

Изосимов С.Д., Чёрный С.П.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЁТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЗКИ

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

В данном докладе рассматривается использование средств интеллектуального управления для обеспечения постоянной скорости вращения двигателя при случайном характере нагрузки

Ключевые слова: нечеткая логика, управление технологическим процессом, электродвигатель постоянного тока

Обобщением метода последовательной коррекции применительно к системам, у которых структурная модель представляется последовательным соединением инерционных и интегрирующих звеньев, является метод последовательной коррекции с подчиненным регулированием координат. Этот метод синтеза является «классическим» для систем управления автоматизированными электроприводами.

Основная идея данного метода коррекции состоит в последовательном включении регуляторов со структурой инерционных звеньев для компенсации постоянных времени первой группы, что позволяет исключить из модели объекта, а значит и из разомкнутой части системы звенья с большими постоянными времени. Для устранения статической ошибки и придания системе астатических свойств в прямой контур регулирования вводят интегрирующее звено и обеспечивают коэффициент передачи, равный единице.

Идея компенсации больших постоянных времени одним регулятором оказывается не реализуемой при наличии у объекта более двух таких постоянных, поскольку уже для компенсации двух постоянных времени объекта с использованием ПИД-регулятора резко снижается помехозащищенность системы. Для реализации идеи используют структуру

многоконтурного регулирования с вложениями – подчиненными контурами. При этом в каждом внутреннем контуре регулятор компенсирует не более двух постоянных времени. Настройку регуляторов такой системы выполняют независимо в каждом контуре [1].

Как правило, настройку регулятора тока осуществляют на модульный (технический оптимум). Желаемая передаточная функция контура тока, настроенного на модульный оптимум, принимается вида:

$$W_{ж.кт}^{MO}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)}, \quad (1)$$

где T_{μ} – некомпенсированная малая постоянная времени (обычно принимается равной T_n).

Тогда регулятор тока будет являться пропорционально-интегральным звеном:

$$W_{pm}^{MO}(p) = \beta_{pm} \cdot \frac{T_{\vartheta} \cdot p + 1}{T_{\vartheta} \cdot p}, \quad (2)$$

где $\beta_{pm} = \frac{T_{\vartheta} \cdot R_{\vartheta}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{om} \cdot K_n}.$

Для повышения точности регулирования регулятор скорости настраивается на симметричный оптимум, которому соответствует следующая передаточная функция:

$$W_{ж.к\varsigma}^{CO}(p) = \frac{8 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot 4 \cdot T_{\mu} \cdot p (2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1)}. \quad (3)$$

Тогда регулятор скорости также будет являться пропорционально-интегральным звеном:

$$W_{pc}^{CO}(p) = \beta_{pc} \cdot \frac{8 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu} \cdot p} \quad (4)$$

где $\beta_{pc} = \frac{T_{\mu} \cdot K_{om}}{4 \cdot T_{\mu} \cdot R_{\vartheta} \cdot K_{oc} \cdot K_g}.$

Ниже представлена система управления автоматизированным электроприводом, настроенная по принципу подчиненного регулирования.

Контур тока настроен на модульный оптимум, контур скорости – на симметричный.

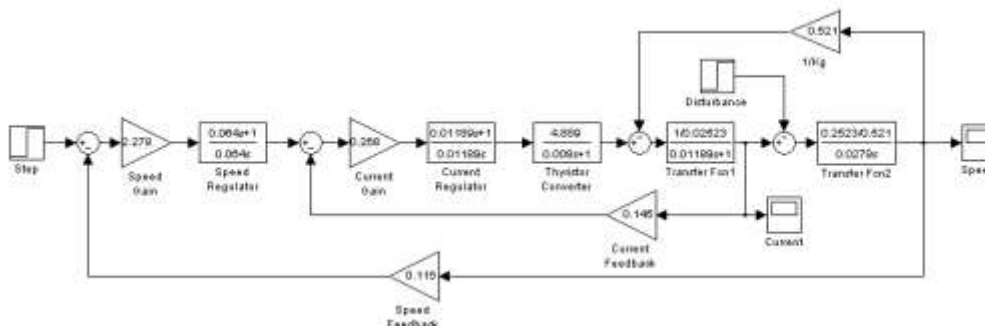


Рис. 1. «САР скорости с подчиненным регулированием»

Настройка контура скорости на модульный оптимум позволила бы достичь наилучших переходных характеристик, однако, в этом случае система стала бы статичной и, следовательно, при подаче возмущения появлялась бы статическая ошибка.

Как было сказано выше, необходимость введения двух регуляторов связана с невозможность компенсировать одним регулятором более двух постоянных времени.

На рис.2 представлена система управления электроприводом с нечетким регулятором, использующего в качестве информации для управления выходной сигнал системы и его производную. С выхода нечеткого регулятора сигнал поступает на интегратор и далее – на тиристорный преобразователь. Т.о. выходным сигналом нечеткого регулятора является информация о том, в каком направлении и на сколько следует изменить сигнал управления.

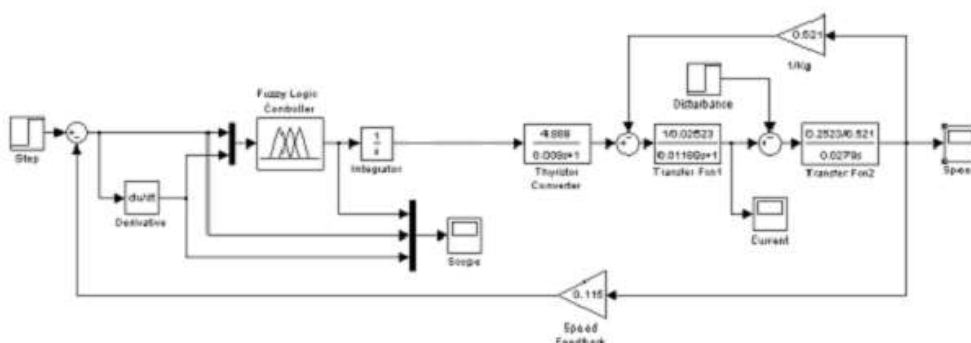


Рис. 2. «Нечеткая система управления скоростью ДПТ НВ»

Построенный нечеткий регулятор состоит из двух входов и одного выхода.

Лингвистически базовый закон управления, осуществляемый нечетким регулятором, может быть сформулирован следующим образом. Необходимо добиться, чтобы ошибка регулирования стала равна нулю, и зафиксировать на входе объекта управления то значение, при котором достигается это условие.

Основным содержательным компонентом блока нечеткого вывода является база знаний НЛР, которая строится исходя из цели применения НЛР. Поэтому экспертом вводятся знания о системе в виде совокупности нечетких продукционных правил.

База знаний нечеткого регулятора, представленного на рис.2, будет иметь следующий вид:

1. Если «ошибка» есть PB, тогда «управление» есть PB;
2. Если «ошибка» есть NB, тогда «управление» есть NB;
3. Если «ошибка» есть PS, тогда «управление» есть PS;
4. Если «ошибка» есть NS, тогда «управление» есть NS;
5. Если «ошибка» есть ZE и «производная» есть PS, тогда «управление» есть PS;
6. Если «ошибка» есть ZE и «производная» есть NS, тогда «управление» есть NS;
7. Если «ошибка» есть ZE, тогда «управление» есть ZE

Необходимым требованием к базе знаний нечеткого регулятора является полнота используемых правил:

$$X = \bigcup_{i=1}^n Supp A_i$$

где $Supp A_i$ - носитель нечеткого множества A_i .

Это означает, что для каждого текущего состояния x процесса существует хотя бы одно управляющее правило, посылка которого имеет ненулевую степень принадлежности для x .

Для рассматриваемой системы отсутствуют правила, содержащие анцендент с нулевой степенью принадлежности следовательно, можно сделать вывод о полноте правил управления.

Непротиворечивость системы управляющих правил обычно трактуется как отсутствие правил, имеющих сходные посылки и различные или взаимоисключающие следствия.

Степень непротиворечивости j -го и k -го правил можно задать величиной:

$$C_{jk} = |\bigcup_{E_1} (\mu_{A_1^j}(\varepsilon_1) \wedge \mu_{A_1^k}(\varepsilon_1))|$$

Суммируя по k , получаем оценку непротиворечивости j -го правила в системе:

$$C_j = \sum_{k=1}^n C_{jk}, 1 \leq j \leq 5$$

Исходя из этого, можно судить о непротиворечивости системы управляющих правил [2].

Средством, позволяющим связать любую физическую величину с каким-либо множеством, качественно характеризующим ее значения, является лингвистическая переменная. Введем две лингвистические переменные «ошибка» (e) и «производная» (de/dt). Для крайнего левого терма обеих входных переменных назначим z -образную функцию принадлежности, для крайнего правого – s -образную. Для всех внутренних термов входных переменных, назначим треугольные функции принадлежности.

Учитывая, что к виду переходной характеристики системы не предъявляются специальные требования, для снижения алгоритмической сложности базы знаний нечёткого контроллера базовое терм-множество входных лингвистических переменных ограничим на уровне пяти.

Количественные характеристики функций принадлежности определим в зависимости от диапазона изменения ошибки системы и ее производной, для которых строятся функции принадлежности соответствующих термов. Они

могут быть получены либо из экспериментальных данных, либо в результате имитационного моделирования.

В работе диапазоны входных переменных получены по результатам моделирования системы подчиненного регулирования. Для входа лингвистической переменной «ошибка» диапазон изменения принят $[-1, 1]$, вид термов для лингвистической переменной «ошибка» представлен на рисунке.

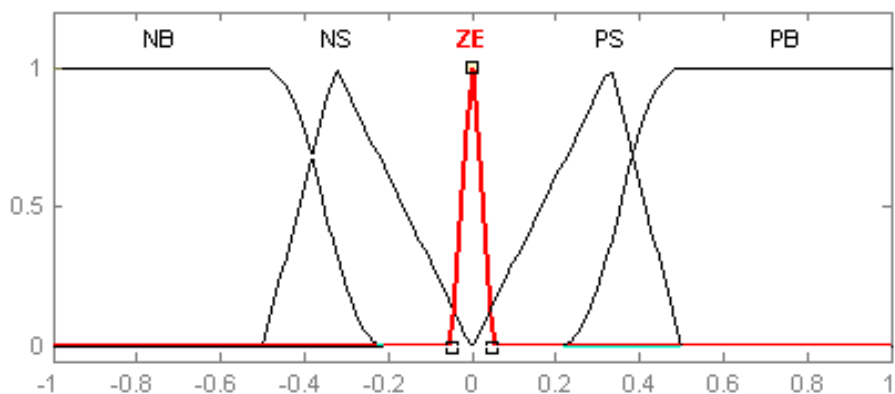


Рис. 3. «Функции принадлежности входной переменной «ошибка»»

Сигнал на второй вход НЛР поступает через коэффициент усиления, который пропорционально уменьшает сигнал до диапазона $[-1, 1]$. Поэтому для входа лингвистической переменной «производная» диапазон изменения принят $[-1, 1]$. Вид термов для лингвистической переменной «производная» представлен на рисунке.

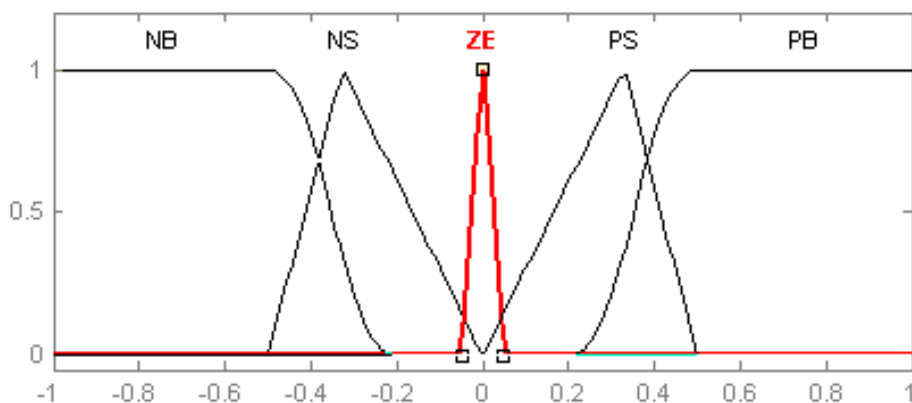


Рис. 4. «Функции принадлежности входной переменной «производная»»

Для выхода регулятора диапазон изменения параметров управляющего воздействия принят $[-20, 20]$. Функции принадлежности для лингвистической переменной «управление» представлены ниже:

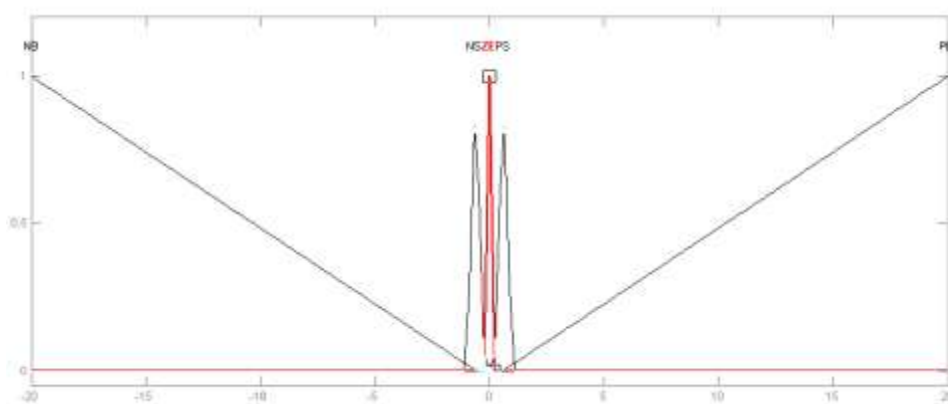


Рис. 5. «Функции принадлежности выходной переменной «управление»»

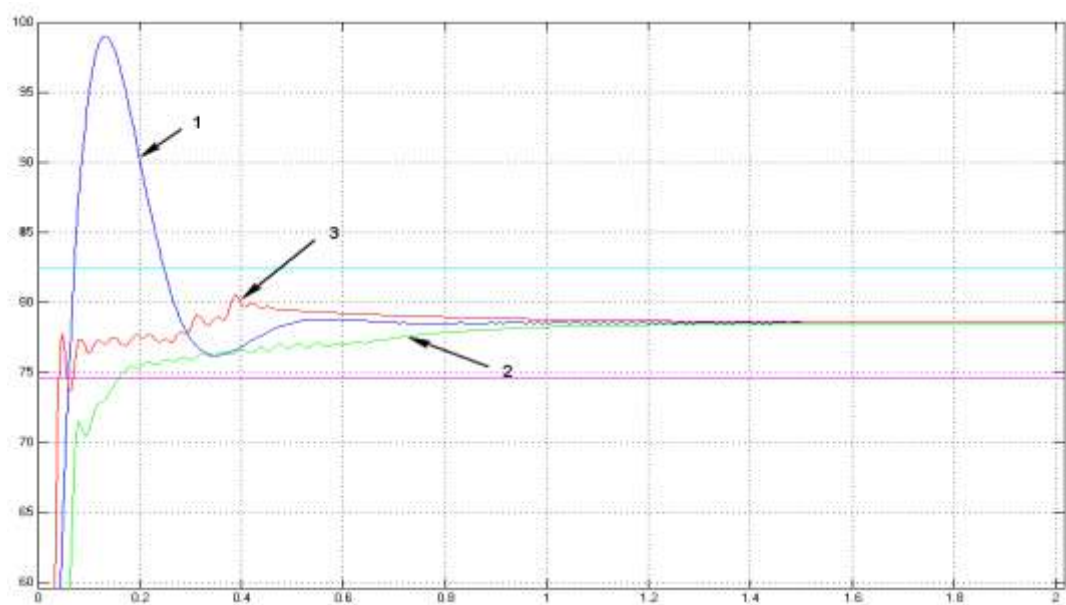
При реализации нечеткого регулятора по алгоритму вывода Сугено использовались аналогичные входные переменные и база знаний

Для выхода регулятора диапазон изменения параметров управляющего воздействия принят $[-20, 20]$. Функции принадлежности управляющего воздействия представлены ниже:

$PB = 20;$
 $PS = 0,6;$
 $ZE = 0;$
 $NS = -0,6;$
 $NB = -20.$

Сравнение результатов

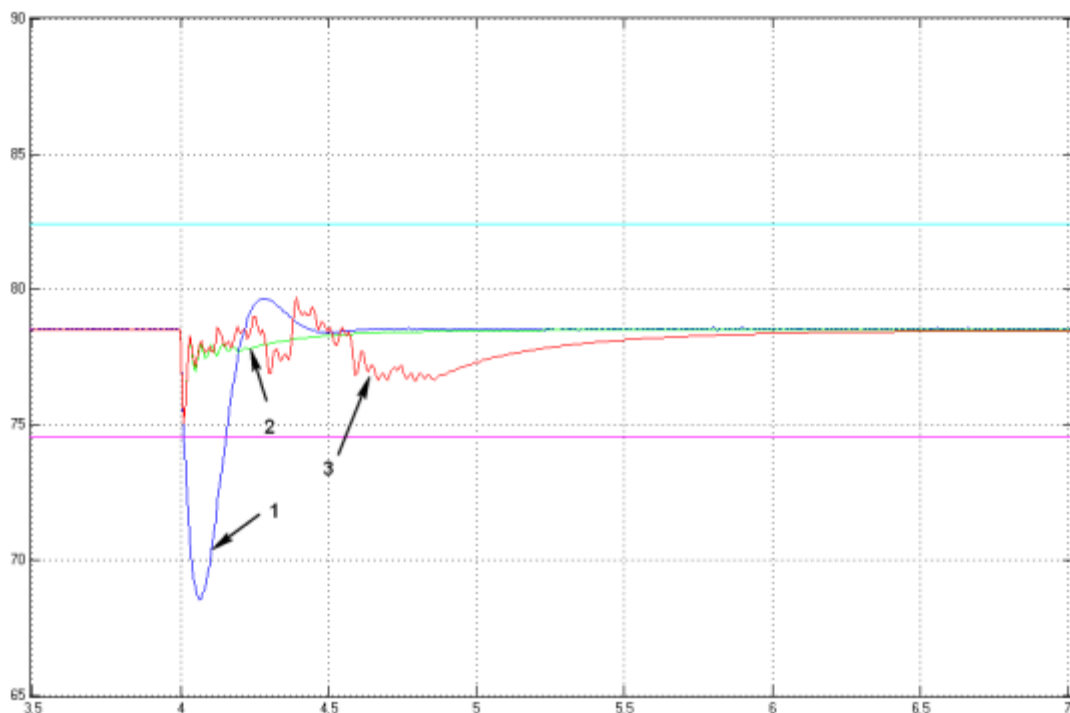
Рассмотрим совместно характеристики всех трех систем. Одной из основных характеристик систем автоматического управления является время переходного процесса и перерегулирование. На рис.6 видно перерегулирование «классической» системы порядка 25%, а время переходного процесса превышает $t_{\text{пн}} > 0,2$ с. В то время как системы с нечетким регулятором не выходят за границы пятипроцентной зоны и имеют $t_{\text{пн}} < 0,2$ с.



1 – «Классика»; 2 – Мамдани; 3 – Сугено

Рис. 6. «Переходный процесс всех трех систем по скорости»

При подачи возмущения в виде статического момента на валу двигателя обе нечеткие системы остаются в пятипроцентной зоне, в отличие от классической (рис.7). Однако у системы Сугено наблюдаются длительные колебания перед выходом на номинальное значение.

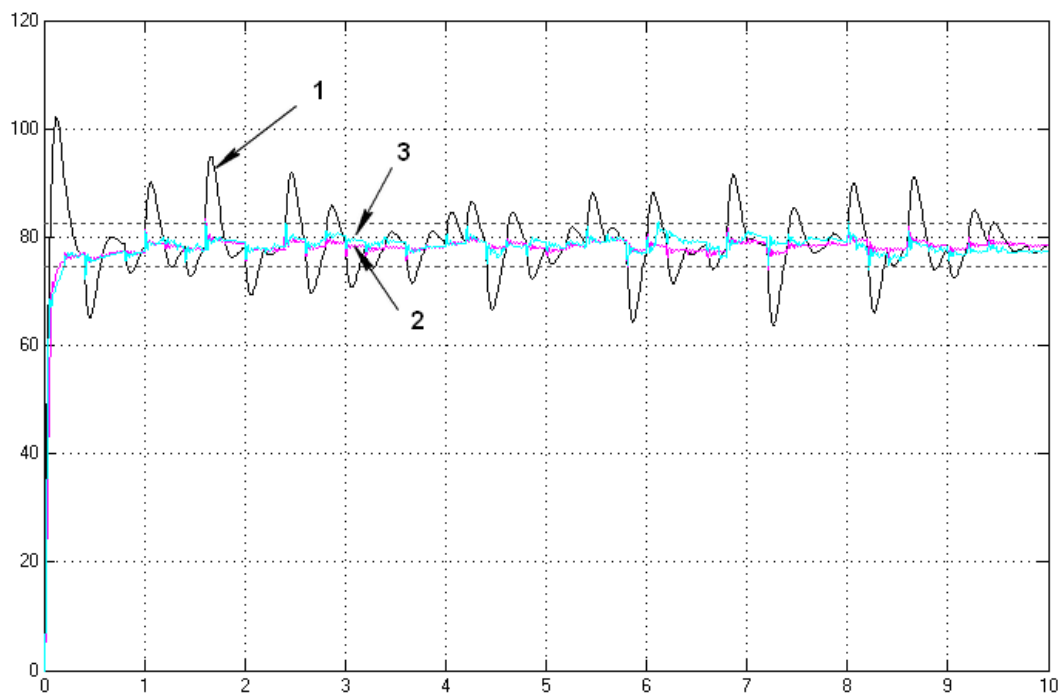


1 – «Классика»; 2 – Мамдани; 3 – Сугено

Рис. 7. «Реакция на возмущение всех трех систем»

Необходимо отметить, что поведение системы при практическом применении достаточно сильно отличается от поведения ее модели. Проверка т.н. «белым шумом» позволяет проверить способность системы реагировать на изменяющиеся условия среды и стохастический их характер.

Как видно из рис.9 «классическая» система не способна адекватно работать в условиях неопределенности, ее отклонение от заданного значения сравнимо с перерегулированием, что неприемлемо после выхода на установившийся режим. Это связано с предположением о ее линейности при расчете регуляторов. Напротив, при проектировании нечеткой системы управления исходными данными является информация о способах и цели управления в независимости от внутреннего устройства объекта управления.



1 – «Классика»; 2 – Мамдани; 3 – Сугено

Рис. 9. «Реакция систем на «белый шум»»

На основании приведенных графиков можно сделать вывод, что наилучшие результаты имеются у системы Мамдани: при достаточно малом времени регулирования, она лучше остальных систем отрабатывает возмущающее воздействие, при этом скачки тока минимальны.

Система Сугено обладает наименьшим временем регулирования. Однако ее недостатками являются наличие колебаний при приближении к заданному значению и большой, хоть и кратковременный скачек тока в начале переходного процесса. Колебания системы Сугено объясняются тем, что была использован алгоритм Сугено нулевого порядка.

Кроме того, системы с нечетким контроллером более устойчивы к «белому шуму»: они остаются в пятипроцентной зоне, в отличие от классической.

Таким образом обе нечёткие системы превосходят «классическую» систему управления.

Литература:

1. **Певзнер, Л. Д.** Теория систем управления / Л. Д. Певзнер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. – 472с.
2. **Соловьев, В. А.** Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / В. А. Соловьев, С. П. Чёрный. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КНАГТУ», 2006. – 74 с.
3. **Леоненков, А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. **Штовба, С. Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.