

УДК 519.7

**А.А. Айбазова****АДАПТАЦИЯ В ПРОДУКЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ НЕЧЕТКОГО  
ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА**

*Приведен вариант структуры адаптивного нечеткого регулятора, в котором поиск управляющего решения осуществляется на основе анализа экспертных знаний о поведении объекта управления и применении моделей нечеткого логического вывода. Выполнен анализ вариантов самоорганизации в нечетком регуляторе. Решение задач управления осуществляется с применением экспертных знаний. Применение нечеткого регулятора может быть рассмотрено в задачах управления тепловым агрегатом, который меняет свои характеристики во времени и его нельзя рассматривать как стационарный объект.*

*Автоматическая оптимизация; нечеткий регулятор; нечеткий логический вывод.*

**A.A. Ayibazova****ADAPTING IN PRODUCTION MODELS OF THE INDISTINCT INFERENCE**

*The variant of structure of an adaptive indistinct regulator in which search of the operating decision is carried out on the basis of the analysis of expert knowledge of behaviour of object of management and application of models of an indistinct logic conclusion is resulted. The analysis of variants of self-organising in an indistinct regulator is made. The decision of problems of management is carried out with application of expert knowledge. Application of an indistinct regulator can be considered in management problems the thermal unit which changes the characteristics in time and it cannot be considered as stationary object.*

*Automatic optimization; indistinct regulator; indistinct logic conclusion.*

Согласно работе [1], «адаптивная система – это такая управляющая система, которая в ходе управления любым объектом класса за конечное время достигает цель». Для адаптивных обучаемых систем управления появилось понятие обучаемости и цели управления, а система управления приспособляется к свойствам конкретного объекта, «о котором заранее известно всего лишь, к какому классу управляемых объектов он относится».

В теории адаптивных систем управления выполнены достаточно глубокие исследования для синтеза разного вида поисковых (систем автоматической оптимизации) САО, однако практическое применение теоретических результатов ограничивается как сложностью синтеза реальных САО, так и степенью априорной и апостериорной неопределенности в задачах адаптации, идентификации и оптимизации.

Управление в САО направлено на изменение вектора входных координат объекта управления (ОУ) с целью достижения экстремума. Из теории игр в силу существенной степени неопределенности относительно ОУ взят термин «управляющее решение», определяющий классическое понятие «управление».

Для представления неполной или неточной информации, с возможностью уточнения в процессе функционирования, и для принятия решений в САО могут быть использованы нечетко-вероятностные модели, основанные на нечетких и лингвистических оценках параметров. В данных моделях также применяются методы адаптации.

Таким образом, решение оптимизационных задач управления на практике во многих случаях происходит в условиях неопределенности, связанной с отсутствием предварительно получаемых статистических данных о поведении, а также отсутствием априорных сведений о математической модели ОУ. Для решения оптимизационных задач САО разрабатываются модели принятия решений, что делает

возможным синтез интеллектуальных САО [2, 3]. Однако в процессе управления структура и поведение ОУ могут претерпевать существенные изменения, поэтому логический вывод на основе исходной экспертной информации будет формировать управляющие решения, не соответствующие реальным ситуациям функционирования ОУ. В связи с этим необходимо осуществлять адаптацию (коррекцию) исходных знаний экспертов в процессе функционирования САО. Рассмотрим варианты адаптации в продукционных моделях нечеткого логического вывода.

В основе интеллектуальных систем находится база знаний экспертов, которая конструируется с применением определенных методов представления и поиска знаний [4]. Реализация интеллектуальных систем для задач управления объектами осуществляется в виде нечетких контроллеров, называемых еще нечеткими регуляторами. Таким образом, основной задачей при построении нечетких регуляторов является конструирование базы знаний. Решение задачи конструирования базы знаний зависит от особенностей поведения ОУ, который может менять во времени свои характеристики, совершать движение в пространстве состояний и даже менять свою структуру. Условия применения нечеткого регулятора и поведение объекта определяют способы конструирования базы знаний.

Известно [5], что классифицировать нечеткие регуляторы можно по способам заполнения базы знаний следующим образом:

- ◆ способ анализа опытных данных предусматривает заполнение базы знаний нечеткого регулятора экспертом в процессе управления ОУ;
- ◆ способ составления априорных правил заключается в том, что экспертами формулируются продукционные правила выбора управлений для каждой наблюдаемой ситуации;
- ◆ способ самоорганизации базы знаний состоит в том, что для нечеткого регулятора сообщается некоторая исходная информация об управляемом объекте и методе поиска решений, а затем нечеткий регулятор осуществляет управление и набирает знания на основе реакции объекта на эти управления.

Очевидно, что третий способ позволяет не вмешиваться в ход процесса функционирования ОУ, решая задачи адаптации в продукционных моделях нечеткого логического вывода и синтезируя нечеткие регуляторы, относящиеся к группе самоорганизующихся (адаптивных, обучаемых) регуляторов.

Например, теплоагрегат меняет свои характеристики во времени и его нельзя рассматривать как стационарный объект. Изменение его характеристик должно отслеживаться нечетким регулятором во времени и учитываться в выборе управляющих воздействий. Обучение нечеткого регулятора состоит в получении новых знаний об управлении, адекватных реальным ситуациям в пространстве состояний теплоагрегата. Возможный вариант структуры самоорганизующегося нечеткого регулятора (адаптивной обучаемой системы) показан на рис. 1.

В приведенной структуре в общем виде учтено задание исходных данных экспертов, возможность измерения (оценки) текущих данных о параметрах ОУ управления, а также методология обучаемости и адаптации.

Самоорганизующийся нечеткий регулятор подает на вход ОУ в установленные такты времени  $t$  сигналы управления (управляющие воздействия)  $u_t$ , вырабатываемые блоком выбора управляющих решений. Состояние ОУ в такте времени  $t$  определено сигналом  $x_t$ , а сигналом  $u_t$  определен выходной параметр ОУ. В общем случае величины  $u_t$ ,  $x_t$ , и  $u_t$  могут рассматриваться как векторные. Эволюция ОУ во времени описывается следующими уравнениями:

$$x_t = \Phi[x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_0, u_t, u_{t-1}, \dots, u_1], \quad (1)$$

$$y_t = \psi[x_t, x_{t-1}, \dots, x_0, u_t, u_{t-1}, \dots, u_1], \quad (2)$$

где  $\varphi$  – функция переходов;  $\psi$  – функция выходов. Функции переходов  $\varphi$  и  $\psi$  выходов являются моделью ОУ.

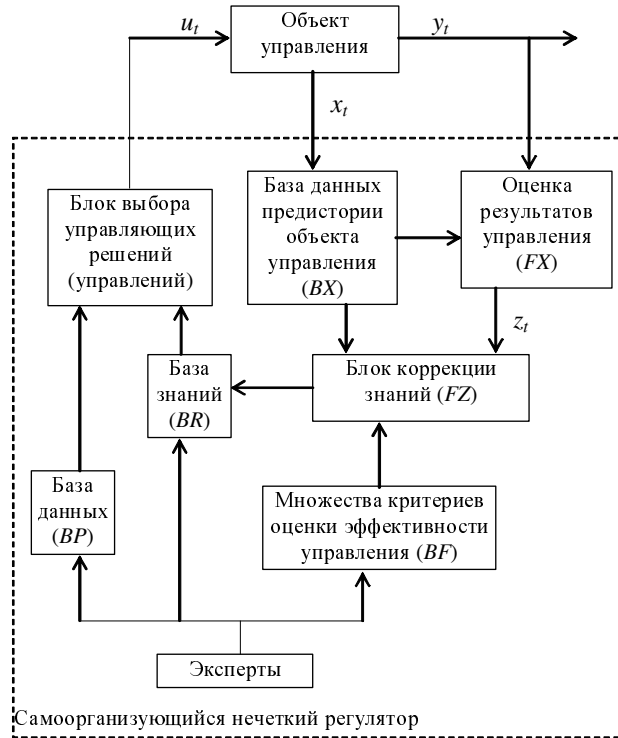


Рис. 1. Структура самоорганизующегося нечеткого регулятора

Вид функций (1) и (2) неизвестен, поэтому самоорганизующийся нечеткий регулятор ориентируется на измерения выхода и состояния ОУ в такты времени  $t$ . Выходной сигнал  $y_t$  и состояние  $x_t$  оцениваются самоорганизующимся нечетким регулятором. Результатом оценки является сигнал реакции  $z_t$  на действие  $u_{t-1}$ , совершенное в такте времени  $t-1$ .

Для оценки выходных параметров ОУ (поведения объекта) принимается некоторый критерий  $F$ . Критерий представляет собой вначале некоторую гипотезу  $H_0$ , формально представляющую собой модель оценки поведения ОУ, которая выдвигается против альтернативы  $H_1$ .

Критериев оценки эффективности функционирования ОУ в общем случае может быть сколь угодно много и экспертами определяется множество  $\{F_i\}$ ,  $i=1, 2, 3, \dots$  критериев. Формализовать задачу выбора критерия оценки эффективности функционирования ОУ можно следующим образом.

Определим набор множеств для задания множества критериев эффективности функционирования

$$\langle X, K, LV, \tilde{N}, R, M, \tilde{A} \rangle, \quad (3)$$

где  $X$  – вектор конструктивных параметров ОУ;  $K$  – множество моделей критериев эффективности, применение которых возможно для анализа функционирования ОУ;  $LV$  – лингвистическая переменная «степень достоверности», вербально опре-

деляющая степень достоверности значений элементов вектора  $X$ ;  $M$  – семантическое правило образования терм-множеств ЛП  $LV$ ;  $C$  – множество целей ОУ;  $\tilde{A} = (C, K\tilde{I})$  – соответствие между целями ОУ и критериями, необходимыми для оценки достижения этих целей;  $R$  – множество синтаксических правил, порождающих интегральные показатели функционирования ОУ.

Экспертами определяется база знаний  $BF$ , в которой задана и описана некоторая допустимая совокупность критериев оценки эффективности функционирования ОУ.

Исходя из принятых правил  $FX$ , осуществляется оценка  $z_{t+1}$  результата управления  $u_t$ . Выбор управления  $u_t$  – принятие решения о сигнале управления из некоторого множества  $U$ , который в такте времени  $t$  подается от блока выбора управляющих решений на вход ОУ с учетом реакции  $z_t$  на предшествующее управление, сведений о предистории  $BX$  ОУ, а также в соответствии с некоторыми, априорно заданными экспертами, а затем корректируемыми правилами выбора управляющих решений.

Экспертами определяются база данных  $BP$ , в которой определены и хранятся данные для правил выбора управления, база знаний  $BR$ , в которой описаны правила выбора действий, база правил коррекции знаний  $FZ$ .

Оценку результатов управления определим оператором  $U$ , коррекцию базы знаний – оператором  $I$ , а выбор управления определим оператором  $J$ . Алгоритм последовательных функциональных преобразований в самоорганизующемся нечетком регуляторе представляется следующим образом. К начальному такту  $t_0$  экспертами определены база данных  $BP$ , базы множества критериев оценки управлений  $BF$ , правил  $FX$ , знаний  $BR_0$  (индекс 0 означает начальную базу знаний), база правил коррекции  $FZ$  и виды операторов  $U$ ,  $I$  и  $J$ . Управляющее действие  $u_0$  формируется блоком выбора в управляющих решениях оператором  $J$ :

$$u_0 = J [BP, BR(0)]. \quad (4)$$

В такте времени  $t_1$  будут определены параметры объекта  $x_1$  и  $y_1$ . Реакция объекта  $z_1$  определится по правилу

$$z_1 = U [BX(1), FZ, BF]. \quad (5)$$

Результат реакции объекта  $z_1$  на действие  $u_0$  определит изменения в базе знаний  $BR$  в соответствии с правилом

$$BR_1 = I [z_1, FZ]. \quad (6)$$

Таким образом, при работе самоорганизующегося нечеткого регулятора алгоритм последовательных функциональных преобразований отображает во времени формирование сигнала управления, реакции ОУ и «работу» знаний так, как это показано на рис. 2.

$$\begin{aligned} u_0 = J [BP, FZ2_{(0)}] &\rightarrow y_1, x_1 \rightarrow BX_{(1)} \rightarrow z_1 = U [BX_{(1)}, FZ1] \rightarrow \\ &\rightarrow BR_{(1)} = I [x_1, FZ] \rightarrow u_1 = J [BP, BR_{(1)}] \rightarrow \\ \rightarrow y_2, x_2 &\rightarrow BX_{(2)} \rightarrow x_2 = U [BX_{(2)}, FZ1] \rightarrow BR_{(2)} = I [x_2, FZ] \rightarrow \\ &\rightarrow u_2 = J [BP, BR_{(2)}] \rightarrow y_3, x_3 \rightarrow \dots \end{aligned}$$

Рис. 2. Алгоритм последовательных функциональных преобразований

Рассмотрим особенности построения баз знаний.

Структуризация знаний определяется задачами поиска требуемой информации. Результатом содержательного описания ОУ являются предложения по организации и проектированию базы знаний, а также концептуальная теоретико-множественная модель взаимодействия «объект управления – самоорганизующийся нечеткий регулятор». Разновидности знаний в контексте исследуемого ОУ определяются, исходя из характера решаемых задач, характера динамики ОУ, анализа определенности исходных данных и знаний о функционировании объекта и методах управления. При разработке баз знаний важно проанализировать имеющиеся знания экспертов и технологические знания, а также определить возможность получения метазнаний.

Коррекция базы знаний позволяет вносить изменения в правила выбора управляющих решений в соответствии с реакциями ОУ на совершенные действия. Вариант автоматного построения совокупности правил выбора действий и их коррекция по принципам обучаемости [1] позволяет сделать возможным решение задачи адаптивного управления априорно неопределенной САО.

Язык ситуационного управления позволяет описать так пространство управления, что каждому элементу нечеткой эталонной ситуации сопоставляется определенный набор правил выбора управляющих решений (или одно правило выбора). Применение языка ситуационного управления, автоматной организации базы знаний и принципов обучаемости позволяет говорить о реализуемости данной концептуальной модели в виде экспертных систем с элементами обучаемости в общем случае, а также возможности построения адаптивных (самоорганизующихся) нечетких регуляторов для управления априорно неопределенными техническими объектами.

Анализируя возможности получения и коррекции новых знаний, выделим три независимых варианта самоорганизации баз знаний, показанных на рис. 3.



Рис. 3. Варианты самоорганизации баз знаний

Первый вариант самоорганизации предусматривает, что эксперты определяют исходные данные в виде лингвистических переменных, нечетких переменных, составляющих терм-множества лингвистических переменных, и функции принадлежности нечетких переменных. Определяют правила вывода управлений. В процессе управления объектом в адаптивном обучаемом нечетком регуляторе на основе анализа сигналов реакции объекта на управления происходит коррекция функций принадлежности нечетких переменных.

Второй вариант самоорганизации предусматривает, что эксперты определяют исходные данные и правила вывода управляющих решений в соответствии с некоторыми стандартными выводами (*modus ponens*, *modus tollens*, *modus tollendo tollens*, правило силлогизма, правило контрапозиции). Принятие решения осуществляется на основе анализа сложившейся нечеткой ситуации и установления для этой ситуации конкретного действия. Суть обучения состоит в том, что каждому правилу устанавливается в соответствие множество действий. Каждое действие имеет степень предпочтительности выбора. В процессе функционирования, анализируя реакции объекта на управления, осуществляется коррекция степеней предпочтительности выбора.

Третий вариант самоорганизации предусматривает, что эксперты определяют исходные данные, а также правила генерации новых знаний из имеющихся. Предусматриваются формальные процедуры доказательства и вывода логических следствий для вновь сформулированных правил.

Обучение нечеткого регулятора может сочетать в себе приемы одновременно нескольких вариантов. Для каждого из вариантов коррекции базы знаний могут быть разработаны различные методы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Срагович В.Г.* Теория адаптивных систем. – М.: Наука, 1976. – 320 с.
2. *Алиев Р.А., Мамедова Г.А.* Нечеткая оптимизация управления процессом ступенчато-противоточного катодического крекинга // Изв. вузов СССР. Нефть и газ. – 1990. – № 3. – С. 71-75.
3. *Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А.* Управление производством при нечеткой исходной информации. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
4. *Finaev V.I., Glod O.D.* Conceptual Model of an Adaptive Trained Control System by Beforehand Uncertain Situational Objects. Third European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. Aachen, Germany, 1995.
5. *Mandani E.H.* A fuzzy rule-based method of controlling dynamic processes. Queen Mary College, London, 1981.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Боженюк.

**Айбазова Аминат Абдуллаховна**

Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия.

E-mail: aibazova\_amina@mail.ru.

357100, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36.

Тел.: 8782202387.

**Ayibazova Aminat Abdullakhovna**

Karachai-Cherkess State Technological Academy.

E-mail: aibazova\_amina@mail.ru.

36, Stavropolskaya Street, Cherkessk, 357100, Russia.

Phone: +7782202387.