

УДК 519.68

СИСТЕМА ЭВРОЛОГ:  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРОГРАММ  
В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.Н.Васильев, В.М.Матросов, Е.А.Суменков

1. Назначение системы и ее структура

Современное состояние математического и программного обеспечения в области проектирования и исследования сложных динамических систем определяется, с одной стороны, наличием значительного числа методов и реализующих их проблемно-ориентированных пакетов программ, а с другой стороны, отсутствием как единых стандартов построения этих пакетов, так и удовлетворительных средств их интеграции. Все это создает значительные неудобства при многоаспектном исследовании сложных динамических систем, основанном на решении комплексов взаимосвязанных разнородных задач, так как, во-первых, предъявляет высокие требования к пользователю по освоению возможностей широкого спектра сложных программных средств, а, во-вторых, приводит к большим затратам ручного программистского труда для обеспечения интерфейса пакетов. Таким образом, очевидна необходимость создания интегрирующих систем, обладающих следующими характеристиками:

- высокой степенью открытости системы по отношению к изменениям ее функционального наполнения;
- возможностью автоматического сопряжения пакетов программ, составляющих функциональное наполнение, независимо от языка их реализации, состава и форматов входных и выходных данных;
- дружественностью интерфейса с пользователем, в частности, наличием единого входного языка и максимальным приближением его к естественному специальному языку данной предметной области;
- максимальной экранизацией от пользователя программных средств, составляющих функциональное наполнение, и их индивидуальных особенностей.

Эти требования, особенно последние два, определяют обеспечение возможности непроектной постановки задач пользователя. С их учетом строится и создаваемая в Иркутском вычислительном центре СО РАН система ЭВРОЛОГ, ориентированная на исследование динамики систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Основными составляющими системы ЭВРОЛОГ являются ее инструментальная часть и функциональное наполнение.

Функциональное наполнение состоит из комплекса пакетов прикладных программ (ППП), реализующих различные математические методы и алгоритмы предметной области. В разрабатываемой версии системы функциональное наполнение включает следующие ППП:

- пакет численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений SINODE;
- пакет решения задач оптимального управления МАПР;
- пакет динамического анализа и параметрического синтеза управлений ДИАНА;
- пакет качественного изучения динамических свойств и построения количественных оценок на основе метода вектор-функций Ляпунова ВФЛ-2;

- систему аналитических вычислений ДУМА.

Все эти пакеты являются разработками Иркутского ВЦ, и подробное описание их функций можно найти в [1-4].

В системе ЭВРОЛОГ предусматриваются средства, позволяющие изменять функциональное наполнение. Пакеты прикладных программ, включаемые в ее состав, должны быть представлены в виде объектных модулей и удовлетворять единственному условию: выходные данные решаемых пакетом задач должны сохраняться на внешних запоминающих устройствах. При этом включении требуется участие специально подготовленного инженера по знаниям, так как оно сопряжено с нетривиальной работой по адаптации пакета и соответствующим редактированием базы знаний.

Инструментальная часть системы ЭВРОЛОГ инвариантна относительно функционального наполнения и является предметно-ориентированной (в разрабатываемой версии - на предметную область динамики систем и теории управления). Она состоит из следующих подсистем:

- математического моделирования,
- формализации постановки задач,
- поиска логического вывода и синтеза программ,
- организации вычислений и передачи данных,
- базы знаний.

Подсистема математического моделирования поддерживает автоматический вывод в символьном виде уравнений движения системы твердых тел в форме Лагранжа 2-го рода. В ее основе лежит разработанный в Иркутском ВЦ ППП "Динамика" [2,4]. Помимо вывода уравнения движения, он позволяет получать аналитические выражения для некоторых величин, связанных с системой, например, кинетической и потенциальной энергии, функции Гамильтона и т.д., а также выписывать в символьном виде некоторые условия, например, устойчивости по первому приближению.

Подсистема формализации постановки задач служит для ввода условий задачи, заданных входных величин и построения ее логической спецификации. В подсистеме имеется многосрифтовый редактор, допускающий, в частности, обработку выражений с верхними и нижними индексами 1-го уровня. При вводе аналитических выражений возможно использование как скалярной, так и векторно-матричной форм записи.

Основным содержанием базы знаний системы являются знания о предметной области, записанные в виде позитивно-образованных стандартизованных помеченных формул типово-кванторной логики 1-го порядка (соответствующие определения будут даны в следующем разделе). Знания о предметной области подразделяются на конструктивные и дескриптивные. К первому типу относятся логические спецификации различных функций ППП функционального назначения и алгоритмов подсистемы аналитических преобразований. Дескриптивные знания описывают понятийные связи между предикатами языка, а также могут выражать некоторые общематематические факты, теоремы, эвристики. В базе знаний предусмотрены средства ввода, редактирования, исключения и отладки (путем тестирования) ее содержания, а также средства синтаксического контроля вводимых знаний на предмет соответствия сигнатуре языка спецификаций.

Центральное место в системе ЭВРОЛОГ занимает подсистема логического вывода и синтеза программ. Реализованный в ней метод логического синтеза программ идейно близок к методам, изложенным в [5-7]. Они базируются на следующем факте: если найден логический вывод утверждения, посылками которого являются аксиомы теории (элементы базы знаний), а заключением - спецификация решаемой задачи, и этот вывод конструктивен (т.е. использует аксиомы и правила вывода только интуиционистской логики), то из него можно извлечь алгоритм (программу) нахождения решения этой задачи.

Поиск логического вывода осуществляется прuverом, работающим в классе позитивно-образованных стандартизованных помеченных типово-кванторных формул по принципу "прямого рассуждения". При синтезе программы предполагается, что для каждой спецификации из базы знаний, соответствующей некоторой функции одного из ППП функционального наполнения, имеется так называемая командная оболочка, осуществляющая запуск ППП для реализации этой функции. Командная оболочка представляет собой командный файл (BATCH-файл) операционной системы, обладающей командным языком высокого уровня (типа UNIX, MS DOS), с файлами-параметрами для ввода-вывода данных. На этом же командном языке синтезируется программа решения задачи, в которой командные оболочки играют роль процедур. Такой подход позволяет адаптировать к среде ЭВРОЛОГа разнородные программные средства без какого-либо их изменения на основе только руководств по их использованию.

В системе имеется возможность получать некоторое число альтернативных вариантов доказательства, из которых могут автоматически извлекаться альтернативные планы решения задачи. Предусматривается создание компоненты оценки построенных альтернативных планов по различным критериям и выбора на основе методов многокритериального принятия решений наиболее эффективных из них.

Система организации вычислений и передачи данных играет роль монитора всей системы в целом. Помимо этого, она поддерживает следующие функции:

- 1) организацию рабочего счета по плану, синтезированному подсистемой логического вывода и синтеза программ;
- 2) обеспечение работы файловой системы, откуда берут и куда помещают данные командные оболочки;
- 3) запоминание состояния задачи при прерываниях.

В настоящее время система ЭВРОЛОГ разрабатывается в сетевом варианте, при котором инструментальная часть размещена на ПЭВМ типа IBM PC AT-286,386, а функциональное наполнение - на ЭВМ коллективного пользования среднего класса. Такой подход оправдан тем, что вычислительные ППП требуют для решения практических задач значительных ресурсов, в частности, времени, в силу чего нецелесообразно занимать ими ПЭВМ и заставлять пользователя ожидать конца решения за терминалом. Поэтому основной вид прерываний, предусмотренный в системе ЭВРОЛОГ, - прерывание сеанса до завершения работы того или иного ППП на центральной ЭВМ при реализации построенного плана.

В заключение отметим, что в настоящей версии системы ЭВРОЛОГ для задач динамики систем и теории управления реализовано планирование для математически сформулированных задач, т.е. в ситуации, когда цель и входные данные жестко заданы, а уравнения движения и связанные с ними выражения могут изменяться только на математически эквивалентные (или "почти эквивалентные"). Вместе с тем обычная практика при комплексном исследовании сложных систем состоит в построении серии моделей, описывающих исследуемую систему с разной степенью детализации, выбора на основе инженерных эвристик различных форм законов управления и управляющих органов и решения последовательности возникающих при этом математически сформулированных задач.

Данная методология известна под названием "конечный итерационный процесс" исследования сложных динамических систем [8]. Другой характерной особенностью конечного итерационного процесса является нечеткость цели при переходе от инженерного описания к математической модели, причем "дрейф цели" также определяется не математическими условиями, а основан на понимании физической сущности объекта или явления. В последующих версиях системы ЭВРОЛОГ предполагается реализовать автоматическое планирование всего конечного итерационного процесса путем соот-

ветствующего расширения сигнатуры языка спецификаций и внесения инженерных эвристик в базу знаний.

## 2. Язык спецификаций системы ЭВРОЛОГ

В настоящем разделе будут даны основные определения, описывающие исчисление позитивно-образованных стандартизованных помеченных типово-кванторных формул, которое задает синтаксис и правила вывода в языке спецификаций системы ЭВРОЛОГ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1. Псевдоисчислением (PSC) назовем множество  $M$  с двумя заданными на нем бинарными коммутативными, ассоциативными операциями  $\&$  и  $\vee$  и рефлексивным, транзитивным отношением  $\rightarrow$  (следования), таких, что для любых  $a, b, c \in M$ , имеют место следующие соотношения:

- 1)  $a \& b \rightarrow a$ ;
- 2)  $a \rightarrow a \vee b$ ;
- 3)  $(a \& b) \vee c \equiv (a \vee c) \& (b \vee c)$ ;
- 4)  $(a \vee b) \& c \equiv (a \& c) \vee (b \& c)$ ;
- 5) если  $a \rightarrow c$  и  $b \rightarrow c$ , то  $a \vee b \rightarrow c$ ;
- 6) если  $a \rightarrow b$  и  $a \rightarrow c$ , то  $a \rightarrow b \& c$ .

(Здесь запись  $a \equiv b$  означает, что  $a \rightarrow b$  и  $b \rightarrow a$ .)

Примерами псевдоисчислений могут служить любые логические исчисления (высказываний, предикатов и т.д.) относительно операций  $\&$ ,  $\vee$  и отношения выводимости. Если  $M$  - подмножество бескванторных формул исчисления предикатов 1-го порядка, которое тоже, очевидно, образует PSC, то будем говорить, что имеет место классический случай.

Будем далее считать, что элементами  $M$  являются слова в некотором алфавите. Пусть  $Z$  - некоторое множество, интерпретируемое как множество свободных переменных, причем для элементов  $M$  некоторым естественным образом определено понятие "вхождения свободных переменных" из  $Z$ . В этом случае PSC  $M$  будем называть PSC со свободными переменными (PSC-FV).

Очевидным образом можно определить также PSC с отрицанием, дополнив его сигнатуру унарной операцией  $\neg$  "отрицания" с соответствующими свойствами. При этом выполнимость закона "исключенного третьего" не предполагается.

Пусть  $M$  - некоторое PSC-FV, а  $Z$  - множество его свободных переменных. Если  $a \in M$  и  $z \in Z$ , типовыми кванторами над  $M, Z$  называются выражения вида  $[\forall z: a]$  и  $[\exists z: a]$ . При этом  $a$  называется типовым условием соответствующего типового квантора.

Введем понятие позитивно-образованной типово-кванторной формулы над PSC  $M$ .

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.

1. Любой элемент  $a \in M$  - позитивно-образованная формула.
2. Пропозициональные константы  $\mathbf{T}$  ("истина") и  $\mathbf{F}$  ("ложь") - позитивно-образованные формулы.
3. Если  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - позитивно-образованные формулы, то и  $\Phi_1 \& \Phi_2, \Phi_1 \vee \Phi_2$  - позитивно-образованные формулы.
4. Если  $\Phi_1$  - позитивно-образованная формула,  $a \in M, z \in Z$ , то и  $[\forall z: a]\Phi_1$  и  $[\exists z: a]\Phi_1$  - позитивно-образованные формулы.
5. Других позитивно-образованных формул нет.

В классическом случае типовые кванторы интерпретируются следующим образом:  $[\forall z: P(z)]\Phi \equiv \forall z(P(z) \Rightarrow \Phi)$  и  $[\exists z: P(z)]\Phi \equiv \exists z(P(z) \& \Phi)$ .

Константы  $\mathbf{T}, \mathbf{F}$  и элементы PSC  $M$ , рассматриваемые как позитивно-образованные формулы, называются также заключительными формулами.

Исчисление  $\mathcal{J}$  позитивно-образованных типово-кванторных формул (с отрицанием) задается аксиомами  $(AX_1), (AX_2)$  и набором правил  $(I_1) - (I_9)$ , приведенных в [9]. Возникающие в посылках некоторых из этих правил выражения вида



$\bigwedge_{i=1}^n a_i \rightarrow b \quad (a_i, b \in M)$  называются вспомогательными задачами (AUX-задачами). В классическом случае для  $\mathcal{J}$  в [9] доказаны теоремы полноты и корректности (результаты принадлежат А.К. Жерлову), которые сформулируем здесь без доказательства.

#### ТЕОРЕМА 1 [9].

1. Если позитивно-образованная формула  $\Phi$  выводима в  $\mathcal{J}$ , то ее образ выводим в исчислении предикатов 1-го порядка.

2. Если проблема истинности для AUX-задач разрешима, то из доказуемости образа формулы  $\Phi$  в исчислении предикатов следует выводимость  $\Phi$  в  $\mathcal{J}$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.** Элемент  $a \in M$  назовем атомом, если он непредставим в виде терма с элементами из  $M \setminus \{a\}$  в базисе операций  $\&$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.** Формулу  $\Phi$  исчисления  $\mathcal{J}$  назовем стандартизованной, если все ее заключительные формулы и типовые условия типового квантора являются конъюнкциями атомов.

В [9] показано, что в классическом случае для стандартизованных формул проблема истинности для AUX-задач разрешима, в силу чего исчисление  $\mathcal{J}$  полно на этом классе. Более того, там же доказано, что на этом классе любой  $\mathcal{J}$ -вывод конструктивизируем. Все это говорит в пользу выбора класса позитивно-образованных стандартизованных типово-кванторных формул в качестве языка спецификаций системы логического синтеза программ. Не сложно также заметить, что этот класс формул существенно шире класса хорновских дизъюнктов, используемых в языке PROLOG.

Для реализации в системах практического синтеза программ весьма привлекательным выглядит описанный в [9] вариант исчисления  $\mathcal{J}$ , в котором  $PSC\ M$  по существу является декартовым произведением трех  $PSC$  -  $L$ ,  $R$  и  $N$ .

$PSC\ L$ , называемое логической частью, представляет собой подмножество множества бескванторных формул (замкнутое относи-

тельно операций  $\&$ ,  $\vee$  и  $\neg$  ) некоторого исчисления предикатов 1-го порядка, сигнатура которого отражает понятия и связи между ними, характерные для данной предметной области.

Для PSC R, которое называется реализационной частью, также может иметь место классический случай, однако при этом семантика сигнатурных предикатов связана не с понятиями предметной области, а скорее с возможными способами реализации (задания) объектов предметной области. В простейшем случае сигнатура R может состоять из единственного унарного предиката, скажем, GIVEN(x), означающего, что объект x некоторым образом конструктивно задан. При этом наличие непустой реализационной части в типовом условии некоторого типового квантора можно отмечать просто "подчеркиванием" этого квантора, в силу чего формулы соответствующего исчисления J получили название помеченных. PSC R может также быть нелогическим формальным исчислением, например, некоторой теорией типов данных с операциями объединения, пересечения и отношением вложимости.

Структура PSC N, называемого неформализованной частью, четко не определяется. В принципе допускается, что N может являться даже множеством фраз естественного языка, образующим PSC-FV, возможно, и с тривиальным отношением  $\Rightarrow$  (порожденным относительно аксиом 1-6 определения 1 диагональным отношением на M).

При такой декомпозиции каждая AUX-задача для J сводится к тройке AUX-задач для L, R и N соответственно, причем AUX-задачи для L можно интерпретировать как задачи на логический вывод (в терминах предметной области), для R - как задачи на преобразование данных от одного способа задания к другому, а для N - как вопросы для организации диалога с пользователем.

Язык спецификаций системы ЭВРОЛОГ является подмножеством некоторой модификации языка позитивно-образованных стандарты -

зованных помеченных формул. В отличие от описанного выше, в нем допускается использование индивидуальных констант и предусматривается работа с разрешимыми предикатами (предикат называется разрешимым, если существует алгоритм, позволяющий для любой подстановки вместо аргументов предиката набора индивидуальных констант узнать, будет ли истинен предикат на этом наборе или нет). Использование разрешимости отдельных предикатов позволяет при прямом рассуждении обеспечивать их в ряде случаев не логическим путем, а посредством обращения к соответствующей процедуре. В некотором смысле применение разрешимых предикатов в поиске вывода аналогично аппарату встроенных функций в языке PROLOG.

В работающей версии компоненты поиска вывода возможна работа только с формулами, для которых выполнены следующие ограничения:

- 1) неформализованная часть отсутствует;
- 2) каждая формула содержит не более одной заключительной формулы (является простой формулой);
- 3) формулы, хранящиеся в базе знаний посылки, могут быть только либо  $\forall$ -, либо  $\forall\exists$ -формулами, а спецификации задач пользователя - либо  $\forall\exists$ -, либо  $\forall\exists \dots \forall\exists$ -формулами.

При таких ограничениях выразительные возможности языка спецификаций близки к языку хорновских дизъюнктов. Программа, способная обрабатывать формулы более сложной структуры, в частности, имеющие более одной заключительной формулы, находится в стадии разработки.

К сожалению, ограниченность объема работы не дает возможности подробно описать сигнатуру языка спецификаций, семантику ее предикатов, особенности построения формализации предметной области и внутренние способы представления данных. Частично эти аспекты будут рассмотрены на примере, описанном в следующем разделе.

### 3. Описание тестового примера

В качестве тестового примера для системы ЭВРОЛОГ была рассмотрена задача переориентации летательного аппарата на круговой орбите, которая осуществляется с помощью реактивных двигателей. Динамика аппарата описывается нелинейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 &= -1/2 \lambda \circ \omega, \\ \lambda &= 1/2 (\lambda_0 \circ \omega + \lambda \times \omega), \\ J_0 \circ \omega &= M_0 - \omega \circ (J_0 \circ \omega) + M_D, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\lambda_0 \in \mathbb{R}^1$ ,  $\lambda, \omega \in \mathbb{R}^3$ ,  $\Lambda = \{\lambda_0, \lambda\} = (\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  - кватернион ориентации,  $\omega$  - вектор абсолютной угловой скорости объектов,  $J_0$  - диагональная матрица инерции,  $M_0 \in \mathbb{R}^3$  - вектор внешних возмущений вида

$$M_{0,i}(t) = M_{0,i}^0 + M_{0,i}^C \cdot \cos(v_0 t) + M_{0,i}^S \cdot \sin(v_0 t), \quad (2)$$

$$i = 1, 3,$$

где  $M_0^0, M_0^C, M_0^S \in \mathbb{R}^3$ ,  $v_0 \in \mathbb{R}^1$  - постоянные.

Заданными являются также начальный момент времени  $t_0 = 0$ , начальные значения переменных состояния  $\Lambda(0), \omega(0)$ , конечный момент времени  $T = 100$  и требуемые значения переменных состояния в конечный момент времени  $\Lambda(T), \omega(T)$ .

Требуется найти управление  $M_D = M_D(t, \Lambda, \omega) \in \mathbb{R}^3$ , удовлетворяющее прямому ограничению  $|M_D| < M_D^*$  при  $0 \leq t \leq T$  ( $M_D^* \in \mathbb{R}^3$  - заданный положительный постоянный вектор, а векторные модуль и неравенство понимаются как покомпонентные), и решающую поставленную краевую задачу для системы (1).

Один из возможных путей решения данной задачи состоит в декомпозиции ее на следующие две подзадачи.

Сначала для системы вида

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 &= -1/2\lambda \cdot \omega, \\ \lambda &= 1/2(\lambda_0 \cdot \omega + \lambda \cdot \omega), \\ J_0 \cdot \omega &= M_0 - \omega \cdot (J_0 \cdot \omega) + M_D, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

представляющей собой систему (1) без учета внешних возмущений, ищется программное управление  $M_D = M_D^P(t)$ , которое решает поставленную краевую задачу, удовлетворяет прямому ограничению  $|M_D^P(t)| < M_D^{**}$ , где вектор  $M_D^{**} < M_D^*$  задан и постоянен, и при этом минимизирует функционал качества управления

$$J = \int_0^T \sum_{i=1}^3 (M_{D,i}^P(\tau))^2 d\tau \quad (4)$$

(величина, оценивающая затраты мощности реактивного двигателя).

Требуется найти также программную траекторию  $\Lambda^P(t)$ ,  $\omega^P(t)$ , соответствующую найденному управлению.

На втором этапе для системы (1) управление ищется в виде

$$M_D = M_D^P(t) + M_D^S(t, \Lambda, \omega), \quad (5)$$

где стабилизирующее управление  $M_D^S$  задается в форме обратной связи и имеет определенную структуру, зависящую от матрицы параметров  $K$  размера  $2 \times 3$  и величин  $\delta\Lambda$ ,  $\delta\omega$ , характеризующих отклонение решения системы (1) от программной траектории (ввиду громоздкости выражений для  $M_D^S$ ,  $\delta\Lambda$ ,  $\delta\omega$  мы их явно приводить не будем). На этом этапе требуется определить значение матрицы параметров  $K$  так, чтобы минимизировать промах в конечной точке, для оценки которого выбран функционал качества управления вида

$$J_1 = \sum_{i=1}^3 (\delta\lambda_i(T))^2 + 1/2 \delta\omega(T) \cdot J_0 \cdot \delta\omega(T). \quad (6)$$

Такая декомпозиция задачи не может быть автоматически осуществлена системой ЭВРОЛОГ в настоящее время ввиду того, что сама декомпозиция, а также выбор вспомогательной системы (3), критериев качества управления  $J, J_1$ , структуры управления  $M_D$  (5) и характеристик отклонения  $\delta\Delta, \delta\omega$  определяются инженерными эвристиками, основанными на понимании физической сущности объекта, а не являются строгим математическим методом.

Поэтому входной постановкой для системы может служить сама эта декомпозиция, записанная в виде "СНАЧАЛА" Задача 1 "ЗАТЕМ" Задача 2, логическая спецификация которой будет  $\forall\exists\forall$ -формулой с одним заключительным условием.

Возможен также другой режим работы (являющийся на самом деле основным, ввиду большого удобства для пользователя): сначала формулируется и полностью решается задача 1, а затем, с использованием ее результатов, выводится формулировка задачи 2, планирование и решение которой производится автономно.

Опишем более подробно суть процесса планирования задачи 1.

Ее логическая спецификация имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & [\forall Z: DP(Z)] [\forall S: DS(Z, S)] [\forall s: SDE(Z, s) \& \\
 & \& TYPE(s, ODEPC) \& TCF(s) \& AE(s, S)] [\forall t_0: IT(t_0, Z)] \\
 & [\forall T: FT(T, Z)] [\forall x_0: ST(s, t_0, x_0)] [\forall \phi: IC(Z, \phi) \& \\
 & \& CC(\phi, t, x)] [\forall x_1: ST(s, T, x_1)] [\forall \psi: TR(Z, \psi) \& \\
 & \& CC(\psi, t, x)] [\forall \chi: CQQ(Z, \chi) \& TYP(\chi, ITQ) \& \\
 & \& AE(u, S)] [\forall \Delta: LAPV(Z, \Delta)] [\exists z: LS(s, z)] \\
 & [\exists u: IC(s, u)] [\exists X: EL(1, X, z) \& EL(2, X, u)] \\
 & [SOL(Z, X)],
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где семантика предикатов и констант определяется согласно следующей таблице.

Т а б л и ц а

Предикат	Семантика предиката
DP(Z)	Z - задача динамики
DS(Z,S)	S - система обозначений задачи Z
SDE(Z,s)	s - система дифференциальных уравнений задачи Z
TYPE(s,A)	тип объекта s есть A
CF(s)	система s находится в форме Коши
AE(s,S)	s - аналитическое выражение в системе обозначений S
IT(t <sub>0</sub> ,Z)	t <sub>0</sub> - начальный момент времени для задачи Z
FT(T,Z)	T - конечный момент времени для задачи Z
ST(s,t,x)	x - возможное состояние системы s в момент времени t
IC(Z,φ)	φ - начальное условие задачи Z
CC(φ,t,x)	φ - условие Коши в момент времени t со значением состояния
TR(Z,φ)	φ - терминальное ограничение задачи Z
CR(Z,χ)	χ - ограничение на управление задачи Z
CQQ(Z,η)	η - критерий качества управления задачи Z
LAPV(Z,Δ)	Δ - список значений вспомогательных параметров задачи Z
LS(s,z)	z - список решений системы s
LC(s,u)	u - список управлений системы s
EL(i,X,a)	a есть i-й элемент (кортежа) X
SOL(Z,X)	X - решение задачи Z
ITQ	критерий интегрального типа
ODEPC	система обыкновенных дифференциальных уравнений с программным управлением

Понятия "задача динамики", "система обозначений" и "список значений вспомогательных параметров" не являются общеупот-

ребительными, а введены для поддержки преобразований аналитически заданных условий задачи и адекватного отражения понятийных связей.

Задача 1 в принципе относится к классу задач, решаемых пакетом МАПР, однако непосредственно он к ней неприменим, так как МАПР может решать такие задачи только для систем в форме Коши и с критерием качества терминального типа.

План, полученный системой ЭВРОЛОГ для решения задачи 1, состоял из следующих основных шагов:

1. Приведения системы к форме Коши и выполнения сопутствующих преобразований (критерия качества управления, векторов начальных и конечных значений и т.д.).

2. Замены критерия качества управления посредством введения дополнительной переменной на критерий терминального типа и выполнения сопутствующих преобразований.

3. Запроса у пользователя требуемой точности численного решения и сетки его определения.

4. Вызова пакета МАПР для численного решения преобразованной задачи.

5. Возврата к обозначениям исходной постановки задачи и получения требуемых величин.

Всего в процессе вывода были использованы 23 логические спецификации базы знаний, из которых 11 соответствовали вызовам командных оболочек. Эти вызовы и составили план, укрупненно описанный в пп.1-5.

Процесс поиска решения задачи 2 аналогичен решению задачи 1, в силу чего его подробное описание опускается.

## Л и т е р а т у р а

1. Пакеты прикладных программ. Методы, разработки: Под ред. В.М.Матросова, О.Г.Дивакова.- Новосибирск: Наука, 1981.-223 с.

2. Разработка пакетов прикладных программ: Под ред. В.М.Матросова, О.Г.Дивакова.- Новосибирск: Наука, 1982.- 186 с.



3. Пакеты прикладных программ. Функциональное наполнение: Под.ред. В.М.Матросова, О.Г.Дивакова.- Новосибирск:Наука, 1985.- 177 с.

4. Пакеты прикладных программ.Опыт разработки: Под ред. В.М.Матросова, О.Г.Дивакова.- Новосибирск: Наука,1985.-136 с.

5. MANNA Z., WALDINGER R. Towards automatic programm synthesis //Comm.ACM.- 1971.-Vol.14,N 3.- P.151-164.

6. CONSTABLE R.L. Constructive mathematics and automatic programm writers// Information Processing 71.- North Holland Publ.Co., 1972.- P.733-738.

7. НЕПЕЙВОДА Н.Н. Соотношение между правилами естественного вывода и операторами алгоритмических языков //Докл. АН СССР.- 1976.- Т.239, № 4.- С.526-529.

8. МАТРОСОВ В.М., ВАСИЛЬЕВ С.Н. ЭВРОЛОГ, или о творческих возможностях одной системы с профессиональным искусственным интеллектом// Будущее науки. Вып.19.- М., 1986.- С.10-23.

9. О логических средствах системы планирования вычислений ПАСАД / С.Н.Васильев, Ш.Б.Гулямов, А.К.Жерлов, Ю.Ф.Литвинов // Алгоритмы. Вып.66.- Ташкент: НПО "Кибернетика" АН УзССР,1988.- С.97-112.

Поступила в ред.-изд.отд.

6 июля 1992 года