

УДК 62-55:681.515

Гостев В. И., д.т.н.; Дробик А. В., к.т.н.; Кунах Н. И., д.т.н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОСЫ ДИНАМИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ ФАЗЗИ-СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА

Гостев В. И., Дробик О. В., Кунах Н. И. **Визначення смуги динамічного відслідковування фаззи-системи фазового автопідстроювання частоти генератора.** Визначена смуга динамічного відслідковування системи фазового автопідстроювання частоти генератора (ФАПЧ) з цифровим нечітким регулятором, математична модель якого представлена в інтерактивній системі MATLAB

Ключові слова: ФАЗОВЕ АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ, СМУГА ДИНАМІЧНОГО ВІДСЛІДКОВУВАННЯ, НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР, MATLAB

Гостев В. И., Дробик А. В., Кунах Н. И. **Определение полосы динамического слежения фаззи-системы фазовой автоподстройки частоты генератора.** Определена полоса динамического слежения системы фазовой автоподстройки частоты генератора (ФАПЧ) с цифровым нечетким регулятором, математическая модель которой представлена в интерактивной системе MATLAB.

Ключевые слова: ФАЗОВАЯ АВТОПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ, ПОЛОСА ДИНАМИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ, НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР, MATLAB

Gostyev V. I., Drobyk O. V., Kunakh N. I. **Determination of bandwidth for dynamic tracking of fuzzy PLL of frequency generator.** Bandwidth for the dynamic tracking of PLL system with a digital fuzzy-controller is determined, the mathematical model is presented in MATLAB.

Key words: PHASE LOCKED LOOP, BANDWIDTH OF DYNAMIC TRACKING, FUZZY-CONTROLLER, MATLAB

Введение. Нечеткие регуляторы позволяют значительно повысить качество радиотехнических систем [1]. В данной работе представлен простой метод определения полосы динамического слежения системы фазовой автоподстройки частоты генератора (ФАПЧ) с цифровым нечетким регулятором при использовании аппарата интерактивной системы MATLAB.

Решение задачи. Одним из основных элементов системы фазовой автоподстройки частоты генератора является фазовый детектор, статическая дискриминационная характеристика которого может быть записана в виде [2]

$$U_{\phi Д} = K_{\phi Д} \cos \varphi, \tag{1}$$

где $K_{\phi Д}$ – постоянный коэффициент, равный максимальному значению напряжения на выходе детектора; φ – разность фаз колебаний одинаковой частоты, подаваемых на первый и второй входы детектора (при равенстве частот двух колебаний разность фаз этих колебаний постоянна).

При изменении частот входных сигналов разность фаз становится функцией времени:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + 2\pi \int \Delta f(t) dt, \tag{2}$$

где φ_0 – начальное значение разности фаз в момент $t = 0$, когда $\Delta f = f_1 - f_2 = 0$.

С учетом выражений (1) и (2) структурная схема фазового детектора при изменяющихся частотах f_1 и f_2 входных сигналов будет иметь вид, изображенный на рис.1 [2].

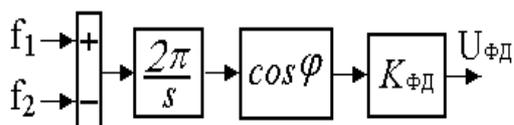
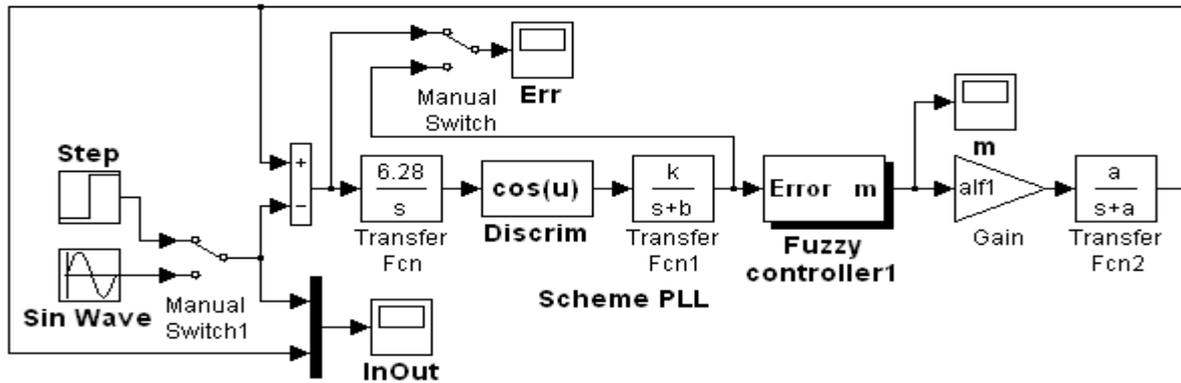


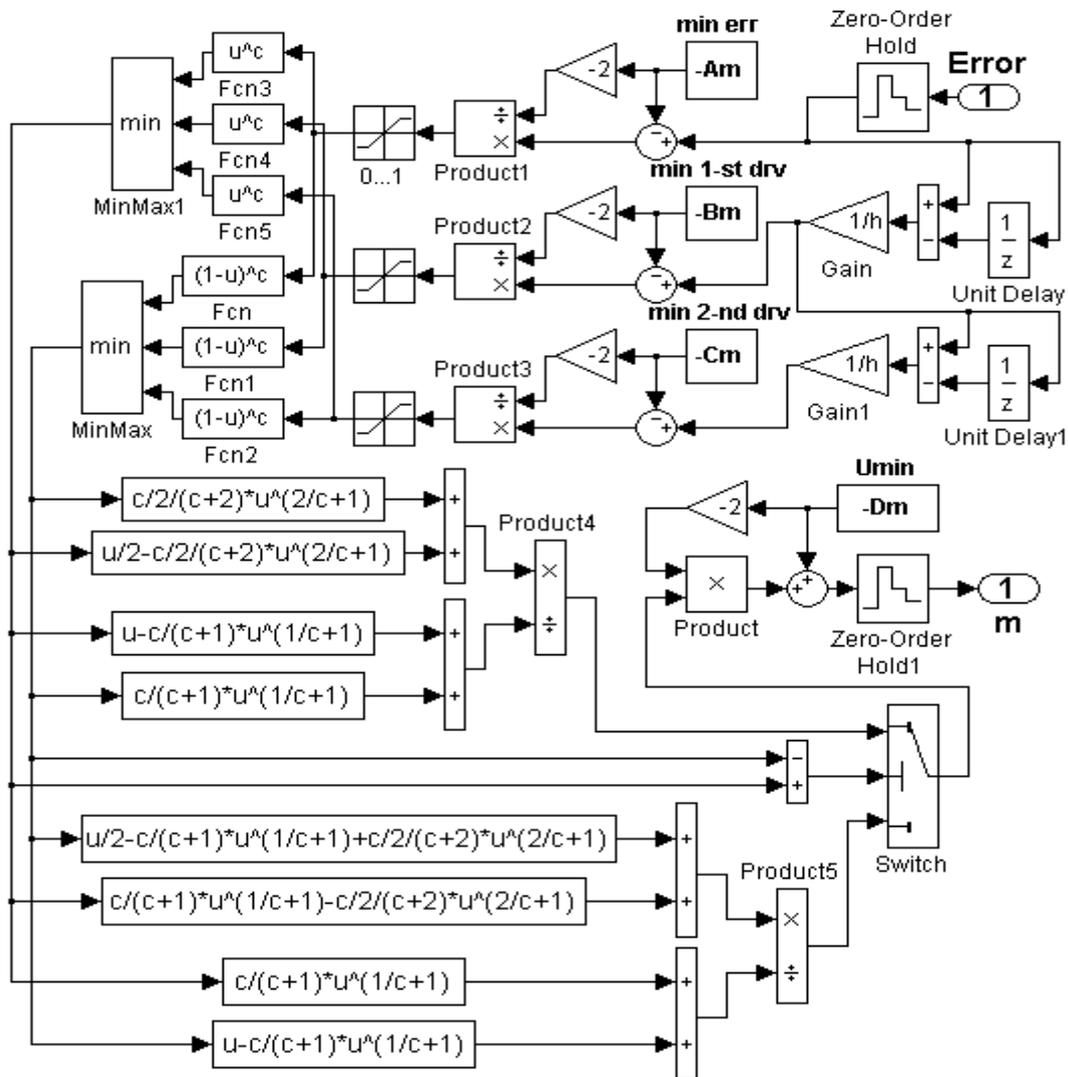
Рис.1. Структурная схема фазового детектора

На основании структурной схемы фазового детектора с учетом инерционностей фильтра на выходе детектора и управляющего элемента на входе генератора (фильтр на выходе детектора и управляющий элемент обычно описывают аperiодическими звеньями) можно составить математическую модель системы фазовой автоподстройки частоты генератора (ФАПЧ).

Математическая модель системы ФАПЧ с цифровым нечетким регулятором, составленная с использованием интерактивной системы MATLAB, показана на рис. 2,а.



а)



б)

Рис. 2 Структурная схема системы ФАП (а) и принципиальная схема нечеткого регулятора (б)

Фазовый детектор ФД представлен схемой сравнения на сумматоре и дискриминационной характеристикой **Discrim**. Фильтр нижних частот ФНЧ описан звеном **Transfer Fcn1**. Тактовый генератор представлен звеньями **Gain** и **Transfer Fcn2**.

Фильтр на выходе детектора и управляющий элемент генератора опишем передаточными функциями $G_1(s) = k/(s + b) = 10/(s + 12,5)$ и $G_2(s) = alf1 \cdot a/(s + a) = 0,15 \cdot 20/(s + 20)$.

Цифровой нечеткий регулятор **Fuzzy controller1** (рис. 2,а) с идентичными возведенными в степень треугольными функциями принадлежности выполнен по структурной схеме, приведенной на рис. 2,б и подробно описанной в работе [1].

Шаг дискретизации (шаг поступления данных в нечеткий регулятор) выбран 0,01 с. Значения диапазонов ($Am = \theta_{\max} = -\theta_{\min}$; $Bm = \dot{\theta}_{\max} = -\dot{\theta}_{\min}$; $Cm = \ddot{\theta}_{\max} = -\ddot{\theta}_{\min}$; $Dm = m_{\max} = -m_{\min}$) при настройке нечеткого регулятора подбираются либо вручную, либо автоматически путем решения оптимизационной задачи.

При исследовании системы примем, что разность частот двух колебаний изменяется по синусоидальному закону: $\Delta f = 0,2 \sin(\pi/10)$ (т.е. максимальное отклонение частоты генератора от заданной достигает $\pm 20\%$). Система ФАПЧ должна компенсировать отклонение частоты генератора, поэтому нечеткий регулятор необходимо настраивать на минимальную текущую ошибку рассогласования в системе. В результате настройки имеем следующие оптимальные параметры нечеткого регулятора: $Am=0,03$; $Bm=0.5$; $Cm=10$; $Dm=20$; $c=1$.

Процессы в системе (рис. 2,а) при входном воздействии Sin Wave $0,2 \sin(\pi/10)$ представлены на рис. 3. На рисунках: $e(t)$ – ошибка рассогласования по частоте на входе фазового детектора; $\theta(t)$ – ошибка на выходе фазового детектора (на входе нечеткого регулятора); $m(t)$ – управляющее напряжение на выходе нечеткого регулятора; $u(t)$ и $x(t)$ – вход и выход системы соответственно (InOut).

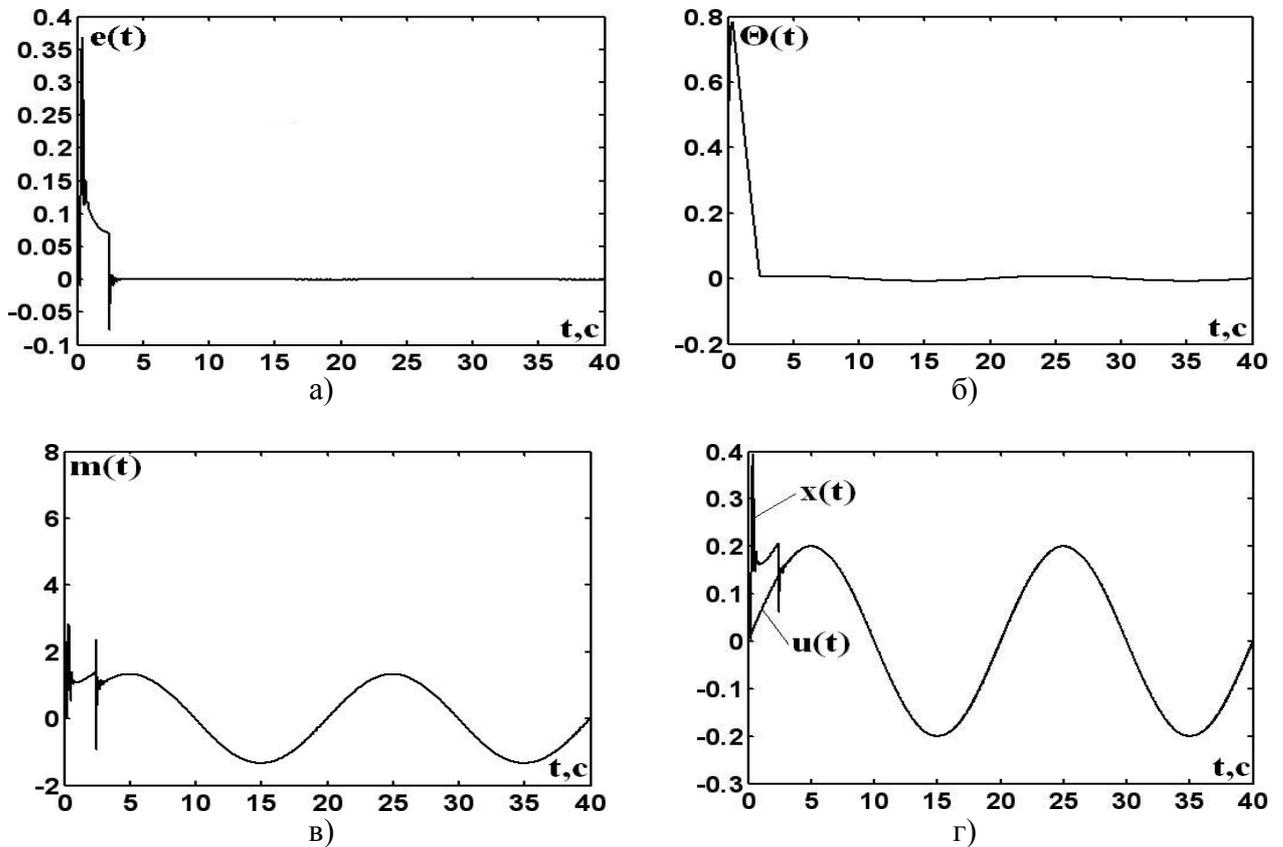


Рис. 3. Процессы в системе при входном воздействии $0,2 \sin(\pi/10)$

Независимо от частоты входного сигнала переходной процесс в системе заканчивается за 3 с. Максимальная динамическая ошибка рассогласования по частоте на входе фазового детектора при входном воздействии $0,2 \sin(\pi/10)$ равна примерно $1,4 \cdot 10^{-3}$.

Как показывают исследования системы (рис. 2), нечеткий регулятор позволяет увеличить точность системы ФАПЧ практически на два порядка по сравнению с системой без регулятора.

Полоса динамического слежения системы ФАПЧ – это наибольшее смещение частоты входного опорного сигнала относительно номинальной частоты колебаний генератора управляемого напряжением ГУН. В этой полосе ведомое устройство синхронизации должно оставаться в режиме слежения независимо от скорости изменения входной частоты во всем диапазоне частот. Другими словами, в полосе динамического слежения система ФАПЧ способна отслеживать произвольно быстрые изменения входной частоты, в том числе и скачкообразные изменения частоты на входе системы [4].

Полоса динамического слежения системы ФАПЧ при исследовании математической модели системы ФАПЧ в интерактивной системе MATLAB определяется достаточно просто, а именно, подавая ступенчатые сигналы на вход системы ФАПЧ необходимо найти величину скачка входного сигнала, при котором происходит срыв слежения (т.е. при котором система перестает обрабатывать скачок входного сигнала). Для исследуемой системы переходные процессы (реакции на скачки входного сигнала) показаны на рис. 4.

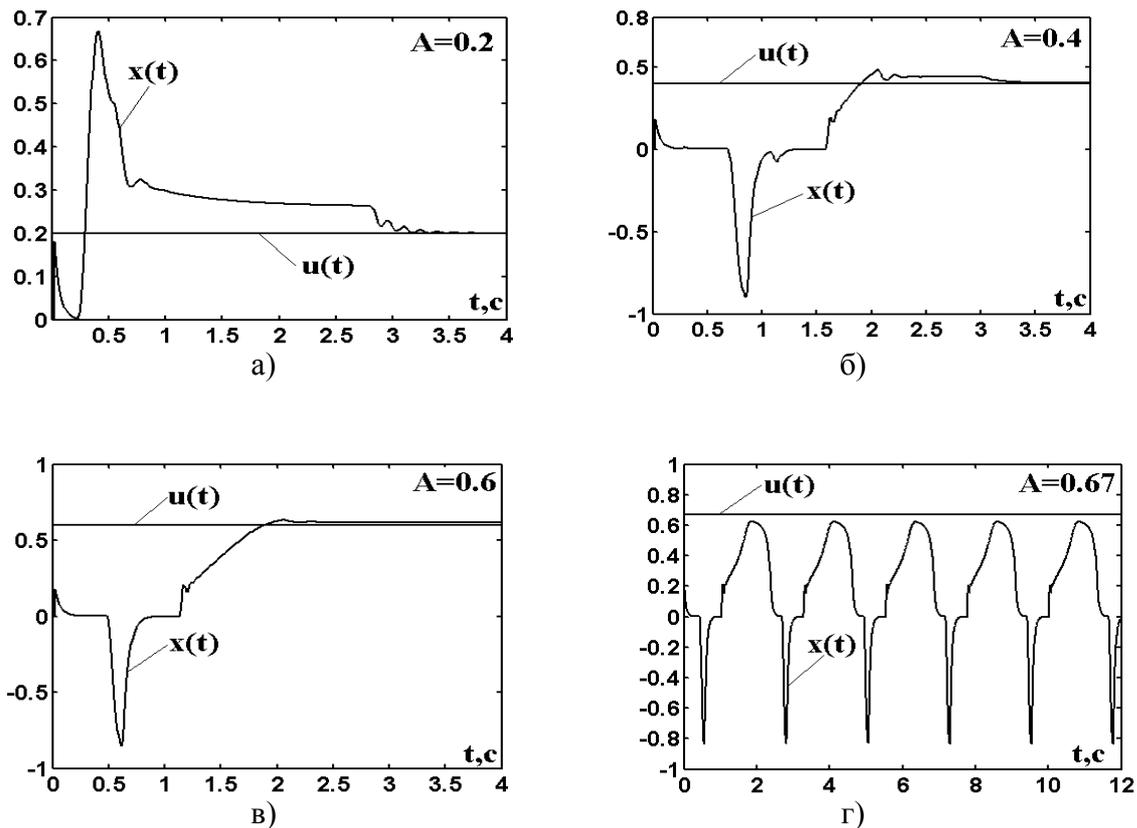


Рис. 4. Переходные процессы в системе

Срыв слежения происходит при амплитуде скачка $A=0,67$. Эта величина и определяет полосу динамического слежения системы ФАПЧ.

Следует отметить, что при синусоидальном входном воздействии (при заданной скорости изменения входной частоты) срыв слежения происходит при определенной амплитуде воздействия, причем амплитуда, при которой происходит срыв слежения, в этом случае будет больше, чем при скачкообразном изменении входного сигнала.

Для исследуемой системы процессы (реакции на входные воздействия $A \sin(\pi/10)$ при различных амплитудах A входного сигнала) показаны на рис. 5. Срыв слежения происходит при амплитуде $A=0,78$.

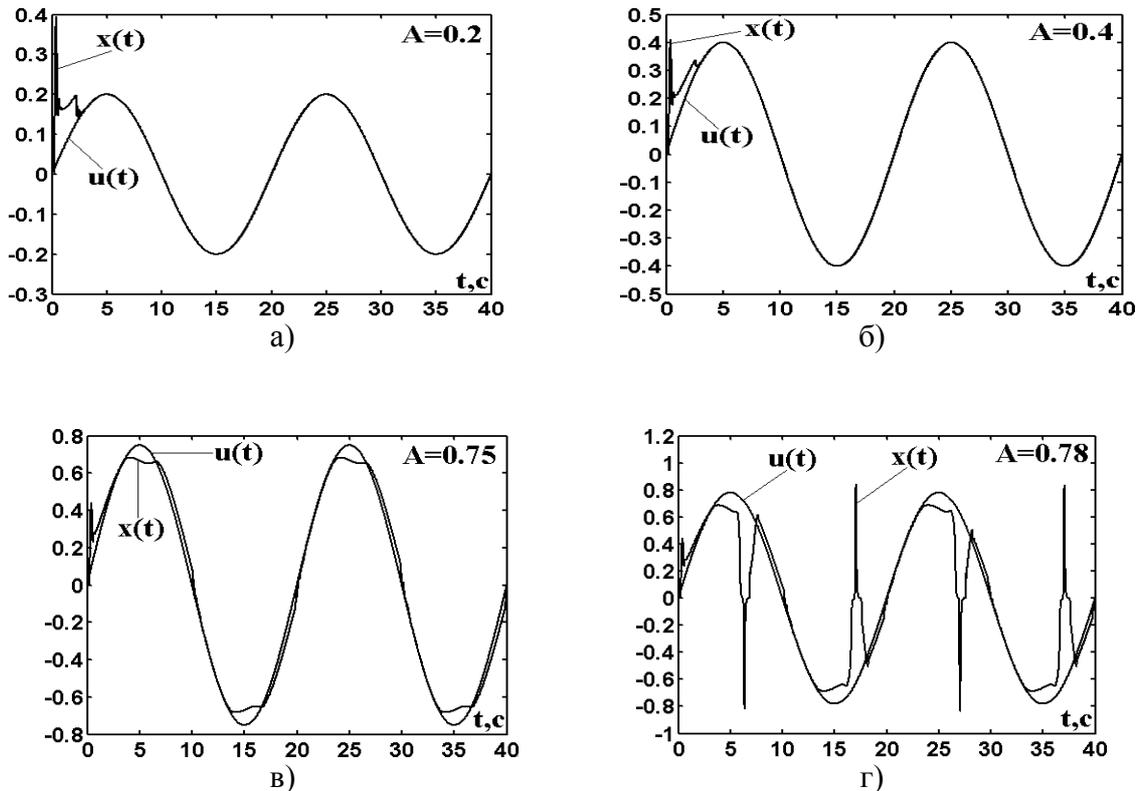


Рис. 5. Процессы в системе при входном воздействии $A \sin(\pi/10)$

Выводы. Исследование системы ФАПЧ, точность слежения которой определяет синтезируемый нечеткий регулятор, на основе математического аппарата интерактивной системы MATLAB позволяет достаточно просто определять один из основных параметров системы – полосу динамического слежения. Полоса динамического слежения системы ФАПЧ при исследовании математической модели системы ФАПЧ в интерактивной системе MATLAB определяется путем подачи ступенчатых сигналов на вход системы ФАПЧ и нахождения величины скачка входного сигнала, при котором происходит срыв слежения (т.е. при котором система перестает обрабатывать скачок входного сигнала). При синусоидальном входном воздействии срыв слежения происходит при определенной амплитуде синусоидального воздействия, причем амплитуда, при которой происходит срыв слежения, в этом случае будет больше, чем при скачкообразном изменении входного сигнала.

Литература

1. Гостев В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления: монография / В. И. Гостев. – Нежин: ООО «Видавництво Аспект-Поліграф», 2009. – 416 с.
2. Вагапов В. Б. Теория радиоэлектронных следящих систем / В. Б. Вагапов, И. Ю. Бурляй, Н. А. Рюмшин. – К.: Техніка, 2001. – 284 с.
3. Гостев В. И. Новый метод проектирования одного класса нечетких цифровых регуляторов / В. И. Гостев // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №6. – С. 73-84.
4. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи / С. Брени. – М.: Мир, 2003. – 456 с.