

УДК 004.942:004.031.043

Приходько Е.А.  
ОНМА

## **ПРИМЕНЕНИЕ «ТЕОРИИ КАТАСТРОФ» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗИСНОЙ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Теория катастроф возникла на стыке топологии и математического анализа. Ее источниками являются теория особенностей гладких отображений Х.Уитни, а также теория устойчивости и бифуркаций динамических систем А.Пуанкаре, А.Ляпунова и А.Андропова. Слияние этих двух направлений в единую стройную теорию с броским названием «Теория катастроф» обязано усилиям французского математика Р.Тома, который сформулировал и обосновал основные положения этой теории, реализующую идеи А.Пуанкаре применительно к изучению состояний равновесия динамических систем, описываемых потенциальной функцией.

С момента появления теории катастроф прошло уже более 40 лет. Под ее влиянием активно развиваются направления исследований топологии сложных динамических систем в различных областях знаний. В этих направлениях теория катастроф предстает не как замена традиционных методов, а как новое научное направление, поддерживающее анализ качественных закономерностей и получения количественных результатов для широкого класса приложений в науке, технике и технологиях [1], [4]. Вместе с тем, классическая теория катастроф Р.Тома требует существенного расширения и доработки не только в части отражения современных тенденций в исследовании сложных динамических систем, но и формулировки и обоснования различных аспектов поведения таких систем в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. По существу речь идет о принципиально новой интерпретации поведения нелинейных нестационарных самоорганизующихся систем [3].

Теория катастроф служит мощным инструментом при обработке и формализации информации. Она не заменяет прежние методы и дополняет их новыми подходами и моделями, способствуя получению новых знаний о динамике сложных физических систем. При этом реализуется цепочка преобразования информации, связывающая топологический анализ с синтезом системы на основе формальных моделей теории динамических систем и интеллектуальных тех-

нологий [3].

Теория катастроф – математический инструмент, требующий дальнейшего совершенствования в рамках интеллектуальных технологий. Эта теория открывает пути изучения не только качественных, но и количественных интерпретаций процессов и явлений реального мира, не всегда допускающих экспериментальную проверку. Действительно, исследование резких скачкообразных изменений в поведении сложных динамических систем не всегда доступно на основе физического моделирования, а натурный эксперимент опасен и часто невозможен.

Разработка интеллектуальных систем (ИС) новых поколений осуществляется на основе достижений теории катастроф [1], [4] в соединении с современным математическим аппаратом. и средствам производительных вычислений ИС.

Объектом исследования выбрана область практических приложений, связанная с контролем динамики изменений системы. Концептуальный базис нечеткой среды моделирования динамики системы основан на использовании принципов обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде и достижений в области интеллектуальных технологий. Применимы основные принципы преобразования информации в трудноформализуемых средах.

Исследование поведения сложных динамических систем в рамках теории катастроф осуществляется с помощью стандартных процедур – вычисления критических точек некоторого параметризованного семейства функций. Это позволяет сформулировать задачу исследования поведения нелинейного нестационарного объекта, функционирующего в сложной динамической среде. Такая постановка задачи требует проведения ресурсоемких фундаментальных исследований по реконструкции модели катастроф с учетом особенностей динамики нелинейной нестационарной системы, мониторинг которой реализуется с помощью бортовой ИС [2].

Формализованное ядро системы интеллектуальной поддержки процессов построения и использования моделей знаний при анализе текущих ситуаций реализуется в рамках нечеткого логического базиса. Фундаментальной основой такой интерпретации является концепция нечетких целей и ограничений.

Повышение эффективности функционирования процедурной компоненты базы знаний ИС достигается за счет использования принципа конкуренции и формализации процесса обработки нечет-

кой информации. Другими принципами повышения эффективности ИС новых поколений являются принцип открытости, принцип сложности и принцип нелинейной самоорганизации.

Реализация указанных принципов осуществляется в рамках концепции мягких вычислений [2]. Построение нечеткой среды моделирования, включающей различные сочетания исследуемых сценариев взаимодействия, осуществляется в виде ситуационной модели игры с динамически меняющимся классом стратегий и управляемым сценарием.

Для решения этой задачи предварительно формулируется сценарий, структура представляет собой объединение всех рассматриваемых (эталонных) ситуаций с учетом моментов времени, определяющих управления, а структура описывает переходы между эталонными ситуациями с помощью отображения множества тактик оператора как лица, принимающего решения в множество вариантов и полезностей этих тактик – в множество вариантов. Задача нечеткого моделирования сводится к построению ситуационной модели с динамически изменяющимся классом стратегий и управлением сценариями.

Весь этот цикл задач охватывает общую проблему формирования методологической базы приложения теории катастроф для решения сложных задач геометрической и аналитической интерпретации информации в современных исследованиях динамик и сложных физических систем, особенно самоорганизующихся систем, функционирующих в условиях неопределенности [3].

Динамическая модель катастрофы, отображающая поведение сложного объекта, может быть представлена в виде:

$$DM(Cat) = \langle H(Cat), A(Cat) \rangle, \quad (1)$$

где  $H(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе геометрической модели катастроф;

$A(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе аналитической модели катастроф.

Геометрическая интерпретация физической картины взаимодействия на основе компоненты  $H(Cat)$  имеет вид:

$$H(Cat) = \langle B(\theta, t), GZ((\theta, t), C(\theta, t)) \rangle, \quad (2)$$

где  $H(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе геометрической модели катастроф;

$A(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе аналитической модели катастроф;

$B(\theta, t)$  – бифуркационное множество, представляющее собой образ особого множества в пространстве управляющих параметров;

$GZ(\theta, t)$  – множество, отображающее динамическую среду, интегрирующую влияние внешних возмущений и особенностей динамики объекта;

$C(\theta, t)$  – множество, отображающее структурные изменения в форме элемента исследуемого объекта, вызванные непрерывным изменением действующего параметра.

Аналитическая интерпретация физической картины взаимодействия на основе компоненты  $A(Cat)$  имеет вид:

$$A(Cat) = \langle A(CR), A(PH), A(NF) \rangle, \quad (3)$$

где  $A(CR)$  – математическая модель, отображающая оценку динамической среды взаимодействия на основе критериальных соотношений, разработанных в рамках стандартных алгоритмов исследуемой проблемной области;

$A(PH)$  – математическая модель, отображающая оценку динамической среды на фазовой плоскости с помощью теории стохастических систем, теории детерминированного хаоса и синергетической парадигмы;

$A(NF)$  – математическая модель, отображающая оценку динамической среды на основе чувствительной нечеткой системы.

Интеграция этих подходов позволил сформулировать концептуальный базис для применения современной теории катастроф для анализа сложных динамических систем в условиях неопределенности и неполноты исходной информации [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990.
2. Бортовые интеллектуальные системы. Часть 2. Корабельные системы. – М.: Радиотехника, 2006.
3. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – Санкт-Петербург. Арт-Экспресс, 2011.
4. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф. – М.: Мир. 1980.