

## АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ И ВЫРАБОТКА УПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ

*Прокопчук Ю.А., Токарева Е.М.,*

*Институт технической механики НАНУ и НКАУ, г. Киев,  
Украинский государственный химико-технологический университет*

*В статье рассматривается применение метода предельных обобщений для решения проблем, возникающих в процессе управления сложными подвижными системами (СПС) при возникновении различных, в том числе заранее не прогнозируемых критических или нештатных ситуаций.*

*Метод предельных обобщений, модель многоуровневых набросков образов, модель базы знаний, эмпирический оператор эволюции, информационное множество, множество обобщения создают необходимую методологическую основу для управления СПС в критических и нештатных ситуациях.*

*Ключевые слова: метод предельных обобщений, критическая ситуация, модель базы знаний.*

**Введение.** В процессе управления сложными подвижными системами (СПС) достаточно часто возникают различные, в том числе заранее не прогнозируемые критические или нештатные ситуации. Примеры таких ситуаций: угроза поражения от внешних причин (механических, радиофизических, биологических и т.д.), угроза столкновения, угроза обнаружения, отказ или нештатная работа оборудования, угрожающее нарастание колебаний конструкции (например, разгонного блока КА), предельно высокие возмущения, критичная нехватка энергии для выполнения намеченной программы исследований, неконтролируемое поведение СПС [1-9].

Под критическими ситуациями (КС) будем понимать ситуации, малое изменение которых может качественно изменить состояние системы, процесса или проблемы в целом. Другими словами, КС являются окрестностями точек бифуркации процессов развития ситуаций действительности, связанных с СПС. Особенностью КС является острая нехватка ресурсов и, прежде всего, времени на принятие решений. Практика управления СПС показывает, что в ряде случаев только своевременная выдача команд немедленного исполнения (например, в сеансах связи с СПС) позволяет предотвратить угрожающее развитие критических ситуаций [1-3]. При этом следует отметить отсутствие общего методологического подхода к решению этой проблемы.

В работе показывается, как на основе метода предельных обобщений можно значительно облегчить решение указанной проблемы.

**Суть метода предельных обобщений (МПО)** [6-7]. В рамках данного метода предполагается, что произвольная ситуация действительности, включая критическую ситуацию, может быть описана с помощью конечного

множества элементарных тестов (тест = значение)  $\{\tau/T\}$ . Значения тестов  $\tau$  выбираются из доменов  $T$  разного уровня общности. Домены одного теста образуют конфигурактор (ориентированный граф доменов).

Различные комбинации доменов для всех тестов определяют различные уровни общности описания ситуаций действительности. Все множество описаний для конкретной целевой задачи (связанной с диагностикой, прогнозированием, управлением) и заданной выборке примеров ситуаций действительности  $\Omega$  распадается на три подмножества: критических, докритических и закритических описаний.

Критические описания являются наиболее ценными, так как обеспечивают единственность решения целевой задачи на заданной выборке ситуаций действительности  $\Omega$  и обладают при этом предельными свойствами: их нельзя обобщить ни по одному тесту в рамках заданных конфигуракторов без нарушения единственности решения целевой задачи. Докритические описания также обеспечивают единственность решения на  $\Omega$ , но допускают подобное обобщение. Закритические описания нарушают единственность решения целевой задачи. Для критических описаний предпринимается попытка построения истинных минимальных избыточных моделей знаний (множества закономерностей), т.е. таких моделей, которые верны для любых ситуаций действительности, связанных с СПС (инвариантных моделей).

Решение целевой задачи для новой ситуации (КС), для которой априорно неизвестно заключение, формулируется следующим образом: исходные данные преобразуются в формат критического описания, для которого предположительно построена (истинная) избыточная модель знаний. С использованием активной модели знаний находится решение.

Метод предельных обобщений, создавая дополнительные степени свободы (с помощью конфигуракторов тестов), позволяет находить инвариантные когнитивные структуры (модели знаний), что отвечает концепции и духу синергетики. Инвариантные структуры содержат минимальное число закономерностей, состоящих из минимального числа параметров (тестов) со значениями максимального уровня общности, которые позволяют однозначно решить целевую задачу.

Примеры конфигуракторов:

*Температура блока химических батарей*  $\wedge$  ТБХБ {D5 # D2 {Средняя и ниже  $\wedge$  С Н; Выше среднего  $\wedge$  В} D4 # D2 {Ниже среднего  $\wedge$  Н; Средняя и выше  $\wedge$  С В} D3 {Средняя  $\wedge$  С; Ниже или выше среднего  $\wedge$  Н В} D2 {Низкая  $\wedge$  Н [0; 20]; Средняя  $\wedge$  С (20; 30]; Высокая  $\wedge$  В (30; 50]} D1 {[0; 50]}}

*Ток солнечных батарей*  $\wedge$  ТСБ ХЗ {

2 { Низкий  $\wedge$  Н [0; 2];

Рабочий  $\wedge$  Р (2; 5]}

1 { [0; 5]}}

*Диагностика состояния бортовых систем* {D2 {Норма  $\wedge$  N; Имеются признаки нештатной ситуации  $\wedge$  H B} D1 {Норма  $\wedge$  N; Авария в круге солнечных батарей  $\wedge$  H; ...  $\wedge$  B}}.

Каждый конфигуратор является, по сути, множеством эмпирических аксиом, задающих, в том числе, интерпретацию результатов теста. Множество всех конфигураторов составляют основу онтологии ПрО.

Любая КС  $\alpha$  описывается набором элементарных тестов:  $\alpha = \alpha(\{ \langle J_\tau, \underline{\tau}/T, J_t \underline{t}/A \rangle \})$ , где  $\underline{\tau}/T$  – значение элементарного теста  $\tau$ , выбранное из домена  $T$  (домен принадлежит конфигуратору);  $\underline{t}/A$  – значение времени  $t$ , выбранное из домена  $A$ ;  $J$  – оператор оценки истинности значения теста. Конструкции  $\langle \underline{\tau}/T, \underline{t}/A \rangle$  и  $\langle \neg \underline{\tau}/T, \underline{t}/A \rangle$  определяют элементарные события. Примеры элементарных событий (диагностика состояния энергетической системы КА):  $\langle \text{Напряжение нагрузки} / \{ \text{Низкое; ...; Высокое} \} ? \text{Низкое, } \underline{t}/A1? 12.45 \rangle$ ;  $\langle \neg \text{Ток нагрузки} / \{ \text{Дежурный; Рабочий; Максимальный} \} ? \text{Дежурный, } \underline{t}/A3? 23.02.08 \rangle$ ;  $\langle \text{Ток солнечных батарей} / \{ \text{Низкий; Рабочий} \} ? \text{Низкий, } \underline{t}/A2? [9.00; 12.00] \rangle$ .

Множество КС (базу прецедентов) обозначим через  $\Omega = \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \}$ . Каждая КС характеризуется определенным исходом.

Дальнейшее развитие МПО состоит в построении многоуровневых набросков образов, где под образом можно понимать значение теста  $\langle \text{текст} \rangle$ . В таком виде представимы любые текстовые описания, изображения, аудиосигналы и произвольные перцептивные поля [4]. Модель многоуровневых набросков образов является нелинейной математической моделью восприятия образов, описывающей скачкообразные переходы внутренней модели восприятия от одного наброска образа к другому в процессе решения целевых задач. Ряд набросков разного уровня общности для произвольного образа формируется однозначно на основе индуктивной рекуррентной схемы предельных обобщений-абстракций, которая базируется на полной системе итерирующих сжимающих отображений. Пределом обобщения являются финитные наброски, состоящие из конечного множества сингулярных течек. Финитные наброски исчезают в результате применения любого из итерирующих отображений.

Следует отметить, что существует большое множество полных систем итерирующих сжимающих отображений для образов.

Репрезентация любого образа имеет вид многослойной иерархической структуры (графа набросков, кластера набросков), отражающей, подобно кольцам дерева, этапы когнитивного формирования внутренних форм образа.

Ряд набросков образа (граф, кластер) характеризуется несколькими интегральными константами, которые используются в разных схемах сравнения образов. Одной из важнейших констант является количество слоев, другими константами являются общее количество набросков во всех слоях и общее число уникальных набросков. Для входного образа

вычисляются все или часть интегральных констант, которые сравниваются с константами образов из памяти.

Во второй схеме сравнение разных образов начинается с максимального уровня общности, т.е. с финитных набросков. Если финитные наброски сравниваемых образов совпадают, то продолжается сравнение на предпоследнем слое и так до тех пор, пока не будет получено решение. Разработана программа, иллюстрирующая данный подход.

Развитая модель восприятия формирует подсистему «внутренней имитации» (виртуального многоуровневого представления) ожидаемого входного сенсорного сигнала. В такой архитектуре обработки появляется возможность циклических (рекурсивных) процессов, обеспечивающих выбор наиболее подходящей фильтрующей маски на входной образ (изображение, акустический сигнал) или более адекватной модели для анализируемого объекта, а также вычисление дополнительных признаков для получения «интегральных оценок», которые можно поставить в соответствие с процессом «осознания» сигнала [5].

**Управление в критических ситуациях.** Для управления СПС в критической ситуации нужны многоконтурные, разнотемповые системы управления. Один из контуров управления должен содержать базу знаний, функционирующую на основе метода предельных обобщений. Рассмотрим кратко основные принципы функционирования такой базы знаний.

Прежде всего, каждая переменная – тест, описывающая КС, должна быть задана своим конфигуратором. Анализ  $\Omega$  с помощью метода предельных обобщений позволяет сформировать оптимальные неизбыточные модели знаний максимального уровня общности, допускаемого конфигураторами тестов. Совокупность значений тестов оптимальной модели знаний при заданном исходе является параметрами порядка данного класса КС и соответствующего исхода. Модели знаний могут строиться для диагностики, прогнозирования и оптимизации управления.

В общем случае модель знаний контура управления  $k$  представима следующим образом [6-7]:

$$k = \{f / \mu : k^1 \rightarrow k^2\} \cup P_k, \quad (1)$$

где  $f$  – когнитивные отображения;  $\mu$  – механизмы реализации отображений (динамические паттерны, автоматизмы, синергии);  $k^1$  – входные данные локальной задачи (теоремы);  $k^2$  – выходные данные локальной задачи;  $P_k$  – правила композиции схем задач.

Если  $W(\{c/C\})$  – некоторое многообразие на множестве результатов тестов  $\{c/C\}$ , то конкретизация модели знаний представима следующим образом [7]:

$$k = \{f / \mu : \{J_b b / B\} \rightarrow \{J_a a / A\}, \text{ для } \{c/C\} \in W_f(\{c/C\}), \mu \in \{\mu\}_f\} \cup P_k, \quad (2)$$

где  $f/\mu$  – отображения, реализующие те или иные математические модели ( $\mu$ -методы). Отображения (1) – (2) иллюстрируют многоуровневый характер

принятия решений и, в частности, разнотемповость процесса выработки решения.

С учетом конфигураторов базу знаний по диагностике состояния энергетической системы КА можно представить в таком виде:

$$\{f / \mu_f : \{x / X\} \rightarrow d / D, \mu_f \in \{\mu\}_f\}, \quad (3)$$

где  $\{x/X\}$  – данные о работе солнечных и химических батарей, датчиков положения;  $d/D$  – заключения о состоянии энергетической системы.

Основной задачей диагностики работоспособности бортовой аппаратуры СПС является установление факта наличия или отсутствия признаков нештатной работы СПС. Общая схема процесса диагностирования работоспособности бортовых систем СПС включает такие этапы [3]: имитация процесса функционирования бортовых систем СПС; сравнение параметров прогнозируемой и реальной работы СПС; выявление причин нештатной ситуации; определение нештатно работающей бортовой аппаратуры; определение неисправных элементов бортовой аппаратуры; предварительное выявление причин неисправности бортовой аппаратуры; принятие решений.

Фрагмент базы знаний, содержащий имитационные модели бортовых систем, можно определить следующим образом:

$$k_{im} = \{f / \mu_f : \{\underline{r} / R, \underline{t} / \Lambda\}, \{\underline{\tau} / T, \underline{t}' / \Lambda\} \rightarrow \{\underline{x} / X, \underline{t}'' / \Lambda\}, \mu_f \in \{\mu\}_f\} \cup P_k, \quad (4)$$

где  $\{\underline{\tau} / T, \underline{t}' / \Lambda\}$  – задания программы функционирования СПС;  $\{\underline{r} / R, \underline{t} / \Lambda\}$  – управляющие воздействия;  $\{\underline{x} / X, \underline{t}'' / \Lambda\}$  – телеметрические параметры. Конкретные расчетные схемы имитационных моделей содержатся в механизмах  $\mu_f \in \{\mu\}_f$ .

Обозначим через  $U(\{\underline{c} / C\})$  – окрестность множества  $\{\underline{c} / C\}$ . Тот факт, что некоторая ситуация  $\alpha$  удовлетворяет условиям  $U(\{\underline{c} / C\})$ , будем записывать следующим образом:  $\alpha \nabla U(\{\underline{c} / C\})$ . Эмпирический оператор эволюции  $\phi()$  произвольной ситуации действительности определяет значения заданных тестов  $\{a / A\}$  в момент времени  $\underline{t} / \Lambda$ , используя для этого базу прецедентов  $\Omega$ :

$$\phi^{\underline{t} / \Lambda}(\{a / A\} / U(\{\underline{c} / C\})) = \cup_{\alpha \in \Omega} \{f / \mu : \underline{t} / \Lambda, \{\underline{J}_\tau \underline{\tau} / T, \underline{J}_t \underline{t}' / \Lambda\} \}_\alpha \rightarrow \{J_a a / A\}_\alpha \mid \alpha \nabla U(\{\underline{c} / C\}),$$

где  $f / \mu \in k_c$ ;  $\underline{t}' / \Lambda = \underline{t} / \Lambda$  или  $\underline{t}' / \Lambda \in [0, \underline{t} / \Lambda]$  или  $\underline{t}' / \Lambda \leq \underline{t} / \Lambda$  (выбор варианта зависит от  $\{a / A\}$ ). Результат представляет собой мультимножество. Отметим, что множество прецедентов  $\Omega$  может содержать как реальные, так и модельные ситуации. Начальные значения и параметры подобия разных ситуаций действительности, включая параметры подобия, содержатся во множестве  $U(\{\underline{c} / C\})$ .

**Заключение.** Метод предельных обобщений, модель многоуровневых набросков образов, модель базы знаний, эмпирический оператор эволюции, информационное множество, множество обобщения [9] создают

необходимую методологическую основу для управления СПС в критических и нестандартных ситуациях.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация диагностики космического разгонного блока / [Филин В.М., Пчелинцев Л.А., Денчик В.Н. и др.]. – М.: УРСС, 2004. – 184 с.
2. Тарасов В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность / Тарасов В.А., Герасимов Б.М., Левин И.А., Корнейчук В.А. – К.: МАКИС, 2007. – 336 с.
3. Соколов Н.Л. Принятие решений по управлению автоматическими КА в условиях нестандартных ситуаций // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 33–39.
4. Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic. Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol. 90. – P. 111-127.
5. Яхно В.Г. Базовые модели для описания процессов распознавания и осознания сенсорных сигналов: тезисы докладов Всероссийской конференции [«Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях»], (г. Нижний Новгород, 13-15 мая 2009 г.). – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2009. – С. 196-198.
6. Прокопчук Ю.А. Метод предельных обобщений для решения слабо формализованных задач // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 1. – С. 31-39.
7. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальное синергетическое управление динамическими системами // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 12-21.
8. Прокопчук Ю.А. Организация движения шагающего аппарата по заданным следовым точкам : автореферат диссертации на присвоение научн. степени кандидата физ.-мат. наук : спец. 01.02.01. – М.: МГУ, 1987. – 27 с.
9. Прокопчук Ю.А., Дубовик Т.Н. Информационные множества и множества обобщения для произвольных ситуаций действительности: материалы Всеукраинской научно-практической конференции [«Системный анализ. Информатика. Управление»], (Запорожье, 4-5 марта 2010 года). – Запорожье: КПУ, 2010. – С. 162-164.

**Прокопчук Ю.О., Токарева О.М. АНАЛІЗ КРИТИЧНИХ СИТУАЦІЙ І ПІДГОТОВКА УПРАВЛІНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ГРАНИЧНИХ УЗАГАЛЬНЕНЬ**

*У статті розглядається застосування методу граничних узагальнень для вирішення проблем, що виникають у процесі управління складними рухомими системами (СРС) при виникненні різних, зокрема заздалегідь не запрогнозованих критичних або позаштатних ситуацій.*

*Метод граничних узагальнень, модель багаторівневих нарисів образів, модель бази знань, емпіричний оператор еволюції, інформаційна множина, множина*

*узагальнень створюють необхідну методологічну основу для управління СРС у критичних і позаштатних ситуаціях.*

*Ключові слова: метод граничних узагальнень, критична ситуація, модель бази знань.*

**Prokopchuk Yu.A., Tokareva E.M. ANALYSIS OF CRITICAL SITUATIONS AND WORKING OUT A MANAGEMENT ON THE BASIS OF METHOD OF BOUNDARY GENERALIZATIONS**

*Application of method of boundary generalizations is considered in the paper in order to solve problems arising in the process of control of complex moving systems (CMS) in case of different unforeseen critical or extraordinary situations.*

*Method of boundary generalizations, a model of multi-level sketches, a model of fundamentals of knowledge, empiric operator of evolution, information multitude, a set of generalizations create a necessary methodological basis for CMS control in case of critical and extraordinary situations.*

*Key words: method of boundary generalizations, critical situation, knowledge base.*