

На правах рукописи

Дбейс Самер Мхемид

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ
АДАПТИВНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С
ПРОГНОЗОМ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И НЕЧЕТКОЙ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ САМОНАСТРОЙКОЙ.**

**Специальность 05. 13. 01 – Системный анализ, управления и
обработка информации.**

Автореферат

**Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.**



Москва – 2002.

Работа выполнена на кафедре Систем автоматического управления
Московского государственного технического университета
имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: доцент Шахназаров Г. А.

Официальные оппоненты: - д.т.н. доцент Евсеев О. В.
 - к.т.н. доцент Внуков А. А.

Ведущая организация: Российский университет дружбы народов.

Защита состоится "22" апреля 2002г. в 14³⁰ на заседании
диссертационного совета " Д 212. 141. 02 " Московского государственного
технического университета имени Н.Э. Баумана по адресу: Москва, 107005,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, ауд. 613

я в библиотеке Московского
а имени Н.Э. Баумана.

5а 2002г.

диссертационного совета

1583077



Иванов В. А.

1. Общая характеристика работы

Актуальность. Для управления современными процессами необходимо создавать автоматические системы, способные самоприспосабливаться как к изменяющимся внутренним свойствам системы, так и к влиянию внешней среды.

В настоящее время, известно множество самонастраивающихся систем, основанных на использовании различных принципов адаптации, однако реализация одного или другого типа адаптации будет максимально эффективной только при наличии определенных условий. Адаптивные самонастраивающиеся системы, реализующие предельный, наиболее эффективный уровень организации, являются оптимальными. При построении систем такого типа важной проблемой является формирование критериальной функции управления, так как в зависимости от ее выбора в существенной мере зависит сложность получения искомого решения. Однако, даже если нахождение оптимального решения возможно, то для его вычисления могут потребоваться большие вычислительные затраты.

В последнее время, с увеличением сложности решаемых задач управления, все большее распространение получают, так называемые интеллектуальные технологии. К их числу относят нечеткую логику, экспертные системы и нейронные сети. Эти технологии нашли широкое применение в задачах распознавания образов и речи, в системах поддержки принимаемых решений в условиях неопределенной исходной информации и в задачах поиска решений при плохо формализованных параметрах.

Широкие возможности для использования интеллектуальных технологий открываются при решении задач, связанных с созданием сложных систем управления. Уровень современных технологий предъявляет принципиально новые требования к надежности, гибкости и функциональности используемых в технике систем управления.

Современные системы управления должны обеспечивать надежное управление объектом в разных режимах его работы, быть устойчивыми как к резким и существенным изменениям внешних воздействий, так и к изменениям параметров системы управления, а также учитывать возможное влияние шумов и внешнего непрогнозируемого и прогнозируемого влияния внешней среды. Решение такого рода задач с помощью традиционных методов если и возможно, то требует детального математического описания и больших вычислительных затрат. Несмотря на успехи применения методов интеллектуальных технологий в системах управления, непосредственное использование этих методов для решения подобных задач не всегда возможно. Практически, из множества существующих методов в системах управления, нашла применение только нечеткая логика, на основе которой был построен нечеткий контроллер, используемый в качестве альтернативы обычным ПИД-регуляторам.

Это определяет необходимость разработки новых и совершенствования существующих методов интеллектуальных технологий с целью повышения эффективности систем управления сложными динамическими объектами, работающими в условиях непредвиденного изменения характеристик среды, функционирования, параметров самого объекта управления, а также расширения возможностей их использования при решении разных задач управления.

Цель работы. Разработка и исследование нового подхода к построению интеллектуальных систем с целью расширения возможностей их использования при решении задач управления динамическими процессами.

Задачи. В соответствии с указанной выше целью в работе решаются следующие задачи:

- Разработка принципов создания систем адаптивного управления, использующих методы интеллектуальных технологий.
- Проектирование и исследование алгоритмов оценивания параметров объектов управления.
- Исследование принципов работы прогнозирующих систем управления.
- Использование систем с нечеткой логикой в контуре адаптации для проектирования интеллектуальных адаптивных систем управления.
- Разработка экспертного контроллера с базой знаний, как подсистемы адаптивной динамической коррекции, основанного на использовании принципа прогнозирования.
- На основе предположенной концепции разработана архитектура иерархической интеллектуальной системы управления, сочетающая технологи экспертных систем и нечеткой логики.

Научная новизна. Научная новизна работы состоит в разработке и исследовании нового подхода к построению интеллектуальных систем управления, позволяющего избежать ряда сложных проблем, возникающих при проектировании традиционных адаптивных систем управления. Суть предлагаемого подхода заключается в том, что любая замкнутая система, использующая традиционный контур управления, можно считать некоторым отображением (L) входа (X), на выход (Y), то есть: $L: X \rightarrow Y$;

Существует два основных способа улучшения динамических свойств этого отображения. Первый способ состоит в том, что модифицируется само отображение, то есть внутренняя структура и параметры традиционного контроллера. Второй способ состоит в модификации только предмета отображения, то есть модифицируется входное воздействие замкнутой системы таким образом, чтобы выход системы обеспечивал высокоточное слежение за предварительно спланированной траекторией.

В предлагаемой диссертационной работе, адаптивная система использует оба способа адаптации: модификация внутренней структуры и/или параметров традиционного контроллера и модификация входного воздействия замкнутой системы для того, чтобы компенсировать эффект

изменения в широких пределах параметров объекта управления и обеспечить желаемые характеристики всей замкнутой системы в целом.

Для этого в работе предложена и обоснована перспективность построения современной иерархической структуры интеллектуально адаптивных регуляторов на базе комплексного применения традиционных принципов построения систем управления, технологий экспертных систем и нечетки логики.

Практическая ценность. В результате проведенных в рамках данной диссертационной работы исследований сформирована алгоритмическая и методологическая основа проектирования адаптивных, интеллектуальных систем автоматического управления широким классом динамических объектов и процессов, описываемых линейными или нелинейными, но допускающими линеаризацию дифференциальными, разностными, дифференциально-разностными уравнениями с постоянными или изменяющимися во времени параметрами.

Рассматриваемая и исследуемая в работе многоуровневая архитектура системного контроллера позволяет использовать разработанную в диссертационной работе методику как на этапе проектирования новых адаптивных систем управления, так и при модернизации уже существующих систем с целью повышения качества управления, а также их эксплуатационных характеристик.

Апробация работы.

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинаре “Интеллектуальные системы” МГТУ имени Н.Э.Баумана.

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликованы 2 научные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 144 страниц, 67-и рисунков и 6 таблиц.

2. Краткое содержание работы

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, обоснована научная новизна и изложена структура диссертации.

В первой главе приведен анализ основных особенностей построения современных систем адаптивного управления. Рассмотрены принципы построения, как традиционных адаптивных систем автоматического управления, так и систем, основанных на применении интеллектуальных регуляторов, базирующихся на использовании технологий экспертных систем и нечеткой логики. Проведен сравнительный анализ принципов построения интеллектуальных систем управления с иерархической

архитектурой.

Предлагается интеллектуальная, адаптивная, иерархическая трехуровневая система управления, состоящая из следующих алгоритмических уровней (рис. 1):

- Контур управления традиционной структуры.
- Контур нечеткой параметрической адаптации.
- Экспертной системы точной динамической коррекции

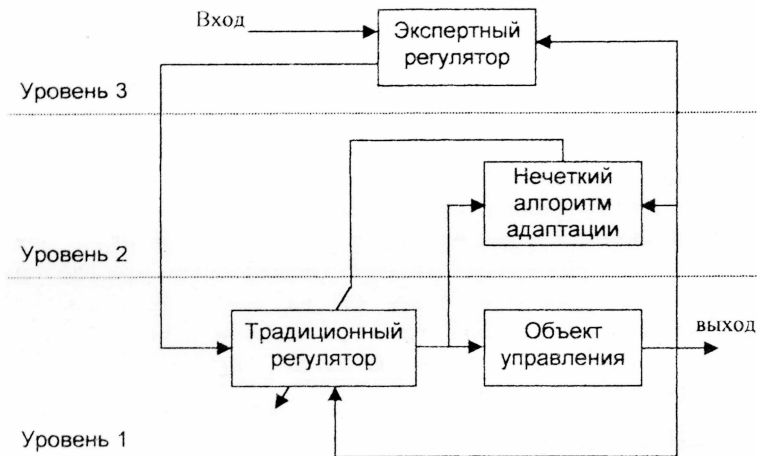


Рис. 1 Структура иерархической интеллектуальной адаптивной системы управления.

В конце данной главы формулируется постановка совокупности задач, решаемых в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена исследованию интеллектуальной, иерархической системы управления, в которой контроллер с базой знаний представляет собой подсистему высшего иерархического уровня, а регулятор традиционного типа представляет собой подсистему низшего уровня. Основная задача контроллера с базой знаний состоит в модификации входного воздействия подсистемы нижнего уровня так, чтобы обеспечить высокоточное слежение за предварительно спланированной, желаемой траекторией изменения выхода системы без изменения ее внутренней структуры и/или параметров. Процесс модификации входного воздействия базируется на использовании прогнозируемой ошибки управления, которая представляет собой разность между прогнозируемым значением выхода системы и его желаемым значением.

Принцип работы экспертного контроллера с базой знаний заключается в

выполнении следующей итерационной процедуры:

- 1) подача на вход воздействия;
- 2) вычисление прогнозируемого выхода системы;
- 3) вычисление ошибки прогнозирования, которая определяется как разность между прогнозируемым выходом системы и ее желаемым выходом;
- 4) модификация входного воздействия на подсистему нижнего уровня, основываясь на значении этой ошибки.

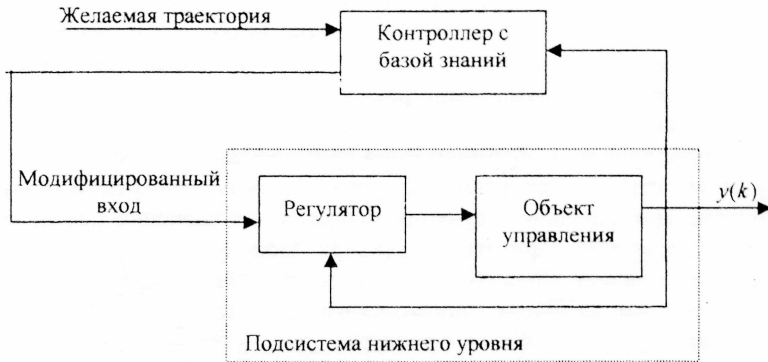


Рис. 2. Структура иерархического контроллера с базой знаний.

Поскольку для реализации динамической коррекции используются результаты прогноза, то предлагаемый экспертный контроллер с базой знаний можно отнести к классу прогнозирующих контроллеров.

Любой прогнозирующий контроллер имеет, в общем случае, три основных компоненты:

1. Модель объекта управления.
2. Желаемая траектория изменения выхода системы.
3. Критериальная функция, из условия минимизации которой находится управляющая последовательность на всем интервале прогнозирования.

Модель объекта управления в форме передаточных функций с произвольными порядками полиномов числителя и знаменателя, в сочетании со стохастической моделью действующих на систему возмущений, представляет собой наиболее удобную для синтеза оптимальных прогнозирующих на i -шагов вперед алгоритмов (1). Это обуславливает факт, что такая форма модели может быть использована для построения прогнозирующих алгоритмов для широкого класса процессов и возмущений.

$$y(k) = \frac{z^{-d} B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(k-1) + \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})} e(k) \quad (1)$$

где: d – временное запаздывание процесса $d \geq 0$,
 A, B, C, D – являются полиномами от z^{-1} ;

Возможны различные типы желаемых траекторий движения системы при переходе из одного выходного состояния в другое, наиболее простыми и эффективными являются траектории первого порядка, параметры которых определяются желаемым поведением выходного процесса.

При проектировании прогнозирующих контроллеров важной проблемой является формирование критериальной функции управления, в результате минимизации которой определяется оптимальный выход контроллера, так как в зависимости от выбора критериальной функции в существенной мере зависит сложность получения искомого решения. Так, в некоторых случаях для нахождения оптимального решения требуется применять сложные итерационные вычислительные процедуры.

Избегая проблемы формирования критериальной функции и сложности получения оптимального решения, в предлагаемом экспертном контроллере в качестве критериальной функции используется значение прогнозируемой ошибки управления. При этом структура процедуры поиска оптимального решения, составляет основу базы знаний предлагаемого контроллера.

Рассмотрим алгоритм прогнозирования выхода системы и структуру базы знаний предлагаемого контроллера.

Для того, чтобы осуществить прогноз выхода системы на всем интервале прогноза используется алгоритм прогнозирования на i шагов вперед (в смысле минимума дисперсии ошибки прогноза), который задается уравнением (2):

$$\hat{y}(k+i) = \underbrace{G_i u(k+i-\hat{d}-1)}_{\text{будущее}} + \underbrace{\frac{H_i}{A} u(k-1) + \frac{F_i}{C} [y(k) - \hat{y}(k)]}_{\text{прошедшее}} \quad (2)$$

Где:

E_i, F_i являются полиномами и вычисляются с использованием уравнения:

$$\frac{C}{D} = E_i + q^{-i} \frac{F_i}{D} \quad (3)$$

где: $n_{E_i} = i-1$, $n_{F_i} = \max(n_C - i, n_D - 1)$

G_i, H_i являются полиномами и вычисляются с использованием уравнения:

$$\frac{\hat{B}}{A} = G_i + q^{-i+\hat{d}} \frac{H_i}{A} \quad i \geq \hat{d}+1 \quad (4)$$

где: $n_{G_i} \leq i - d + 1$, $n_{H_i} = \max(n_B - i + d, n_A - 1)$.

База знаний предлагаемого контроллера может быть представлена в виде дерева принятия решений (см. рис.3).

Каждая вершина дерева представляется набором параметров

$([a_j^n, b_j^n], c_j^n)$, где c_j^n – некоторая добавка к входному воздействию подсистемы нижнего уровня и вычисляется уравнением (5); $[a_j^n, b_j^n]$ – интервал ее поиска;

$$c_j^n = \begin{cases} b_j^n - (b_j^n - a_j^n)K, & \text{if } e_j^n(k) < 0 \\ a_j^n + (b_j^n - a_j^n)K, & \text{if } e_j^n(k) > 0 \end{cases} \quad 0 < K < 1 \quad (5)$$

Здесь K является весовым коэффициентом для определения величины шага поиска модификации входного воздействия в итерационной процедуре. Кроме того, a_0^0 и b_0^0 представляют собой максимальные значения границ интервала модификации входного воздействия, и $c_0^0 = 0$, то есть в начале итерационной процедуры входное воздействие не модифицируется.

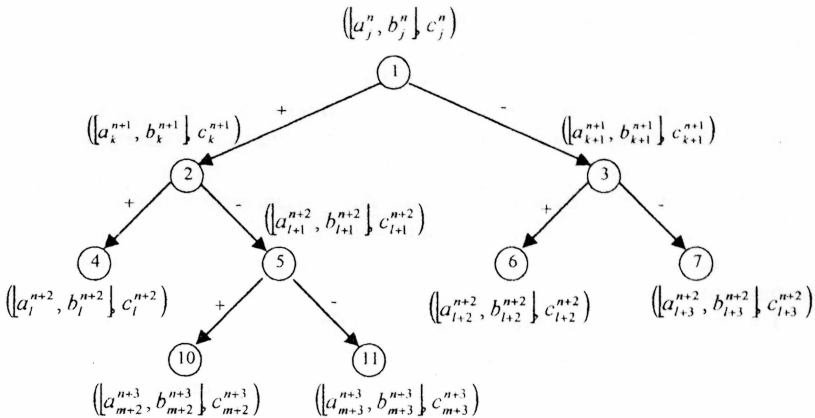


Рис. 3 Дерево принятия решений.

Основные формы продукционных правил экспертного контроллера имеет вид:

IF $\{e_j^n(k) < 0\}$ AND $\{e_j^n(k) > \varepsilon\}$ THEN $\{\text{увеличить } c_j^n \text{ AND вычислить } X_r^{n+1} = X_d^n(k) + c_j^n\}$,
 IF $\{e_j^n(k) > 0\}$ AND $\{e_j^n(k) > \varepsilon\}$ THEN $\{\text{уменьшить } c_j^n \text{ AND вычислить } X_r^{n+1} = X_d^n(k) + c_j^n\}$,
 IF $\{e_j^n(k) \leq \varepsilon\}$ THEN $\{\text{присвоить } X_r^{n+1} = X_r^n(k) \text{ AND остановить итерационный процесс}\}$;

Где $\varepsilon > 0$ допустимое значение ошибки прогнозирования.

Результаты моделирования показали, что благодаря организации второго, дополнительного уровня контроллера, включающего базу знаний, обеспечивается более высокая точность слежения за желаемой, предварительно спланированной траекторией изменения выхода системы.

Основным недостатком этого подхода является то, что если параметры объекта управления изменяются, то это может привести к неудовлетворительному динамическому поведению системы. Для того, чтобы решить эту проблему предлагается использовать адаптивные алгоритмы многошагового прогноза, основанные на реализации рекурсивной процедуры параметрического оценивания, обеспечивающей отслеживание возможных изменений параметров прогнозирующей модели системы.

В третьей главе рассматриваются методы рекуррентного параметрического оценивания, которые могут быть использованы в качестве процедур динамической параметрической идентификации для решения задач адаптивного и интеллектуального управления процессами и системами. Применение рекурсивных алгоритмов параметрического оценивания с использованием заданных априори, предполагаемых структур дискретных моделей систем, позволяет получить необходимые для решения задачи управления оценки их параметров.

Проанализированы три основных типа рекурсивных алгоритмов оценивания. Результаты исследований показали, что для реализации рекурсивных алгоритмов оценивания, необходимо тщательно выбирать начальные условия. Важными условиями обеспечения сходимости и эффективности рекурсивных процедур параметрического оценивания является правильный выбор порядка модели системы, начальных значений векторов данных и параметров модели, а также начальных значений матрицы ковариаций.

Наиболее важным свойством рекурсивных алгоритмов динамического параметрического оценивания является способность “отслеживания” возможных изменений параметров системы. Это свойство может быть реализовано с использованием такого параметра алгоритмов параметрического оценивания, как фактор забывания ($0 < \lambda \leq 1$). При этом, система уравнений, составляющая основу базового алгоритма рекурсивного метода наименьших квадратов (РМНК), имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \hat{\theta}(k+1) &= \hat{\theta}(k) + \mathbf{P}(k+1)\mathbf{x}(k+1)\mathbf{e}(k+1) \\ \mathbf{e}(k+1) &= y(k+1) - \mathbf{x}^T(k+1)\hat{\theta}(k) \\ \mathbf{P}(k+1) &= \lambda^{-1} \mathbf{P}(k) \left[\mathbf{I}_m - \frac{\mathbf{x}(k+1)\mathbf{x}^T(k+1)\mathbf{P}(k)}{\lambda + \mathbf{x}^T(k+1)\mathbf{P}(k)\mathbf{x}(k+1)} \right], \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где: $\hat{\theta} = [-\hat{a}_1, \dots, -\hat{a}_n, \hat{b}_0, \dots, \hat{b}_m]$ - искомая оценка вектора параметров модели.

Однако, использование в рекурсивной процедуре этого параметра приводит к значительным изменениям искомых оценок в итерационном процессе, что является существенным недостатком. Во избежание этого

недостатка, можно использовать адаптацию фактора забывания таким образом, чтобы когда параметры модели постоянны (следовательно, ошибка между фактическим значением выхода системы и оценкой его прогнозируемого значения близка к нулю), то коэффициент λ равнялся бы единице, а при изменении параметров модели - коэффициент λ должен автоматически уменьшаться. Естественно, что в начале работы алгоритма рекуррентного оценивания начальное значение параметра λ должно быть малым и лишь постепенно должно увеличиваться по мере работы алгоритма идентификации. Для этого, предлагается рекуррентная форма изменения фактора забывания, которую можно использовать в рекуррентном алгоритме идентификации:

$$\lambda(k) = \alpha\lambda(k-1) + (1-\alpha) \quad (7)$$

где: $0 < \alpha < 1$, $\lambda(0) = \gamma$.

Описанные в работе алгоритмы рекурсивного параметрического оценивания предназначены не только для использования их в ретроспективном плане, но, прежде всего, для использования как составной части алгоритмического обеспечения адаптивного и интеллектуального управления динамическими процессами и системами.

Результаты моделирования системы управления (рис. 2) с экспертным контроллером и объектом управления второго порядка, описываемым моделью вида:

$$G(z^{-1}) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (8)$$

показали, что предложенная система обеспечивает более высокую точность слежения за желаемой траекторией изменения выхода системы. Однако, в том случае когда параметры объекта управления изменяются, результат прогноза выхода системы становится некорректным, а следовательно величина модификации входного воздействия оказывается неадекватной, что приводит к неприемлемому динамическому поведению системы (рис. 4).

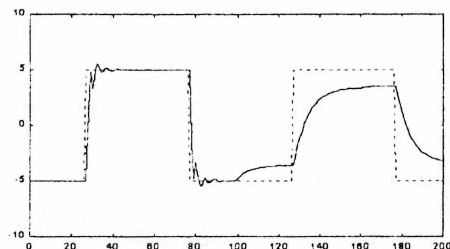


Рис. 4. Отклик системы при скачкообразном уменьшении параметра модели объекта b_0 на шаге $k = 100$ в 10 рас.

Этот недостаток может быть исключен, путем использования рекурсивной процедуры параметрического оценивания, для того, чтобы отслеживать возможные изменения параметров модели объекта управления и, следовательно, дать экспертному регулятору возможность сохранять качество регулирования (рис.5).

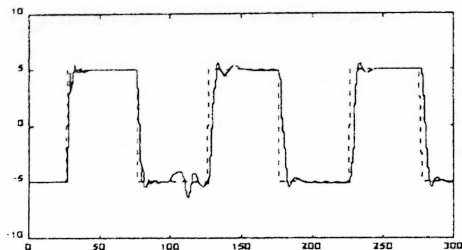


Рис. 5 Отклик системы с использованием алгоритма рекуррентного параметрического оценивания.

Однако, когда параметры объекта регулирования изменяются существенно, в широких пределах, для того, чтобы обеспечить сохранение качества регулирования системы, могут потребоваться большие значения регулирующих воздействий, что на практике может оказаться нежелательным или недопустимым (рис. 6).

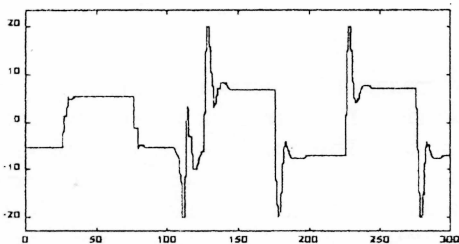


Рис. 6 Модифицированный вход подсистемы нижнего уровня при изменении b_0 на шаге $k=100$.

Для устранения этого недостатка, в диссертационной работе предлагается дополнительная поддержка подсистемы нижнего уровня контуром нечеткой самонастройки.

В четвертой главе представлен один из возможных подходов к построению интеллектуальной адаптивной системы управления с нечетким контуром самонастройки с целью обеспечения стабильности характеристик и динамических свойств автоматических систем в условиях существенных изменений характеристик объекта управления и влияния окружающей среды.

Любая нечеткая система состоит из четырех принципиально важных элементов или подсистем: процесса (блока) фаззификации, базы данных, базы правил формирования управления и процесса (блока) дефаззификации. Наиболее сложным этапом проектирования нечетких систем является формирование базы правил. Существуют четыре основных подхода к проектированию базы правил, применительно к решению задач управления: на основе нечетких моделей, на основе использования знаний/опыта эксперта, на основе результатов наблюдения процессов и на основе использования принципов самоорганизации.

Выбор и использование одного из указанных выше подходов к проектированию базы правил, либо комбинация этих стратегий позволяют полностью сформировать наиболее эффективную базу правил для каждого конкретного приложения.

Способность отображения и оценивания функций по результатам наблюдения пар вход-выход, которой обладают нечеткие системы, позволяет использовать эти системы в качестве подсистем адаптации в адаптивных системах управления. Наиболее реалистичными системами управления, основанными на использовании нечетких алгоритмов адаптации, являются системы, которые реализуют процедуру параметрической идентификации в реальном времени и используют полученные “on-line” результаты параметрического оценивания в качестве входных данных алгоритма нечеткой настройки параметров регулятора с целью обеспечения заданных желаемых характеристик замкнутой системы (рис 7).

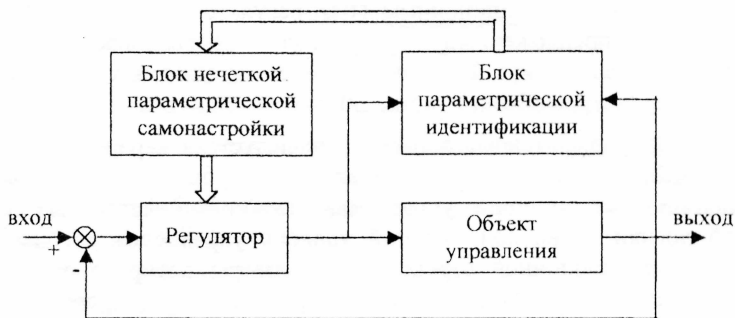


Рис.7 Адаптивная система регулирования с контуром нечеткой самонастройки.

Блок нечеткой адаптации реализует функцию отображения $f: X \rightarrow Y$, которая отображает множество входных значений X (оценки параметров объекта управления) во множество выходных значений Y (параметры регулятора).

В главе предлагается и исследуется адаптивный ПИД-регулятор с нечеткой самонастройкой его параметров в зависимости от изменений параметров модели объекта управления, оценки которых находятся в результате решения задачи параметрической идентификации (рис. 8).

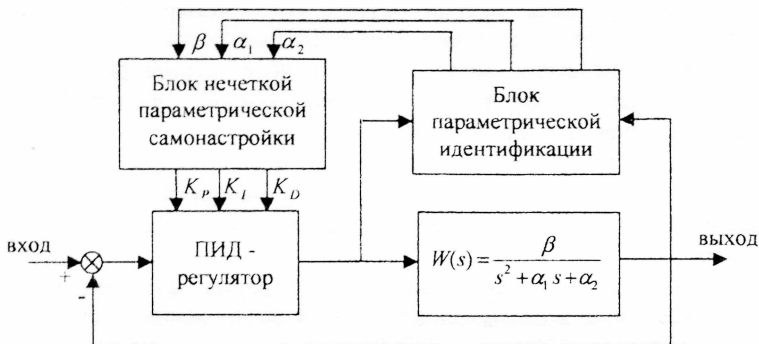


Рис. 8 Адаптивный ПИД- регулятор с контуром нечеткой самонастройки.

Обобщенная структура базы правил нечеткого настройщика параметров регулятора может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} &\text{Если } (\beta \text{ есть } B \text{ И } \alpha_1 \text{ есть } A_1 \text{ И } \alpha_2 \text{ есть } A_2) \text{ То} \\ &(K_p \text{ есть } KP \text{ И } K_i \text{ есть } KI \text{ И } K_d \text{ есть } KD) \end{aligned} \quad (9)$$

По сравнению с традиционным ПИД-регулятором с фиксированными настройками, предложенный регулятор обеспечивает желаемые динамические свойства замкнутой системы в условиях существенных изменений параметров объекта управления.

В пятой главе предлагается и исследуется иерархическая, трех уровневая, интеллектуальная, адаптивная система управления, сочетающая в себе традиционные принципы управления, технологии экспертных систем и нечеткой логики. Основной, нижний уровень управления обеспечивается регулятором традиционной структуры, параметры которого адаптируются алгоритмом нечеткой самонастройки, который в свою очередь формирует второй уровень системы. Третий, высший уровень управления обеспечивается экспертным, с базой знаний контроллером, который модифицирует входное воздействие системы в зависимости от прогнозируемой ошибки управления для обеспечения желаемого поведения системы (рис. 9).

Структуру и параметры контура управления подсистемы нижнего уровня следует формировать как структуру традиционной системы управления с такими значениями параметров, чтобы придать замкнутой системе устойчивость и желаемые характеристики для некоторого заданного

состояния объекта управления (например, для номинальных или заданных значений параметров объекта управления).

Нечеткий алгоритм адаптации обеспечивает адаптивную настройку параметров контура управления нижнего уровня заданной структуры, реализуя нелинейную зависимость между параметрами объекта управления и параметрами контура управления.

Экспертная система выполняет процедуру динамической коррекции, модифицируя входной сигнал системы в зависимости от результатов динамического прогноза ошибки управления.

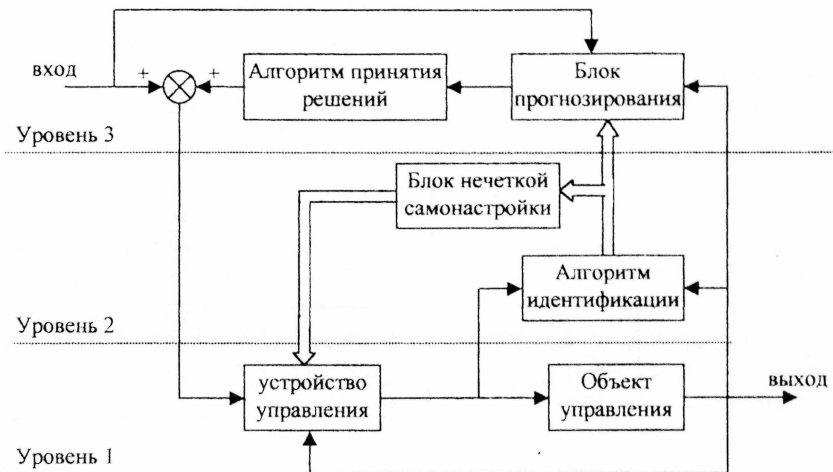


Рис. 9 Структура предлагаемой иерархической, интеллектуальной системы управления.

Возможность и эффективность использования предлагаемого принципа построения адаптивных систем управления динамическими объектами были показаны на примере системы управления продольным движением самолета как объекта управления.

При этом, использован традиционный закон управления контура стабилизации (10):

$$\delta_B = \frac{1}{p} [k_g(\vartheta - \vartheta_z) + k_{\dot{\vartheta}} p \vartheta + k_{\ddot{\vartheta}} p^2 \vartheta] \quad (10)$$

Достижение желаемых характеристик можно осуществлять адекватным выбором параметров закона управления k_g , $k_{\dot{\vartheta}}$ и $k_{\ddot{\vartheta}}$.

В предлагаемой интеллектуальной системе, в зависимости от результатов работы процедуры параметрического оценивания, алгоритм нечеткой самонастройки обеспечивает процесс адаптации параметров контура стабилизации k_g , $k_{\dot{\vartheta}}$ и $k_{\ddot{\vartheta}}$. Экспертный, с базой знаний контроллер

использовался для управления высотой полета (см. рис. 10).

Были приведены результаты моделирования для двух разных режимов полета. Результаты моделирования показывали, что предложенная иерархическая система управления обеспечивает желаемые динамические свойства замкнутой системы в условиях существенных изменений параметров объекта управления.

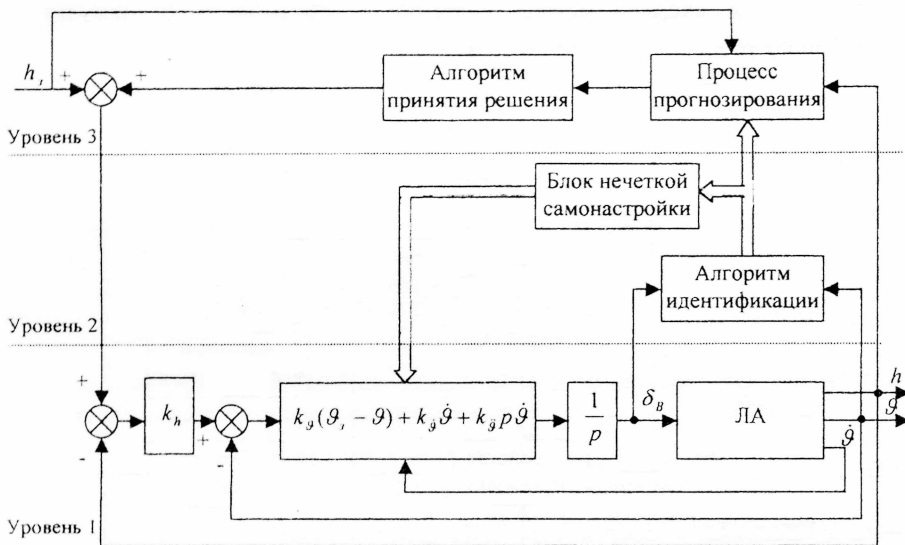


Рис. 10 Самонастраивающийся автопилот продольного движения ЛА.

3. Общие результаты и выводы

Основными научными и практическими результатами работы являются:

1. Проведен анализ характерных особенностей и принципов построения традиционных адаптивных САУ и обоснованы преимущества применения интеллектуальных технологий для создания адаптивных регуляторов;
2. Предложена новая эффективная архитектура иерархической адаптивной интеллектуальной системы управления, сочетающая принципы прогнозирующей динамической коррекции, экспертного управления, параметрического оценивания моделей и нечеткой параметрической самонастройки;
3. Предложена структура и алгоритмическое обеспечение экспертного контроллера с базой знаний, реализующего управление с прогнозом состояния объектов управления в динамическом режиме нормального функционирования системы, а также даны рекомендации по выбору правил логического вывода и параметров вычислительных процедур;

4. Проведен сравнительный анализ рекурсивных алгоритмов параметрического оценивания моделей динамических объектов, а также даны рекомендации по их применению и выбору параметров необходимых для их реализации вычислительных процедур;
5. Предложена структура адаптивного контура управления с нечеткой самонастройкой, а также даны рекомендации по формированию функций принадлежности лингвистических переменных, а также базы правил логического вывода;
6. Разработана алгоритмическая и методологическая основа проектирования адаптивных интеллектуальных систем с экспертным прогнозирующим управлением, параметрическим оцениванием и нечеткой самонастройкой.
7. Разработан программный комплекс, позволяющий решать следующий ряд задач:
 - проектирование и исследование алгоритмов параметрической идентификации объектов управления.
 - Проектирование и исследование алгоритмов нечеткой самонастройки, а также необходимых для их работы баз данных/знаний.
 - Проектирование и исследование алгоритмов управления с прогнозом динамического состояния
8. Эффективность предложенного в диссертационной работе принципа организации иерархической адаптивной, интеллектуальной системы, а также разработанного алгоритмического, методологического и программного обеспечения подтверждается результатами моделирования системы управления продольным движением самолета.

По теме диссертации опубликованы следующие основные работы:

- 1- Дбейс С. М. Шахназаров Г. А. Рекурсивное параметрическое оценивание динамических моделей в интеллектуальных системах управления // Известия вузов. Приборостроение. – 2000. – Апрель. – С. 14 – 20.
- 2- Дбейс С. М., Шахназаров Г. А. Интеллектуальный адаптивный регулятор с нечеткой параметрической самонастройкой и динамическим оцениванием модели объекта управления // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение. – 2002. – № 2
- 3- Дбейс С. М. Анализ принципов построения систем управления с прогнозом динамического состояния // Информатика. – Дамаск: Издательство национального центра информации, 2000. – Том. 3, - С. 76-81.

Подписано к печати 17.03.2002. Объем 1,0 печатный лист.

Тираж 100 экз. Заказ № 251. Типография МГТУ