

## ПРОВЕРКА ДОСТИЖИМОСТИ ЦЕЛЕЙ И ВЫПОЛНИМОСТИ ПЛАНОВ В КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМАХ

**Резчиков А.Ф.**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д. 65  
Rw4cy@mail.ru*

**Кушников В.А.**

*ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр Российской Академии Наук»,  
Россия, г. Саратов, ул. Рабочая д. 24  
Kushnikoff@iptmuran.ru*

**Кушников О.В.**

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,  
Россия, г. Саратов, ул. Политехническая д. 77  
lkushnikova@gmail.com*

*Аннотация. В статье разработана постановка задачи проверки достижимости комплекса целей, осуществляемых при управлении человеко-машинными, экономическими, социальными системами, а также при их проектировании и планировании деятельности. Проверку достижимости предложено осуществить с использованием формального аппарата булевой алгебры, графовых и продукционных моделей, систем линейных однородных дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена и нелинейных дифференциальных уравнений системной динамики.*

Ключевые слова: человеко-машинные системы, крупномасштабные системы, дифференциальные уравнения, уравнения системной динамики.

### Введение

В настоящее время проверка достижимости комплекса целей, осуществляемых при планировании, проектировании и управлении крупномасштабными системами, недостаточно формализована и выполняется в основном с использованием интуиции и опыта лиц, принимающих решений (ЛПР). Характеристики целей различных уровней иерархии, а также критериев их выполнения могут значительно изменяться на временных интервалах реализации целей, что весьма затрудняет деятельность ЛПР при проектировании, управлении сложными системами, а также при планировании результатов их деятельности.

Вопросы формализации процедуры целеполагания неоднократно обсуждались в трудах ряда отечественных и зарубежных исследователей {1,2, 4-10}. Полученные в данной области исследования результаты, однако, пока не привели к созданию целостного комплекса теоретических положений, математических средств и машинных алгоритмов для формальной проверки достижимости целей крупномасштабных систем, широко распространенных в различных областях человеческой деятельности.

Отсутствие необходимых теоретических разработок, а также специализированного математического и информационно-программного обеспечения, предназначенных для формальной проверки достижимости целей крупномасштабных систем, а также планов их создания и развития, понимаемых «как ряд предварительно обдуманых действий, операций, объединённых последовательно для достижения цели с возможными сроками выполнения» {3}, вызывает значительные сложности при разработке и управлении сложными человеко-машинными, экономическими, социальными объектами, а также при создании систем искусственного интеллекта.

1. При решении задач управления, согласно определению академика Васильева С.Н., в полной мере интеллектуальными системами управления могут называться только системы с целеполаганием, формированием новых понятий и отношений в развиваемой модели мира {1,2}. Академик Глушков В.М. также подчеркивал, что «автоматизация дедуктивных построений и распознавания образов – важные составные части раздела кибернетики, получившего названия «искусственный интеллект», где особая группа задач возникает при изучении целенаправленного поведения, методов выбора целей и подцелей и планов их достижения» {11}. В трудах профессора Пупкова К.А. отмечается, что «под интеллектуальной системой понимается объединённая информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, способная на основании сведений об окружающей среде и собственном состоянии при наличии знаний и мотивации синтезировать цели, принимать

решение о действии и находить рациональные способы достижения цели» {11}. Другие исследователи также отводят процедуре формализации процесса целеполагания особую роль при создании сложных систем управления, подчеркивая, что «...принципиально новым, недостижимым в современных автоматических системах управления качеством является мотивированный интеллектуальный выбор цели, не сводящийся к выбору одной из нескольких априори предусмотренных и хорошо формализованных целей» {1,2,9}. При этом исследователи сходятся во мнении, что «создание автоматических систем с целеполаганием остается весьма сложной проблемой» {1,2,7,8}. По мнению авторов, важным элементом таких систем должна стать подсистема проверки достижимости целей и планов, т.к. без ее наличия невозможно достичь высокой степени интеллектуальности систем управления.

2. В процессе проектирования новых и эксплуатации уже существующих крупномасштабных систем, а также при планировании их деятельности в настоящее время весьма ограниченно используются формальные модели и методы проверки достижимости целей и выполнимости намеченных планов. В существующих системах отсутствуют контуры автоматизированной проверки достижимости целей. Это приводит к тому, что на достаточно длительных интервалах времени невозможно выполнить прогноз достижимости целей и своевременно изменить цели и планы таким образом, чтобы в любой момент времени их гарантированно можно было бы достигнуть. Нарушение данного условия приводит к возникновению значительного ущерба из-за нерационального использования человеческих, финансовых, энергетических и других видов ресурсов, чревато срывом планов проектирования и эксплуатации крупномасштабных систем, негативно сказывается на безопасности их использования.

3. При формальном решении задач управления крупномасштабными системами по векторным или скалярным критериям эффективности разработчик сталкивается со значительными трудностями, такими как высокая размерность задачи; ограниченная воспроизводимость результатов экспериментов; необходимость создания сложной динамической модели крупномасштабной системы, учитывающей ее количественные и качественные параметры; неопределенность параметров модели на длительных интервалах времени ввиду дрейфа возмущений и управляющих координат объекта; сложность решения системы нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка при временных ограничениях режима реального времени и др. Для преодоления этих сложностей при разработке сложных алгоритмов управления крупномасштабной системой нами предлагается использовать неоднократно проверенное на практике утверждение, согласно которому для решения таких задач управления достаточно разработать и реализовать подробный комплексный план операций, так как это в основном и делает ЛПП, не имеющий возможность формально решить поставленную задачу {3}.

При реализации данного подхода основная сложность поиска решения заключается в разработке формальной процедуры проверки выполнимости плана операций при различных значениях управляющих воздействий и возмущений окружающей среды. Это позволяет свести поиск решения ряда сложных задач управления крупномасштабными системами к периодической проверке выполнимости соответствующих планов.

Если план в заданный момент времени выполним, то, следовательно, при его реализации удастся перевести крупномасштабную систему в требуемую область по заданной траектории, т.е. решить поставленную задачу. В ином случае необходимо определить причины, препятствующие выполнению данного плана, а также разработать и осуществить комплекс операций по их устранению.

Указанные соображения обуславливают актуальность, научную новизну и практическую целесообразность проведения исследований в области разработки новых постановок задач, моделей и методов проверки достижимости целей и выполнимости планов в крупномасштабных системах.

## 1 Постановка задачи и общий подход к решению

Ограничения и допущения. Допустим, что при управлении крупномасштабной системой возникла сложная ситуация  $w(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ \rightarrow \rightarrow \end{matrix} \right\}$  в результате которой она перешла в состояние

$s_0(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ \rightarrow \rightarrow \end{matrix} \right\}$  и ей был причинен ущерб.  $\left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ \rightarrow \rightarrow \end{matrix} \right\}$  – множество допустимых состояний

системы,  $\left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ W(X, U) \end{matrix} \right\}$  – множество сложных ситуаций системы; векторы параметров среды  $x \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \\ X \end{matrix} \right\}$  и

управляющих воздействий  $u \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \\ U \end{matrix} \right\}$ , соответственно.

Примем также, что по мнению управленческого персонала переход крупномасштабной системы в состояние  $s_k(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ S(x, u) \end{matrix} \right\}$  приведет к разрешению сложной ситуации  $w(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ W(X, U) \end{matrix} \right\}$ .

Для разрешения сложной ситуации  $w(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ W(X, U) \end{matrix} \right\}$  был разработан план операций

$P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$  по поэтапному переводу крупномасштабной системы из состояния

$s_0(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ S(x, u) \end{matrix} \right\}$  в состояние  $s_k(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ S(x, u) \end{matrix} \right\}$ , характеризующее окончание сложной

ситуации  $\left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$  – множество допустимых планов операций).

В дальнейшем будем считать, что план  $P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$  состоит из конечного набора операций

$\{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ , каждое из которых осуществляет перевод объекта управления из состояния

$s_i(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ S(x, u) \end{matrix} \right\}$  в состояние  $s_{i+1}(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ S(x, u) \end{matrix} \right\}$ ,  $i = \overline{0, k-1}$ . На выполнение каждой из

операций  $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  влияют условия  $B_i(x, u)$ ,  $i = \overline{1, g}$ , вытекающие из особенностей функционирования объекта и системы управления, а также зависящие от состояния окружающей среды. Данные условия, а также их влияние на выполнение операций  $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  в общем случае могут быть формализованы с помощью продукционных математических моделей, которые имеют вид следующих выражений:

ЕСЛИ ВЫПОЛНЯЕТСЯ  $B_1(x, u) R_1 B_2(x, u) R_2 \dots R_{k-1} B_k(x, u) >$ ,

ТО ОПЕРАЦИЯ  $\langle M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  БУДЕТ ВЫПОЛНЕНА  $\rangle$

(1)

$R_i \in \{AND, OR, NOT, AND - NOT, OR - NOT\}$ ,  $i = \overline{1, k-1}$

Если количество проверяемых условий равно двум или одному, то они записываются в виде выражений  $B_1(x, u) R_1 B_2(x, u)$  или  $B_1(x, u)$ , соответственно.

Будем считать, что операция  $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  является выполнимой, если:

- исполнены все предшествующие ей операции  $M_j \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ ;

- выполнены влияющие на операцию  $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  правила  $B_i(x, u)$ ,  $i = \overline{1, g}$ , заданные выражением (1).

При нарушении хотя бы одного из данных условий операция  $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  не может быть выполнена.

План операций  $P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$  будет выполнимым, если все его операции выполнимы, и

невыполнимым, если он содержит хотя бы одну невыполнимую операцию.

С учетом приведенных выше определений и допущений формализованная постановка решаемой задачи имеет следующую формулировку.

## 2 Постановка задачи

Для управления крупномасштабной системой разработать математические модели, алгоритмы и комплексы программ, позволяющие:

- в режиме реального времени формальными методами подтвердить или опровергнуть выполнимость плана  $P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$ , составленного с учетом перечисленных выше ограничений;

- установить причины, препятствующие выполнению плана  $P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$ , и рекомендовать способы их устранения;

- машинным способом получить и обосновать новые знания о производственных ситуациях и возможности выполнения плана операций  $P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$  по их разрешению при различных значениях векторов управляющих воздействий  $u \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \\ U \end{matrix} \right\}$  и параметров среды

$$x \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \\ X \end{matrix} \right\};$$

- оперативно оценить правильность суждений экспертов и управленческого персонала предприятия о возможности выполнения плана операций  $P(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ P(x, u) \end{matrix} \right\}$ , используемого для ликвидации возникшей ситуации  $w(x, u) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ W(X, U) \end{matrix} \right\}$ .

## Заключение

В целом, решение данной задачи позволит создать методологическую основу для разработки новых систем искусственного интеллекта, использование которых в составе математического обеспечения крупномасштабных систем значительно повысит эффективность их управления.

## Литература

1. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению. Известия Академии Наук. Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5 – 22.
2. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению II. Известия Академии Наук. Теория и системы управления. 2001. № 2. С. 5 – 21.

3. *William R. Lalli*. Handbook of budgeting. — 6th ed. — Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012 — P.41 – 846.
4. *Поспелов Г.С., Ириков В.А.* Методы совершенствования цифровых налоговых сервисов в современной практике налогового администрирования. Москва.1976. 440 с.
5. *Кини Р.Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь .1981. 560 с.
6. *Поспелов Г.С., Ириков В.А.* Программно-целевое планирование и управление. М.: Сов. радио, 1976. 320 с.
7. *Кушников В.А., Резчиков А.Ф., Цвиркун А.Д.* Управление в человеко-машинных системах с автоматизированной процедурой коррекции целей // Автоматика и телемеханика. № 7. 1998. С.168 – 175.
8. *Kushnikov V.A., Rezchikov A.F., Tsvirkun A.D.* Control in man-machine systems with automated correction of objectives // // Meitan Kexun Jishu. 1998. Т. 26. № 11. С. 168– 175.
9. *Глушков В.М.* Кибернетика // Математическая энциклопедия. Т.2. М.: Сов. Энциклопедия, 1979.
10. *Гермейер Ю.Б.* Введение в теорию исследований операций. М.: Наука, 1971. 384 с.
11. *Пупков К.А.* Некоторые результаты разработки научно-технической программы «Интеллектуальные системы» Федеральной комплексной программы «Университеты России» // Тр.2-го Междунар. симпоз. «Интелс 96», «Интеллектуальные системы». Т.1 / Под ред. К.А. Пупкова. М.: РУДН-ПАИМС, 1996.