

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

О. М. Степанова, А. М. Степанов, М. Ф. Степанов

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина, Россия

E-mail: mfstepanov@mail.ru

Статья посвящена вопросам построения систем поддержки принятия проектных решений (СПППР) систем автоматического управления (САУ). Предложен подход к учету в комплексе взаимосвязанных моделей знаний СПППР неопределенностей в постановках задач управления.

FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF INTELLIGENT SYSTEMS TO SUPPORT THE ADOPTION OF DESIGN DECISIONS OF MANAGEMENT SYSTEMS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

O. M. Stepanova, A. M. Stepanov, M. F. Stepanov

The article is devoted to the issues of building design decision support systems (DDSS) of automatic control systems (ACS). An approach to accounting for uncertainties in the formulation of management tasks in a complex of interrelated knowledge models of the DSS is proposed.

Разработка систем автоматического управления становится все более сложным процессом в связи с расширением классов управляемых объектов, ростом их сложности, ужесточением требований к точности и качеству процессов управления, разработкой новых методов решения задач анализа и синтеза систем автоматического управления и т.д. Источником неопределенности некоторой сущности, очевидно, являются недостаточные знания о природе процессов, явлений, причинно-следственных связей, которые приводят к изменчивости поведения указанной сущности. Для описания степени изменчивости используются различные способы: например, описание с помощью методов теории вероятности и случайных процессов, математические модели с использованием нестационарных, нелинейных дифференциальных уравнений, модели динамического хаоса и т.д. Неопределенность внешних возмущений является привычной для разработчиков систем управления. При этом вид неопределенности и способ её задания могут существенно различаться в разных задачах.

Среди видов неопределенности внешних возмущений наиболее широко встречающимися (используемыми) являются функции, ограниченные по норме некоторого функционального пространства, например,

- ограниченные по модулю $f \in F \subset R^\mu, F = \{f \in R^\mu \mid |f| \leq 1\}$

- ограниченных в L_2 -норме $f \in F \subset R^\mu, F = \{f \in R^\mu \mid \|f\| \leq 1\}$

- пространства $C[t_1, t_2]$ всех непрерывных функций на некотором компактном множестве $T = [t_1, t_2]$, в котором расстояние между функциями x и y определяется следующим образом $\rho(x, y) = \sup_{t \in T} |x(t) - y(t)|$. В последнем из

перечисленных вариантов для оценки эффекта от реализации той или иной функции $x \in E[t_1, t_2]$ из некоторого множества $E[t_1, t_2] = \{x(t) | x(t) \in C[t_1, t_2]\}$ могут быть введены функционалы, характеризующие величины «вреда» и «пользы» $J(x, E, T) = \Psi(x, E, T) - \Phi(x, E, T)$, где $\Phi(x, E, T) = \varphi_T(x)$ – функционал оценки величины «вреда», $\Psi(x, E, T) = \lambda_1 |x|(T) + \lambda_2 x(T)$ – функционал оценки величины «пользы», где $|x|(T) = x_+(B) + x_-(B)$ – полная вариация функции $x(T)$, $x_+(T) = \sup_{B \subset T} x(B)$ – положительная и $x_-(T) = \sup_{B \subset T} (-x(B))$ –

отрицательная вариация функции $x(T)$. С учетом вышеуказанного подхода к оценке неопределенности вместо каждой функции $x \in E[t_1, t_2]$ следует рассматривать семейство функций

$$\tilde{E} = \{\tilde{x}_i | \tilde{x}_i \in E[t_1, t_2], M(\tilde{x}_i) = x_i \in E[t_1, t_2], V(\tilde{x}_i) = |\tilde{x}_i - x_i|(T) < \varepsilon(T)\},$$

где $M(z)$ – среднее значение функции $z(t)$, $V(\tilde{y})$ – полная вариация отклонения $\tilde{y}(t)$ от $y(t)$, $\varepsilon(T)$ – допустимое отклонение, например, заданное как параметр при описании неопределенности.

В данной статье рассматривается декларативный подход к представлению знаний систем поддержки принятия проектных решений (СППР), способных решать новые (интеллектуальные) задачи, для которых в базе знаний отсутствуют предопределенные процедуры их решения. Особое место занимают задачи управления в изменяющихся условиях, включая изменение не только внешних условий, управляемого объекта, но и целей управления. Основной компонент как интеллектуальной самоорганизующейся системы управления (ИССАУ), так и системы автоматизации проектирования ИССАУ (системы поддержки принятия проектных решений (СППР) разработчика ИССАУ) является интеллектуальный решатель (И-решатель) [5].

Отличительной особенностью предлагаемого подхода к представлению и обработке (интерпретации) знаний является наличие нескольких взаимосвязанных моделей представления знаний (рис. 1) и лингвистического обеспечения процедур (планов) решения задач [5]: M_o – внешняя форма модели представления знаний (уровень пользователя-проектировщика); M_M – внутренняя форма модели представления знаний в виде многоуровневой иерархической системы подмоделей (уровень пользователя-исследователя); T – скрытая форма модели представления знаний в виде многоуровневой аксиоматической теории решений задач проектирования (уровень подсистемы планирования действий И-решателя); M_d – модель представления данных исполнительной подсистемы И-решателя. Структура И-решателя представлена на рис. 2.

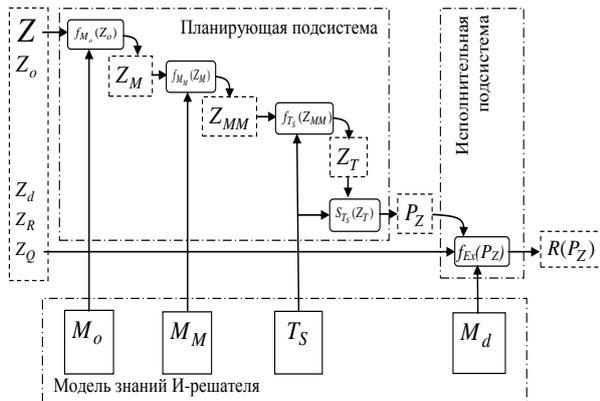


Рис. 1. Схема взаимосвязи моделей представления знаний И-решателя в процессе решения задач

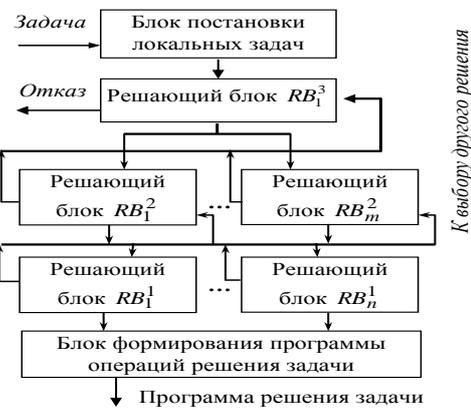


Рис. 2. Структура И-решателя в виде иерархической системы взаимосвязанных решающих органов

Формализованное представление знаний теории автоматического управления (модель предметной области) [5]:

$$M_o = \langle D, \mathfrak{R}, O \rangle, \quad (1)$$

где $D = \{d_i \mid d_i = \langle \mathfrak{I}(d_i), \wp(d_i), \mathfrak{N}(d_i), \Xi(d_i), \Psi(d_i) \rangle\}$ – множество формализованных обобщений (математических моделей) компонентов систем управления, называемых «предметами», обладающих: *свойствами характеристиками*

$\rho_j \in \wp(d_i) = \{\rho \mid \rho \in \{true \mid false\}\}$,

$\chi_j \in \mathfrak{N}(d_i) = \{\chi_{k_i} \mid \chi_{k_i} \in C^{N_{k_i}} \times C^{N_{k_i}} \times \dots \times C^{N_{k_i}}\}$, где C – множество комплексных чисел; N_{k_i} – размерность характеристики χ_i , *формами математических моделей*

$\mu_j \in \mathfrak{I}(d_i) = \{\mu_1, \dots, \mu_{\tau_i}\}$, где $\mu_j = \langle r_j, m_j \rangle$, $r_j = \{r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jk} \mid r_{jl} \in N\}$ – массив размерностей компонентов математических моделей μ_j ,

$m_j = \{m_{jk} \mid m_{jk} \in C^{r_{jk1}} \times C^{r_{jk2}} \times \dots \times C^{r_{jkl}}\}$ – множество коэффициентов компонентов (матриц m_{jk}) математической модели μ_j ; *классификационными признаками*,

представляющими собой выделенные свойства предметов $\xi_j \in \Xi(d_i) \subseteq \wp(d_i)$; *компонентами*, в качестве которых могут выступать другие предметы $d_{ij} \in \Psi(d_i) \subseteq D$.

$\mathfrak{R} = \{r \mid r = \langle c, s, g \rangle : \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{I} \cup \mathfrak{R} \cup O \rightarrow \{true \mid false\}\}$ – множество *отношений (предикатов)* над предметами, их компонентами и атрибутами, действиями;

$O = \{o \mid o = \langle c, s, g, q \rangle : \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{I} \cup \mathfrak{R} \rightarrow \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{I} \cup \mathfrak{R}\}$ – множество *действий* над предметами и их атрибутами.

Действия $o_i = \langle c_i, s_i, g_i, q_i \rangle \in O$ и отношения $r_i = \langle c_i, s_i, g_i \rangle \in \mathfrak{R}$ характеризуются своими атрибутами: $c_i \in \wp \cup \mathfrak{R}$ – условия применимости, $s_i \in \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{I}$ – исходные данные, $g_i \in \wp \cup \mathfrak{N} \cup \mathfrak{I} \cup \mathfrak{R}$ – результат выполнения действия (операции), $q_i \in \mathfrak{R}$ – требования к результату выполнения действия.

По мере развития (пополнения экспертами новыми знаниями) модель знаний M_o вида (1) становится более громоздкой, что создает трудности её использования в СППР. Для решения проблемы «проклятия размерности» одноуровневой модели знаний используется переход к многоуровневой модели M в виде системы подмоделей (2) [5]:

$$M_M = \langle M^3, M^2, M^1 \rangle, M^3 = \langle M_1^3 \rangle, M^2 = \langle M_1^2, \dots, M_n^2 \rangle, M^1 = \langle M_1^1, \dots, M_m^1 \rangle \quad (2)$$

$$M_p^r = \langle M_{2,p}^r, M_{1,p}^r, M_{0,p}^r \rangle, \bigcup_p M_{0,p}^r \supset \bigcup_e M_{2,e}^{r-1}, M_{k,p}^r = \langle D_{k,p}^r, \mathfrak{R}_{k,p}^r, O_{k,p}^r \rangle$$

где r – ранг подмодели, p – номер подмодели r -го ранга, e – номер подмодели $(r-1)$ -го ранга; $D_{k,p}^r$ – множество предметов подмодели $M_{k,p}^r$; $O_{k,p}^r$ – множество действий (операций) над предметами $D_{k,p}^r$; $\mathfrak{R}_{k,p}^r$ – множество отношений между элементами $D_{k,p}^r$ и $O_{k,p}^r$.

Рассмотренный подход к формализации знаний используется в СППР Инструмент-3М-И [6], в ИССАУ и СППР их проектирования и исследования МИСС [7], а также в интегрированной системе ГАММА-3 [8]. На рисунках 3 - 6 представлены экранные формы работы со знаниями и задачами в программном комплексе Инструмент-3М-И.

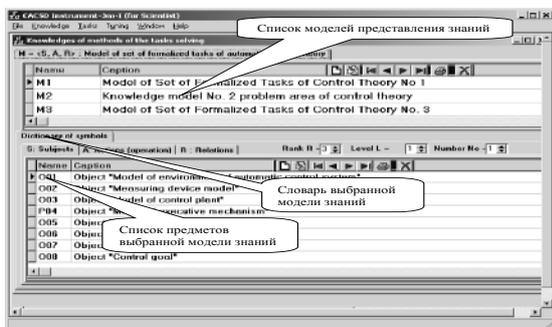


Рис. 3. Экранная форма описания декларативных составляющих модели знаний

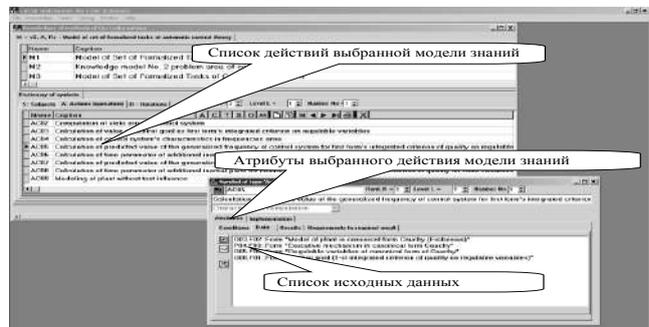


Рис. 4. Экранная форма для описания процедурных составляющих модели знаний

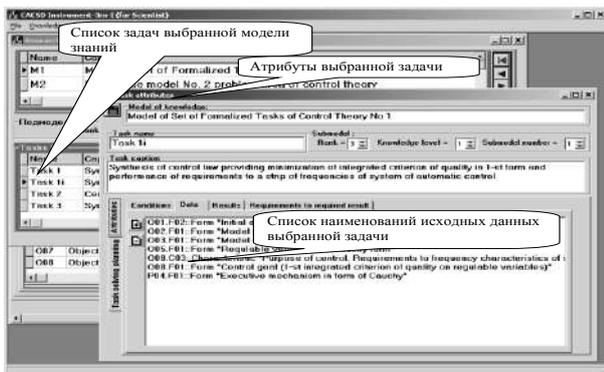


Рис. 5. Исследование модели знаний посредством решения тестовых задач

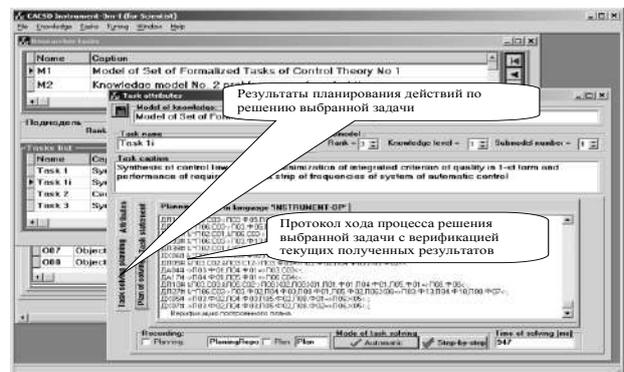


Рис. 6. Исследование модели знаний: построенный план решения выбранной задачи

Учет неопределенностей в модели M_0 осуществляется введением дополнительных атрибутов. Например, для динамической системы, описываемой в пространстве состояний уравнениями вида

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u + G(t)f, \quad x \in R^n, u \in R^m, f \in R^\mu, \quad y = Cx, \quad y \in R^r, \quad (3)$$

допускающей неопределенности, например, вида

$$A(t) = A_0 + A_\Delta (\sin(\omega t + \varphi)) \quad (4)$$

в описание предметов D модели объекта управления добавляются, например, атрибуты типа «характеристика»: $\chi_{dA} \in R^n \times R^n$ – максимальные значения вариации параметров матрицы состояний $A \in R^n \times R^n$; $\chi_\omega \in R^n \times R^n$ – частота вариации параметров матрицы состояний; $\chi_\varphi \in R^n \times R^n$ – фазовый сдвиг вариации параметров матрицы состояний. Также во множество операций O модели знаний M_0 вводятся операции, допускающие учет вариации параметров матрицы состояний A динамической системы, например, $O_{\text{mod}_{dA}}$ – операция моделирования с учетом нестационарности, использующая параметры нестационарности $\chi_{dA}, \chi_\omega, \chi_\varphi$.

Заключение. Исследования показали, что предлагаемый подход успешно применяется для решения декларативно поставленных (интеллектуальных) задач различных проблемных областей. Представленная работа продолжает исследования, поддержанные грантами РФФИ проекты 13-07-00647, 15-07-99684, а также грантом Минобрнауки 14.577.21.0282.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудов С. И. Субдифференцируемость и супердифференцируемость функции расстояния // Математические заметки. 1997. Т. 61. № 4. С. 530-542.
2. Черноусько Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем: Метод эллипсоидов. М. : Наука, 1988. 319 с.
3. Степанова О. М., Степанов М. Ф. О задаче выбора в условиях неполноты информации // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками : материалы V Междунар. молодеж. науч.-практ. конф.- Саратов : ООО Изд-во «Научная книга». 2016. С. 101-104.
4. Степанова О. М., Степанов М. Ф. Исследование условий управляемости динамических систем при внешних воздействиях // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками: материалы VII Междунар. молодеж. науч. практ. конф.- Саратов: ООО Изд-во «Научная книга». 2018. С. 137-142.
5. Степанов М. Ф. Автоматическое решение формализованных задач теории автоматического управления / Монография. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т., 2000. 376 с.
6. Степанов М. Ф., Брагин Т. М., Степанов А. М. К вопросу о представлении знаний в системе автоматического решения задач «ИНСТРУМЕНТ-3м-И» // Проблемы управления, передачи и обработки информации – АТМ-ТКИ-50. 2009. С. 130-132.
7. Степанов М. Ф., Брагин Т. М., Алпатов М. А., Бубнов Р. В. МИСС – система моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления // Интеллектуальные системы: Труды Четвертого междун. симпозиума. М. : РУСАКИ, 2000. С. 259-261.
8. Александров А. Г., Михайлова Л. С., Степанов М. Ф., Брагин Т. М., Степанов А. М. О

развитии концепции автоматического решения задач теории управления в системе ГАММА-3 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 9. С. 14-19.