

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ЭКСПЕРТНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ И АЛГОРИТМОМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

**А.С. Степанова**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент канд. техн. наук, профессор Ю.А. Брусенцов*

**Ключевые слова и фразы:** идентификация; интеллектуальная система; информатизация; методы ошибки предсказаний; модель Гаммерштейна; правила знаний; принятие решений; человеко-машинный интерфейс; экспертный и гибридный регуляторы.

**Аннотация:** Исследованы процессы изменения интеллектуальных систем управления с экспертным регулятором. Показана особенность виртуальных регуляторов. Сформулированы правила преобразования управления от дискретного времени к непрерывному.

Достижения информатики в области телекоммуникаций, основанных на знаниях (систем искусственного интеллекта – экспертных систем), поставили задачу создания новых систем, позволяющих интегрировать опыт принятия решений [5].

Обобщенная структурная схема интеллектуальной системы управления (ИСУ) с регулятором параллельного типа представлена на рис. 1, где  $g(t)$  – сигнал задания;  $\varepsilon(t)$  – ошибка управления;  $u(t)$  – сигнал управления;  $y(t)$  – выход объекта управления (ОУ); виртуальная экспертная система (ВЭС).

Вопросам управления интеллектуальными системами с регуляторами параллельного и последовательного типов сейчас уделяется много внимания [1–3, 5, 6].

Наряду с основным контуром управления (регулятор – ОУ) находится параллельный интеллектуальный контур, подстраивающий коэффициенты регулятора в условиях изменения характеристик окружающей среды и ОУ.

---

Степанова А.С. – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: ser23n2005@yandex.ru, ТамбГГТУ, г. Тамбов.

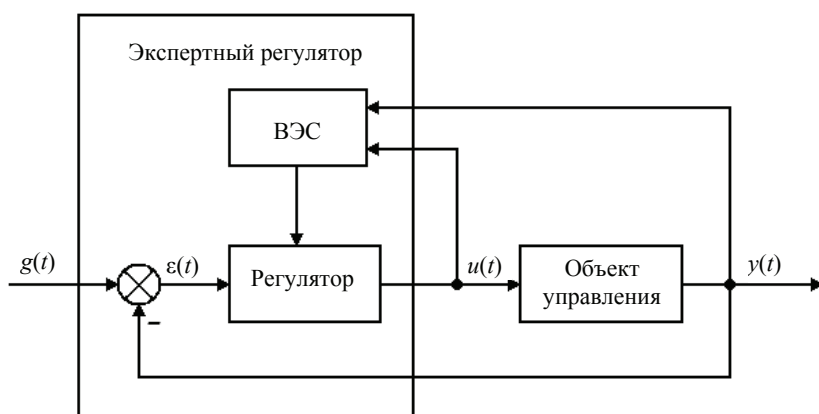


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ИСУ с регулятором параллельного типа

Один из вариантов построения интеллектуальной надстройки основан на применении технологии экспертных систем (ЭС). Регулятор параллельного типа с интеллектуальной настройкой в виде ВЭС назовем экспертным регулятором (ЭР).

Рассмотрим создание интеллектуальной системы управления с экспертным регулятором и интеллектуальной программой, способные делать логические выводы на основании знаний в конкретной предметной области, обеспечивающей решение определенных задач [1–3, 5].

На рис. 2 показана базовая структура ЭС, структурные элементы которой должны выполнять следующие функции:

- представление знаний по конкретному объекту управления; для реализации этих функций используется механизм, называемый *базой данных* (БД);
- представление знаний в предметной области и управление ими; для реализации этих функций используется механизм, называемый *базой знаний* (БЗ);
- осуществление логического вывода на основании знаний, имеющихся в БЗ; этот механизм называется *механизмом логических выводов* (МЛВ);

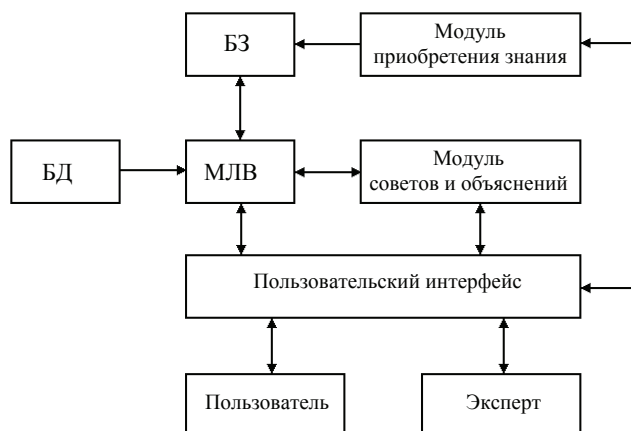


Рис. 2. Структура экспертной системы

- пользовательский интерфейс *правильной передачи ответов пользователю*;
- получение знаний от эксперта, поддержка и дополнение БЗ; механизм, реализующий эти функции, называется *модулем приобретения знаний*;
- вывод заключений, представление различных комментариев к ним и объяснение их мотивов; такой механизм называется *модулем советов и объяснений*.

Основные элементы, показанные на рис. 2, соответствуют любой ЭС, однако ЭС управления (то есть в нашем случае виртуальный ЭР) должна удовлетворять ряду требований: компактности, гибкости, надежности, быстрой реакции для реализации процессов управления в реальном масштабе непрерывного времени.

С учетом перечисленных требований к ЭР разрабатывается его архитектура, и формируются текущие эмпирические знания о динамических свойствах системы:

- функциональных особенностях объекта управления (качественная зависимость между изменением параметров модели объекта управления и параметрами критерия качества системы);
- функциональных особенностях регулятора (зависимость между изменением коэффициентов закона управления и критерия качества).

Далее происходит непрерывное слежение за протекающими процессами, и решаются задачи активной самодиагностики функционирующей системы. Выбор между этапами работы ЭР осуществляется на основе правил, заложенных в специальную разрабатываемую диспетчерскую программу, называемую супервизором.

В архитектуру ЭР, помимо блоков, имеющих в любой ЭС, включена база алгоритмов (БА). В ней содержатся вычислительные алгоритмы, необходимые для идентификации параметров ОУ и синтеза коэффициентов регулятора.

Основной проблемой при создании любой экспертной системы является разработка БЗ в достаточно узкой области экспертизы и большие затраты.

Так как разработка ЭР предполагает использование ЭС в управлении, то здесь ключевую роль играет разработка базы знаний в предметной области – области теории управления. Фактически в программной реализации разработанной версии ЭР знания структурированы и излагаются на языке программирования.

В общем виде знания, включающие модели, можно представить, как кортеж символов вида

$$M = (S, R, I, K),$$

где  $S$  – база имитационных моделей;  $R$  – база правил, которая пополняется в результате анализа принятия решений в нестандартных ситуациях;  $I$  – информационная база;  $K$  – база общих знаний.

Входной информацией блока идентификации являются входные и выходные сигналы реального объекта  $u(t)$ ,  $y(t)$ . Идентифицируемый объект формально может быть представлен оператором  $F$

$$y(t) = F(u(t)). \quad (1)$$

Кроме описания идентифицируемого объекта (1) должна задаваться модель, в терминах которой производится идентификация

$$y(t) = F^M(u(t)). \quad (2)$$

В настоящее время наибольшее распространение при идентификации систем получили методы ошибки предсказания (метод Гаусса–Ньютона, градиентный метод и др.), метод наименьших квадратов (МНК) и метод инструментальных переменных с точки зрения возможности формирования знаний для БЗ ЭР [5].

При идентификации методом ошибки предсказания [5] оценка параметров модели определяется выражением

$$\hat{\theta}_N = \arg \min V_N(\theta), \quad (3)$$

где норма  $V_N(\theta)$  и вектор параметров  $\hat{\theta}_N$  есть:

$$V_N(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N L(\varepsilon(t, \theta));$$

$$\hat{\theta}_N^T = [a_1, \dots, a_{n_a}; b_1, \dots, b_{n_b}],$$

где  $L$  – скалярнозначная функция;  $\varepsilon(t, \theta)$  – ошибка предсказания между выходным сигналом и прогнозом значения выходного сигнала на основе модели в момент времени  $t$ ;  $\theta$  – вектор параметров модели;  $\hat{\theta}_N$  – оценка вектора параметров ОУ за  $N$  итераций;  $a_i, b_i$  – коэффициенты полиномов  $A(q), B(q)$  передаточной функции модели системы;  $n_a, n_b$  – соответственно их порядки. Знак «Т» означает операцию транспонирования,  $q$  – оператор сдвига назад [5].

Методу наименьших квадратов соответствует выбор  $L(\varepsilon)$  в виде

$$L(\varepsilon) = \frac{1}{2} \varepsilon^2. \quad (4)$$

Квадратичность функции  $L(\varepsilon)$  по  $\theta$  позволяет найти минимум (3) в аналитической форме [6]

$$\hat{\theta}_N = \left( \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi(t) \varphi^T(t) \right)^{-1} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi(t) y(t), \quad (5)$$

где  $\varphi(t)$  – регрессионный вектор, зависящий от входного и выходного сигналов  $u(t)$  и  $y(t)$  соответственно.

Теоретически ошибку предсказания  $\varepsilon(t, \theta)$  целесообразно формировать в виде, не зависящем от прошлых данных. При этом параметры модели лучше всего определять методом инструментальных переменных

$$\hat{\theta}_N = \left( \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \zeta(t) \varphi^T(t) \right)^{-1} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \zeta(t) y(t), \quad (6)$$

где  $\zeta$  – инструменты.

Очевидно, что качество оценки  $\hat{\theta}_N$  (3) зависит от выбора  $\zeta(t)$ . Наилучший выбор  $\zeta(t)$  должен определяться динамическими свойствами системы, то есть зависеть от  $\theta$ . Это достигается следующим образом: первоначально оцениваются полиномы  $A(q)$ ,  $B(q)$  передаточной функции объекта управления с помощью МНК, а затем определяются инструментальные переменные, исходя из выражений:

$$\zeta(t) = (-x(t-1, \theta), \dots, -x(t-n_a, \theta), u(t-1), \dots, u(t-n_b))^T,$$

$$A(q)x(t, \theta) = B(q)u(t).$$

На основе особенностей рассмотренных методов идентификации можно сформулировать ключевые правила базы знаний экспертного регулятора.

*Правило 1.* ЕСЛИ осуществляется процедура преобразования от дискретного времени к непрерывному И точность данного преобразования неудовлетворительна, ТО период дискретизации данных выбирается исходя из равенства (4) в случае простых полюсов и в случае комплексно сопряженных полюсов, ИЛИ использовать другие знания из БЗ ЭР по выбору частоты выборки.

Для ограничения погрешности преобразования заранее заданным расчетным уровнем можно ввести следующие неравенства

$$|S_{\tau\lambda}| \leq \alpha,$$

для случая комплексно сопряженных полюсов дискретной системы, где  $\alpha$  – заранее заданный уровень погрешности преобразования. В первом случае можно легко получить следующее неравенство, которое задает нижнюю границу для допустимых величин периода выборки

$$T \geq \tau / \alpha, \quad (7)$$

где  $T$  – период дискретизации.

Основное требование, предъявляемое к экспонентам, заключается в том, чтобы к моменту окончания переходного процесса они затухали до уровня 0,1–5 %.

После вычисления площадей под кривыми записывается система линейных уравнений относительно неизвестных параметров объекта. В результате решения этой системы определяются коэффициенты полиномов в числителе и знаменателе передаточной функции объекта, корни которых являются нулями и полюсами передаточной функции.

При идентификации нелинейной системы управления значительное число объектов управления, использующихся в следящих ИСУ, после небольших преобразований могут быть представлены последовательным

соединением эквивалентного статического нелинейного элемента (НЭ) и линейной части.

Под НЭ понимаются нелинейности типа «зона нечувствительности» и «ограничение». С учетом этого объекты управления подобного типа можно отнести к классу систем Гаммерштейна, представляющих собой последовательное соединение безынерционного нелинейного элемента и линейной динамической части (рис. 3), где нелинейность представляется в виде полинома по степеням входного сигнала

$$f(u) = a_1u + a_2u^2 + \dots + a_mu^m, \quad (8)$$

где  $a_1, \dots, a_m$  – коэффициенты разложения нелинейности в степенной ряд, которые необходимо определить;  $m$  – порядок аппроксимирующего полинома.

Оценивание параметров системы, описываемой моделью Гаммерштейна, рассматривалось в работах [4, 5], в которых авторы преобразуют нелинейную по параметрам модель в линейную (см. рис. 3).

Таким образом, при идентификации систем, подобных нашей, можно с успехом применять алгоритмы идентификации линейных систем (МНК, метод ошибки предсказания и метод инструментальных переменных), которые более детально описаны в [5]. Однако при этом значительно увеличивается число оцениваемых параметров с  $(n_a + n_b)$  до  $(n_a + n_b m)$ , что существенно для систем с высокой степенью нелинейности. В частности, для аппроксимации нелинейности типа «зона нечувствительности» и «ограничение» необходим полином, как минимум, с  $n = 5$ . Анализ работ, в которых представлены алгоритмы непосредственного оценивания и уточнения параметров системы, показывает, что во многих случаях более эффективным способом решения задачи идентификации (за счет уменьшения размерности) оказывается принцип покомпонентной минимизации [5]. Данный подход заключается в поочередном спуске по определенным группам параметров при фиксированных остальных неизвестных.

При этом покомпонентно оцениваются параметры нелинейного элемента и линейной части. На основании этого вывода для БЗ ЭР сформулировано следующее правило.

*Правило 2.* ЕСЛИ решается задача оценки параметров нелинейной модели САУ, ТО следует использовать для ее описания модель Гаммерштейна И необходимо применять методы идентификации линейных систем с покомпонентным оцениванием параметров нелинейности и линейной части.

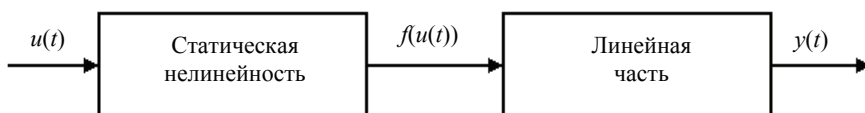


Рис. 3. Модель Гаммерштейна

Поскольку данные в идентификационных экспериментах должны быть информативными по отношению к множеству моделей (то есть позволяют различать две произвольные модели), то необходимо сформулировать требования к входным сигналам, подаваемым на нелинейную ИСУ при оценке ее параметров [5].

### **Выводы**

1. Предложена система интеллектуального управления с экспертным виртуальным регулятором для принятия решения человеком в чрезвычайных ситуациях. Исследован цикл обработки информации, начиная с входного потока и заканчивая принятием решений, использующий интеллектуальные программы.

2. Применено многообещающее направление исследований по интеграции методов искусственного интеллекта, информационных систем и правил знаний.

3. Выбрана обобщенная структурная схема с регулятором параллельного типа.

4. Для виртуального экспертного регулятора предложена структура экспертной системы управления. Сформулированы правила базы знаний преобразования виртуального управления от дискретного к непрерывному, способные делать логические выводы в предметной области, обеспечивающей решение нужных задач.

5. При идентификации нашей нелинейной по параметрам модели в линейную, можно использовать алгоритмы идентификации линейных динамических систем по модели Гаммерштейна, а нелинейная – в виде полинома.

#### *Список литературы*

1. Геловани, В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием современной информационной технологии / В.А. Геловани, А.А. Башлыков, А.А. Бритков, Е.Д. Вязилов. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.

2. Моделирование систем / С.И. Дворецкий [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 320 с.

3. Евменов, В.П. Интеллектуальные системы управления / В.П. Евменов. – М. : Книжный дом «Либроком», 2009. – 304 с.

4. Каминкас, В.А. Идентификация динамических систем по дискретным измерениям / В.А. Каминкас. – Вильнюс : Мокслас, 1982. – Ч. 1. – 372 с.

5. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров [и др.] // ОИТ и ВС РАН. – М. : Наука, 2006. – 333 с.

6. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы / И.В. Мирошник. – СПб. : Питер, 2006. – 272 с.

## **Intelligent Control System with Expert Regulators and Identification Algorithms of Life Support Systems**

**A.S. Stepanova**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** decision making; expert and hybrid controllers; Hammerstein model; human-machine interface; identification; intelligent; information; methods of error prediction; rules of knowledge.

**Abstract:** The paper studies the processes of change in intelligent management systems with the expert regulator. The singularity of virtual controllers is shown. The rules of management transformation from the discrete time to continuous time are formulated.

---

© А.С. Степанова, 2010