

Д. Н. Анисимов, канд. техн. наук, доц., AnisimovDN@mpei.ru,
Е. В. Фёдорова, аспирант, С. М. Грязнов, студент,
Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Оценка свойств нечетких систем управления на этапе формирования базы знаний¹

Исследуется влияние процедуры формирования базы знаний на характеристики нечеткого логического регулятора. Рассматриваются поверхности управления регулятора, построенного на основе реляционных моделей, и переходные процессы в замкнутой системе при изменении базы правил и вида функций принадлежности лингвистических переменных. Приводятся количественные оценки влияния степени растяжения-сжатия функций принадлежности на динамические характеристики нечеткого регулятора.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, функции принадлежности, база знаний, база правил, нечеткие реляционные модели

Введение

Регуляторы, основанные на нечетком логическом выводе, в настоящее время прочно вошли в практику построения систем автоматического управления. Исходной информацией при построении таких регуляторов служат знания экспертов. Эти знания формализуются с помощью построения функций принадлежности термов входных и выходных лингвистических переменных и установления нечеткого соответствия между пространством предпосылок и пространством заключений. Очевидно, что "при этом будет происходить некоторая потеря информации, поскольку не существует уникальных способов перевода качественных понятий в количественную форму" [1]. Поэтому, как правило, необходима коррекция базы знаний и параметров алгоритма нечеткого логического вывода для достижения требуемых показателей качества системы [2]. Основная проблема организации процедуры коррекции состоит в сложности целенаправленного изменения тех или иных параметров алгоритма, поскольку связь между настройками нечеткого логического регулятора (НЛР) и его динамическими свойствами изучена еще недостаточно хорошо. Таким образом, представляется актуальной задача комплексных исследований НЛР, позволяющих проводить анализ и синтез системы с позиций классической теории автоматического управления.

Алгоритм нечеткого логического вывода состоит из ряда этапов, таких как формирование базы знаний, фаззификация, агрегирование, активизация, аккумуляция, дефаззификация. Формирование базы знаний является, пожалуй, наиболее ответственным этапом, поскольку требует привлечения экспертов и формализации их знаний в целях дальнейшей обработки на ЭВМ. Собственно говоря, вся "нечеткость" системы проявляется именно на этом этапе. Этап формирования базы знаний включает в себя составление базы правил и построение функций принадлежности (ФП) термов входных и выходных лингвистических переменных. Изменения, вносимые в базу данных, наиболее часто используются на практике при коррекции алгоритмов нечеткого вывода. В статье рассматривается влияние базы правил и формы функций принадлежности на характеристики НЛР и свойства нечеткой системы управления (НСУ).

Нечеткий регулятор как объект исследования

В данной работе будем рассматривать НЛР, имеющий два входа, на которые подаются несогласование системы и его производная, и один выход, представляющий собой сигнал управления, подаваемый на объект. Этот нечеткий ПД регулятор будем сокращенно обозначать НПД. Для исследования свойств нечеткого регулятора будем рассматривать его отдельно, вне системы управления (рис. 1), а для исследования свойств НСУ включим его в контур управления дина-

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-01-00054-а).

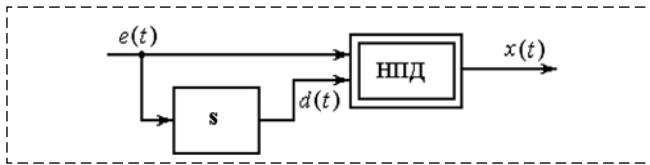


Рис. 1. Входные и выходной сигналы нечеткого ПД регулятора

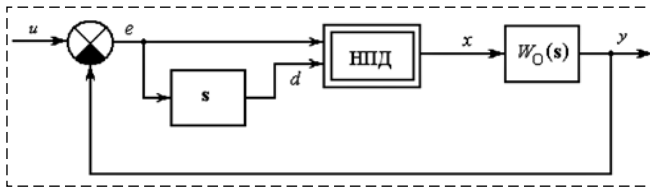


Рис. 2. Структурная схема нечеткой системы управления

мическим объектом (рис. 2). Поскольку в данном исследовании нас интересует, в первую очередь, поведение НПД, то для наглядности выберем объект с достаточно простой передаточной функцией

$$W_o(s) = \frac{K_o}{s(1 + sT_o)}, \quad (1)$$

где $K_o = 1 \text{ с}^{-1}$, $T_o = 1 \text{ с}$ — известные параметры объекта.

Для описания НПД введем следующие лингвистические переменные: <"Рассогласование" (" g_1 ")>, T_{g_1}, E , <"Производная" (" g_2 ")>, T_{g_2}, D , <"Управление" (" h ")>, T_h, X , где $E = [-e_m; e_m]$, $D = [-d_m; d_m]$, $X = [-x_m; x_m]$ — их области определения, $T_{g_1}^1 = \{T_{g_1}^1, T_{g_1}^2, T_{g_1}^3\} = \{"N", "Z", "P"\}$, $T_{g_2}^1 = \{T_{g_2}^1, T_{g_2}^2, T_{g_2}^3\} = \{"N", "Z", "P"\}$, $T_h^1 = \{T_h^1, T_h^2, T_h^3\} = \{"N", "Z", "P"\}$ — их терм-множества. Здесь и далее нечеткие переменные "N", "Z", "P" интерпретируются как "Отрицательное", "Около нуля", "Положительное" соответственно.

База правил в нечетких реляционных моделях

Базой правил в системах нечеткого вывода называют совокупность правил нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах нечетких лингвистических высказываний.

Наиболее часто база правил представляется в форме структурированного текста:

П 1: ЕСЛИ "Условие 1" ТО "Заключение 1"
 П 2: ЕСЛИ "Условие 2" ТО "Заключение 2"

 П Q: ЕСЛИ "Условие Q" ТО "Заключение Q"

При построении систем, основанных на нечетких логических выводах, наибольшее распространение получили алгоритмы Мамдани [3], Ларсена [4], Цукамото [5], Сугено—Такаги [6]. В данной работе для исследования выбран алгоритм на основе нечетких реляционных моделей [7].

Этот алгоритм не является альтернативой перечисленным выше, он может использоваться совместно с ними и представляет собой модификацию механизма нечеткого вывода на этапе активизации правил [8]. В нечетких реляционных моделях входные нечеткие переменные отображаются на выходные нечеткие переменные с помощью нечетких соответствий, определяемых, например, реляционными матрицами. Эти модели позволяют зафиксировать ФП термов лингвистических переменных и затем настроить нечеткие соответствия, реализуемые моделями, посредством элементов нечетких соответствий [9].

Для системы с двумя входными и одной выходной лингвистическими переменными, каждая из которых описывается тремя термами, некоторое q -е правило имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{П}_q: \text{ЕСЛИ } T_{g_1}^{j_1} \text{ есть } \tilde{G}_1 \text{ И } T_{g_2}^{j_2} \text{ есть } \tilde{G}_2 \\ & \text{ТО } T_h^1 \text{ есть } \tilde{H}(r_{q1}) \text{ И } T_h^2 \text{ есть } \tilde{H}(r_{q2}) \\ & \text{И } T_h^3 \text{ есть } \tilde{H}(r_{q3}) \\ & (j_1 = 1, 2, 3, j_2 = 1, 2, 3, q = \overline{1, 9}), \end{aligned} \quad (3)$$

где r_{qk} — степень уверенности в управляющем решении T_h^k в q -м правиле. Эти степени можно представить как элементы реляционной матрицы $R = \|r_{ij}\|$, определяющей нечеткое соответствие между пространством предпосылок и пространством заключений (в рассматриваемом случае — соответствие между входными и выходными сигналами НЛР). Реляционная матрица задается на основе экспертных оценок. Для выбранного числа лингвистических переменных и мощности терм-множеств реляционная матрица имеет размерность 9×3 . Очевидно, что число различных комбинаций численных значений ее элементов очень велико. Так, например, если задавать степени доверия в интервале от 0 до 1 с шагом 0,1, то число различных комбинаций составит $11^{27} \approx 1,311 \cdot 10^{28}$. Поэтому в данном исследовании ограничимся тремя, на наш взгляд, достаточно характерными нечеткими соответствиями, описываемыми матрицами R_1 , R_2 и R_3 [10]:

$$R_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} "N" & "Z" & "P" \end{matrix} \\ \begin{matrix} "NN" \\ "NZ" \\ "NP" \\ "ZN" \\ "ZZ" \\ "ZP" \\ "PN" \\ "PZ" \\ "PP" \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad R_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} "N" & "Z" & "P" \end{matrix} \\ \begin{matrix} "NN" \\ "NZ" \\ "NP" \\ "ZN" \\ "ZZ" \\ "ZP" \\ "PN" \\ "PZ" \\ "PP" \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0,2 \\ 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0,7 \\ 0,2 & 0,8 & 0,2 \\ 0 & 0,3 & 0,7 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$R_3 = \begin{matrix} & \begin{matrix} "N" & "Z" & "P" \end{matrix} \\ \begin{matrix} "NN" \\ "NZ" \\ "NP" \\ "ZN" \\ "ZZ" \\ "ZP" \\ "PN" \\ "PZ" \\ "PP" \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,4 & 0,6 & 0,4 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,3 & 0,7 & 0,3 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,4 & 0,6 & 0,4 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

Первое соответствие можно содержательно интерпретировать как "решительную" модель действий, когда лицо, принимающее решение, абсолютно уверенно выбирает одно из возможных управляющих воздействий даже при самых незначительных предпочтениях. Заметим, что при таком выборе графика нечеткого соответствия и максиминном логическом базисе алгоритм нечеткого вывода становится эквивалентным алгоритму Мамдани.

Второе соответствие будем называть "взвешенной" моделью, когда при очевидных предпочтениях уверенно выбираются управляющие воздействия, при неочевидных — выбор осуществляется более осторожно.

Третье соответствие будем условно называть "неуверенной" моделью действий. Для этого случая характерна очень большая осторожность в принимаемых решениях, не выходящая, однако, за пределы здравого смысла.

На рис. 3 изображены поверхности управления НПД для "решительной", "взвешенной" и "неуверенной" моделей принятия решений, представляющие собой зависимости управляющего сигнала x от входных сигналов e и d .

Как видно из рис. 3, средний наклон статических характеристик максимален для "решительной" модели и минимален для "неуверенной". Для всех характеристик наблюдается уменьшение наклона вблизи начала координат. При этом для "неуверенной" модели это уменьшение приводит к появлению зоны нечувствительности. Это, в свою очередь, может привести к возникновению статической ошибки системы. Переходные процессы в нечеткой системе управления для данных моделей принятия решения и объекта, описываемого передаточной функцией (1), изображены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, использование "неуверенной" модели приводит к затягиванию переходного процесса в системе, и в ней, действительно, присутствует статическая ошибка. Заметим, что "взвешенная" модель, хотя и представляет собой некоторое компромиссное решение, соответствующий ей переходный процесс в рассматри-

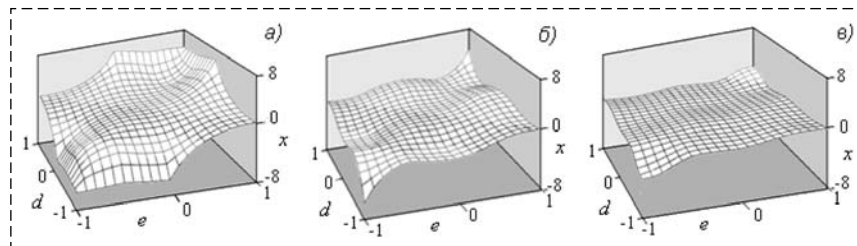


Рис. 3. Поверхности управления НПД для "решительной" (а), "взвешенной" (б) и "неуверенной" (в) моделей принятия решений

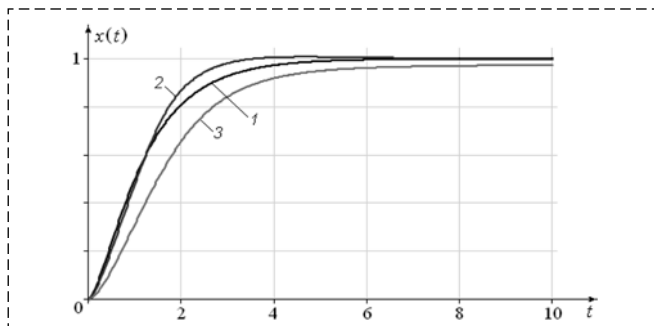


Рис. 4. Переходные процессы в нечеткой системе управления для "решительной" (1), "взвешенной" (2) и "неуверенной" (3) моделей принятия решений

ваемом случае не занимает промежуточного положения между процессами, соответствующими "решительной" и "неуверенной" моделям. Более того, возникает даже небольшое перерегулирование переходного процесса, которое отсутствует для двух других моделей. Подобное явление характерно не только для нечетких систем управления, оно достаточно часто встречается и в линейных системах при определенных структуре и параметрах объекта и регулятора.

Рассмотренные три модели в значительной степени характеризуют индивидуальные черты эксперта: чем более уверенно он принимает решения, тем выше оказывается коэффициент усиления нечеткого регулятора. Поэтому при построении нечеткой системы управления следует учитывать эту особенность, но, по возможности, не изменять параметры базы правил.

Влияние формы функций принадлежности термов лингвистических переменных на характеристики НПД

Существует несколько точек зрения на содержательную интерпретацию ФП. В большинстве известных работ по исследованию и применению теории нечетких множеств считается, что ФП — это некоторое не вероятностное субъективное измерение нечеткости, и что она отличается от вероятностной меры [2]. Однако в некоторых задачах управления и диагностики бывает удобно и целесообразно использовать вероятностные модели для построения ФП [11, 12].

Известно достаточно много способов аналитического задания ФП. В литературных источниках часто рассматриваются треугольные, трапециевидные, полиномиальные, гауссовы, сигмоидальные и другие. ФП [13]. Возникает вопрос, насколько принципиальным является выбор того или иного аналитического описания ФП? В работе [14] было высказано предположение, что различные виды ФП могут давать схожие показатели качества системы. Рассмотрим этот вопрос на примере ФП трапециевидной и полиномиальной формы, при этом ограничимся рассмотрением

только лингвистической переменной "Рассогласование", описывающей входной сигнал e , и "решительной" модели принятия решений.

В качестве базовых удобно выбрать треугольные ФП. Поверхность управления изображена на рис. 3, а переходный процесс в замкнутой системе — на рис. 4 (кривая 1). Далее начнем трансформировать исходные ФП. Для трапециевидной формы будем изменять ширину модальных значений, а для полиномиальной формы — степень полиномов. При этом для того чтобы ФП удовлетворяли смысловым требованиям [15], изменения будем проводить таким образом, чтобы при сжатии ФП центрального терма ФП крайних термов растягивались, и наоборот.

На рис. 5 изображены трапециевидные ФП, сжатые к центру базовой шкалы, соответствующая им поверхность управления и переходный процесс в замкнутой системе, а на рис. 6 — эти же характеристики для полиномиальных ФП. Как видно из рис. 5, б и рис. 6, б, крутизна поверхностей управления в области начала координат возрастает. Для рассматриваемого объекта управления это приводит к увеличению колебательности переходных процессов (рис. 5, в и рис. 6, в).

На рис. 7 изображены трапециевидные ФП, растянутые от центра базовой шкалы, соответствующая им поверхность управления и переходный процесс в замкнутой системе, а на рис. 8 — эти же характеристики для полиномиальных ФП. Как видно из рис. 7, б и рис. 8, б, в области начала координат образуется зона нечувствительности. Для рассматриваемого объекта управления это приводит к появлению статической ошибки в системе (рис. 7, в и рис. 8, в).

Таким образом, с точки зрения влияния на динамику нечеткой системы управления конкретное аналитическое описание ФП не является принципиальным, однако их степень растяжения-сжатия оказывает существенное

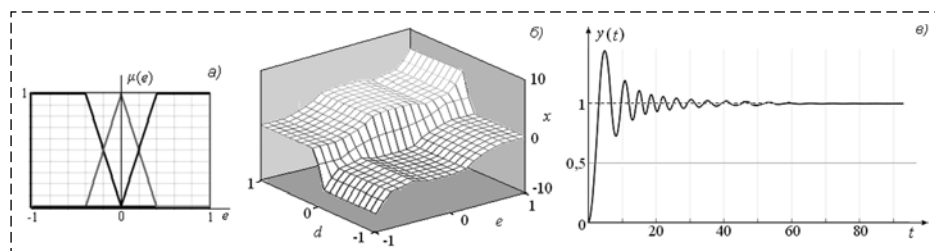


Рис. 5. Трапециевидные функции принадлежности, сжатые к центру базовой шкалы (а), соответствующая им поверхность управления (б) и переходный процесс в замкнутой системе (в)

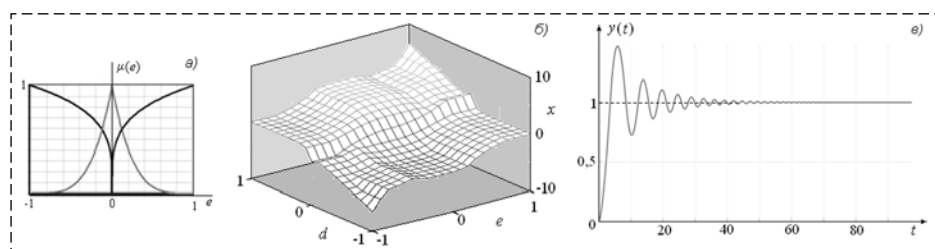


Рис. 6. Полиномиальные функции принадлежности, сжатые к центру базовой шкалы (а), соответствующая им поверхность управления (б) и переходный процесс в замкнутой системе (в)

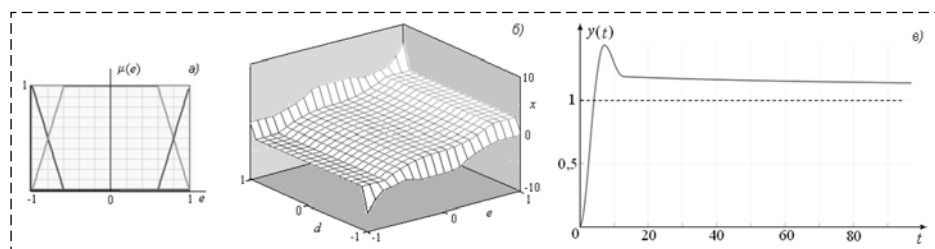


Рис. 7. Трапециевидные функции принадлежности, растянутые от центра базовой шкалы (а), соответствующая им поверхность управления (б) и переходный процесс в замкнутой системе (в)

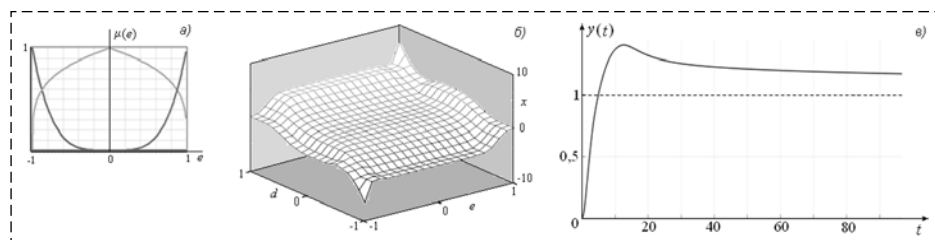


Рис. 8. Полиномиальные функции принадлежности, растянутые от центра базовой шкалы (а), соответствующая им поверхность управления (б) и переходный процесс в замкнутой системе (в)

влияние как на поверхности управления, так и на характер переходных процессов. Этому влиянию можно дать количественную оценку. В работе [14] была предложена линеаризованная модель НПД в виде ПД регулятора с передаточной функцией

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_{\text{П}} + K_{\text{Д}}s = K(1 + sT_{\text{Ф}}). \quad (5)$$

Здесь $T_{\text{Ф}} = \frac{K_{\text{Д}}}{K_{\text{П}}}$ — постоянная времени форсирующего звена. Параметры $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Д}}$ определяются по результатам идентификации ПД регулятора в замкнутой системе (см. рис. 2) методом экспоненциальной модуляции [16]. Рассмотрим нечеткий регулятор с полиномиальными ФП термов лингвистической переменной. Аналитическая форма задания ФП представлена следующими выражениями:

- "отрицательное" —

$$\mu_{A^1}(z) = \begin{cases} 1, & z < -Z; \\ \left(-\frac{z}{Z}\right)^{\gamma}, & -Z \leq z \leq 0; \\ 0, & z > 0; \end{cases}$$

- "около нуля" —

$$\mu_{A^2}(z) = \begin{cases} 0, & z < -Z; \\ \left(\frac{z}{Z} + 1\right)^{1/\gamma}, & -Z \leq z \leq 0; \\ \left(-\frac{z}{Z} + 1\right)^{1/\gamma}, & 0 \leq z \leq Z; \\ 0, & z > Z; \end{cases} \quad (6)$$

- "положительное" —

$$\mu_{A^3}(z) = \begin{cases} 0, & z < 0; \\ \left(\frac{z}{Z}\right)^{\gamma}, & 0 \leq z \leq Z; \\ 1, & z > Z, \end{cases}$$

где $z = \{e, d, x\}$, $A^1 = \{T_{g_1}^1, T_{g_2}^1, T_h^1\}$, $A^2 = \{T_{g_1}^2, T_{g_2}^2, T_h^2\}$, $A^3 = \{T_{g_1}^3, T_{g_2}^3, T_h^3\}$. Величина Z задается исходя из области определения конкретной лингвистической переменной.

В качестве примера приведем зависимости параметров $K_{\text{П}}$, $K_{\text{Д}}$, $T_{\text{Ф}}$ от степени растяжения-сжатия ФП термов лингвистической переменной "Рассогласование" γ_e при ступенчатом входном сигнале $u(t) = U_m \cdot 1_0(t)$ для различных значений амплитуды U_m (рис. 9).

Аналогичные зависимости получены для степеней растяжения-сжатия ФП термов лингвистических переменных "Производная" γ_d и "Управление" γ_x . Анализ этих зависимостей позволяет отметить следующие их особенности.

При увеличении степени растяжения-сжатия ФП термов ЛП "Рассогласование" параметр аппроксимирующего ПД регулятора $K_{\text{П}}$ уменьшается и, начиная с некоторого значения γ_e , обращается в ноль. При этом в линеаризованной системе управления объектом вида (1) должна появляться статическая ошибка. Параметр $K_{\text{Д}}$ изменяется незначительно, и постоянную времени форсирующего звена можно считать обратно пропорциональной параметру $K_{\text{П}}$.

При увеличении степени растяжения-сжатия ФП термов ЛП "Производная" параметр $K_{\text{П}}$ увеличивается, а $K_{\text{Д}}$ уменьшается, и НПД становится близким по своим свойствам к П регулятору.

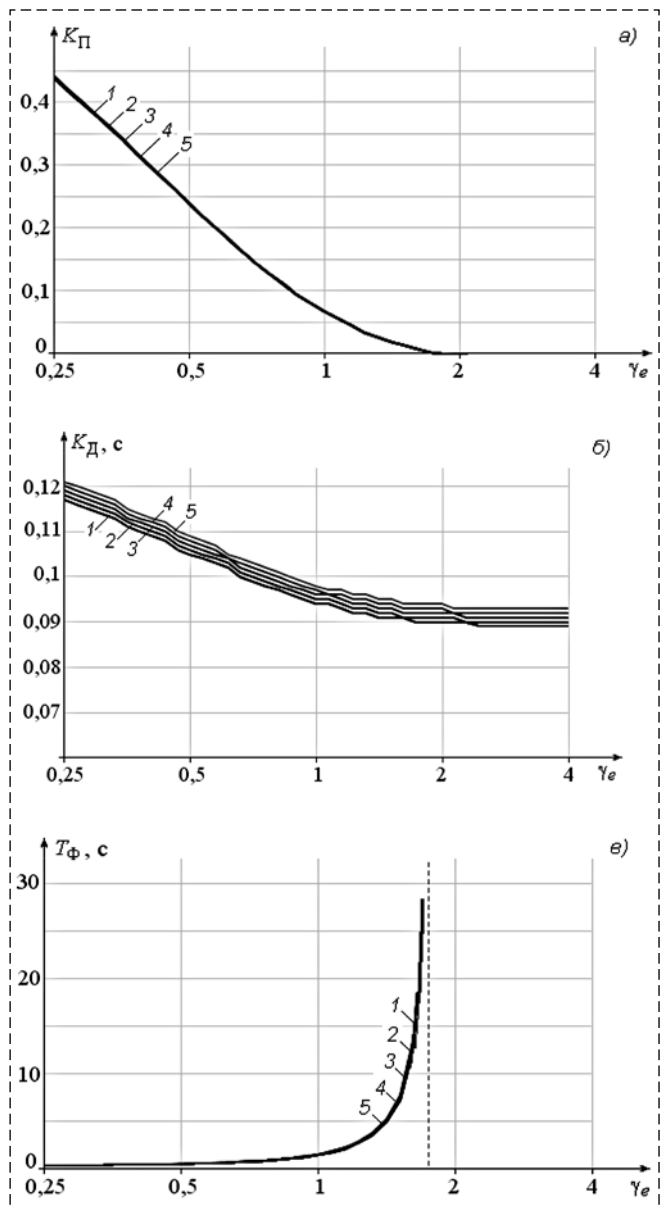


Рис. 9. Зависимости параметров аппроксимирующего ПД регулятора $K_{\text{П}}$ (а), $K_{\text{Д}}$ (б) и $T_{\text{Ф}}$ (в) от степени растяжения-сжатия ФП термов ЛП "Рассогласование" при $U_m = 0,2$ (1), $U_m = 0,4$ (2), $U_m = 0,6$ (3), $U_m = 0,8$ (4), $U_m = 1,0$ (5)

Увеличение степени растяжения-сжатия ФП термов ЛП "Управление" приводит примерно к одинаковому уменьшению параметров K_{Π} и K_{Δ} . При этом постоянная времени форсирующего звена $T_{\Phi} = \frac{K_{\Delta}}{K_{\Pi}}$ изменяется в узких пределах. Таким образом, изменение формы ФП термов ЛП "Управление" влияет только на общий коэффициент усиления НПД.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что, изменяя форму ФП термов лингвистических переменных с помощью степеней $\gamma_e, \gamma_d, \gamma_x$, можно настраивать нечеткий регулятор для обеспечения заданных показателей качества системы управления. Следует, однако, заметить, что такой способ, во-первых, недостаточно прозрачен для разработчика; во-вторых, требует определенного времени для формирования новых ФП. Второе обстоятельство может стать препятствием при подстройке НПД в режиме реального времени.

Заключение

Рассмотрены вопросы формирования базы знаний в алгоритмах нечеткого вывода, основанных на реляционных моделях. Введены три характерные модели принятия решений при составлении базы правил — "решительная", "неуверенная" и "взвешенная" — и сделаны оценки их влияния на поверхности управления НПД и переходные процессы в нечеткой системе управления. Сделан вывод о том, что, с точки зрения влияния на динамику нечеткой системы управления конкретное аналитическое описание ФП не является принципиальным, однако их степень растяжения-сжатия оказывает существенное влияние как на поверхности управления, так и на характер переходных процессов.

Определены зависимости параметров аппроксимирующего ПД регулятора от степени растяжения-сжатия ФП термов лингвистических переменных.

Проведенные исследования позволяют организовать целенаправленную настройку НПД,

обеспечивающую заданные показатели качества системы управления.

Список литературы

1. Jager R. Fuzzy logic in control // III. Thesis Technische Universiteit Delft, 1995.
2. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990.
3. Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with fuzzy logic controller // Int. J. Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7, N. 1. P. 1—13.
4. Larsen P. M. Industrial applications of fuzzy logic control // Int. J. Man-Machine Studies. 1980. Vol. 12, N. 1. P. 3—10.
5. Tsukamoto Y. An approach to fuzzy reasoning method // Gupta M. M., Ragade R. K. and Yager R. R. (Eds.) Advances in Fuzzy Sets Theory and Applications. North-Holland, Amsterdam, 1979. P. 137—149.
6. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. 1985. Vol. 15, N. 1. P. 116—132.
7. Pedrycz W. Fuzzy Control and Fuzzy Systems. New York: John Wiley and Sons, 1993.
8. Анисимов Д. Н., Май Тхе Ань. Динамические свойства нечетких систем управления, построенных на основе реляционных моделей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18. № 5. С. 298—307.
9. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия—Телеком, 2012.
10. Анисимов Д. Н., Новиков В. Н., Сафина Э. А., Ситников К. Ю. Исследование влияния выбора логического базиса на характеристики нечеткого регулятора // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 8 (149). С. 12—17.
11. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006.
12. Колосов О. С., Анисимов Д. Н., Хрипков Д. В. Исследование многоуровневых диагностических систем с использованием стохастической модели // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, № 4. С. 254—261.
13. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
14. Анисимов Д. Н., Дроздова Е. Д., Новиков В. Н. Исследование свойств нечеткого аппроксимирующего ПД регулятора // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 9. С. 6—12.
15. Анисимов Д. Н. Нечеткие алгоритмы управления: Уч. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2004.
16. Анисимов Д. Н. Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. 1994. № 2. С. 68—72.

Evaluation of the Properties of Fuzzy Control Systems in the Stage of Formation of the Knowledge Base

D. N. Anisimov, anisimovdn@mpei.ru, E. V. Fyodorova, public_fe@mail.ru,
S. M. Gryaznov, sergey.gryaznov.95@mail.ru
National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

Corresponding author: Anisimov Dmitry N., Ph. D., Associate Professor,
National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow, 111250, Russian Federation

The paper is devoted to the study of the influence of the procedure of formation of the knowledge base on the characteristics of the fuzzy logic controller (FLC). The source of information in the construction of fuzzy controllers is expert knowledge. Constructing of membership functions of terms of the input and output linguistic variables and the fuzzy matching between the antecedent and consequent spaces is formalizes this knowledge. This entails loss of information, because there is no unique translation from a qualitative entity to a quantitative representation except for some special cases. Therefore, as a rule, it is necessary to correct the knowledge base and parameters of algorithm of fuzzy inference in order to achieve the required quality of the system. The main problem of the organization of the correction procedure lies in the complexity of purposeful changes of certain parameters of the algorithm, since the relationship between the settings of FLC and its dynamic properties are still not well studied. Thus, the task of complex research of FLC, allowing an analysis and synthesis system from the standpoint of the classical theory of automatic control, is relevant. The algorithm of the fuzzy inference consists of several stages such as formation of a knowledge base, fuzzification, aggregation, activation, accumulation and defuzzification. Creation of a knowledge base is perhaps the most critical step because it requires the involvement of experts and formalizing their knowledge to further computer processing. The formation of knowledge base in the algorithms of fuzzy inference based on relational models is discussed in the paper. We suggest considering three typical models of decision-making in compiling the rule base is "strong", "uncertain" and "balanced" — and estimate their influence on the control surface of FLC and the transient response of the fuzzy control system. We concluded that, from the point of view of influence on the dynamics of fuzzy control systems, specific analytical description of the membership functions is not essential; however, their degree of tension-compression has a significant effect on both the control surface, and system behavior. The conducted research allows goal-seeking tuning of FLC, providing required quality metrics of control system.

Keywords: fuzzy controller, membership functions, knowledge base, rule base, fuzzy relational model

Acknowledgements: This article was prepared with the financial support of Russian Foundation for Basic Research (project no. 16-01-00054-a).

For citation:

Anisimov D. N., Fyodorova E. V., Gryaznov S. M. Evaluation of the Properties of Fuzzy Control Systems in the Stage of Formation of the Knowledge Base, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 5, pp. 291—297.

DOI: 10.17587/mau.19.291-297

References

1. Jager R. Fuzzy logic in control, III. Thesis Technische Universiteit Delft, 1995.
2. Melihov A. N., Bernshtejn L. S., Korovin S. Ja. *Situacionnye sovetujushhie sistemy s nechetkoj logikoj* (Situational advising systems with fuzzy logic), Moscow, Nauka, 1990 (in Russian).
3. Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with fuzzy logic controller, *Int. J. Man-Machine Studies*, 1975, vol. 7, no. 1, pp. 1—13.
4. Larsen P. M. Industrial applications of fuzzy logic control, *Int. J. Man-Machine Studies*, 1980, vol. 12, no. 1, pp. 3—10.
5. Tsukamoto Y. An approach to fuzzy reasoning method, In: Gupta M. M., Ragade R. K. and Yager R. R. (Eds.) *Advances in Fuzzy Sets Theory and Applications*, North-Holland, Amsterdam, 1979, pp. 137—149.
6. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 1985, vol. 15, no. 1, pp. 116—132.
7. Pedrycz W. *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, New York, John Wiley and Sons, 1993.
8. Anisimov D. N., Mai The Anh. *Dinamicheskie svojstva nechetkih sistem upravlenija, postroennyh na osnove reljacionnyh modelej* (Dynamic Properties of the Fuzzy Control Systems Based on the Relational Models), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 5, pp. 298—307 (in Russian).
9. Borisov V. V., Kruglov V. V., Fedulov A. S. *Nechetkie modeli i seti* (Fuzzy Models and Networks), Moscow, Gorjachaja linija—Telekom, 2012 (in Russian).
10. Anisimov D. N., Novikov V. N., Safina Je. A., Sitnikov K. Ju. *Issledovanie vlijanija vybora logicheskogo bazisa na harakteristiki nechetkogo reguljatora* (Research of Logical Basis Choice Influence on Fuzzy Regulator Characteristics), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2013, no. 8 (149), pp. 12—17 (in Russian).
11. Makarov I. M., Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P. *Iskusstvennyj intellekt i intellektual'nye sistemy upravlenija* (Artificial Intelligence and Intelligent Control Systems), Moscow, Nauka, 2006 (in Russian).
12. Kolosov O. S., Anisimov D. N., Khripkov D. V. *Issledovanie mnogourovnevnyh diagnosticheskikh sistem s ispol'zovaniem stohasticheskoy modeli* (Research of the Multilevel Fuzzy Diagnostic Systems with the Use of Stochastic Models), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 254—261 (in Russian).
13. Piegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* (Fuzzy Modelling and Control). Moscow, BINOM. Laboratorija znaniy, 2009 (in Russian).
14. Anisimov D. N., Drozdova E. D., Novikov V. N. *Issledovanie svojstv nechetkogo approksimirujushhego PD reguljatora* (Construction of Fuzzy Regulator Approximating Model Based on Identification by the Method of Exponential Modulation), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 9, pp. 6—12 (in Russian).
15. Anisimov D. N. *Nechetkie algoritmy upravlenija* (Fuzzy Algorithms of Control), Moscow, Izdatel'stvo MJeI, 2004 (in Russian).
16. Anisimov D. N. *Identifikacija linejnyh dinamicheskikh ob'ektov metodom jeksponencial'noj moduljatsii* (The Identification of Linear Dynamic Objects by the Method of Exponential Modulation), *Vestnik MJeI*, 1994, no. 2, pp. 68—72 (in Russian).