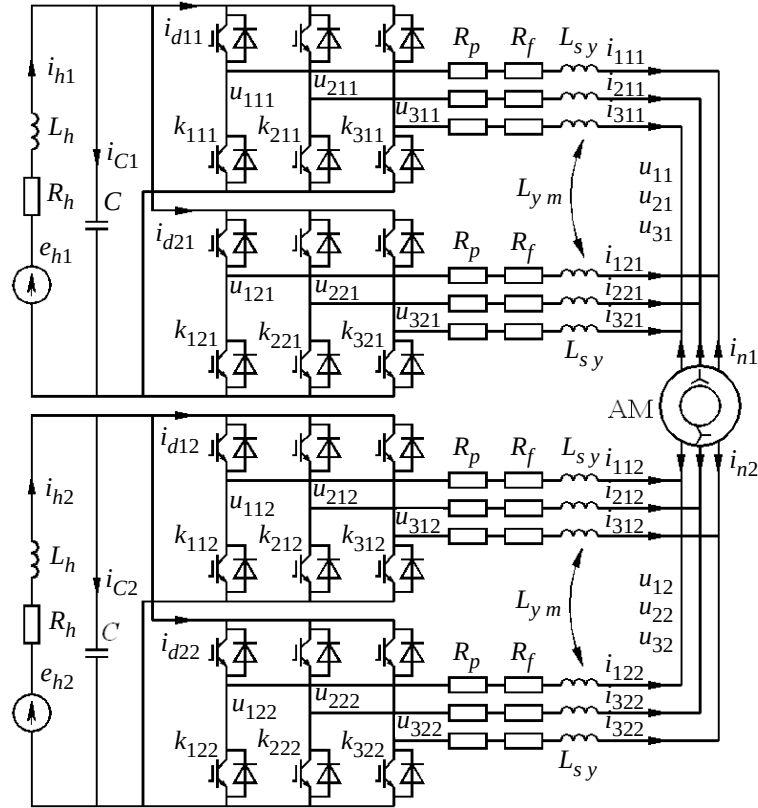


Рис. 1

Транзисторы и диоды идеальны. Транзисторы одной фазы ИН работают в противо-фазе (если один открыт, то другой закрыт, и наоборот). Все полупроводниковые элементы одной фазы описываются одной функцией k_{njm} ($k_{njm} = 1$, если открыт транзистор или диод, подключающий фазу к положительному полюсу конденсатора; $k_{njm} = 0$, если открыт транзистор или диод, подключающий фазу к отрицательному полюсу).

Использована методология моделирования сложных систем по взаимосвязанным под-системам 0, в соответствии с которой исходная система разделяется на части, связанные друг с другом зависимыми источниками напряжения и тока (или другими зависимыми эле-ментами). Это позволяет предложить следующее математическое описание системы.

Напряжения емкостей и инверторов:

$$u_{cm} = \frac{1}{C} \int i_{cm} dt, \quad u_{njm} = \left[k_{njm} - (k_{1jm} + k_{2jm} + k_{3jm}) / 3 \right] u_{cm},$$

$$n = 1, 2, 3, j = 1, \dots, J_v, m = 1, \dots, M.$$

Токи в плечах транзисторных мостов: $i_{injm} = k_{njm} i_{njm}$.

Токи транзисторов i_{tnjm} и диодов i_{dnjm} :

$$\begin{aligned} \text{если } i_{injm} > 0, \text{ то } i_{tnjm} &= i_{injm}, i_{dnjm} = 0, \\ \text{иначе } i_{tnjm} &= 0, i_{dnjm} = -i_{injm}. \end{aligned}$$

Входные токи инверторов: $i_{djm} = i_{i1jm} + i_{i2jm} + i_{i3jm}$.

Ток i_{hm} определяются из уравнений: $\frac{di_{hm}}{dt} = \frac{e_{hm} - u_{cm} - R_h i_{hm}}{L_h}$.

Токи конденсаторов: $i_{cm} = i_{hm} - \sum_{j=1}^{J_v} i_{djm}, m = 1, \dots, M$.

При известных напряжениях фаз двигателя u_{nm} производные токов и токи фаз инверторов определяются из уравнений:

$$\frac{di_{njm}}{dt} = \frac{u_{njm} - u_{nm} - (R_f + R_p) i_{njm} + L_{st} \frac{di_{njm}^*}{dt}}{L_{sy} + L_{st}}; \quad n = 1, 2, 3; \quad j = 1, \dots, J_v; \quad m = 1, \dots, M,$$

где L_{st} – индуктивность стабилизации итерационного процесса расчета, $\frac{di_{njm}^*}{dt}(k) = \frac{di_{njm}}{dt}(k-1)$, k – номер шага итерационного расчета.

Производные токов и токи фаз АМ (при описании АМ для генераторного режима):

$$\frac{di_{nm}}{dt} = - \sum_{j=1}^{J_v} \frac{di_{njm}}{dt}, \quad i_{nm} = - \sum_{j=1}^{J_v} i_{njm}, \quad n = 1, 2, 3, \quad m = 1, \dots, M.$$

Источники напряжения e_{hm} и инверторы рассматриваются как подсистема, которая связана с подсистемами АМ зависимыми источниками фазных токов i_{nm} и напряжений u_{nm} .

Модель АМ построена при представлении ее взаимосвязанными подсхемами, изображенными на рис. 2. Модель допускает описание АМ с несколькими трехфазными обмотками M , взаимно сдвинутыми по фазе на угол $\pi/3M$. В подсхемах статорных обмоток в качестве зависимых источников используются ЭДС фаз e_{nm} , обусловленные магнитным потоком в зазоре, а также ЭДС взаимной индукции фаз по путям рассеяния e_{snm} . Фазы имеют напряжения u_{nm} , в фазах протекают токи i_{nm} и i_{snm} . Многофазная машина характеризуется индуктивностями намагничивания L_m , рассеяния фаз в симметричном режиме работы всех обмоток L_{sM} , рассеяния фаз в симметричном режиме работы одной трехфазной обмотки L_{s1} и индуктивностью нулевой последовательности L_0 . Индуктивные связи подсхем учитываются зависимыми источниками напряжения $e_{nm}, e_{snm}, e_d, e_q, e_\alpha, e_\beta$ и тока $i_{nm}, i_\alpha, i_\beta, i_{\mu\alpha}, i_{\mu\beta}, i_d, i_q, i_{\mu d}, i_{\mu q}$. На рис. 2 указаны направления токов и источников напряжения, неподвижных осей α и β , вращающихся осей d и q , направление вращения ротора с частотой ω , угол поворота τ оси d ротора относительно оси α .

Перераспределение токов в статорных обмотках воспроизводится с помощью лестничных цепей с индуктивностями L_{00}, L_{1i} и сопротивлениями R_{1i} , $i = 1, 2, \dots, J_s$, где J_s – число LR -секций. Индуктивность L_{00} представляет собой асимптотическое значение

функции $L_{s1}(f)$ на высоких частотах (рис. 2). LR -параметры лестничной цепи выражаются через номер секции i и множитель геометрической прогрессии K_s :

$$L_{1i} \approx L_f K_s^{i-1} / \sum_{i=1}^{J_s} K_s^{i-1}, \quad R_{1i} \approx R_1 \sum_{i=1}^{J_s} K_s^{i-1} / K_s^{i-1},$$

где $L_f = (2L_{s1} - L_{sM} - L_{00})$ – вспомогательный параметр, отнесенный к номинальной частоте; R_1 – номинальное сопротивление обмотки статора.

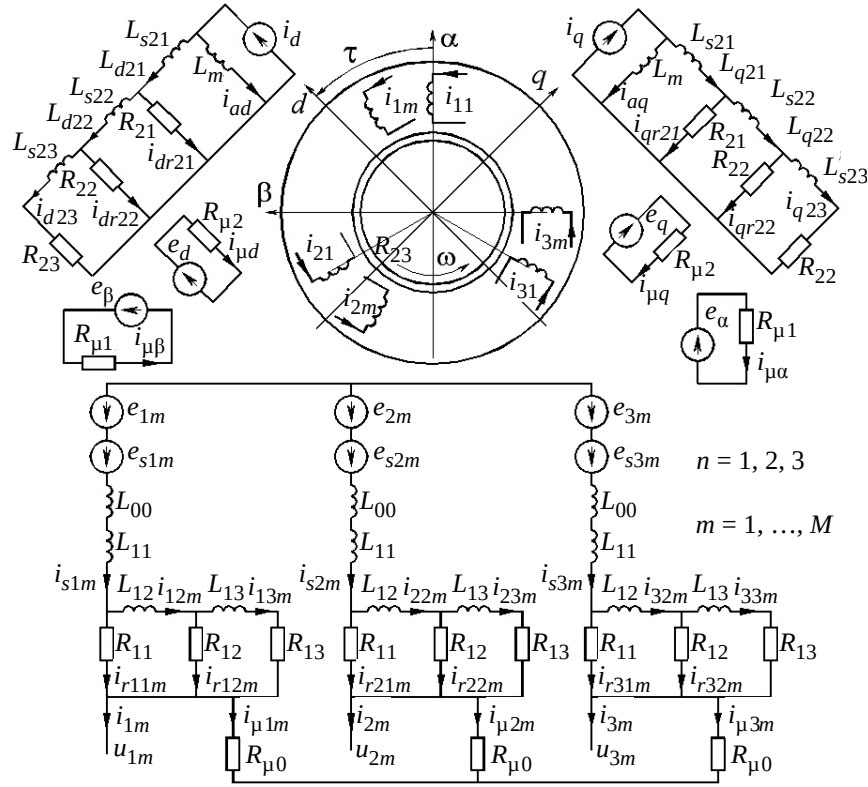


Рис. 2

Перераспределение роторных токов моделируется лестничными подсхемами, которые также включают индуктивность намагничивания L_m и зависимые источники тока i_d , i_q . LR -параметры роторных подсхем определяются формулами:

$$L_{s2i} \approx L_{s2} K_r^{i-1} / \sum_{i=1}^{J_r} K_r^{i-1}, \quad R_{2i} \approx R_2 \sum_{i=1}^{J_r} K_r^{i-1} / K_r^{i-1},$$

где K_r – множитель геометрической прогрессии, i – номер секции, J_r – число секций, R_2 и L_{s2} – номинальные сопротивление и индуктивность рассеяния ротора.

При описании машины в модели использованы вспомогательные параметры:

$$L_a = M(L_{sM} - L_{s1}), \quad L_b = (L_0 - 2L_{s1} + L_{sM})/3, \quad L_f = 2L_{s1} - L_{sM} - L_{00}.$$

Как показано в этой работе, добавочные потери в машине могут быть учтены дополнительным резистором в статорной цепи эквивалентной схемы. В предлагаемой модели добавочные потери учитываются совместно с потерями в стали с помощью подцепей с сопротивлениями $R_{\mu 0}$, $R_{\mu 1}$, $R_{\mu 2}$, содержащих зависимые источники напряжения e_d , e_q , e_α и e_β .

По приведенным подсхемам АМ строится следующая модель.

Напряжения фаз АМ:

$$u_{nm} = e_{nm} + e_{snm} - R_{11}i_{rn1m} - (L_{00} + L_{11})\frac{di_{snm}}{dt}, \quad n = 1, 2, 3, \quad m = 1, \dots, M.$$

При сравнительно больших сопротивлениях $R_{\mu 0}$ токи в них, а также токи i_{snm} и их производные можно определить следующим образом: $i_{\mu nm} = \frac{u_{nm}}{R_{\mu 0}}$, $i_{snm} = i_{nm} + i_{\mu nm}$, $\frac{di_{snm}}{dt} \approx \frac{di_{nm}}{dt}$.

Токи и их производные в ветвях статорных подсхем, учитывающих вытеснение токов:

$$\frac{di_{n2m}}{dt} = \frac{R_{11}i_{rn1m} - R_{12}i_{rn2m}}{L_{12}}, \quad \frac{di_{n3m}}{dt} = \frac{R_{12}i_{rn2m} - R_{13}i_{n3m}}{L_{13}},$$

$$i_{rn1m} = i_{snm} - i_{n2m}, \quad i_{rn2m} = i_{n2m} - i_{n3m}.$$

Производные токов по осям α и β :

$$\frac{di_{\alpha}}{dt} = \frac{2}{3M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 c_{nm} \frac{di_{snm}}{dt}, \quad \frac{di_{\alpha 0}}{dt} = \sum_{m=1}^M c_m \sum_{n=1}^3 \frac{di_{snm}}{dt},$$

$$\frac{di_{\beta}}{dt} = \frac{2}{3M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 s_{nm} \frac{di_{snm}}{dt}, \quad \frac{di_{\beta 0}}{dt} = \sum_{m=1}^M s_m \sum_{n=1}^3 \frac{di_{snm}}{dt},$$

$$c_{nm} = \cos \left[\frac{2\pi}{3} \left(n-1 + \frac{m-1}{2M} \right) \right], \quad c_m = \cos \left[\frac{\pi}{M} (m-1) \right],$$

$$s_{nm} = \sin \left[\frac{2\pi}{3} \left(n-1 + \frac{m-1}{2M} \right) \right], \quad s_m = \sin \left[\frac{\pi}{M} (m-1) \right].$$

где

ЭДС взаимной индукции фаз по путям рассеяния:

$$e_{snm} = -L_a \left(c_{nm} \frac{di_{\alpha}}{dt} + s_{nm} \frac{di_{\beta}}{dt} \right) - L_b \left(c_m \frac{di_{\alpha 0}}{dt} + s_m \frac{di_{\beta 0}}{dt} \right).$$

Токи реакции якоря по осям α и β :

$$i_{\alpha} = \frac{2}{3M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 c_{nm} i_{snm} + i_{\mu \alpha}, \quad i_{\beta} = \frac{2}{3M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 s_{nm} i_{snm} + i_{\mu \beta}.$$

Токи реакции якоря по осям d и q :

$$i_d = i_{\alpha} \cos \tau + i_{\beta} \sin \tau + i_{\mu d}, \quad i_q = i_{\alpha} \sin \tau - i_{\beta} \cos \tau + i_{\mu q}.$$

Производные токов реакции якоря:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{di_{\alpha}}{dt} \cos \tau + \frac{di_{\beta}}{dt} \sin \tau - \omega i_q, \quad \frac{di_q}{dt} = \frac{di_{\alpha}}{dt} \sin \tau - \frac{di_{\beta}}{dt} \cos \tau + \omega i_d.$$

Токи в роторе по оси d (рис. 4) и их производные:

$$\frac{di_{ad}}{dt} = \frac{L_{s21} \frac{di_d}{dt} + R_{21} i_{dr21}}{L_m + L_{s21}}, \quad \frac{di_{d22}}{dt} = \frac{R_{21} i_{dr21} - R_{22} i_{dr22}}{L_{s22}}, \quad \frac{di_{d23}}{dt} = \frac{R_{22} i_{dr22} - R_{23} i_{dr23}}{L_{s23}},$$

$$i_{d21} = i_d - i_{ad}, \quad i_{dr21} = i_{d21} - i_{d22}, \quad i_{dr22} = i_{d22} - i_{d23}.$$

Токи в роторе по оси q (рис. 3) и их производные:

$$\frac{di_{aq}}{dt} = \frac{L_{s21} \frac{di_q}{dt} + R_{21} i_{qr21}}{L_m + L_{s21}}, \quad \frac{di_{q22}}{dt} = \frac{R_{21} i_{qr21} - R_{22} i_{qr22}}{L_{s22}}, \quad \frac{di_{q23}}{dt} = \frac{R_{22} i_{qr22} - R_{23} i_{qr23}}{L_{s23}},$$

$$i_{q21} = i_q - i_{aq}, \quad i_{qr21} = i_{q21} - i_{q22}, \quad i_{qr22} = i_{q22} - i_{q23}.$$

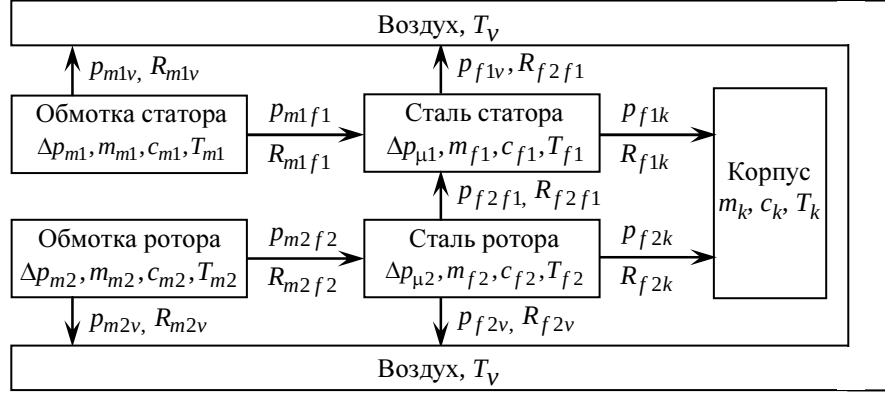


Рис. 3

Проекция ЭДС на оси d и q : $e_d = -L_m \left(i_{aq} \omega + \frac{di_{ad}}{dt} \right)$, $e_q = L_m \left(i_{ad} \omega - \frac{di_{aq}}{dt} \right)$.

ЭДС по осям α и β : $e_\alpha = e_d \cos \tau + e_q \sin \tau$, $e_\beta = e_d \sin \tau - e_q \cos \tau$.

Токи контуров с сопротивлениями $R_{\mu 1}$ и $R_{\mu 2}$: $i_{\mu \alpha} = \frac{e_\alpha}{R_{\mu 1}}$, $i_{\mu \beta} = \frac{e_\beta}{R_{\mu 1}}$, $i_{\mu d} = \frac{e_d}{R_{\mu 2}}$,

$$i_{\mu q} = \frac{e_q}{R_{\mu 2}}.$$

ЭДС фаз от основного магнитного потока: $e_{nm} = e_\alpha c_{nm} + e_\beta s_{nm}$.

Электромагнитный момент АМ: $M_{em} = 1.5 M L_m (i_{ad} i_q - i_{aq} i_d)$.

Частота вращения ω и угол поворота ротора τ при моменте инерции J определяются электромагнитным моментом, моментом сопротивления M_c и моментом M_{mx} , учитывающим механические потери:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_{em} - M_c - M_{mx}), \quad \frac{d\tau}{dt} = \omega, \quad \text{где } M_{mx} = M_{mxn} (\omega / \omega_n)^2,$$

M_{mxn} – механические потери мощности при номинальной частоте вращения, ω_n – номинальная частота вращения.

Потери мощности в меди статора АМ: $\Delta p_{m1} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 (R_{11} i_{rn1m}^2 + R_{12} i_{rn2m}^2 + R_{13} i_{rn3m}^2)$.

Потери мощности в меди ротора:

$$\Delta p_{m2} = 1.5 M \left[R_{21} (i_{dr21}^2 + i_{qr21}^2) + R_{22} (i_{dr22}^2 + i_{qr22}^2) + R_{23} (i_{dr22}^2 + i_{qr23}^2) \right].$$

Добавочные потери и потери в стали:

$$\Delta p_{\mu 0} = 3M R_{\mu 0} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 i_{0nm}^2, \quad \Delta p_{\mu 1} = 1.5 M R_{\mu 1} (i_{\mu \alpha}^2 + i_{\mu \beta}^2), \quad \Delta p_{\mu 2} = 1.5 M R_{\mu 2} (i_{\mu d}^2 + i_{\mu q}^2).$$

Механические потери мощности: $\Delta p_{mx} = M_{mx} \omega^2$.

Суммарные потери мощности в АМ: $\Delta p_{am} = \Delta p_{m1} + \Delta p_{m2} + \Delta p_{\mu 0} + \Delta p_{\mu 1} + \Delta p_{\mu 2} + \Delta p_{mx}$.

Мощность на валу АМ: $p_2 = (M_{em} - M_{mx}) \omega$.

Мощность на зажимах обмоток статора: $p_1 = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^3 u_{nm} i_{nm}$.

Алгоритм решения системы уравнений включает в себя итерационный цикл решения алгебраических уравнений и цикл интегрирования переменных. В итерационном цикле определяются параметры зависимых источников, через которые подсхемы связаны. В цикле интегрирования вычисляются мгновенные значения переменных.

В установившихся режимах вместо мгновенных значений мощностей $p(t)$ используются средние значения P . Точность вычислений контролируется путем оценки баланса мощностей: $\sum P = P_{вх} - \Delta P_p - \Delta P_{ам} - P_2 \approx 0$, где $P_{вх}$ – мощность на входе ПП, ΔP_p – потери в ИН.

В модели АМ параметры постоянны, кроме индуктивности намагничивания L_m , которая уточняется на каждом шаге расчета по току намагничивания и кривой холостого хода.

Сопровитления $R_{\mu 0}$, $R_{\mu 1}$ и $R_{\mu 2}$ определяются для номинального режима работы двигателя при синусоидальных напряжениях питания при использовании действующих фазных напряжения U и ЭДС в воздушном зазоре E_δ . ЭДС вычисляется по известным току намагничивания I_m и частоте ω_n : $E_\delta = I_m L_m \omega_n$.

Сопровитления $R_{\mu 0}$, $R_{\mu 1}$ и $R_{\mu 2}$ определяются при известных мощностях потерь в стали и добавочных в статоре $\Delta P_{\mu 0}$, $\Delta P_{\mu 1}$ и в роторе $\Delta P_{\mu 2}$: $R_{\mu 0} = \frac{3MU^2}{\Delta P_{\mu 0}}$, $R_{\mu 1} = \frac{3ME_\delta^2}{\Delta P_{\mu 1}}$, $R_{\mu 2} = \frac{3ME_\delta^2}{\Delta P_{\mu 2}}$.

Тепловая модель системы. Модель системы включает в себя описание тепловых процессов в ИН и АМ.

В ИН задаются вольтамперные характеристики транзисторов и диодов, а также зависимости от тока динамических потерь энергии в транзисторных модулях для 25 и 125 °С. На каждом шаге расчета определяются токи каждого элемента. По токам и вольтамперным характеристикам определяются напряжения на транзисторах и диодах для указанных температур и затем для текущей температуры. Произведения напряжений на токи определяют мощность статических потерь. Аналогично определяются динамические потери. При известных мощностях потерь и токах в ветвях, в которые вводятся сопротивления R_p , определяются величины этих сопротивлений. Текущие температуры уточняются тепловым расчетом.

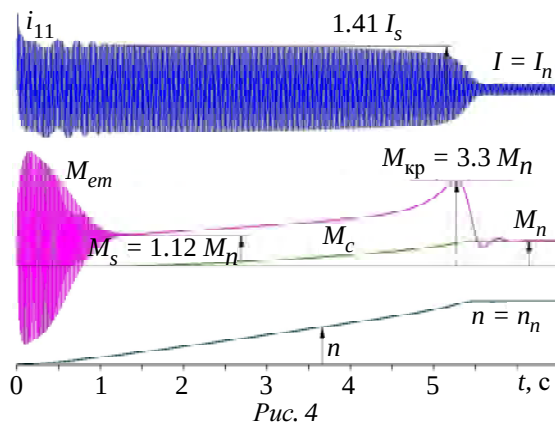


Рис. 4

Тепловая модель АМ определяется конструкцией и способом охлаждения. При воздушном охлаждении можно использовать схему на рис. 4, где i_{11} – ток фазы, I_s – пусковой

ток, n – частота вращения, M_{em} , M_s , $M_{кр}$ – электромагнитный, пусковой и критический моменты, M_c – момент сопротивления, I_n , M_n , n_n – номинальные значения. В тепловой модели АМ задаются: m_{m1} , c_{m1} – масса и удельная теплоемкость обмоток статора; m_{m2} , c_{m2} – обмотки ротора; m_{f1} , m_{f2} – массы стали статора и ротора; c_{f1} , c_{f2} – удельные теплоемкости стали статора и ротора; m_k , c_k – масса и удельная теплоемкость корпуса. Тепловые сопротивления между элементами АМ: R_{m1v} – между обмотками статора и воздухом; R_{m2v} – между обмоткой ротора и воздухом; R_{f1v} – между сталью статора и воздухом; R_{f2v} – между сталью ротора и воздухом; R_{m1f1} – между обмотками и сталью статора; R_{m2f2} – между обмоткой и сталью ротора; R_{f2f1} – между сталью ротора и статора; R_{f1k} , R_{f2k} – между сталью статора и ротора и корпусом; R_{kv} – между корпусом и воздухом. Задается также температура воздуха T_v .

Потери мощности в элементах конструкции АМ позволяют на каждом шаге расчета вычислять температуры обмоток статора T_{m1} и ротора T_{m2} , стали статора T_{f1} и ротора T_{f2} , а также корпуса T_k . Например, T_{m1} определяется по формуле

$$T_{m1} = \frac{1}{m_{m1}c_{m1}} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (P_{m1} - P_{m1v} - P_{m1f1}) dt.$$

По известным температурам элементов конструкции АМ на каждом шаге расчета определяются потоки мощности: $P_{m1v} = \frac{T_{m1} - T_v}{R_{m1v}}$, ..., $P_{kv} = \frac{T_k - T_v}{R_{kv}}$.

В процессе нагрева конструкций АМ изменяются активные сопротивления обмоток и стали. Они уточняются в модели по известной формуле: $R_T = R_{15} [1 + \alpha (T - T_{15})]$, где R_{15} – сопротивление элемента конструкции при температуре $T_{15} = 15$ °С; T – температура элемента конструкции, α – температурный коэффициент (0.0038 °С⁻¹ для меди, 0.0024 °С⁻¹ для стали).

Влияние параметров инверторов напряжения на характеристики АМ

Предложенная модель проверялась путем сравнения результатов расчетов и экспериментальных исследований АМ со следующими параметрами: $P_2 = 2000$ кВт, $U = 960$ В, $M = 2$, $\cos\varphi = 0.867$, $f = 50$ Гц, $\eta = 95.7$ %, $P_{mx} = 15.4$ кВт, $s = 0.55$ %, $L_{sM} = 0.077$ о. е., $L_{s1} = 0.062$ о. е., $L_{00} = 0.049$ о. е., $L_m = 2.55$ о. е., $L_{s2} = 0.084$ о. е., $R_1 = 0.0064$ о. е., $R_2 = 0.0046$ о. е., $R_{\mu 0} = 110$ о. е., $R_{\mu 1} = 200$ о. е., $R_{\mu 2} = 130$ о. е.; параметры лестничных схем: $J_s = 5$, $K_s = 3.9$ и $J_r = 2$, $K_r = 1.8$. Параметры тепловой модели: $m_{m1} = 597$ кг, $m_{m2} = 342$ кг, $m_{f1} = 2461$ кг, $m_{f2} = 1278$ кг, $m_k = 8332$ кг; температура воздуха 25 °С, удельная теплоемкость меди и стали 385 и 481 Дж/кг · °С; $R_{m1v} = 0.0031$ °С/Вт, $R_{m2v} = 0.0049$ °С/Вт, $R_{f1v} = 0.0055$ °С/Вт, $R_{f2v} = 0.004$ °С/Вт, $R_{m1f1} = 0.008$ °С/Вт, $R_{m2f2} = 0.004$ °С/Вт, $R_{f2f1} = 0.1$ °С/Вт, $R_{f1k} = 0.03$ °С/Вт, $R_{f2k} = 0.05$ °С/Вт, $R_{kv} = 0.01$ °С/Вт. Экспериментальные и расчетные характеристики АМ представлены в табл. 1 и на рис. 5 и 6. Экспериментальные и расчетные данные различаются менее чем на 8 %.

Таблица 1

Характеристики АД мощностью 2 МВт при синусоидальных напряжениях питания

Характеристики	Эксперимент	Расчеты
Пусковой момент, о. е.	1.25	1.15
Кратность пускового тока	7.88	8.05
Критический момент, о. е.	3.42	3.3
Номинальный ток, А	724	738
$\cos \varphi$	0.867	0.851
Ток намагничивания, А	274	257
Скольжение, %	0.55	0.549
ΔP_{m1} , кВт	22.5	23.86
ΔP_{m2} , кВт	11.1	11.04
ΔP_{μ} , кВт	39.4	36.5
ΔP_{mx} , кВт	15.4	15.4
ΔP_{am} , кВт	88.5	86.8
КПД, %	95.76	95.66
Температура меди статора, °С	103	104

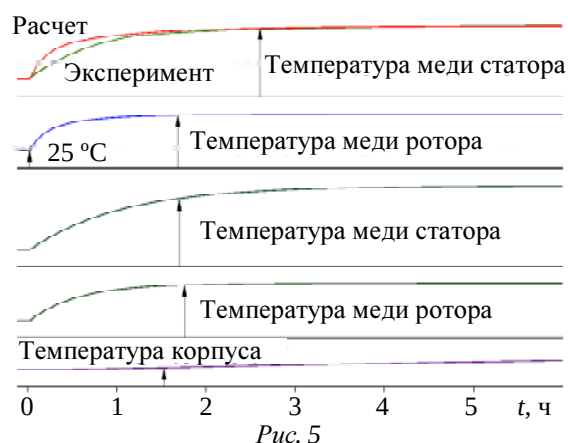


Рис. 5

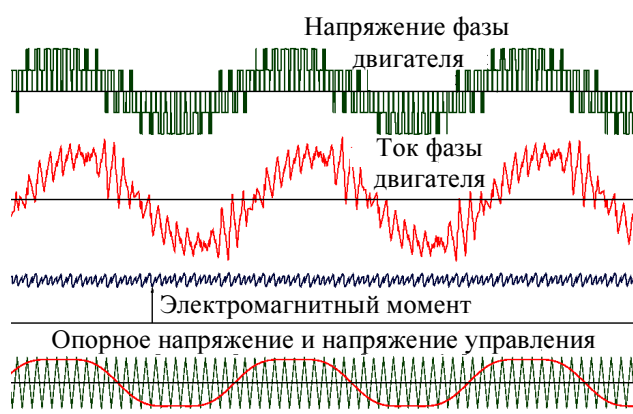


Рис. 6

Для оценки влияния параметров инвертора на характеристики АД выполнено несколько циклов вычислений. В первом случае пилообразные опорные напряжения всех инверторных мостов приняты синфазными при изменении частоты в диапазоне $f_c = 1.18 \dots 4$ кГц. Результаты расчетов представлены на рис. 8 и 9 и в табл. 2.

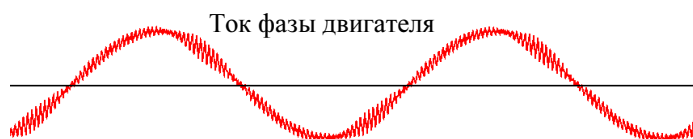


Рис. 7

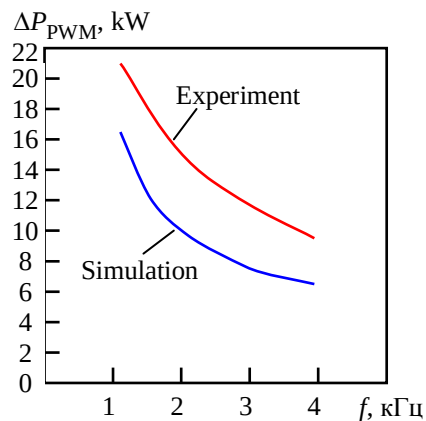


Рис. 8

Влияние параметров инвертора на характеристики АМ в установившихся режимах

Параметры	Однотактные ИН		Многотактные ИН
Частота ШИМ, кГц	1.18	4	1.18
Напряжение АД (1 гармоника), В	959.9	959.8	960.9
Ток фазы, А	781.8	744.3	746.2
Cosφ	0.85	0.844	0.846
Скольжение АД, %	0.544	0.539	0.537
Потери в меди статора, кВт	37.07	26.09	26.78
Потери в меди ротора, кВт	11.78	11.11	11.06
Потери в стали, кВт	36.88	37.28	36.77
Механические потери, кВт	15.38	15.38	15.38
Сумма потерь в двигателе, кВт	101.1	89.87	90.01
Температура меди статора, °С	137.5	110.8	112.1
Температура меди ротора, °С	85.3	82.8	82.4
Температура стали статора, °С	131.7	123.1	122.7
Температура стали ротора, °С	90.5	89.5	88.9

Как следует из табл. 1 и 2, переход от синусоидального питания АМ к питанию от однотактных ИН с частотой ШИМ $f_c = 1180$ Гц приводит к увеличению потерь энергии и росту температур двигателя. Увеличение частоты ШИМ до 4 кГц позволяет снизить коэффициент искажения синусоидальности токов фаз с 35 до 13 %, уменьшить потери энергии в обмотках статора с 37.1 до 26.1 кВт и уменьшить температуру обмоток статора на 27 °С.

Во втором цикле расчетов ИН работают в многотактном режиме. Взаимный сдвиг пилообразных опорных напряжений ИН, питающих одну обмотку АМ, составлял полпериода на частоте ШИМ. Взаимный сдвиг пилообразных напряжений ИН, питающих различные обмотки АМ, составлял четверть периода. Уравнительные дроссели имеют индуктивность рассеяния $L_{ys} = 0.005$ и взаимную индуктивность $L_{ym} = 0,1$ мГн. Сравнение данных табл. 2 показывает, что питание АМ от многотактного ИН позволяет уменьшить искажения токов и снизить температуру обмоток статора на 22 °С.

Потери энергии в АМ P_{Li} можно представить в виде суммы потерь при синусоидальном питании P_{L1} и компоненты P_{Lh} , обусловленной искажениями напряжений питания инверторами. При изменении частоты ШИМ и рассмотренных режимов работы ИН основные составляющие токов и напряжений АМ не изменяются. Следовательно, потери энергии в АМ от искажений напряжений питания можно определить формулой $P_{Lh} = P_{Li} - P_{L1}$. Зависимость высокочастотных потерь в АМ от частоты ШИМ изображена на рис. 8.

В работе показано, что дополнительные высокочастотные потери можно определить косвенно на основе прямых измерений входных сопротивлений статорных обмоток, с одной стороны, и результатов прямых измерений спектра напряжений инвертора, с другой стороны. Из графиков, представленных на рис. 8, следует, что результаты моделирования и косвенного измерения дают одинаковую тенденцию изменения высокочастотных потерь с ростом частоты ШИМ.

В предложенной модели основные и специфические свойства мощной АМ воспроизводятся при использовании взаимосвязанных подсхем замещения с сосредоточенными параметрами. Перераспределение токов статора и ротора в зависимости от частоты учитывается лестничными схемами. Модель учитывает основные потери энергии в стали и меди, частотно-зависимые потери, а также влияние температурно-зависимых параметров на электромеханические и тепловые процессы. Усовершенствованная модель АМ встроена в модель электропривода с несколькими инверторами напряжения.

Оценка распределения температуры в АМ при различных условиях питания показала, что многотактные инверторы позволяют снизить температуры обмоток практически до значений, соответствующих питанию АМ от синусоидального источника.

Приемлемая адекватность предложенной модели подтверждена экспериментальными исследованиями пусковых и установившихся режимов шестифазной АМ мощностью 2 МВт напряжением 960 В и результатами косвенного измерения высокочастотных потерь АМ.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Hadiouche D., Razik H., Rezzoug A. On the modeling and design of dual-stator windings to minimize circulating harmonic currents for VSI fed AC machines // IEEE Transactions on industry applications. 2004. Vol. 40, № 2, March/April.

Pronin M., Vorontsov A. Dependence of current pulsations of multi-phase electrical machine on reduction of winding pitch and scheme of semiconductor converter // EPE-PEMC 2006, Portoroz, Slovenia.

Popescu M., Dorrell D. G., Ionel D. M. A Study of the Engineering Calculations for Iron Losses in 3-phase AC Motor Models // The 33rd An. Conf. of IEEE Ind. Electronics Society IEEE, IECON 2007, 5–8 Nov., Taipei, Taiwan.

Ruderman A., Welch R. Electrical Machine PWM Loss Evaluation Basics // EEMODS 2005, 5–8 September 2005. Heidelberg, Germany.

Pronin M., Shonin O., Vorontsov A., Tereschenkov V. Computer model-based evaluation of energy losses components in the systems with asynchronous machines and transistor converters // The 33rd An. Conf. of IEEE Ind. Electronics Society IEEE, IECON 2007, 5–8 Nov., Taipei, Taiwan.

Boglietti A., Cavagnino A., Ferraris L., Lazzari M. Induction Motor Equivalent Circuit Including the Stray Load Losses in the Machine Power Balance // The 33rd An. Conf. of IEEE Ind. Electronics Society IEEE, IECON 2007, 5–8 Nov., Taipei, Taiwan.

Пронин М. В. Моделирование и анализ системы с многофазным асинхронным генератором и многотактным активным выпрямителем // Электротехника. 2006. № 5. С. 55–61.

Проектирование электрических машин: В 2 ч. / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев. М.: Энергия, 1980.

Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, П. Н. Калачиков, А. П. Емельянов; ОАО «Силовые машины» «Электросила». СПб., 2004.

M. V. Pronin, O. B. Shonin, U. P. Koskin, A. G. Voronkov, I. N. Jeleznyak

MODELING OF SYSTEMS WITH TRANSISTOR CONVERTERS AND MULTIPHASE ASYNCHRONOUS MACHINES IN VIEW OF THERMAL PROCESSES

The model of systems with powerful low-voltage multiphase asynchronous machine and transistor inverters is considered. Redistribution of currents in the machine depending on frequency is modeled by ladder equivalent circuit contours. The model reproduces the basic processes in system, including influence is frequency dependent parameters on losses of energy. Results of modeling and an experimental research of electromechanical and thermal processes in the machine are considered under various conditions of a feed.

The asynchronous engine, SHIM, interaction of the machine and the semiconductor converter, thermal processes, modelling



УДК 621.373.8.038.825

Л. Н. Ковальчук, В. А. Парфенов, Вл. А. Парфенов

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ Nd:YAG-ЛАЗЕР ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Представлены результаты работ по созданию универсального Nd:YAG-лазера для технологических применений. Универсальность лазера подразумевает возможность изменения его назначения в процессе эксплуатации. В зависимости от конкретного применения (точечная сварка, резка, испарение материала) требуемые характеристики достигаются путем комплектации лазера дополнительными устройствами. В качестве примера рассмотрен вариант его исполнения для точечной сварки металлических изделий.

Лазерные технологии, промышленные применения лазеров, Nd:YAG-лазер, лазер для сварки

Лазерные технологии как способ промышленной обработки различных материалов при помощи высокоинтенсивного лазерного излучения известны с начала 1960-х гг. и в настоящее время широко используются в самых различных областях индустрии, в том числе приборостроении, автомобильной промышленности, судостроении, производстве бытовой техники и т. д. [1]–[4].

В последние годы, благодаря достижениям в области лазерной и электронной техники, существенно улучшились выходные характеристики технологических лазеров. Прежде всего значительно снизились габариты, масса, электропотребление, стоимость лазерных установок и, в то же время, увеличился срок их службы. Большинство современных технологических лазерных установок являются автоматизированными комплексами и работают под управлением встроенного микропроцессора или персонального компьютера. Дополнительные удобства в эксплуатации создают системы автономного воздушно-водяного охлаждения с низким уровнем шума. Еще одна особенность современных технологических лазеров – волоконно-оптическая доставка лазерного излучения к поверхности обрабатываемых материалов. Это удобный, а для многих применений – единственно возможный способ работы.

Все это позволяет применять лазеры не только на конвейерах крупных промышленных предприятий, но и в условиях опытного производства и мастерских (например, в музейных лабораториях, занимающихся реставрацией произведений искусства [5], [6]). В конечном итоге, это ведет к расширению потенциального круга пользователей технологических лазеров.

Важно заметить, что для группы потребителей, не вовлеченных в процесс массового (серийного) производства, основными критериями выбора лазера являются его стоимость (которая должна быть минимальной) и выходные характеристики излучения (независимо от способов их достижения). При этом наличие дополнительных сервисных опций не столь существенно, тем более, если это приводит к значительному увеличению стоимости установки.

По этой причине для реального увеличения числа пользователей технологических лазеров сегодня требуются недорогие, надежные и простые в эксплуатации установки. Возможный путь решения этой задачи – создание универсального лазера, который при небольших изменениях конструкции может быть использован в различных технологических процессах.

Возвращаясь к обсуждению современного состояния лазерной техники, используемой в технологических применениях, необходимо дополнительно отметить появление мощных твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой [7], а также волоконных лазеров [8]. Благодаря существенно большему коэффициенту полезного действия этих приборов, малым габаритам, а также хорошему качеству создаваемого ими излучения, они составляют серьезную конкуренцию лазерам с ламповой накачкой.

Вместе с тем, имеется ряд причин, ограничивающих широкое применение этих лазеров, главные из которых – высокая стоимость и трудности выполнения ремонтных и регламентных работ по месту их использования. Последнее обстоятельство требует привлечения высококвалифицированных специалистов (а в ряде случаев и отправки лазера в сервисный центр изготовителя), что резко повышает стоимость эксплуатационных расходов. Поэтому твердотельные лазеры с ламповой накачкой по-прежнему пользуются значительным спросом. Их выходные характеристики и элементная база продолжают совершенствоваться [9].

В настоящее время к числу наиболее распространенных технологических операций по обработке металлических материалов, выполняемых с помощью лазеров, относятся точечная сварка деталей, резка тонких заготовок и очистка поверхности. Выполнение всех перечисленных работ может обеспечить импульсно-периодический Nd:YAG-лазер со средней выходной мощностью до 400 Вт, генерирующий излучение на длине волны 1.06 мкм. При этом для операции сварки лазер должен поддерживать режим генерации длинного (длительность 1...30 мс) импульса излучения с частотой повторения до 20 Гц, для резки (и глубокой гравировки) – режим генерации относительно короткого импульса (100...300 мкс) с частотой 100...300 Гц, а для очистки поверхностей – режим модулированной добротности с длительностью импульса 20...30 нс и частотой повторения единицы – десятки герц.

Такие выходные характеристики Nd:YAG-лазера легко достигаются при использовании надежной и простой в эксплуатации ламповой накачки активного элемента и 1-кватронного излучателя. Во всех указанных случаях используется многомодовый режим генерации, который получается в резонаторе с плоскими зеркалами. Близкие значения частот повторения импульсов и уровней накачки позволяют использовать единое схемотехническое решение для источника питания. Кроме того, все установки используют стандартную

технику доставки излучения к обрабатываемому объекту, а именно: непосредственное использование излучения за выходным зеркалом лазера, оптоволоконную транспортировку пучка или применение шарнирной оптомеханической «руки».

Все это в совокупности и является объективной основой для решения поставленной ранее задачи путем создания универсальной технологической установки для выполнения всех перечисленных операций (сварка, резка и очистка поверхности). Практика работы с потребителями данных приборов показала, что такой подход во многих случаях является разумным и востребованным.

В результате проведения исследований по реализации данной концепции была создана установка, отвечающая перечисленным ранее требованиям. В ее основу положено использование единой конструкции излучателя для всех режимов работы в сочетании с модульным принципом построения блока питания лазера.

В качестве примера технических возможностей разработанной установки рассмотрим ее реализацию в базовом варианте исполнения для проведения операций по точечной сварке.

Для данной области применений важен максимальный уровень энергии в одиночном импульсе, значительная длительность импульса и удобство доставки лазерного излучения к поверхности обрабатываемых материалов.

Оптическая схема лазера (рис. 1) содержит: 31, 32 – зеркала резонатора; АЭ – активный элемент из Nd:YAG; 33, 34 – отклоняющие зеркала; О – объектив для ввода излучения в волокно; Пл – пилотный лазер; Ф – фокусатор; 35 – съемное отклоняющее зеркало. Резонатор лазера – линейный, образован двумя плоскими зеркалами (одно из зеркал имеет высокоотражающее – близкое к 100 % – покрытие, коэффициент отражения выходного зеркала – 50 %). В качестве активного элемента лазера используется кристалл из Nd:YAG диаметром 6.3 мм и длиной 100 мм, помещенный в диффузный световой отражатель. Оптическая накачка лазера осуществляется импульсной ксеноновой лампой ИНП-6/90.

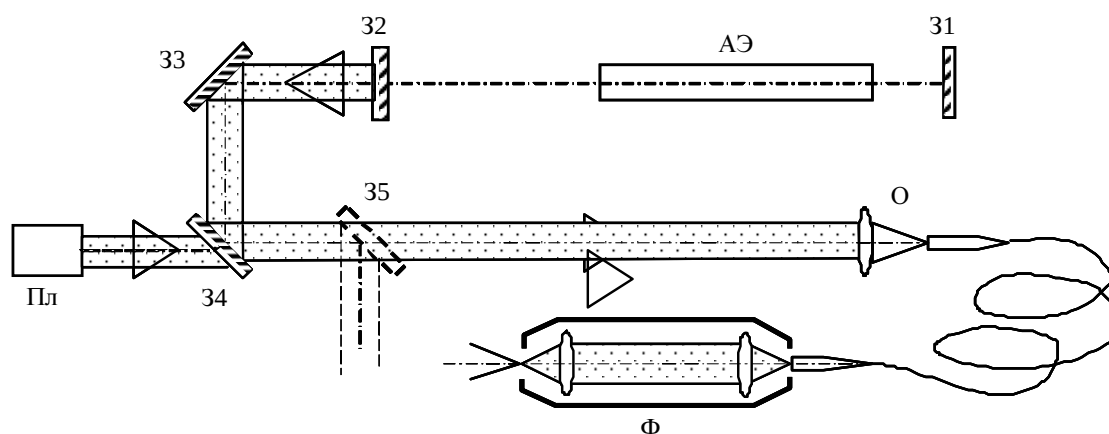


Рис. 1

Для доставки излучения лазера к месту обработки деталей используется оптоволоконный кабель, который при помощи стандартного разъема типа SMA-946 может быть состыкован либо с микроскопом, либо – со специальными фокусаторами.

Один из фокусаторов – стационарный, закреплен в штативе и снабжен соплом для поддува инертного газа, другой (так называемый *hand-piece*) – оператор в процессе работы держит в руке.

Использование ручного фокусатора существенно расширяет функциональные возможности операции сварки, поскольку позволяет направлять лазерный пучок в любую точку (под любым углом) на поверхности обрабатываемого изделия. При изменении расстояния между выходной апертурой фокусатора и зоной обработки изменяется диаметр лазерного пучка на мишени, что позволяет оператору управлять режимом сварки процесса сварки.

Если в процессе работы возникает необходимость сварки мелких деталей, требующей высокоточного нацеливания лазерного пучка на мишень и оперативного визуального контроля зоны обработки, тот же самый оптоволоконный кабель может быть подсоединен к микроскопу. В этом случае лазерное излучение будет фокусироваться на поверхности обрабатываемого материала при помощи объектива микроскопа. При этом у оператора появляется возможность визуального наблюдения процесса сварки через съемные окуляры, обеспечивающие требуемое увеличение наблюдаемой картины. Стыковка сварочного микроскопа с лазерным излучателем при помощи оптоволоконного кабеля является отличительной особенностью данного лазера. Подобная опция не предлагается в известных аналогах.

Заметим, что выбор микроскопа для сварочного лазера имеет большое значение. При длительной работе (при эксплуатации лазера в условиях промышленного производства) очень важно, чтобы глаза оператора не утомлялись и в то же время были надежно защищены от вредного воздействия лазерного излучения (это может привести к повреждению сетчатки и другим серьезным дефектам зрения). Кроме того, исходя из соображений удобства работы оператора, целесообразно использовать бинокулярный микроскоп.

При разработке описываемой лазерной установки для ее комплектации за основу был выбран серийный отечественный бинокулярный микроскоп типа МБС-10, обычно используемый в микроэлектронике и приборостроении. Данный микроскоп имеет большую световую апертуру и приемлемое для данного случая фокусное расстояние объектива ($f = 80$ мм).

С учетом специфики решаемой задачи оптическая схема микроскопа была модернизирована как показано на рис. 2.

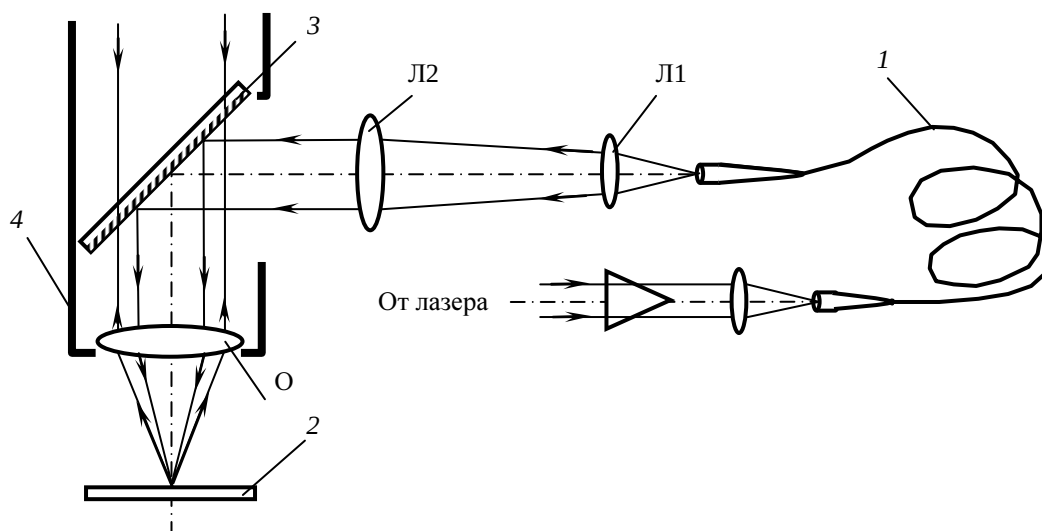


Рис. 2

Излучение лазера подводится к микроскопу при помощи волоконно-оптического кабеля 1. Рабочий объектив микроскопа О в совокупности с вспомогательными линзами L_1 и L_2 представляет собой дополнительный оптический канал, позволяющий сформировать в фокусе микроскопа изображение торца волокна во входном разъеме с увеличением $M = f/f_3$, где f_3 – эквивалентное фокусное расстояние системы линз L_1 и L_2 . Элементы 2 и 3 на рис. 2 – обрабатываемый объект и отклоняющее зеркало соответственно.

Диапазон изменения M был выбран в пределах от 0.5 до 4, поскольку в зависимости от диаметра сердцевины используемых в данном случае световодов (400, 600 и 1000 мкм) такое увеличение позволяет обеспечить размер пятна фокусировки на мишени в пределах от 300 мкм до 2 мм. Изменение значения M достигается за счет взаимного осевого перемещения линз L_1 и L_2 .

Для защиты глаз оператора от воздействия лазерного излучения в оптическую схему микроскопа были введены специальные светофильтры из цветного оптического стекла типа СЗС-26 с нанесенными на них высокоотражающими покрытиями на длину волны 1064 нм.

Процесс наведения лазерного пучка на поверхность обрабатываемого изделия осуществляется при помощи вспомогательного («пилотного») непрерывного лазера, оптическая ось которого точно совмещена с основным излучением на длине волны 1064 мкм. После завершения операции «прицеливания» запуск импульсов основного излучения производится оператором нажатием ножной педали.

В качестве «пилотного» лазера может быть использован один из двух типов лазерных источников, в одном случае – полупроводниковый лазерный модуль (мощность излучения 3...5 мВт), излучающий в красной области спектра (длина волны 630...650 нм), в другом – твердотельный лазер с диодной накачкой (длина волны 531 нм, мощность излучения 1 мВт).

Источник питания лазера построен по модульному принципу и включает в себя: модуль управления, зарядный модуль со стабилизацией тока и разрядный модуль с управлением током разряда через лампу накачки. Источник питания позволяет сформировать импульсы тока разряда с контролируемой амплитудой до 250 А. Использование в схеме разряда IGBT-ключа обеспечивает заданное временное распределение тока разряда и соответствующую ему зависимость интенсивности светового импульса от времени и позволяет варьировать его длительность в широких пределах (в описываемом варианте лазера – от 0.3 до 20 мс). Управление работой блока питания (и соответствующее изменение режимов работы лазера) осуществляется от персонального компьютера.

Максимальная выходная средняя мощность излучения лазера составляет 110 Вт. При этом КПД лазерной установки (от «розетки») – 3.5 %, частота повторения импульсов – до 20 Гц, длительность импульса излучения – до 20 мс, максимальная энергия одиночного импульса – 50 Дж. Эти параметры позволяют выполнять операции по сварке металлических изделий, в том числе тонких (до 1 мм) пластин из серебра и титановой проволоки.

Переход от одного функционального назначения лазерной установки к другому осуществляется с помощью дополнительных устройств.

В рассматриваемом случае переход в режим резки осуществляется изменением параметров импульса накачки. Кроме того, для вывода излучения устанавливается дополнительная оптика: отклоняющее зеркало 35 (см. рис. 1), блокирующее волоконный вывод излучения), и фокусирующий объектив со специальным соплом для подачи рабочего газа в зону резки.

Переход к режиму очистки требует введения модуляции добротности потерь резонатора. Это обеспечивается установкой внутрь резонатора электрооптического затвора с формирователем управляющего импульса, а также оптомеханической «руки» для вывода излучения после зеркала 35.

Следует отметить, что заменой квантрона, а также отдельных модулей блока питания во всех режимах работы можно увеличить среднюю мощность излучения лазера.

Реализация описанного универсального лазера и многолетний опыт работы с потребителями подтвердили перспективность использования единой базовой конструкции при создании лазерных установок средней мощности, предназначенных для выполнения разнородных технологических операций.

В заключение авторы выражают благодарность г-ну Marc Berthoud (компания Adobes, Мексика) за полезные обсуждения проблематики данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазерная техника и технология: В 7 кн. / Под ред. А. Г. Григорьянца. М.: Высш. шк., 1987.
2. Справочник по лазерной технике / Пер. с нем. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом / Г. М. Зверев, Ю. Д. Голяев, Е. А. Шалаев, А. А. Шокин. М.: Радио и связь, 1985.
4. Григорьянц А. Г., Жиганов И. И., Мискоров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: Изд-во МГТУ им. И. Э. Баумана, 2006.
5. Application of laser welding to the restoration of the ostensory of the martyr St. Ignatius from Palermo / C. Innocenti, G. Pieri, M. Yanagishita et al. // Journ. of Cultural Heritage. 2003. Vol. 4. P. 362–366.
6. Чулин А. В., Парфенов В. А. Использование лазерных технологий для реставрации металлических объектов истории и культуры // Оптический журнал. 2007. Т. 74, № 8. С. 56–60.
7. Burnham R. High-average-power diode-pumped solid-state lasers for industrial and military applications // Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting. 1996. Vol. 2. P. 153–154.
8. Graydon O. Kilowatt fibre lasers drive IPG sales boom // Optics and Lasers in Europe. 2006. № 133. P. 19–20.
9. Ball N., Stein M. Lamp-pumped solid-state lasers offer bright future // Optics and Lasers in Europe. 2007. № 150. P. 19–20.

L. V. Kovalchuk, V. A. Parfenov, V. A. Parfenov

UNIVERSAL ND:YAG-LASER FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Results of work on development of universal Nd:YAG-laser for industrial applications are presented in the paper. Universality of the laser does mean the possibility to change its application in the process of exploitation. Output parameters required for each concrete application (pointing welding, cutting, vaporization of material) are achieved by means of completion of laser by additional parts. As an example, the variant of its realization for pointing welding of metal materials is considered.

Laser technologies, industrial applications of lasers, Nd:YAG-laser, welding laser

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ ОТ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Рассмотрена пьезопластина с подключенной к ней корректирующей электрической цепью. Акустической нагрузкой является вода. Исследованы потенциальные возможности снижения длительностей излучаемых акустических импульсов за счет изменения значения квадрата коэффициента электромеханической связи активного материала b^2 . Установлено, что при оптимальных значениях параметров, характеризующих систему, эффективное снижение длительностей излучаемых сигналов наблюдается при $b^2 = 0,25 \dots 0,30$. Возрастание значений b^2 до $b^2 \approx 0,5$ способствует возрастанию максимальной амплитуды излучаемого сигнала. Дальнейшее увеличение b^2 не ведет к заметному ее изменению.

Акустический импульс, пьезокерамическая пластина, коэффициент электромеханической связи

В предшествующих работах [1]–[5] авторами исследовано влияние электрических нагрузок на длительность акустического импульса, излучаемого пьезопластиной в жидкие и твердые среды. В указанных работах для рассмотренных излучающих систем определены значения параметров, позволяющих получать наименьшую длительность излучаемых акустических импульсов. При этом естественно полагать, что форма и длительность излучаемых сигналов должны зависеть еще и от значения коэффициента электромеханической связи активного материала, поскольку именно этим параметром определяется степень связи электрической и механической сторон преобразователя. Данный вопрос может представлять определенный интерес с точки зрения изучения потенциальных возможностей использования различных типов пьезокерамики. В настоящей статье обсуждаются некоторые результаты этих исследований.

Рассмотрим пьезопластину, нагруженную с одной стороны на воду, с другой – на воздух. Последовательно с пластиной включена последовательная корректирующая RL -цепь. Возбуждение излучателя осуществляется импульсом электрического напряжения $U(t)$. Данную систему можно охарактеризовать рядом параметров (аналогично тому, как это было сделано в предшествующих работах):

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

где C_0 – электрическая емкость заторможенной пластины; ω_0 – антирезонансная частота пластины. Физический смысл введенных параметров: $\omega_{\text{эл}}$ – резонансная частота электрического контура, образованного индуктивностью L и собственной емкостью C_0 пьезопластины; n – относительная резонансная частота электрического контура; Q – имеет смысл электрической добротности. Как и ранее, будем считать, что электрическое возбуждение осуществляется импульсом напряжения $U(t)$ в виде полупериода синусоиды на частоте ω_0 антирезонанса пластины. За длительность импульса, аналогично предыдущему, будем принимать время от его начала до момента спада амплитуды колебательной скорости в

10 раз от максимума. Введем безразмерное время $T = \frac{t}{(T_0/2)}$ (T_0 – период колебаний на

частоте ω_0). Это позволит оценивать длительность излучаемых импульсов числом полупериодов колебаний на собственной частоте пьезопластины. В работе [1] для случая применения электрической цепи рассматриваемого вида и использования пьезокерамики ЦТСНВ-1 определена пара оптимальных значений параметров Q и n , при которых длительность акустического импульса колебательной скорости, излучаемого в жидкость, минимальна. Эти значения составляют: $Q = 1,5$ и $n = 1,15$. Длительность акустического импульса $\tau_{\text{и}}$ при этом равна примерно 5,5 полупериода.

В настоящем исследовании решалась задача определения расчетным путем длительностей и амплитуд сигналов, излучаемых рассматриваемой системой в зависимости от значения квадрата коэффициента электромеханической связи b^2 . Достижение поставленной цели возможно при условии фиксации в расчете значений всех параметров пьезокерамики, кроме b^2 . Далее обсуждаются результаты расчета.

Диапазон изменения b^2 выбран от нуля до единицы. Первоначальный этап работы позволил установить, что значения параметров Q и n , при которых существенно снижается длительность излучаемого сигнала, приблизительно сохраняют свои значения в рассматриваемом диапазоне изменения параметра b^2 . Эти значения соответствуют установленным в [1] и составляют: $Q = 1,5$ и $n = 1,15$. Указанные значения приняты в дальнейшем расчете в качестве оптимальных.

На рис. 1 представлен излучаемый акустический импульс в виде, нормированном к единице, при $b^2 = 0$. По оси абсцисс отложено безразмерное время T . По оси ординат – безразмерная величина v/v_{max} , пропорциональная колебательной скорости в излучаемом им-

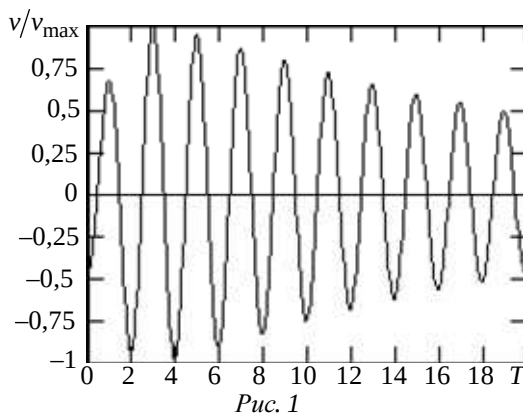
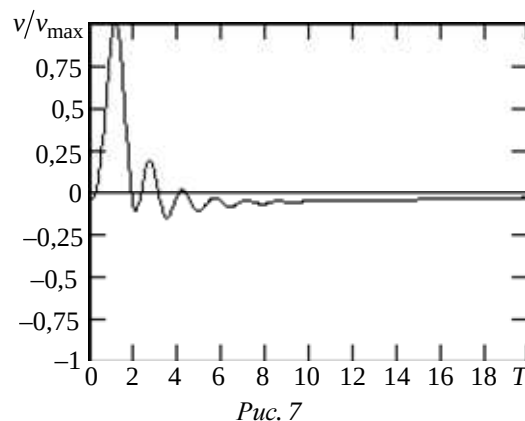
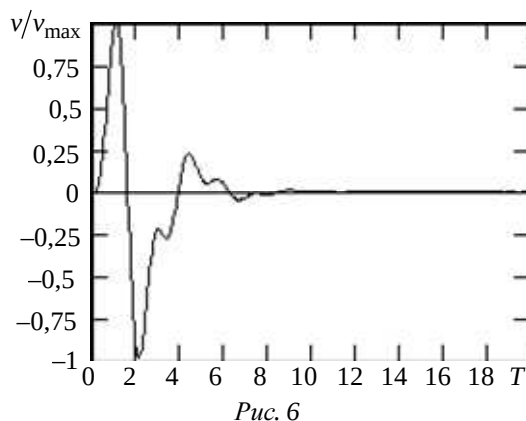
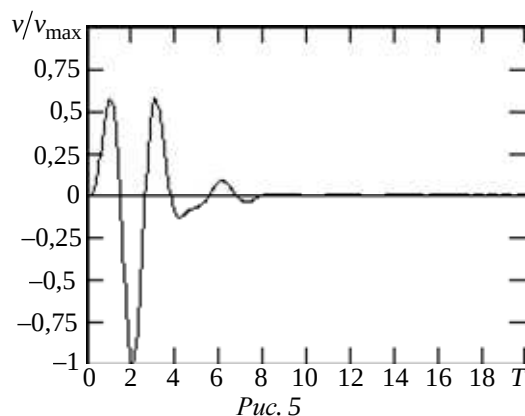
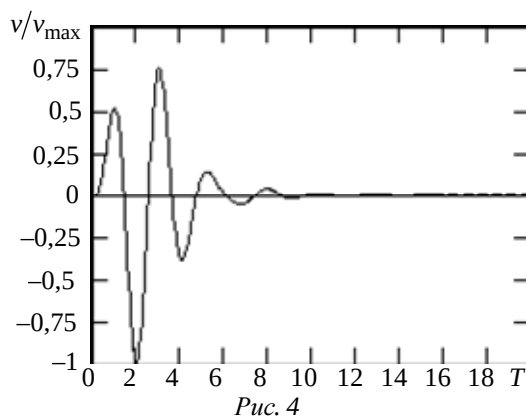
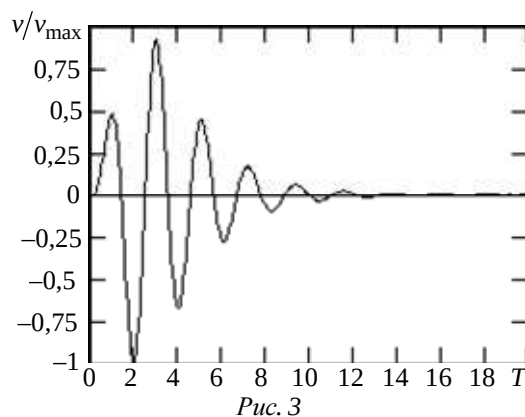
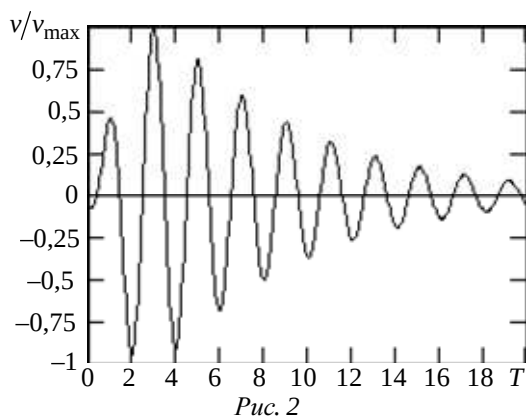


Рис. 1

пульсе. Можно видеть, что длительность импульса очень велика. Она существенно превышает 20 полупериодов колебаний на собственной частоте пьезопластины. Увеличение значения квадрата коэффициента электромеханической связи до $b^2 = 0,05$ (рис. 2) позволяет добиться снижения длительности сигнала до $\tau_{\text{и}} \approx 19$ полупериодам. На рис. 3 и 4 приведены формы акустических импульсов при $b^2 = 0,15$ и $0,25$ соответственно. Как видно из представленных графиков, длительности импульсов уменьшаются соответственно до значений $\tau_{\text{и}} \approx 8,3$ и $\tau_{\text{и}} \approx 6,5$. Дальнейший рост параметра b^2 влечет за собой искажение формы излучаемого сигнала. Подтверждение этому можно наблюдать на рис. 5 и 6, которые соответствуют случаям $b^2 = 0,35$ и $0,7$ соответственно. Предельно возможному теоретическому значению $b^2 = 1$ соответствует излучаемый акустический сигнал, изображенный на рис. 7.

Результаты расчетного исследования в обобщенном виде представлены на рис. 8, где приведена зависимость длительности импульса излучаемого акустического сигнала $\tau_{\text{и}}$ от значения коэффициента электромеханической связи. Можно видеть, что возрастание значения b^2 от нуля примерно до $0,25 \dots 0,30$ при оптимальных значениях Q и n позволяет до-

биться довольно существенного снижения длительности импульса по сравнению со случаем, когда $b^2 = 0$ (по меньшей мере в 5–6 раз!). Дальнейшее увеличение b^2 не ведет к положительным результатам. Заметны лишь незначительные осцилляции значений $\tau_{\text{и}}$.



Значения максимальных амплитуд A сигналов, излучаемых рассматриваемой системой при оптимальных значениях Q и n , представлены в таблице. При этом стоит отметить, что A – величина безразмерная, которая приведена в условных единицах, пропорциональных колебательной скорости. Такое представление результатов объясняется решением задачи с точностью до постоянного множителя. Из представленных в таблице данных можно видеть, что при $b^2 = 0$

b^2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
A	0	1,15	1,57	1,81	1,94	1,96	1,88	1,70	1,87	2,01	2,20

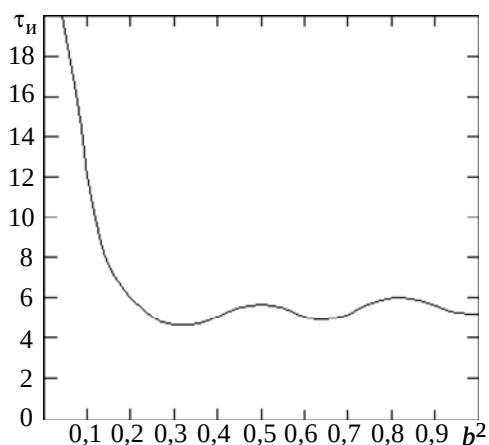


Рис. 8

излучаемый сигнал отсутствует ($A = 0$). По мере возрастания b^2 наблюдается монотонный рост значения A . Эта тенденция сохраняется до значений $b^2 \approx 0,5$. Дальнейшее увеличение b^2 не влечет за собой заметных изменений значения A .

Таким образом, в настоящей статье рассмотрен импульсный режим работы пьезоизлучателя, нагруженного на воду, с подключенной к нему корректирующей RL -цепью. Расчетным путем определены потенциальные возможности снижения длительностей излучаемых акустических импульсов за счет измене-

ния значения коэффициента электромеханической связи активного материала. Установлено, что при оптимальных значениях параметров Q и n заметное снижение длительностей излучаемых сигналов наблюдается при $b^2 = 0,25 \dots 0,30$. Длительность излучаемых сигналов при этом составляет 5–5,5 полупериодов. Возрастание значений b^2 примерно до 0,5 влечет за собой увеличение максимальной амплитуды излучаемого сигнала. Дальнейший рост b^2 не ведет к заметному ее изменению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Влияние электрической нагрузки на длительность акустического импульса, излучаемого пьезопластиной // Акуст. журн. 2004. Т. 50, № 1. С. 129–130.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Демпфирование пьезопластины и использование электрической цепи на ее входе для получения короткого акустического импульса // Акуст. журн. 2005. Т. 51, № 6. С. 829–832.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. О влиянии различных способов соединения элементов электрической нагрузки на длительность импульса, излучаемого пьезопреобразователем // Акуст. журн. 2007. Т. 53, № 2. С. 285–287.
4. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Исследование возможности получения короткого акустического импульса при подключении индуктивно-резистивной цепи на вход излучателя, нагруженного на твердое тело через контактный слой // Дефектоскопия. 2004. № 11. С. 15–21.
5. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Оптимизация параметров электрической нагрузки пьезопластины для излучения короткого акустического импульса // Дефектоскопия. 2004. № 4. С. 15–19.

S. I. Konovalov, A. G. Kuzmenko

THE DEPENDENCE OF DURATION OF ACOUSTIC PULSE RADIATED BY A TRANSDUCER HAVING AN ELECTRIC LOAD, ON A VALUE OF THE ELECTROMECHANICAL COUPLING COEFFICIENT

Pulsed mode of a piezoelectric plate connected to a correcting electric circuit is considered. As the acoustic load water is admitted. By means of calculation were investigated the potential possibilities of decreasing duration of radiated acoustic pulses because of changing the value of electromechanical coupling coefficient of an active material. It is established that under optimal parameters of the system, the effective decreasing of pulse durations takes place in the range $b^2 = 0,25 - 0,30$ (b is the coefficient of electromechanical coupling). Duration of pulses in this case is about 5 – 5,5 one-half periods at the natural frequency of the plate. It is shown that increasing b^2 up to the value $b^2 \approx 0,5$ results in increasing of the maximal amplitude of radiated signal. The further increasing of b^2 does not result in appreciable change of the maximal amplitude.

Acoustic pulse, piezoceramic plate, electromechanical coupling coefficient



УДК 007: 57+007:573

З. Т. Измайлова

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА БЕДРЕННОЙ КОСТИ С УЧЕТОМ МЫШЕЧНЫХ УСИЛИЙ

Разработана компьютерная модель для оценки состояния чрескостного остеосинтеза бедренной кости. Модель позволяет оценить влияние мышечных усилий и нагрузок на стадии формирования костного регенерата, учесть изменение механических свойств элементов, входящих в модель по мере восстановления кости.

Чрескостный остеосинтез, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние

Остеосинтез занял прочное место в травматологии и ортопедии, он позволяет добиться положительных результатов, когда бессильны другие способы лечения. Удельный вес чрескостного остеосинтеза среди других методов лечения не превышает 8...12 %, хотя известно, что оптимальная потребность в его использовании составляет от 35 до 65 % для стационарных больных с закрытыми переломами костей конечностей и 75...100 % для больных с открытыми переломами [1]. Более широкое применение метода сдерживают высокая трудоемкость остеосинтеза и большое число специфических осложнений (12 до 60 % случаев), а также значительный процент неудовлетворительных результатов лечения больных компрессионно-дистракционным методом [2]. Для оптимального остеосинтеза необходима рациональная конструкция внешней фиксации, применение которой гарантирует возможность сохранения непрерывности межфрагментарного контакта до полного сращения кости в послеоперационном периоде. Отсутствие такой рациональной конструкции и средств, позволяющих оценить влияние мышечных усилий на стадии регенерации костных отломков, является существенной проблемой, решение которой позволит улучшить качество оказываемой медицинской услуги.

Для биомеханического анализа состояния чрескостного остеосинтеза бедренной кости с учетом мышечных усилий необходимо:

1. Построить содержательную модель бедренной кости.
2. Построить компьютерную модель чрескостного остеосинтеза при переломе бедренной кости с учетом мышечных усилий.

3. Исследовать напряженно-деформированное состояние при мышечных усилиях.

При моделировании чрескостного остеосинтеза бедренной кости на каждом из уровней (рис. 1, а), определенных согласно унифицированному методу обозначения чрескостного остеосинтеза, изучены геометрические параметры и механические характеристики бедра и мышц, окружающих бедро [3]. Исследования рентгенограмм пациентов с переломами бедра, пролеченных в РосНИИТО им. Р. Р. Вредена в период с 1998–2005 г., показали, что на II уровне форма бедренной кости в поперечном сечении близка к прямоугольной, на III и VI – к неправильному овалу, на IV и V – к треугольнику (рис. 1, б). Ширина бедренной кости в прямой проекции со второго по шестой уровень лежит в диапазоне от 21 до 41 см, в боковой проекции в диапазоне от 20 до 35 см. Так как бедренная кость в проксимальной и дистальной областях имеет специфическую конусовидно-расширяющуюся форму, уровни O, I, VII, VIII и IX рассмотрены особым образом. Для чрескостного остеосинтеза бедренной кости используются полукольца диаметром от 160 до 200 мм, стержни, спицы диаметром от 1.5 до 1.8 мм различной длины в зависимости от типа перелома (рис. 1, в).

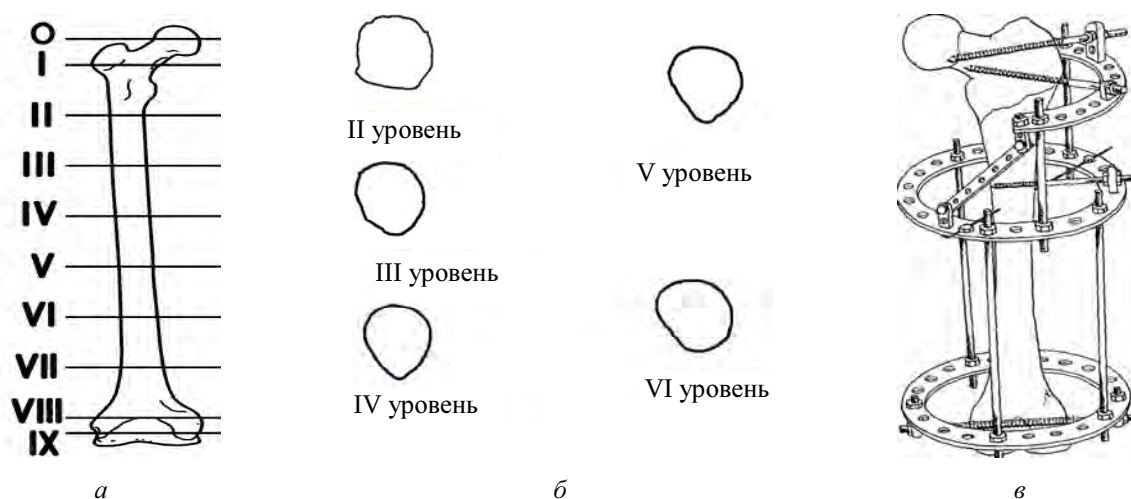


Рис. 1

При построении содержательной модели схематизированы: свойства материала, геометрия аппарата внешней фиксации и бедренной кости, условия закрепления, внешняя нагрузка P_1 и мышечная нагрузка $\bar{P}$ (рис. 2), которая задается через зону прикрепления мышцы к бедренной кости.

Схематизация материала заключается в идеализации его свойств, поэтому при построении компьютерных моделей чрескостного остеосинтеза бедренной кости вводятся следующие допущения: 1) материалы костей, соединительных элементов, спиц, стержней и колец – однородны и изотропны; 2) среда сплошная, начальные напряжения в биологических структурах и во всех элементах конструкции аппарата, кроме спиц, отсутствуют.

Биомеханические модели построены в рамках механики трехмерного твердого тела. Для построения компьютерных моделей используются пакеты программ SolidWorks и COSMOSWorks.

Геометрическая модель построена в программе SolidWorks (рис. 3) и включает в себя: опорные кольца (1), стержни (2, 5), спицы (3), два костных отломка (4) и соответствующий крепеж.

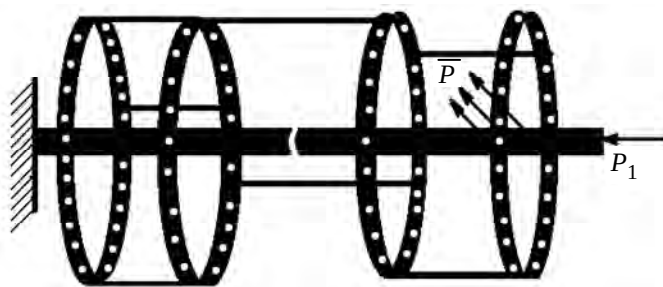


Рис. 2

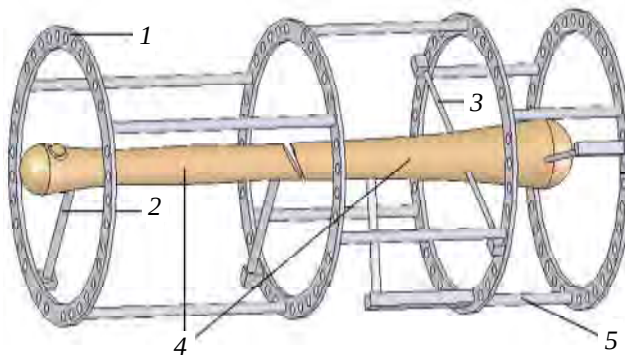


Рис. 3

Биомеханический анализ напряженно-деформированного состояния бедренной кости проведен в программе COSMOSWorks методом конечных элементов. В силу своих особенностей метод конечных элементов является, вероятно, одним из наиболее эффективных методов расчета напряжений и деформаций. Он, в частности, позволяет с высокой точностью описать геометрию объектов сложной конфигурации и их напряженно-деформированное состояние в зонах больших градиентов напряжений. При выборе числа конечных элементов необходимо учитывать, что их количество связано с точностью вычислений. На рис. 4. приведена зависимость экстремальных значений напряжений от числа введенных конечных элементов. Для достижения необходимой точности при минимальных затратах времени на вычисления перемещений в модели целесообразно задавать разбиение на 70 тыс. конечных элементов (рис. 5).

Исследования напряженно-деформированного состояния приведены при внешней нагрузке $P = 100$ Н и поверхностной мышечной нагрузке, создаваемой большой ягодичной мышцей $\bar{P}$ (через зону прикрепления большой ягодичной мышцы к кости площадью 30.5 ± 9.40 см²). Мышечная нагрузка задавалась в пределах от 100 до 300 Н, при силе $\bar{P} = 100$ Н максимальное перемещение костных отломков друг относительно друга составляет 1 мм.

Увеличение мышечной нагрузки от 100 до 300 Н приводит к увеличению смещения костных отломков, величина перемещения при мышечной силе $\bar{P} = 300$ Н составила 2.3 мм, что может привести к неправильному срастанию костных отломков и к другим негативным последствиям. Проведенный биомеханический анализ показал, что при изменении величины мышечной нагрузки от 100 до 300 Н напряжения, возникающие в кости, увеличиваются незначительно и не достигают критических значений.

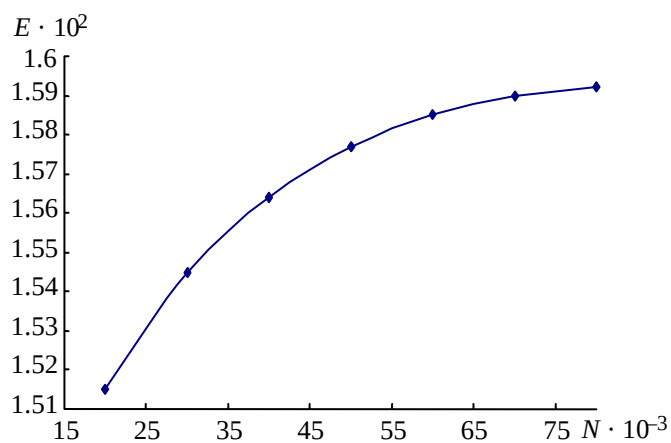


Рис. 4

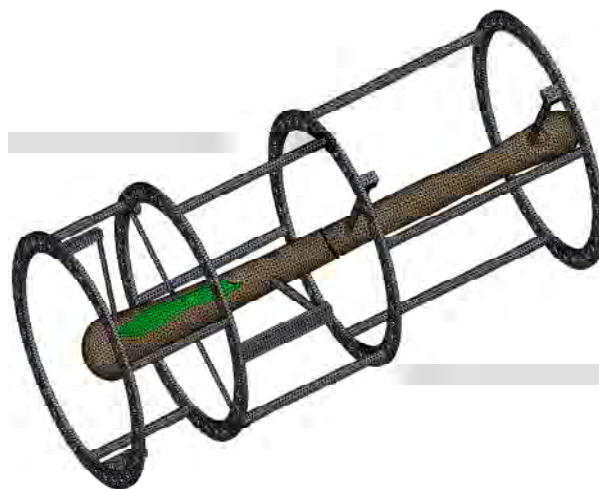


Рис. 5

Разработанный алгоритм позволяет провести биомеханический анализ состояния чрескостного остеосинтеза с учетом мышечных нагрузок, которые возникают при ходьбе, при сгибании-разгибании бедра, одноопорном и двуопорном стоянии и получить правильную оценку сложившейся клинической ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щевцов В. И., Попова Л. А. Исчерпал ли себя метод Илизарова? // Уральское медицинское обозрение. 1997. № 4–5. С. 7–11.
2. Бейдик О. В., Котельников Г. П., Островский Н. В. Остеосинтез спицевыми и спицестержневыми аппаратами внешней фиксации. Самара: ГП «Перспектива». 2002. 208 с.
3. Соломин Л. Н. Чрескостный остеосинтез: Травматология и ортопедия: Руководство для врачей. СПб.: Гиппократ, 2004. Т. 1. С. 336–388.

Z. T. Izmajlova

THE BIOMECHANICAL ANALYSIS OF A CONDITION OF AN OSTEOSYNTHESIS OF A FEMUR IN VIEW OF MUSCULAR EFFORTS

The computer model for a supply with information of an estimation of a condition of an osteosynthesis of a femur in view of muscular force is developed. Fracture of the overhead and bottom extremities is one of the most wide-spread pathologies of a locomotorium. At their treatment there are complications. Thus there are the complications caused by not enough rigidity of an osteosynthesis or infected.

Osteosynthesis, the computer modelling, the deformed condition, muscular efforts



УДК 37.014.1

Н. Е. Новакова

СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В САПР: ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Предлагается применение проблемно-деятельностного подхода для обучения студентов-разработчиков САПР. Рассматривается архитектура системы принятия проектных решений в САПР и особенности ее применения в курсовом проектировании. Описывается методика обучения специалистов-разработчиков САПР с помощью системы принятия проектных решений.

Система принятия проектных решений, САПР, представление знаний, онтология, процесс автоматизированного проектирования, обучение

В процессе обучения в вузе студентов системотехнических специальностей очень важно дать представление о системе в целом, как о едином сложном организационно-техническом комплексе. Трудоемкость и длительность разработки средств автоматизированного проектирования не позволяют студенту проследить весь процесс разработки САПР в течение одного семестра при использовании традиционных форм и методов обучения. Одним из эффективных средств интенсификации и повышения качества процесса обучения являются специальные инструментальные средства, позволяющие моделировать процесс автоматизированного проектирования (АП) и исследовать поведение системы в различных проектных ситуациях. В качестве такого инструментария предлагается система принятия проектных решений в САПР (СППР САПР). Система может применяться для решения задач проектирования, внедрения и модернизации комплекса средств автоматизации проектирования.

Для разработки системы СППР САПР и методики обучения на ее основе необходимо прежде всего систематизировать основные виды деятельности обучаемого. К специалисту-системотехнику предъявляются определенные квалификационные требования. Инженер-системотехник по специальности «Системы автоматизированного проектирования» должен:

- выполнять работы по созданию, модификации и настройке основных видов обеспечения автоматизированных систем;
- уметь комплексировать средства автоматизированного проектирования в единый организационно-технический комплекс;

- анализировать объект и процесс проектирования применительно к конкретной предметной области для разработки адекватной модели объекта и процесса проектирования;
- выполнять научно-исследовательские работы по специальности с целью поиска новых технологий в области автоматизированного проектирования;
- владеть рациональными методами поиска и анализа научно-технической информации;
- оценивать экономическую эффективность разработки, внедрения и модификации САПР;
- самостоятельно и обоснованно принимать решения по выбору архитектуры САПР, технологии проектирования, использования математических методов и алгоритмов;
- разрабатывать техническую документацию, являющуюся неотъемлемой частью организационного и методического обеспечения автоматизированных систем.

Исходя из данной квалификационной характеристики специальности, сформулируем цели изучения дисциплины «Разработка САПР». Дерево целей обучения можно разделить на три поддерева:

- приобретение знаний;
- получение навыков и умений формирования архитектуры САПР;
- формирование творческой деятельности.

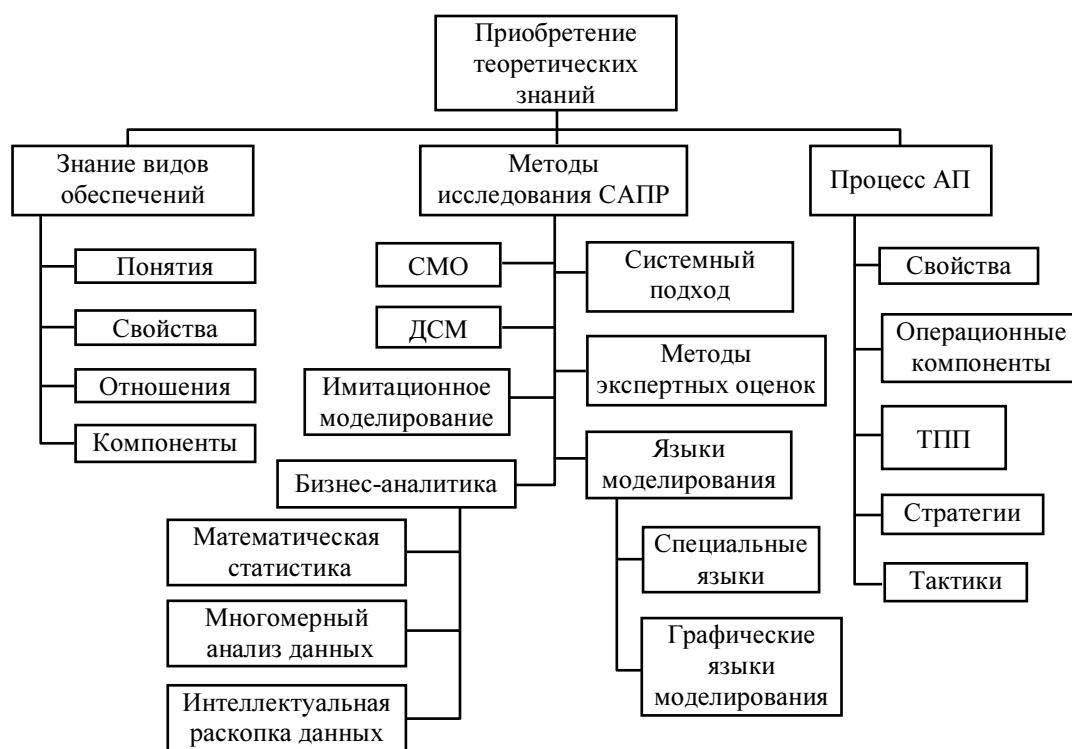


Рис. 1

Дерево целей обучения «Приобретение знаний» представлено на рис. 1, где используются следующие обозначения: СМО – системы массового обслуживания, ДСМ – дискретно-событийные модели, ТПП – типовые проектные процедуры. Для развития и совершенствования навыков системного мышления студентов в учебном процессе используются различные направления знаний. Огромный потенциал для развития этих навыков имеет анализ бизнес-процессов проектной организации и создание модели поведения САПР в различных условиях эксплуатации.

Поддереву «Получение навыков и умений формирования архитектуры САПР» состоит из подцелей: комплексирования средств АП; осуществления декомпозиции процесса проектирования; выбора ресурсов; расчета технико-экономических показателей системы; выбора стратегии проектирования.

Поддереву «Формирование творческой деятельности» включает: оценку качества модели архитектуры САПР; выбор пути совершенствования модели; активизацию знаний; обоснование изменения цели; самостоятельное принятие решений.

Отличительной особенностью разработки САПР является интенсивность подготовки, применение форм активного обучения с использованием учебно-исследовательской системы СППР САПР. Реализация когнитивных функций обучения будущих разработчиков САПР предполагает разработку дидактических компонентов методического обеспечения, представляющего собой научную основу процесса обучения. Эти компоненты определяют:

- постановку общей задачи обучения и стратегию ее решения;
- декомпозицию общей задачи обучения и выделение отдельных целей этого процесса;
- методы и способы достижения конкретных целей обучения.

Целью обучения дисциплине «Разработка САПР» является формирование специалиста-системотехника, обладающего способностью быстро и на высоком профессиональном уровне решать задачи, связанные с разработкой архитектуры системы, интеграции средств автоматизации проектирования с другими информационными системами, организации процесса проектирования.

В основе стратегии обучения лежат принципы проблемно-деятельностного подхода, основанные на самостоятельной поисковой деятельности обучаемого и предусматривающие следующую последовательность достижения целей:

- объяснение основных теоретических положений;
- постановка задачи в форме проблемной ситуации;
- самостоятельное решение задачи в ходе учебно-практической деятельности и формирование в сознании обучаемого собственных концептуальных структур знаний, соответствующих предоставляемому материалу.

Декомпозиция задачи обучения основана на типизации информации о предметной области автоматизированного проектирования. Создание модели процесса автоматизированного проектирования (АП) основано на инженерных знаниях в области автоматизированного проектирования. Под инженерными знаниями K понимается система абстрактных понятий профессионального содержания, порождающих семиотические структуры, которые позволяют однозначно описать, распознать и дифференцировать реальные объекты предметной области и их свойства.

Модель предметной области АП должна включать описание проектируемого изделия, ресурсов и процесса проектирования. Определим знания предметной области АП технических и информационных объектов как четверку: $K = \langle G, R, P, W \rangle$, где G – множество объектов проектируемого изделия; R – множество реализаций отношений между объектами множества G ; P – множество действий, которые можно выполнять с элементами множеств G и R для решения задач проектирования; W – ресурсы, необходимые для выполнения проектирования. В модели должны учитываться функциональный, ин-

формационный, структурный и поведенческий (процессный) аспекты. Особенности процедурной обработки в САПР описаны в [1], [2]. Знания любой предметной области имеют две составляющие: декларативную и процедурную (см. таблицу). Для декларативного представления знаний используются таксономия понятий предметной области и языки описаний. Процедурные знания можно разделить на операционные и управляющие. К операционным знаниям относятся методы, процессы и процедуры, а к управляющим – стратегии, способы их реализации и условия выбора проектных процедур. В качестве функционально замкнутых единиц декларативных знаний предметной области автоматизированного проектирования выделены понятия и отношения предметной области, свойства объектов, проектные описания и проектные ситуации. В совокупности они образуют единую систему абстрактных понятий, взаимосвязанных между собой. К операционным знаниям относятся методы, процессы и процедуры, а к управляющим – стратегии, способы реализации стратегий и условия выбора проектных процедур.

K	Знания			
	декларативные		процедурные	
	таксономические	описательные	операционные	управляющие
K_m	S_i	O_i	M	Ψ
K_a	S_a	O_o	P	U
K_s	S_s	O_s	ω	Ψ

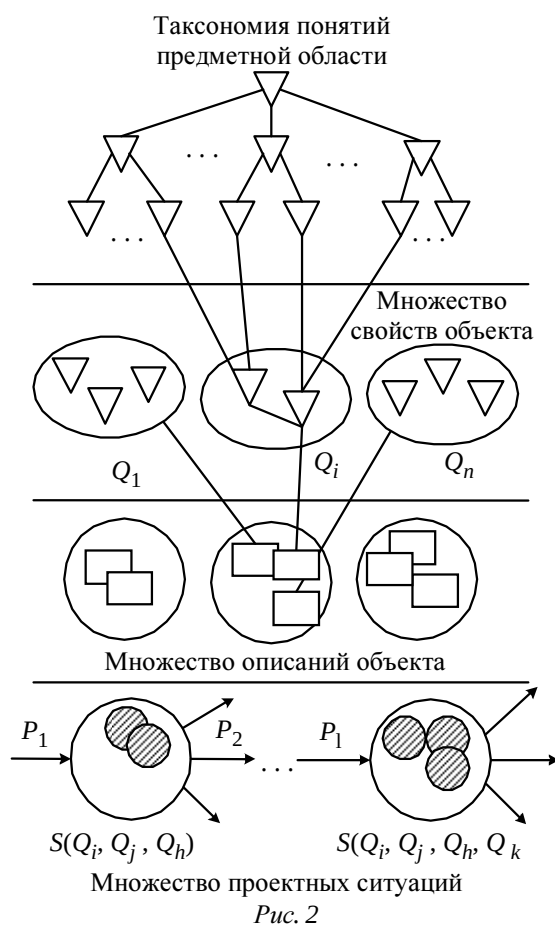
Проводя общую систематизацию знаний, можно выделить следующие уровни процедурных и декларативных компонентов знаний, различающихся степенью их общности: метазнания K_m , знания об автоматизированном проектировании K_a и знания о проектной ситуации K_s . В таблице использованы следующие обозначения: S_i – структура понятий окружающего мира, S_a – структура понятий автоматизированного проектирования, S_s – структура понятий проектной ситуации, O_i – описание окружающего мира, O_o – описание области автоматизированного проектирования, O_s – описание проектной ситуации, M – методы; P – процессы, ω – процедуры, Ψ – стратегии, U – способы реализации стратегий, ψ – условия выбора процедуры (тактики). Метазнания, или знания общего назначения, справедливы в любых областях человеческой деятельности и характеризуют универсальные понятия и методы решения задач. Знания второго уровня – это собственно профессиональные знания об автоматизированном проектировании, представленные в базе знаний. Знания нижнего уровня представляют собой информацию о текущей проектной ситуации, включающую понятия, отношения и процедуры, с которыми разработчик имеет дело непосредственно в процессе проектирования, и являются конкретным выражением знаний второго уровня. Декларативные знания метауровня – это метаонтология окружающего мира. *Метаонтология* оперирует общими понятиями и отношениями, которые не зависят от предметной области. Концептами этого уровня являются такие понятия, как «объект», «свойство», «значение». В этом случае на верхнем уровне получается интенциональное описание свойств предметной онтологии и онтологии задач. *Предметная онтология* содержит понятия, описывающие конкретную предметную область, отношения, семантически значимые именно для этой предметной области, и множество интерпретаций этих понятий и отношений (декларативных и процедурных). Ос-

нову предметной онтологии в САПР составляют знания об АП. *Онтология задач* в качестве понятий содержит типы решаемых задач, а отношения этой онтологии, как правило, определяют декомпозицию задач на подзадачи. Декларативные знания о проектной ситуации – это онтология задач в области автоматизированного проектирования.

Под формальной моделью онтологий Ω будем понимать упорядоченную тройку вида: $\Omega = \langle C, R, F \rangle$, где C – конечное непустое множество концептов предметной области, которую представляет онтология; R – конечное множество отношений между концептами заданной предметной области; F – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии. Важным аспектом создания модели предметной области является формирование таксономии понятий. Таксономия – частный случай онтологии, а именно $\Omega = T = \langle C, \{R_T\}, \{\} \rangle$, где R_T – теоретико-множественные отношения. Таксономия используется для смыслового разделения лексики предметной области. В таксономии различают свойства и их значения. Свойства указывают точки смыслового дробления лексики, а их значения определяют области, получаемые в результате такого дробления.

В качестве функционально замкнутых единиц декларативных знаний предметной области автоматизированного проектирования выделены (рис. 2) понятия и отношения предметной области, свойства объектов, проектные описания и проектные ситуации. В совокупности они образуют единую систему абстрактных понятий, взаимосвязанных между собой. Онтология обеспечивает необходимые и достаточные условия для манипулирования знаниями в целях описания, сравнения и композиции ресурсных, процедурных и информационных компонентов САПР и управления знаниями в проектной деятельности. Актуальность задачи определяется новизной создания онтологических баз знаний как одного из передовых направлений инженерии знаний.

Архитектура СППР показана на рис. 3. Цифрами обозначены следующие подсистемы: 1 – обработка экспертных оценок; 2 – оценка системы на основе статистики прошлых проектов; 3 – имитационное моделирование; 4 – оценка сложности проекта; 5 – БД оценок экспертов; 6 – БД статистики проектов; 7 – БД моделей компонентов. В системе используются различные методы моделирования и анализа бизнес-процессов. В качестве инструментальных средств обработки результатов моделирования применяются: метод экспертных оценок, аналитические средства обработки больших объемов проектных данных на основе OLAP-решений и



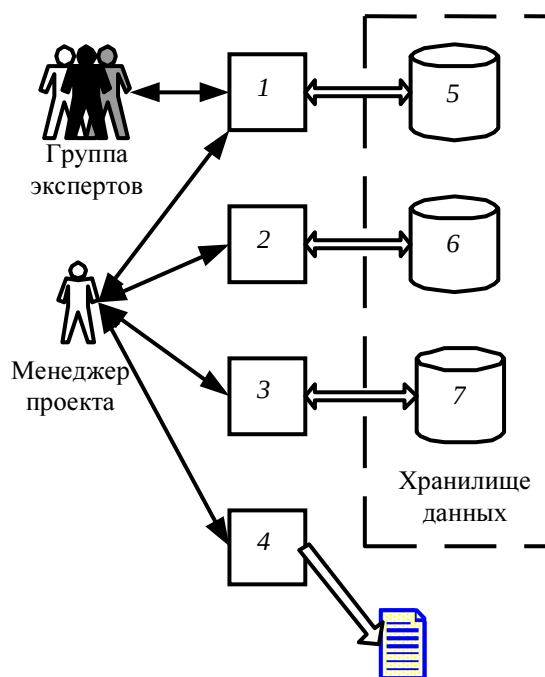


Рис. 3

технологий Data Mining, а также имитационное моделирование. Для реализации каждого из перечисленных методов применяется своя БД, обеспечивающая информационную поддержку процесса моделирования. Обозначенные на рис. 3 цифрами 5, 6 и 7 базы данных объединены в общее хранилище данных, обеспечивающее единое информационное пространство для организации процесса поддержки проектных решений.

В результате выполнения курсового проектирования с помощью СППР САПР у студентов развивается аналитическое мышление, формируются навыки создания таксономической схемы понятий предметных областей и принятия обоснованных решений по систематизации знаний в слабоструктурированных предметных областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новакова Н. Е. Разработка эскизного проекта многопользовательской конструкторской САПР: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.
2. Новакова Н. Е. Системная модель процесса автоматизированного проектирования, разработки и реализации программно-информационных систем. // Сб. докл. междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, 27–29 июня 2005. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. Т. 2. С. 103–106.

N. E. Novakova

COMPUTER-AIDED DESIGN DECISION-MAKING SYSTEM: THE SPECIFIC OF EDUCATION PROCESS

Activity-level approach to training of students is offered. The architecture of Computer-Aided Design decision-making system is considered. Computer-aided design in a distributed informational environment is offered. The principles of training of students with means decision-making system are described.

Computer-Aided Design decision-making system, CAD-system, knowledge representation, ontology, computer-aided design process, training



УДК 338

А. В. Звонцов, В. П. Семенов

РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РОССИИ

Рассматриваются вопросы, посвященные формированию инновационного предпринимательства в Российской Федерации, приводится развернутая классификация инновационного предпринимательства, анализируется мировая практика перевода отраслей национальных экономик на инновационный путь развития.

Инновационное предпринимательство, особые экономические зоны, модель инновационного развития экономической системы, Российская венчурная компания

Усиление позиций и влияния России в мире невозможно без ее экономического возрождения. В связи с этим в последнее время перед нашей страной все острее ставится проблема повышения темпов экономического роста, решение которой предполагает осуществление перехода национальной экономики от экстенсивного пути развития, основанного на добыче и экспорте энергетических природных ресурсов, на инновационный путь, предполагающий коренную модернизацию отечественной производственной базы и широкомасштабное внедрение современных инновационных технологий.

Мировая практика хозяйствования выделяет в зависимости от использования достижений научно-технического прогресса два основных типа предпринимательской деятельности – традиционное и инновационное предпринимательство.

Традиционное предпринимательство использует обычные, ранее наработанные приемы и методы для получения максимальной отдачи от имеющихся ресурсов и не предполагает осуществление мероприятий, направленных на создание принципиально новых видов продукции (технологий) или кардинальную модернизацию уже существующих.

В свою очередь, инновационное предпринимательство представляет собой особую форму осуществления хозяйственной деятельности, в основе которой лежит постоянный поиск новых возможностей и ориентация предпринимателя на создание инновации. В случае успешного вывода на рынок инновационного продукта и его реализации предприниматель

сможет достичь существенных преимуществ по сравнению с конкурентами, а также получить больший доход, чем если бы он занимался традиционным предпринимательством. Однако инновационное предпринимательство сопряжено и с большим риском, связанным с возможностью неприятия потребителем продукции нового типа или завершением исследовательско-конструкторских работ неудачей.

Инновационное предпринимательство предусматривает разработку и введение следующих типов новшеств:

- 1) торговых инноваций;
- 2) инноваций технологий;
- 3) производственных инноваций;
- 4) экономических инноваций;
- 5) инноваций в области управления;
- 6) социальных инноваций.

Развитие *торговых инноваций* представляет собой процесс обновления сбытового потенциала предприятия, обеспечивающий выживаемость компании, увеличение объема получаемой прибыли, расширение доли на рынке, сохранение клиентуры, укрепление независимого положения, повышение престижа, создание новых рабочих мест и т. д.

В свою очередь, развитие *производственных инноваций* ориентировано на расширение производственных мощностей компании, проведения диверсификации производственной деятельности.

Инновация технологии – это процесс обновления производственного потенциала, связанный с освоением нового типа продукции, внедрением новых технологических процессов и направленный на повышение производительности труда и экономии энергии, сырья и других ресурсов, что, в свою очередь, позволяет увеличить объем прибыли компании, усовершенствовать технику безопасности, провести мероприятия по защите окружающей среды, эффективно использовать внутрифирменные информационные системы.

Внедрение *экономических инноваций* связано с желанием руководства компании изменить ситуацию в области планирования производственной деятельности в целях снижения уровня существующих затрат, оптимизации движения финансовых потоков, повышения стабильности и бесперебойности.

Разработка и внедрение *инноваций в области управления* направлены на оптимизацию процессов принятия решений менеджментом компании, улучшение организационной структуры в целях формирования ее динамичности, гибкости, повышения уровня адаптации деятельности компании к изменяющимся условиям внешней среды.

Последний вид инновационного предпринимательства – *социальные инновации* – представляет собой общий процесс планомерного улучшения гуманитарной сферы компании. Применение инноваций такого рода расширяет возможности на рынке рабочей силы, мобилизует персонал компании на достижение поставленных целей, укрепляет доверие к социальным обязательствам компании перед сотрудниками и обществом в целом.

Следует отметить, что разделение предпринимательства на традиционное и инновационное носит довольно условный характер, так как в большинстве случаев, учитывающих агрессивное воздействие существующей на рынке конкурентной среды, производство и поставка на рынок традиционных товаров осуществляются с использованием каких-то новых элементов и приемов, связанных с организацией производства, его отдельных технических элементов или повышением качественных характеристик выпускаемой продукции, что также можно рассматривать как внесение частичных инноваций.

Формирование экономической системы инновационного типа требует осуществления серьезных финансовых вложений в научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность (НИОКР) как со стороны государства, так и со стороны частного бизнеса.

В таблице приводятся данные о внутренних затратах, связанных с исследованием (построена по данным Росстата [gks.ru] и [3]).

Внутренние затраты на исследования и разработки в процентах к ВВП

Страна	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Россия	0.85	1.05	1.18	1.25	1.28	1.16	1.07	1.08	1.10
Великобритания	1.95	1.86	1.87	1.89	1.88	1.89	1.87	1.87	1.86
Германия	2.19	2.45	2.46	2.49	2.52	2.49	2.51	2.48	2.44
Франция	2.29	2.15	2.20	2.23	2.18	2.16	2.13	2.12	2.11
Канада	1.72	1.94	2.13	2.06	2.00	1.99	1.98	1.94	1.89
США	2.51	2.74	2.76	2.65	2.68	2.68	2.66	2.59	2.64
Китай	0.60	0.90	0.95	1.07	1.13	1.23	1.34	1.41	1.49
Япония	2.90	2.99	3.07	3.12	3.15	3.13	3.18	3.12	3.04

Вместе с тем в России в течение последних десятилетий просматривается четкая тенденция, связанная с сокращением количества численности персонала, занятого исследованиями и разработками. Если в 1992 г. в стране насчитывалось свыше 800 тыс. человек, осуществляющих исследования (данные представлены без учета технического и вспомогательного персонала), то в 2007 г. их численность сократилась более чем в два раза и составила 386 тыс. человек, а средний возраст превысил 50 лет. Одной из основных причин сокращения численности персонала, занятого научными исследованиями, является низкий уровень заработной платы научных работников по сравнению с работниками, занятыми в иных отраслях национальной экономики.

Представленные данные отражают не только существенное отставание России по уровню финансирования научных исследований, в конечном итоге приводящему к низкой конкурентоспособности отечественной продукции по сравнению с аналогичной продукцией зарубежных компаний, но одновременно свидетельствуют об отсутствии у руководства страны четкого детализированного плана реформирования отечественной экономики, направленного на сокращение данного опасного разрыва. Противоположная ситуация складывается в Китае: если в 1995 г. затраты Китая на НИОКР составляли всего 0.6 % от ВВП, то в настоящее время прослеживается четкая динамика их увеличения. За последние двадцать лет объем продукции новейших технологий в Китае вырос более чем в 27 раз, а их доля в валовом промышленном продукте увеличилась с 8.1 до 35.4 %. Также Китай ежегодно увеличивает более чем на 15 % экспорт высокотехнологической продукции. По

мнению экспертов Института мировой экономики и международных отношений РАН, при сохранении подобной динамики уже к 2025 г. Китай сможет выйти на второе место (после США) по уровню финансирования НИОКР, а к 2050 г. стать мировым лидером в сфере науки и технологий [1].

Рассмотрим более подробно практический опыт формирования механизмов инновационной экономики в США. Исследование процессов, протекающих в экономике США, показывают [3], что именно частный бизнес финансирует большую часть от совокупного объема НИОКР (78.1 %), при этом каждая из ста крупнейших по объему затрат на научные исследования корпораций расходует на эти цели в среднем более 60 % получаемой прибыли.

На плечи государства в США ложится обязанность по финансированию фундаментальных исследований как основы для дальнейшего появления новых открытий и технологий, имеющих практическое применение, а также подготовка высококвалифицированных кадров, отвечающих потребностям научно-технического развития национальной экономики.

Бурное развитие и внедрение инновационных технологий в экономике США стали возможными после перехода большинства американских компаний от замкнутой модели инновационного процесса к модели открытых инновационных процессов.

Замкнутая модель инновационного процесса опирается на собственные изобретения и собственные ресурсы (как материальные, так и трудовые). При этом все бремя затрат, связанных с созданием лабораторий, проведением исследований и организацией их коммерциализации, ложится исключительно на материнские компании. Существенными недостатками такой модели организации инновационной деятельности являются концентрация усилий не в области разработки принципиально новых видов техники и технологий, а в сфере совершенствования уже существующих видов, неспособность и нежелание использовать ценные и перспективные научные открытия, не соответствующие основным видам деятельности компаний, возникновение высоких бюрократических барьеров при реализации нужных достижений.

В свою очередь, модель открытых инновационных процессов предполагает создание сети венчурных и кооперативных фондов, обеспечивающих постоянное взаимодействие корпораций с малыми инновационными фирмам. Отношения крупных компаний с малым инновационным бизнесом строятся преимущественно на основе предоставления ссуд и операций с акциями малых фирм в период внедренческой стадии и коммерциализации новаций.

Модель открытых инновационных процессов также предполагает широкое использование механизмов научно-исследовательских партнерств, выражающееся в создании альянсов между компаниями в целях совместной разработки и вывода на рынок новых технологий. Данные объединения позволяют участникам реализовывать масштабные и сложные проекты, требующие значительных сроков проведения НИОКР. Кроме того, создание научно-исследовательских партнерств позволяет компаниям-участницам получить доступ к результатам исследований друг друга, а также минимизировать уровень собственных рисков, связанных с неудачным выводом на рынок новой продукции или технологии.

Но вернемся к отечественным реалиям. Стремясь переломить ситуацию, связанную с отставанием России по уровню научно-технологического развития от ведущих стран мира, руководство страны предприняло ряд мер, способных в будущем сократить данный опасный разрыв. Так с 22 июля 2005 г. в России действует Федеральный закон 116-ФЗ «Об особых экономических зонах в Российской Федерации», предусматривающий создание и развития технико-внедренческих экономических зон, аналогичных так называемой Силиконовой долине в США и зонам технико-экономического развития в Китае.

Мировая практика создания показывает, что при создании подобных экономических зон необходимо учитывать следующие три фактора [2]:

- 1) выгодность экономико-географического положения;
- 2) развитость инфраструктуры;
- 3) приемлемый для инвесторов набор льгот (прежде всего налоговых).

Существенной характеристикой особых экономических зон является создание уникального режима хозяйствования, который включает следующие основные элементы:

а) таможенные льготы (введение особого таможенно-тарифного режима с упрощением процедуры проведения внешнеторговых операций);

б) налоговые льготы (налоговые каникулы на срок от 5 до 20 лет, полное или частичное освобождение от налогов реинвестируемой прибыли на срок до 5 лет, скидки с налога на прибыль, освобождение иностранных инвесторов от уплаты налогов на собственность, налога с оборота и др.);

в) финансовые льготы (инвестиционные субсидии новым вкладчикам капитала, льготные государственные кредиты, снижение ставок арендной платы, коммунальных услуг, за пользование земельными участками и производственными помещениями и др.);

г) административные преференции (упрощение процедуры регистрации предприятий и визового режима для иностранных физических лиц);

д) сервисные факторы (оказание комплекса услуг предприятиям-участникам особых экономических зон).

Необходимо отметить, что только при учете трех перечисленных факторов возможно достичь положительного эффекта от работы особой экономической зоны. К сожалению, данный закон содержит ряд положений, которые могут поставить под угрозу саму возможность создания особых экономических зон. Так, согласно закону подготовка и развитие инфраструктуры территории, на которой в дальнейшем расположится особая экономическая зона, должны осуществляться на паритетных началах как за счет федерального, так и регионального бюджетов. Однако многие региональные власти не в состоянии осуществить такие траты, в связи с недостаточным уровнем наполнения региональных бюджетов. Решением проблемы может стать принятие российскими федеральными властями на себя всех расходов, связанных с созданием необходимой инфраструктуры для функционирования открытых экономических зон.

Вторым основным шагом, предпринятым руководством России для ускорения темпов научно-технологического развития, стало создание в 2006 г. Российской венчурной компании. Основная цель основания компании – создание и развитие системы национальных венчурных фондов, которые со временем смогут самостоятельно эффективно функционировать без участия государства.

Механизм работы Российской венчурной компании выглядит следующим образом: на регулярно проводимых конкурсах управляющие компании будут конкурировать за право продать инвестиционные паи своего фонда Российской венчурной компании. Обязательным условием участия управляющей компании в конкурсе является формирование 51 % капитала венчурного фонда за счет средств частных инвесторов. За управление венчурным фондом управляющая компания сможет получать вознаграждение – 2,5 % от активов фонда в год на текущие расходы и 20 % от чистой прибыли фонда по итогам работы. Кроме этого, венчурные управляющие и частные инвесторы фонда смогут выкупить у Российской венчурной компании ее 49 % паев по фиксированной доходности, вернув ее деньги и доход за каждый год по ставке 3 % годовых.

Создание Российской венчурной компании призвано снизить риск инвесторов при осуществлении вложений в отечественные компании, занимающиеся научными исследованиями.

Однако перечисленных мер недостаточно для ускорения темпов научно-технологических процессов в экономике России. Формирование инновационной экономики потребует провести коренную перестройку государственной фискальной политики, направленной на снижение налогового бремени тех компаний, которые активно занимаются созданием и внедрением инноваций (например, в части налога на прибыль и НДС), а также формирование эффективного механизма защиты прав интеллектуальной собственности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Год планеты. Выпуск 2007: Экономика, политика, безопасность / Гл. ред. В. Г. Барановский. – М.: Наука, 2007.
2. Проблема эффективности в XXI веке: экономика США / Отв. ред. В. И. Марцинкевич; Ин-т мировой экономики и междунар. отношений РАН. – М.: Наука, 2006.
3. Россия и страны мира. 2006: Стат. сб. / Росстат. – М., 2006.

A. V. Zvontsov, V.P. Semenov

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE BUSINESS IN RUSSIA

In clause the questions, devoted to formation of innovative business in the Russian Federation are considered, the developed classification of innovative business is resulted, the world practice of translation of branches of national economies on an innovative way of development is analyzed.

Innovative business, special economic zones, model of innovative development of economic system

ПРОЦЕССНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ГОСТИНИЦЫ

Рассмотрены механизмы регулирования качества гостиничного обслуживания в Российской Федерации, дана классификация показателей качества гостиничного сервиса. Показана роль системы менеджмента качества (СМК) гостиницы в обеспечении качества и управлении характеристиками качества услуг. Представлена процессная модель СМК гостиницы в соответствии с требованиями и рекомендациями стандартов серии ISO 9000:2000.

Организации гостиничного типа, механизмы регулирования качества и показатели качества гостиничного обслуживания, стандарты серии ISO 9000:2000, система менеджмента качества, процессная модель СМК гостиницы

Механизмы регулирования качества гостиничного обслуживания в Российской Федерации. В настоящее время гостиничный бизнес является интенсивно развивающейся отраслью услуг, имеющей важное значение для развития и создания инфраструктуры туристического бизнеса в городах и регионах, и, в значительной степени, определяет их привлекательность для их посещения туристами, бизнесменами и т. п. [1].

Одним из важнейших факторов привлекательности гостиниц является качество предоставляемых услуг, обеспечивающих удовлетворенность клиентов. В условиях жесткой конкуренции качество обслуживания и спектр предоставляемых гостиницами услуг определяют их конкурентоспособность, возможности развития и закрепления на рынке.

В соответствии с последней версией международного стандарта ISO 9000:2005(E) «Системы менеджмента качества – Основные положения и словарь» [2] качество – степень, в какой совокупность собственных (присущих) характеристик (объекта) соответствует требованиям. При этом под требованиями здесь понимаются требования потребителей и других заинтересованных сторон, а также любые другие установленные, т. е. сформулированные в документе, требования, например, требования по лицензированию, сертификации, требования стандартов корпоративных объединений (сетей) гостиниц и др.

Качество гостиничных услуг в Российской Федерации (РФ) обеспечивается контролем и надзором за этим качеством со стороны государства и международных сетей гостиниц, а также их собственными системами менеджмента качества (СМК). Таким образом, механизмы регулирования и менеджмента качества гостиничного обслуживания в РФ в общем случае имеют три уровня и включают [1]:

- методы и средства государственного регулирования качества гостиничного обслуживания, основанные на федеральных законах, положениях и процедурах лицензирования отдельных видов деятельности и сертификации гостиниц;
- процедуры международной сертификации гостиниц, методы и средства сетевого регулирования качества гостиничного обслуживания, основанные на сетевых стандартах (если гостиница входит в международную сеть гостиниц);

– механизмы, обеспечиваемые собственными СМК гостиниц, построенными, например, в соответствии с требованиями и рекомендациями международных стандартов по менеджменту качества серии ISO 9000:2000 [2]–[4].

На рис. 1 представлена трехуровневая система регулирования и менеджмента качества гостиничного обслуживания в РФ.

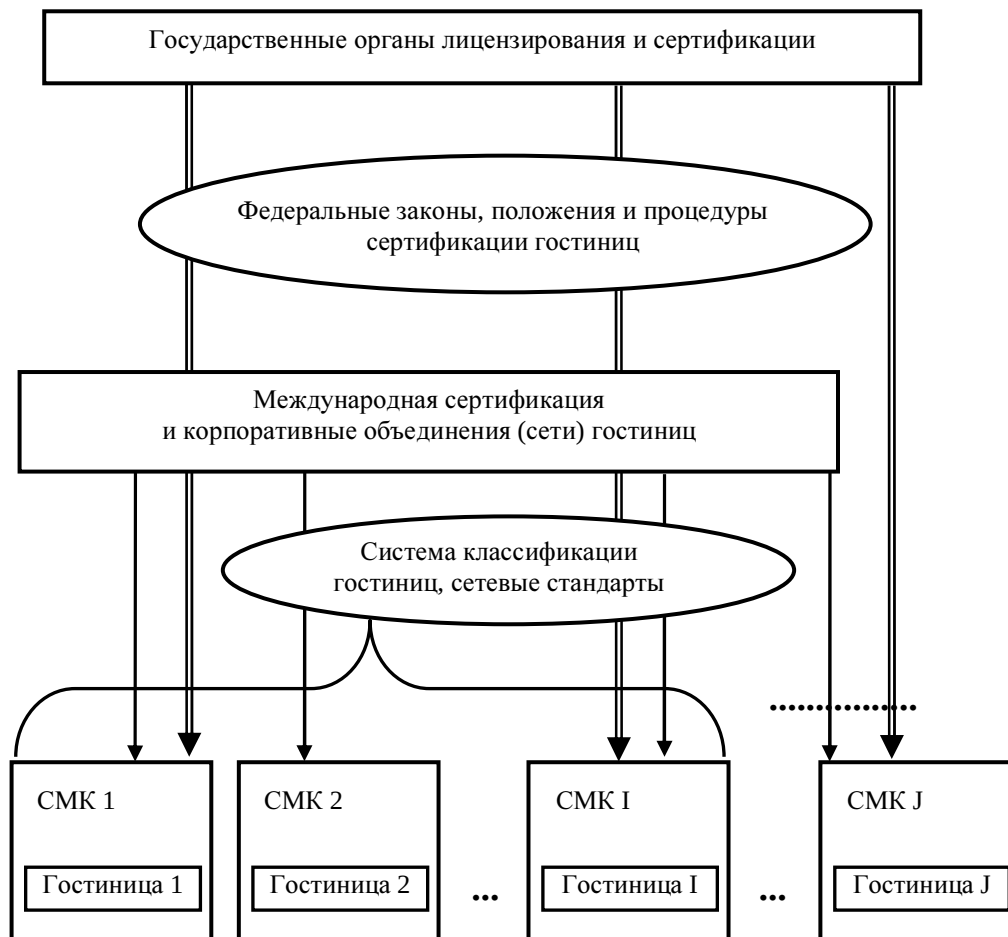


Рис. 1

В настоящее время в соответствии с Федеральным законом (ФЗ) № 128-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» от 08.08.2001 г. [5] деятельность гостиниц не является лицензируемым видом деятельности.

Сертификация (подтверждение соответствия) гостиниц в РФ согласно ФЗ «О техническом регулировании» № 184 от 27.12.2002 г. [6] носит добровольный характер и регламентируется Приказом Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации № 197 «Об утверждении положения о государственной системе классификации гостиниц и других средств размещения» от 21.06.2003 г. [7]. Этот документ устанавливает цели, организационную структуру и порядок проведения работ в Системе классификации гостиниц и других средств размещения на категорию («без звезд», «одна звезда», «две звезды», «три звезды», «четыре звезды», «пять звезд»).

Создание системы добровольной сертификации гостиниц должно было бы привести к росту заинтересованности участников рынка гостиничных услуг в получении сертификата, в определенной степени являющегося подтверждением качества условий проживания и пре-

доставляемых услуг. Однако в силу определенных объективных и субъективных причин (стоимость сертификации, длительная окупаемость затраченных на сертификацию средств, добровольность сертификации и непонимание важности данной процедуры для имиджа гостиницы и др.) немногие гостиницы прошли на данный момент процедуру сертификации.

Таким образом, механизмы государственного регулирования качества гостиничного обслуживания не в полной мере могут гарантировать это качество.

Второй уровень обеспечения качества гостиничного обслуживания регулируется процедурами международной сертификации гостиниц, основанной на их классификации, и стандартами обслуживания гостиничных сетей.

Существует ряд международных критериев, по которым сертификационные органы оценивают уровень отеля. Прежде всего, это степень предлагаемого комфорта и разнообразие предоставляемых услуг. Затем – размеры и уровень комфортности номеров и служебных помещений, сервисные возможности: наличие ресторана и бара, сауны и бассейна, охраняемой автостоянки и службы заказа такси, международного телефона, камеры хранения и др. Совокупность этих критериев позволяет отнести гостиницу к определенному классу с присвоением ей соответствующей категории. Критерии, по которым оцениваются гостиницы и номера в них, согласовываются и утверждаются национальными и международными организациями, объединяющими туристские предприятия и фирмы.

В настоящее время большое распространение получило создание гостиничных сетей. Гостиницы, входящие в международные сети, в обязательном порядке проходят международную сертификацию с присвоением им определенной категории. Кроме того, каждая гостиничная сеть имеет свои стандарты обслуживания, распространяющиеся на процессы предоставления услуг и отличающие одну сеть от другой. В стандартах западных сетей прописано буквально все: от того, через сколько секунд должна подниматься трубка телефона при вызове абонента, до того, сколько времени горничная тратит на уборку постели.

Как следует из вышеизложенного, международная сертификация и стандарты международных сетей гостиниц обеспечивают более высокий уровень гарантий качества гостиничных услуг по сравнению с механизмами его государственного регулирования. Тем не менее, большинство российских гостиниц не входит в международные гостиничные сети, и следовательно механизмы сетевого регулирования качества гостиничных услуг для них не применимы.

Показатели качества гостиничного сервиса – это качественные или количественные характеристики одного или нескольких свойств услуги. Показатели (характеристики) качества гостиничных услуг можно условно разделить на три группы (рис. 2).

К группе I относятся *характеристики потенциальных ресурсов гостиницы*, такие как инфраструктура, характеристики номерного фонда, требования пожарной безопасности, экологические требования и др. Контроль и надзор за этими характеристиками осуществляется в рамках процедур государственного лицензирования отдельных видов деятельности гостиниц, добровольной государственной и международной сертификации гостиниц.

К группе II относятся *характеристики процессов предоставления гостиничных услуг*, регламентируемые стандартами международных корпоративных объединений гостиниц. К таким характеристикам относятся, например, порядок регистрации гостя, порядок уборки номеров, формы и регламенты предоставления дополнительных услуг и др. Контроль и надзор за характеристиками этой группы обычно осуществляется аудиторами корпоративных объединений или независимыми аудиторскими компаниями.

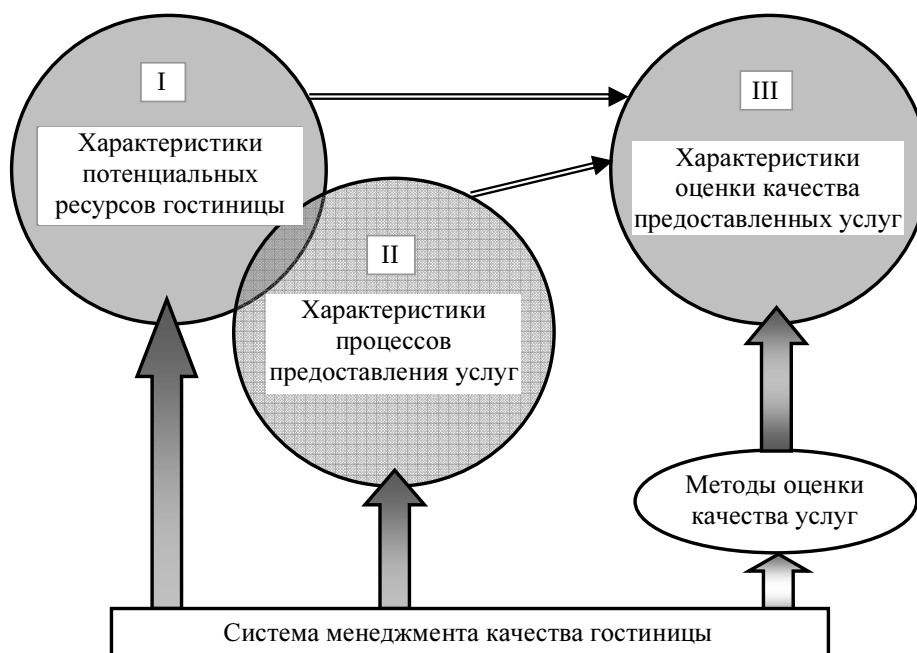


Рис. 2

К группе III относятся *характеристики оценки качества предоставленных услуг*, получаемые посредством принятых в гостинице методов оценки их качества со стороны потребителей и руководства гостиницы. В основе таких методов могут лежать методы опроса и анкетирования посетителей гостиницы, а также внутренние проверки качества реализации гостиничных услуг. Необходимо отметить, что сетевые стандарты включают определенные процедуры оценки характеристик качества предоставленных услуг, однако эти характеристики носят обобщенный характер и не позволяют осуществлять полноценное управление бизнес-процессами гостиницы.

Для большинства гостиниц, не входящих в корпоративные объединения, в настоящее время не существует ни единого перечня таких характеристик, ни единой методики их оценки. Поэтому каждая гостиница оценивает характеристики этой группы исходя из своих собственных представлений и сложившихся традиций, либо не оценивает их вовсе. В то же время характеристики апостериорной оценки качества предоставленных услуг являются важнейшими показателями удовлетворенности потребителей, качества работы организации в целом, ее бизнес-процессов и основой для планирования корректирующих и предупреждающих действий, а также мероприятий по улучшению работы гостиницы.

Несмотря на то, что характеристики первых двух групп во многом определяют уровень качества предоставленных услуг, первые два уровня государственного и сетевого ре-

гулирования качества гостиничного обслуживания не полностью обеспечивают оценку и управление характеристиками III группы, а следовательно, и не дают полной гарантии удовлетворенности потребителей.

В то же время СМК гостиницы, созданная на основе требований и рекомендаций международных стандартов серии ISO 9000:2000 [2]–[4], могла бы обеспечить оценку и управление характеристиками качества всех трех групп посредством своих процессов (управления ресурсами, жизненного цикла услуги, измерения, анализа и улучшения), как это показано на рис. 2.

Кроме того, в сложившихся условиях, когда механизмы государственного и сетевого регулирования деятельности гостиниц не могут в полной мере обеспечить высокое качество гостиничных услуг, СМК гостиницы является наиболее эффективным механизмом гарантий качества для потребителей.

Процессная модель СМК гостиницы. Одним из основных принципов, положенных в основу стандартов серии ISO 9000:2000 [2]–[4], является процессный подход в управлении организацией. Этот принцип утверждает, что желаемый результат достигается эффективнее, если различными видами деятельности организации и соответствующими ресурсами управляют как процессами [2]. Реализация такого подхода приводит к необходимости инвентаризации всех жизненно важных процессов организации, определению целей процессов в зависимости от требований потребителей, определению лиц, ответственных за эти процессы, и документальной регламентации этих процессов в рамках СМК организации.

Таким образом, суть процессного подхода заключается в том, что организация рассматривается как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих процессов, а управление организацией осуществляется посредством управления этими процессами.

Общая методология внедрения процессного подхода при создании СМК организации включает следующие основные этапы [8], [9]:

1. Выделение, классификация и идентификация бизнес-процессов организации, составление их реестра и обобщенной карты взаимодействия, что является основой для построения процессной модели СМК организации.

2. Разработка информационных карт (спецификаций) процессов, описывающих:

- входы и выходы каждого процесса и требования к ним со стороны организации и потребителей;

- поставщиков и потребителей процесса;

- стадии, этапы и виды деятельности (работы) в рамках процесса и ссылки на соответствующие регламентирующие документы, исполнителей и требуемые ресурсы для реализации процесса;

- измеряемые характеристики и показатели качества процесса и его результатов, методы их измерения и контроля, а также их планируемые целевые значения;

- распределение полномочий и ответственности за процесс, включая назначение ответственного за него лица – владельца или менеджера процесса и др.

3. Разработка графического описания процессов (диаграммы потока, диаграммы в стандартах IDEF0/DFD/IDEF3 и др.). Графические описания могут рассматриваться как дополнения к информационным картам или документированным процедурам процессов.

4. Разработка документированных процедур, регламентирующих процессы или отдельные их этапы, если это требуется стандартом ISO 9001:2000 (ГОСТ Р ИСО 9001–2001) [3] или признано желательным в силу недостаточности описания процесса с помощью информационных карт.

5. Внедрение и реализация процессного подхода в рамках всей организации на основе разработанных документов.

6. Реализация системы измерений, мониторинга и постоянного улучшения процессов.

В таблице представлен реестр типовых процессов и видов деятельности организации гостиничного типа. При этом деятельность по измерению, анализу и улучшению является составной частью всех процессов СМК организации.

Реестр типовых процессов и видов деятельности в рамках СМК гостиницы

1	<i>Деятельность и процессы управления в организации гостиничного типа</i>
1.1	Формирование стратегии, политики и целей в области качества
1.2	Планирование и развитие организации и ее СМК
1.3	Распределение ответственности и полномочий
1.4	Организация подготовки к лицензированию гостиницы и сертификации СМК
1.5	Анализ СМК организации гостиничного типа со стороны руководства
1.6	Коммуникации и распространение информации во внутренней и внешней среде
2	<i>Основные процессы системы менеджмента качества гостиницы</i>
2.1	Маркетинг и прогнозирование рынка
2.2	Разработка и проектирование основных и дополнительных услуг
2.3	Цикл обслуживания гостя (предоставление услуги)
3	<i>Вспомогательные и обеспечивающие процессы</i>
3.1	Управление закупками
3.2	Процессы, обеспечивающие дополнительные услуги
3.3	Управление персоналом
3.4	Бухгалтерская и финансовая деятельность
3.5	Управление инфраструктурой (инженерная служба)
3.6	Управление информационно-коммуникационной средой
3.7	Управление производственными средами дополнительных служб
3.8	Обеспечение безопасности жизнедеятельности
4	<i>Деятельность и процессы по измерению, анализу и улучшению</i>
4.1	Мониторинг, измерение и анализ процессов
4.2	Управление несоответствиями, корректирующие и предупреждающие действия
4.3	Улучшение процессов

На рис. 3 представлена обобщенная процессная модель СМК гостиницы, включающая все процессы и виды деятельности, представленные в реестре (таблица), при этом детализированы основные этапы главного процесса гостиницы «Цикл обслуживания гостя».

Реализация рассмотренной процессной модели СМК гостиницы, созданной на основе требований и рекомендаций международных стандартов серии ISO 9000:2000, включая систему измерений, мониторинга и постоянного улучшения процессов, делает возможным оценку и управление рассмотренными характеристиками качества всех трех групп (см. п. 2) и, тем самым, служит гарантией качества гостиничного обслуживания.

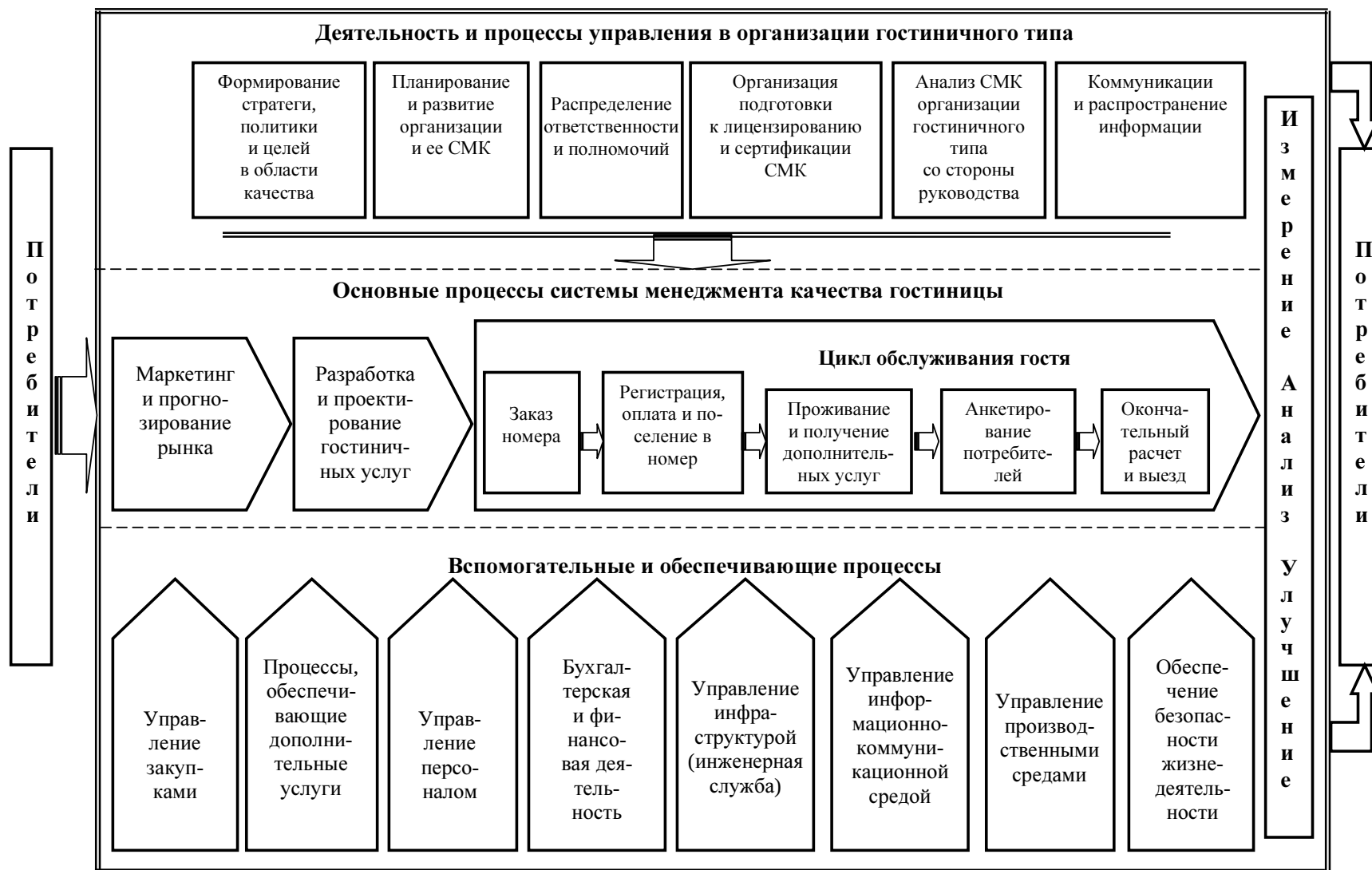


Рис. 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононова И. В., Соболев В. С. Управление качеством обслуживания и персоналом в организациях гостиничного типа на основе принципов менеджмента качества // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Экономика и менеджмент организации. 2006. № 1. С. 79–92.
2. Международный стандарт ISO 9000:2005(E). Системы менеджмента качества – Основные положения и словарь. 3-е изд. 2005-09-15 / Пер. с англ. группы компаний «ИНТЕРСЕРТИФИКА» в ред. от 10.11.2005.
3. ГОСТ Р ИСО 9001–2001. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Изд-во стандартов, 2001.
4. ГОСТ Р ИСО 9004–2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. М.: Изд-во стандартов, 2001.
5. Федеральный закон № 128-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» от 08.08.2001 г.
6. Федеральный закон № 184 «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г.
7. Приказ Министерства экономического развития и торговли РФ (Минэкономразвития России) № 197 «Об утверждении положения о государственной системе классификации гостиниц и других средств размещения» от 21 июня 2003 г. (Зарегистрирован в Минюсте РФ 21 августа 2003 г. Регистрационный № 4996).
8. Методические рекомендации по внедрению типовой модели системы качества образовательного учреждения // В. В. Азарьева, В. И. Круглов, Д. В. Пузанков и др. СПб.: ПИФ.com, 2007.
9. Кононова И. В. Особенности менеджмента качества в организациях гостиничного типа // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Экономика и менеджмент организации. 2007. № 2. С. 99–106.

I. V. Kononova, V. S. Sobolev

HOTEL QUALITY MANAGEMENT SYSTEM PROCESS MODEL

Mechanisms for hotel services quality regulation in Russian Federation are considered, hotel services quality characteristics are classified. The role of hotel Quality Management System in quality assurance and services quality characteristics management is shown. Hotel Quality Management System process model is presented according to the requirements and recommendations of ISO 9000:2000 series of standards.

Hotels, mechanisms for hotel services quality regulation, hotel services quality characteristics, ISO 9000:2000 series of standards, Quality Management System, hotel Quality Management System process model



УДК 621(090)

Л. И. Золотинкина, В. А. Урвалов

НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ В РОССИИ (1895–1917)

Рассматривается история развития и организации радиотехники (преимущественно радиосвязи) в России в период от изобретения радио до конца Первой мировой войны.

А. С. Попов, Э. Дюкрете, П. Н. Рыбкин, «Сименс и Гальске», Радиотелеграфное депо, РОБТиТ, П. С. Осадчий

7 мая 1895 г. на заседании Русского физико-химического общества (РФХО) А. С. Попов продемонстрировал первый сеанс радиосвязи, в ходе которого с помощью изобретенного им прибора передавал и принимал короткие и продолжительные сигналы (элементы кода Морзе). До середины 1896 г. Попов выступал с публичными лекциями о своем изобретении, занимался совершенствованием аппаратуры, увеличил дальность радиосвязи с начальных 64 до 250 м. Весной 1897 г. Попов проводил опыты радиосвязи между кораблем и берегом в Кронштадтской гавани, а летом – между кораблями в Финском заливе на расстояниях до 5 км. При этом было замечено отражение радиоволн от постороннего корабля, попавшего на прямую линию между передатчиком и приемником. Данный научный факт лег в основу радиолокации и радиопеленгации. В конце 1897 г. владелец парижской мастерской физических приборов Э. Дюкрете (1855–1914) по публикациям Попова создал аппаратуру для телеграфии без проводов и демонстрировал ее в заседании Французского физического общества. В 1898 г. он, пользуясь письменными консультациями Попова, приступил к производству корабельных радиостанций для военных флотов Франции и России. В 1899 г. Попов разработал более чувствительный телефонный приемник депеш, основанный на детекторном эффекте, открытом его помощниками П. Н. Рыбкиным и Д. С. Троицким. С этого приемника, запатентованного в России, Великобритании и Франции и выпускавшегося под маркой «Poroff – Ducretet», началась эпоха приема телеграфных сигналов на слух.

В начале 1900 г. Попов и Рыбкин при участии моряков под руководством А. А. Реммерта и И. И. Залевского построили линию радиосвязи для организации работ по ликвидации последствий аварии броненосца «Генерал-адмирал Апраксин», севшего на камни у острова Гогланд в Финском заливе. Ледокол «Ермак» доставил к месту аварии снаряжение для радиостанции: разборный дом, мачту для антенны и радиоаппаратуру. На борту «Ермака» на Гогланд прибыли Залевский и Рыбкин. Другая радиостанция была установлена под руководством Реммерта и

Попова на расстоянии 47 км, у г. Котка, имевшего проводную связь с С.-Петербургом. В первой радиограмме, принятой на Гогланде, сообщалось о рыбаках, унесенных в море на оторвавшейся льдине. По радио эта информация была передана на «Ермак», который вышел в море и спас рыбаков. Радиолиния работала 84 дня, по ней было передано 440 радиограмм (свыше 10 тыс. слов). В апреле 1900 г. снятый с камней броненосец своим ходом отправился на ремонт. По высочайшему соизволению за участие в этой операции А. С. Попов получил в награду 33 тыс. руб.

На состоявшейся в 1900 г. в Париже Международной промышленной выставке, где демонстрировались аппаратура под маркой «Poroff – Ducretet – Tissot» и грозоотметчик, изготовленный в Кронштадте, Попов был награжден дипломом и именной большой золотой медалью.

Успешная эксплуатация радиолинии способствовала решению вопроса о принятии радио на вооружение флота. В 1900 г. под руководством Попова в Кронштадте создана радиомастерская – первенец отечественной *радиопромышленности*, организованы курсы для подготовки радиотелеграфистов, разработаны программы занятий. В мае 1900 г. в Минном офицерском классе (МОК) в Кронштадте началось преподавание радиотелеграфного дела. В 1901–1905 гг. Попов, ставший профессором физики Электротехнического института (ЭТИ), разработал ряд курсов по радиотехнике, создал радиолaborаторию, руководил работой аспиранта С. Я. Лифшица по радиотелефонированию (передаче по радио звуков речи и музыки), консультировал военных и гражданских специалистов по вопросам беспроволочной телеграфии, представлял Россию на Берлинской конференции 1903 г. по международной регламентации радиосвязи.

Невоенному использованию радиосвязи стали уделять внимание в начале XX века. В октябре 1901 г. по заказу Комитета донских гирл А. С. Попов и П. Н. Рыбкин построили в устье реки Дон радиолинию, предназначенную для оперативного информирования об уровне воды для обеспечения безопасного судоходства между Таганрогским рейдом и портом Ростова-на-Дону. Менее удачной оказалась построенная Почтово-телеграфным ведомством в 1902 г. линия радиосвязи между Херсоном и Голой Пристанью (ее сотрудник, не имевший опыта, не сумел наладить устойчивую связь). В конце 1906 г. станции были закрыты, а их имущество передано в ЭТИ. В 1904 г. в С.-Петербурге (на Крестовском острове, построена под наблюдением Попова), в Ораниенбауме и Сестрорецке начали действовать радиостанции, оснащенные аппаратами, приобретенными в Германии и Франции с разрешения министерства внутренних дел «для ознакомления с ними почтово-телеграфных чинов». На проведение опытов было ассигновано 20 тыс. руб.

С началом в 1905 г. первой русской буржуазно-демократической революции изменилось назначение опытных радиостанций Почтово-телеграфного ведомства – им был придан статус правительственных. Для предупреждения возможных нарушений в работе телеграфной и телефонной связи в столице вследствие повреждений линий связи и забастовок почтово-телеграфных служащих 6 ноября в дворцовые телеграфные конторы было доставлено оборудование радиостанций системы Слаби – Арко из Ораниенбаума и Сестрорецка и начались работы по монтажу приборов и установке антенн. Оставшиеся в Сестрорецке и на Крестовском острове радиостанции системы Попова – Дюкрете продолжали использоваться для ознакомления с принципами устройства и работы радиотелеграфных установок. В Царском Селе три мачты для антенны были установлены на зданиях при дворцовой электростанции. В Зимнем дворце установку мачт не разрешили, поэтому антенная сеть была натянута между тремя высокими точками: башней бывшего оптического телеграфа, флагштоком и куполом церкви. Для улучшения технических характеристик радиостанций на заводе акционерного

общества Русских электротехнических заводов «Сименс и Гальске» были приобретены отдельные приборы новой конструкции для замены устаревших узлов и деталей. Заведующим дворцовыми радиостанциями был назначен инженер-электрик Н. А. Скрицкий (1878–1951). Со временем станция Зимнего дворца стала использоваться не только для радиообмена с Царскосельской радиостанцией, но и для передачи радиogramм Министерства императорского двора на яхты «Штандарт» и «Нева» во время обычных летних поездок царя и в Департамент полиции. Передавались также радиogramмы, адресованные на суда и в некоторые ближайшие населенные пункты (Ревель, Гельсингфорс) на берегах Финского залива. В 1906 г. для обеспечения правительственной связи были оборудованы радиостанции большей мощности.

В начале 1903 г. комиссия для проверки состояния радиосвязи на флоте, в работе которой участвовал А. С. Попов, выявила много недостатков в применении радиосредств. Отсутствовали инструкции, заведование станциями и их обслуживание устраивались произвольно, по способностям, обучение личного состава носило случайный характер. Превосходство радиосвязи по дальности и удобству над другими способами сигнализации не давало ожидаемых результатов. Однако реакции на выводы комиссии не последовало. В начале 1904 г. на должность заведующего беспроволочным телеграфом на военно-морском флоте был назначен ученик Попова А. А. Реммерт, однако уже в феврале того же года началась русско-японская война, и существенно улучшить радиосвязь на флоте он не смог. В армии радиосвязь еще не вышла за рамки первоначальных опытов.

К началу русско-японской войны 1904–1905 гг. во Владивостоке и Порт-Артуре находилось 7 броненосцев, 6 броненосных крейсеров, 5 легких крейсеров, 24 эсминца, 10 миноносцев. Броненосцы и крейсера имели радиостанции, две станции были смонтированы на берегу – всего насчитывалось 20 станций системы Попова, изготовленных фирмой Дюкрете и Кронштадтской мастерской. 9 марта 1904 г. в Порт-Артур прибыл вице-адмирал С. О. Макаров, назначенный командующим Тихоокеанской эскадрой. 20 марта он отдал вошедший в историю приказ № 27, определивший принципы использования радио на войне. На первый план выдвигались соблюдение скрытного радиообмена и ведение радиоразведки. Мощные радиостанции Золотой горы (Порт-Артур) и броненосца «Победа» создавали искусственные помехи работе японских радиостанций, пытавшихся вести корректировку огня при обстрелах Порт-Артура.

В ходе подготовки 2-й Тихоокеанской эскадры к походу на Дальний Восток для оснащения кораблей были заказаны 25 радиостанций фирме «Телефункен», 12 радиостанций – Кронштадтской мастерской (для миноносцев) и 2 приобретены у фирмы Маркони. Работы по их установке велись в спешке, персонал не был надлежащим образом обучен. 15 октября 1904 г. 2-я Тихоокеанская эскадра вышла из Либавы. В пути разрабатывались инструкции и правила применения радиоаппаратуры, проводилось обучение радиотелеграфистов, делались попытки поддержания радиосвязи между кораблями. 8 мая 1905 г. на эскадре приняли по радио сообщение о приближении 3-й Тихоокеанской эскадры. 26 мая 1905 г. объединенная эскадра подошла к Цусимскому проливу. По интенсивному радиообмену японских кораблей стало ясно, что противник обнаружил ее и готовится нанести удар. Командир крейсера «Урал» запросил разрешение адмирала З. П. Рожественского использовать свой мощный передатчик, чтобы мешать неприятельскому радиообмену, но командующий не разрешил. На другой день с утра на российской эскадре все сигналы передавались только с помощью сигнальных флагов, в то время как японский флот активно использовал радиотелеграф. В ходе самого Цусимского сражения российские корабли почти не использовали радиосвязь: от сотрясений, вызванных стрельбой и по-

паданиями неприятельских снарядов, регулировка приемников нарушилась, радиорубки, не имевшие броневой защиты, при обстреле выходили из строя. В результате российская эскадра лишилась управления, из 37 кораблей, имевших радиостанции, 28 погибли или оказались в плену, 3 прорвались во Владивосток, остальные были интернированы в нейтральных портах.

Еще хуже обстояло дело с использованием радиосвязи для управления сухопутными войсками. К началу войны российская армия вообще не имела радиовооружения. Уже в ходе войны в С.-Петербурге под руководством капитана И. А. Леонтьева были сформированы две Восточно-Сибирские искровые (радиотелеграфные) роты, которые прибыли на Дальний Восток в мае 1905 г. Каждая рота имела 6 действующих и 2 запасных станции, закупленных у фирмы Маркони и предназначавшихся для связи штаба главнокомандующего со штабами армий и отдельных отрядов. С помощью этих станций было организовано 6 радиотелеграфных линий протяженностью от 25 до 80 км. В июле 1905 г. введена должность начальника радиотелеграфа при главнокомандующем. Опыт использования радиосвязи в сухопутных войсках в конце войны подтвердил целесообразность ее применения в боевых условиях.

После окончания русско-японской войны укрепление армейской радиосвязи продолжилось. К 1914 г. в российской армии было 7 отдельных искровых рот: 2 дислоцировались в Сибири, 4 – в Европейской части России (в С.-Петербурге, Вильно, Варшаве и Киеве) и одна на Кавказе (в Тифлисе). В каждой роте имелись 6 действующих радиостанций и 1–2 запасных. В некоторых ротах одна из станций была автомобильной. По мобилизационному плану число рот удваивалось. С началом Первой мировой войны 1914–1918 гг. российская армия получила около 100 полевых и 30 кавалерийских радиостанций производства заводов «Сименс и Гальске» и Русского общества беспроволочных телеграфов и телефонов (РОБТиТ), кроме того, она располагала 12 базовыми и 8 крепостными станциями. Крепостные радиостанции дислоцировались в Свеаборге, Кронштадте, Ковно, Брест-Литовске и других пунктах, базовые – в Выборге, Жмеринке, Одессе, Бобруйске, Карсе, Владивостоке и др. Наиболее мощными (100 кВт в антенне) были Царскосельская и Московская (Ходынская) радиостанции, построенные на заводе РОБТиТ. В ходе войны обнаружилась нехватка аппаратуры и личного состава для ее обслуживания, выявилась необходимость радиосвязи в низовых звеньях пехоты, артиллерии и авиации для решения собственных задач (корректировки артиллерийского огня, воздушной разведки, организации взаимодействия войск). Эти задачи относительно успешно решались, и к моменту выхода России из войны радиосвязь в сухопутных войсках технически и организационно окрепла.

В первые годы после русско-японской войны радиосвязь на флоте находилась в упадке. Так, на Дальнем Востоке осталось всего 7 кораблей с радиостанциями. Для их обслуживания имелось только 2 радиста. Кронштадтская мастерская была занята текущим ремонтом и выпустила за 5 лет около 12 новых радиостанций. В 1907 г. наметился некоторый подъем военно-морской радиосвязи, вызванный организацией береговой службы наблюдения и связи. В это время на Балтике были установлены 14 береговых радиостанций и организованы 53 наблюдательных поста, на Черном море – 2 радиостанции и 19 постов, на Тихом океане – 1 радиостанция и 7 постов. Задача новой службы состояла в ведении постоянного наблюдения в пределах морских театров и обеспечении связи с кораблями, находившимися в море, чтобы не дать противнику обнаружить их по мощному излучению бортовых радиостанций. В 1908 г. эта служба была организована на всех морях, назначены ее начальники, которым подчинялись береговые радиостанции и посты.

В 1906 г. появляются новые генераторы с искровым разрядником, разработанные немецким физиком М. Вином («звучащие»). После 1909 г. станции заказывали у фирмы

«Telefunken», позже их стало выпускать Радиотелеграфное депо Морского ведомства, организованное на базе Кронштадтской мастерской (в 1910 г. переведена в Петербург, на Васильевский остров (после революции завод им. Коминтерна)).

С 1907 г. английская фирма «Маркони» приступила к разработке искровых радиостанций с вращающимся разрядником. С 1909 г. они изготавливались за границей, а с 1914 г. собирались на заводе РОБТиТ, основанном в октябре 1908 г. С. М. Айзенштейном (1884–1968) и с 1910 г. переведенном в собственное здание по адресу Лопухинская ул., 14 а. В эти же годы начинается разработка генераторов незатухающих колебаний дугового (В. Паульсен – 1902 г.) и машинного (Р. Фессенден – 1906 г., Э. Александерсон – 1908 г.) типов, позволивших строить системы радиосвязи на совершенно других принципах, названных радиотелеграфией и радиотелефонией.

Судовые радиостанции оставались в ведении флагманских минных офицеров. Техническое руководство радиосвязью в целом на флоте сохранялось за Морским техническим комитетом (после его упразднения в 1911 г. – за Главным управлением кораблестроения) и осуществлялось главным инспектором минного дела. В 1909 г. в штабах морских сил Балтийского и Черного морей введены 2 должности минных офицеров для ведения дел, касавшихся радиотелеграфа. В 1909 г. начато оснащение флота передатчиками ударного возбуждения со шкалой мощностей 0,5, 1,2 и 8 кВт, работавших в диапазоне 200–2000 м (производства фирмы «Telefunken» и Радиотелеграфного депо морского ведомства). К этому моменту на флоте имелось 120 судовых радиостанций. К концу 1912 г. все корабли получили новую радиоаппаратуру. В 1913 г. на вооружение флота (в первую очередь Балтийского) приняты коротковолновые станции, работавшие в диапазоне 80–160 м, мощностью 0,2 кВт для внутриэскадренной связи, разработанные Л. П. Муравьевым. Заменена была также аппаратура береговых станций.

Планомерное строительство радиостанций Почтово-телеграфного ведомства началось в 1909 г., тогда было решено установить в Петропавловске-на-Камчатке и в Николаевске-на-Амуре радиостанции, оборудованные аппаратурой общества «Сименс и Гальске», выигравшего конкурс у РОБТиТ и компании «Маркони». Протяженность радиолинии составила 1200 км. Радиопередатчики имели мощность 5 кВт, диапазон волн лежал в пределах 1500–2000 м. Станции вступили в строй в конце 1911 г.

19 июня 1912 г. был принят закон «Об учреждении Междуведомственного радиотелеграфного комитета» (МРК), вводивший в действие Положение о МРК и его штате. Согласно Положению, на МРК возлагалось согласование действий различных ведомств по распространению и использованию сети радиотелеграфных станций и рассмотрение дел по устройству и эксплуатации радиотелеграфных и радиотелефонных сообщений, требовавших предварительных согласований между заинтересованными ведомствами. Организационно МРК состоял при Главном управлении почт и телеграфов, в его состав входили по два представителя от министерств Внутренних дел, Военного, Морского, Торговли и Промышленности и путей сообщения и один представитель от Министерства иностранных дел. «В соответствующих случаях» в состав МРК назначались представители от других министерств и ведомств. Председателем МРК был назначен профессор ЭТИ П. С. Осадчий, штатные сотрудники – инженеры-электрики Н. А. Скрицкий и И. Г. Фрейман (среди представителей ведомств – специалисты в области электротехники и радиотехники Д. М. Сокольников (от Военного министерства), А. М. Щастный (от Морского министерства), А. Н. Эйлер и Б. Г. Евангулов (от Министерства внутренних дел) и др.). В период с 17 сентября 1912 г. по 25 сентября 1917 г. состоялись 84 заседания МРК, на которых рас-

смагивались вопросы, касавшиеся в основном строительства новых радиостанций, разработки технических условий, регламентации частот. Для участия в заседаниях приглашались ведущие специалисты в области теории и практики радиотехники, в том числе А. А. Петровский, Л. Д. Исаков, А. А. Чернышев, С. М. Айзенштейн, М. В. Шулейкин, И. И. Ренгартен и др.

В 1914 г. Почтово-телеграфное ведомство имело около 30 береговых радиостанций, в том числе на Дальнем Востоке (Анадырь, Наяхань, Охотск, Кербь), Крайнем Севере (Архангельск, Югорский Шар, Вайгач, Маре-Сале), Балтике (С.-Петербург, Ревель, Рига, Руно, Либава), Каспийском море (Астрахань, Петровск, Баку, Красноводск, Форт Александровский), Черном и Азовском морях (Таганрог, Ялта, Поты, Новороссийск). С началом Первой мировой войны 1914–1918 гг. строительство новых станций практически прекратилось, за исключением единственной радиостанции на о. Диксон, построенной в 1916 г. для Главного гидрографического управления.

На российских торговых судах радиостанции устанавливались с 1908 г. Первые станции появились на судах Русского восточно-азиатского пароходства, затем на пароходах Добровольного флота, Русского общества пароходства и торговли (РОПиТ) и др. Тарифная плата за передачу радиogramм по морской радиосвязи, установленная Почтово-телеграфным ведомством и причитавшаяся береговым станциям, составляла 23 копейки (60 сантимов) за слово, судовая такса, причитавшаяся судам под российским флагом, – 15 копеек (40 сантимов) за слово, поэтому иностранные суда, находясь в российских территориальных водах, старались передавать телеграммы через береговые радиостанции государств, применявших пониженные тарифы (например, Италия – 30 сантимов, Германия – 18, Швеция – 14). Тарифная политика российского Почтово-телеграфного ведомства привела к тому, что судоходные компании России не спешили оборудовать свои суда средствами радиосвязи. В 1912 г. по предложению РОПиТ тарифная плата в отдельных случаях (решением министра внутренних дел) значительно снижалась, а иногда устанавливался бесплатный обмен служебными телеграммами, хотя в общегосударственном масштабе эта проблема решена не была.

Зародившись в России, радиосвязь не смогла занять соответствующего ее важности места среди ведущих отраслей техники в стране. Однако динамика внутривластической и международной деятельности России вынуждала правительство предпринимать определенные шаги для развития нового средства коммуникации. Создавалась научно-производственная база, формировались научно-технические кадры, складывались правовые основы руководства, развития и использования системы радиосвязи, постепенно расширялась сфера применения радиотехники. Многие идеи и проекты в области развития системы радиосвязи страны реализовывались благодаря инициативе и настойчивости региональных властей, торгово-промышленных кругов и научно-общественных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бренев И. В. Начало радиотехники в России. М.: Сов. радио. 1970.
2. Коваленко Ю. Я., Стрелов А. Б. У истоков радиосвязи. СПб.: Автограф. 1997.
3. Глушенко А. А. Место и роль радиосвязи в модернизации России (1900–1917 гг.) / Инжиниринг сервис. СПб., 2005.

L. I. Zolotinkina, V. A. Urwalow

THE PRIMARY ETAP OF DEVELOPMENT OF RADIO IN RUSSIA (1895–1917)

Considered the history of development and organization of radio (mainly radiotelecommunication) in Russia in a period from invention of radio to the end of the first world war.

A. S. Popov, E. Ducretet, P. N. Rybkin, «Siemens–Galske», Radiotelegraphic depot, ROBT&T, P. S. Osadchy



УДК: 008

С. А. Черноухов

ЧТО ТАКОЕ «ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ»

Вводится определение понятия «антропогенная система», обосновывается необходимость предвидения и предотвращения негативных последствий создания и применения таких систем и рассматриваются основные виды исследований в данной сфере.

Антропогенная система, оценка антропогенных систем, оценка техники, последствия, предвидение, созидание

На всех этапах своего исторического развития человек преобразовывал окружающую его реальность. Когда мы говорим о таком преобразовании, то, как правило, в первую очередь имеем в виду деятельность человека по созданию и использованию различных технических систем, технических устройств, т. е. вещественно-энергетических объектов. Однако сфера применения человеком деятельного, искусственно-технического подхода гораздо шире. Человек преобразует окружающую реальность на ее различных уровнях: физико-химическом, биологическом, социальном. В результате создаются объекты различного рода, которые изначально не существовали, но обязаны своим появлением волевой осознанной и целенаправленной деятельности человека. Будем далее называть такие объекты *антропогенными системами* и определим их как вещественно-энергетические, биологические объекты, организационно-технологические и социальные отношения, а также их образы (мысленные и на носителях различного типа), созданные благодаря осознанной волевой и целенаправленной деятельности человека [1].

Таким образом, к антропогенным системам относятся:

- 1) все созданные человеком вещественно-энергетические артефакты – от простейших изделий до сложных технических систем;
- 2) все созданные человеком биологические объекты – от искусственно создаваемых агробиоценозов до генетически модифицированных организмов и т. д.;
- 3) все создаваемые человеком изменения поверхности/недр, а также атмосферы Земли либо небесных тел (далее – геосистемы). Примерами таких систем могут являться искусственные каналы, искусственные острова и др.;

4) все созданные человеком артефакты в сфере информационных технологий (файлы данных, различное программное обеспечение и т. п.);

5) существующие стабильные, оформленные либо не оформленные документально и существующие благодаря воле одного, нескольких или всех членов группы людей, организованные социальные отношения;

6) вся нормативная и организационная документация, а также иные информационные объекты (диаграммы процессов, схемы и т. д.), определяющие строение и технологии изготовления технических систем (чертежи, технологические процессы и т. д.), создаваемых человеком биологических систем либо регламентирующие социальные отношения;

7) существующие в головах людей мысленные образы перечисленных в предыдущих пунктах объектов.

Исходя из сути определения антропогенной системы, данное понятие можно рассматривать как расширение, обобщение понятия технической системы. Понятие «антропогенная система» включает в себя понятие «технические системы», но при этом значительно расширяет его границы.

Изначальной целью создания новых антропогенных систем является изменение жизни человека в лучшую сторону (здесь не рассматривается техника для целенаправленного уничтожения людей, заведомой порчи других антропогенных систем, нанесения вреда окружающей среде, «агрессивные» социальные формации и т. д.). И позитивные последствия созидательной способности человека налицо, они повсюду, мы ежедневно соприкасаемся с ними и пользуемся обеспечиваемыми ими благами. Именно созидательная способность человека обеспечила улучшение среды обитания. Созидательная способность дала ему возможность регулярно получать полноценное питание, лечить и предупреждать многие болезни, не бояться хищных зверей, позволила иметь удобную одежду, защищающую его тело от дождя, ветра, зноя и мороза. Созидательная способность позволила человеку строить удобные жилища, создавать и постоянно поддерживать локальный микроклимат его существования.

Однако нужно признать, что далеко не всегда последствия создания, внедрения и применения антропогенных систем оказываются только позитивными. Несмотря на огромные позитивные результаты активной созидательной деятельности человека, нельзя сбрасывать со счетов ее негативные последствия. К числу таких негативных последствий можно отнести техногенные катастрофы, ухудшение экологической обстановки, различные заболевания, связанные с выполнением человеком профессиональных обязанностей, а также гиперинтенсивным ритмом жизни, неудобные в использовании технические решения, неэффективные, неудобные (а подчас и невыполнимые) правила и нормы деятельности человека в различных сферах хозяйственной и социальной практики.

В этой связи становится понятным то, что во 2-й половине XX в. довольно много людей разочаровались в активно-деятельном подходе вообще, и в первую очередь – в технике. Так, в частности, Ханс Ленк приводит (со ссылкой на институт демоскопии в Алленбахе) следующие любопытные сведения: «Если в 1972 году 72 % населения считало технику «скорее за благо», а лишь 3 % – «скорее проклятием», то первый показатель снизился до 50 % в 1976 г. и до 30 % в 1981 г.; второй же показатель поднялся до 18 %. Следовательно, вместо трех четвертей населения теперь технику считают благом только одна треть! И почти одна пятая часть – в

шесть раз больше, чем в 1972 г. – считает технику проклятием! У молодежи (возраст – от 16 до 20 лет) картина еще более разительная: «благословляющих» технику в 1972 г. было 83 %, а в 1981 г. – 23 %! Во всяком случае данные 80-х годов свидетельствуют, что около 13 % всего населения Федеративной Республики Германии и одна пятая часть молодежи выразили ясно высказанную враждебность по отношению к технике. И только совсем недавно наметилось некоторое снижение пропорции этого недоверия технике» [2, с. 19].

Однако из негативных последствий применения искусственно-технического подхода еще не следует, что от него нужно стараться полностью отойти (и, в частности, что человек должен стремиться совсем отказаться от техники). Да, надежда на «технический рай» оказалась иллюзорной (да и могло ли быть иначе?), однако и другая крайность не менее далека от золотой середины. Античное «ничего сверх меры», пожалуй, стоит взять на вооружение как самым рьяным сторонникам технизации, так и ее противникам. Действительно, вряд ли возможно представить себе жизнь человека вообще без созидательной деятельности, например, без возделывания земли и выращивания домашнего скота (агробιοценозы), соответствующих орудий труда (вещественно-энергетические технические системы), системы накопления и передачи друг другу знаний, умений, навыков (как правило, в виде организованных социальных отношений) и т. д., т. е. без создаваемых человеком различного рода антропогенных систем. А ведь перечисленные типы антропогенных систем присутствуют практически в любой модели жизни, в том числе и в совершенно «нетехнических». Другое дело, что характер антропогенных систем, их распространенность, функции и отношение к ним человека могут быть различными (наверно, патетическое преклонение или огульное отрицание не являются лучшим вариантом такого отношения). Однако в любом случае человек должен творить осознанно, понимая, что именно он хочет получить, а также что он действительно сможет это получить, причем без особого вреда для себя и окружающей действительности.

В современном мире скорость изменений в окружающей человека реальности (в создании и изменении которой он принимает участие) и возросшая цена ошибок проектирования обуславливают исключительную важность предвидения возможных негативных последствий применения антропогенных систем на наиболее ранних этапах их создания. Применительно к техническим системам (как одному из важнейших классов антропогенных систем) данный вопрос изучается особой областью междисциплинарных исследований – оценкой техники [3], [4]. Однако и другие виды антропогенных систем не меньше нуждаются в оценке таких последствий.

Введем здесь понятие «оценка антропогенных систем». Будем в дальнейшем понимать под ним осознанную систематизированную деятельность человека, направленную:

- 1) на обнаружение различных последствий (как позитивных, так и негативных) создания, внедрения и применения различного рода антропогенных систем (как вновь создаваемых, так и уже используемых);
- 2) выработку и анализ различных альтернатив, направленных на исключение либо минимизацию выявленных негативных последствий и увеличение полезного эффекта, в том числе:
 - выработку суждения о целесообразности создания (применения) конкретных антропогенных систем;
 - выработку предложений по недопущению выявленных негативных последствий (возможных или потенциальных) либо их минимизации;

- выработку предложений по увеличению полезного эффекта;
- выработку предложений по созданию альтернативных антропогенных систем (взамен оцениваемых), а также по прекращению действия уже применяемых – если такой вариант признается целесообразным;
- оценку и ранжирование выявленных альтернатив с точки зрения предпочтительности;
- выработку рекомендаций для лица, принимающего решения.

Очевидно, что оценку антропогенных систем можно рассматривать как расширение понятия «оценка техники» с точки зрения объекта исследования. Действительно, как было показано ранее, понятие «антропогенная система» является расширением понятия «техническая система». Следовательно, все имеющиеся достижения человека в области оценки техники могут с успехом использоваться и при исследовании последствий иных видов антропогенных систем. Это касается, в частности:

- применения практического инструментария таких исследований;
- разработок в области развития этого инструментария;
- моделей организации исследований;
- моделей организационных и организационно-правовых форм проведения исследований и др.

Понятие «оценка антропогенных систем» можно рассматривать и в широком, и в узком смысле. Так, широкое понимание данного термина охватывает всю деятельность человека в области предвидения и предотвращения негативных последствий и увеличения полезного эффекта антропогенных систем, в том числе (помимо собственно проведения исследований) методическую деятельность, организационную деятельность и т. д. В узком смысле оценка антропогенных систем означает лишь собственно исследовательскую деятельность, проведение конкретных исследований.

Исследования в области оценки антропогенных систем так же, как и исследования оценки техники, могут быть классифицированы с точки зрения соотношения времени начала исследования со временем начала внедрения антропогенной системы [5]. Инновативное исследование, предпринимаемое до начала внедрения, лучше всего соответствует требованию предотвращения негативных последствий («семь раз отмерь, один – отрежь» гласит народная мудрость). Действительно, не стоит предпринимать каких-либо действий, если они ведут не к добру. Но ведь возможности такого предвидения ограничены. Можно также принять ошибочное решение, поэтому возникает необходимость в проведении таких исследований не только до, но и после начала процесса внедрения (реактивная оценка). Действительно, негативные последствия уже применяемой антропогенной системы необходимо выявлять, оценивать и стараться свести к минимуму (в идеале – к нулю). Хотя, конечно, возможностей по коррекции уже свершившегося будет меньше, чем еще не свершившегося, но это отнюдь не умаляет значимости реактивной оценки.

Исследования в области оценки антропогенных систем могут быть подразделены также на исследования широкого спектра следствий и проблемно-ориентированные исследования. В первом случае целью исследования являются выявление и анализ максимально широкого круга последствий применения антропогенной системы – предполагаемой

к внедрению, внедряемой или уже внедренной. Отправной точкой проблемно-ориентированного исследования является наличие какого-либо негативного следствия (негативных следствий, области проблем) применения некоторой антропогенной системы. В этом случае поиск и анализ последствий ее применения проводятся главным образом только в русле данных негативных следствий: выполняются поиск и анализ однокачественных следствий, выстраивание иерархии следствий и их причинно-следственных взаимосвязей и т. д. Основной акцент проблемно-ориентированного исследования делается на предотвращении/минимизации негативных последствий, послуживших причиной для его начала. При этом, однако, необходимо избежать исключения данного негативного последствия ценой появления иных, возможно, даже более существенных. Поэтому проблемно-ориентированное исследование в области оценки антропогенных систем обязательно должно носить комплексный, «неразорванный» характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черноухов С. А. Антропогенные системы: понятия и классификация // Науч. сессия ГУАП: Сб. докл.: В 3 ч. Ч. III: Гуманитарные науки / ГУАП. СПб., 2006. С. 49–50.
2. Ленк Х. Размышления о современной технике / Пер. с нем.; Под ред. В. С. Степина. М.: Аспект-Пресс, 1996.
3. Ефременко Д. В. Введение в оценку техники. М.: Изд-во МНЭПУ, 2002.
4. Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. Erlaeuterungen und Hinweise zur VDI-Rechtlinie 3780. Duesseldorf, 1991.
5. Ropohl G. Ethik und Technikbewertung. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1996.

S. A. Tchernoukhov

WHAT IS ANTROPOGENIC SYSTEM ASSESSMENT

This article is devoted to «Antropogenic system», i.e. human-created systems. A term «Antropogenic system» is introduced; a need to forecast and prevent their bad consequences is shown; and the main types of researches in this field are considered.

Antropogenic system, antropogenic system assessment, consequences, creation, forecast, Technology Assessment

Редакция приносит свои извинения за допущенную ошибку. В шестом выпуске журнала «Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"» на с. 83:

напечатано *Герцова Н. С.*,
следует читать *Гецова Н. С.*