

УДК 519.711.3

ОНТОЛОГИЯ ФИЗИКО-ФИЛОСОФСКИХ АСПЕКТОВ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ XXI ВЕКА

Ю.И. Нечаев

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
nechaev@mail.ifmo.ru*

Аннотация

Рассматривается формализованная модель комплексной онтологии современной теории катастроф на основе интеллектуальных технологий XXI века. Основное внимание обращается на реализацию физико-философских аспектов этой теории в рамках комплексной онтологии обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде. Разработанная модель онтологии учитывает расширение функциональных возможностей динамической модели катастроф при интерпретации сложных физических процессов с использованием интеллектуальных технологий. Указаны направления практических приложений онтологической системы знаний при реализации концепции представления и обработки информации в задачах контроля чрезвычайных ситуаций в сложной динамической среде. Статья представляет собой сокращенный вариант исследования, представленного автором на Международном Форуме «World Forum-2013» в США.

***Ключевые слова:** онтология, физико-философские аспекты, современная теория катастроф, интеллектуальная технология, высокопроизводительные вычисления, чрезвычайная ситуация, сложная динамическая среда.*

Введение

Разработка научных основ современной теории катастроф потребовала создания модели нового знания о сложных процессах и явлениях, описываемых в рамках такой интерпретации [1–9]. Старый язык исследования оказался мало пригодным для формализации знаний в условиях неопределенности. Потребовались новые фундаментальные представления о динамике сложных систем. Наполненность мира всегда неоднозначна, что требует новых подходов к интерпретации сложных явлений. Поиск эффективных путей решения этой сложной проблемы привел к использованию всего доступного арсенала методов и моделей, основанных на интеллектуальных технологиях и высокопроизводительных вычислениях. Принципиальным достоинством применения методов теории катастроф в интеллектуальных системах (ИС) контроля чрезвычайных ситуаций является возможность их реализации в мультипроцессорной вычислительной среде [3]. Это обеспечивает высокую производительность обработки информации, что особенно важно при организации функционирования сложных систем в режиме реального времени. В отличие от традиционных вычислительных систем, методы теории катастроф открывают возможности интерпретации информации при формализации динамической базы знаний, обеспечивая при этом режим самонастройки вычислительной среды в зависимости от полученных решений.

Рассматриваемые в настоящей статье методы и модели теории катастроф базируются на интерпретации чрезвычайных ситуаций на основе интеграции знаний в рамках современной компьютерной математики. Идея написания статьи такого необычного содержания возникла

в Оксфорде (Великобритания) в связи с награждением автора орденом Выдающегося посла как международного эксперта по высокопроизводительным вычислениям и интеллектуальным системам. Автору было предложено совместить концептуальный базис современной теории катастроф с физико-философскими аспектами, связанными с реализацией динамической модели этой теории в практических приложениях при контроле чрезвычайных ситуаций. Поэтому основное внимание автор уделяет наиболее важным аспектам комплексной онтологии при интерпретации чрезвычайных ситуаций.

1 Концептуальная модель комплексной онтологии современной теории катастроф как теоретический базис разработки глобальных проблем мониторинга чрезвычайных ситуаций

Современная теория катастроф – это интерпретирующая теория, в рамках которой можно применять различные формализмы комплексной онтологии в зависимости от рассматриваемой проблемы. Исходным является понятие множества, позволяющее в рамках концепции пространства и времени определить основные понятия новой интерпретации теории катастроф. В общем виде онтология динамической модели катастрофы может быть представлена в виде отображения [3]:

$$(1) \quad Ont[Cat(D)] = \langle Ont[Cat(B)], Ont[Cat(E, DO)], Ont[Cat(F, DO)] \rangle,$$

где $Ont[Cat(B)]$ – онтология, описывающая бифуркационное множество, $Ont[Cat(E, DO)]$ – онтология множества, определяющего взаимодействие динамического объекта DO с внешней средой E ; $Ont[Cat(F, DO)]$ – онтология множества, определяющего особенности DO .

Компоненты модели (1) должны быть предварительно формализованы и изучены на базе математического и физического моделирования. При этом определяющую роль при интерпретации сложных физических явлений и процессов играют наблюдения и накопленный опыт. Проблема сложности реализуется в рамках *теории сложности*, требующей одновременного учета *структуры* модели и ее *адекватности* [3]. Чтобы избежать затруднений при построении онтологической системы выбора динамической модели в рамках отображения (1) используется принцип конкуренции:

$$(2) \quad Ont[Com(PR)] = \langle Ont(ST), Ont(FLM), Ont(ANN) \rangle,$$

где $Ont(ST)$ – онтология стандартной модели, описывающей ситуацию на основе достижений классической математики; $Ont(FLM)$ – онтология модели, реализованной в рамках нечеткого логического базиса; $Ont(ANN)$ – онтология, формализующая нейросетевую модель.

Фундаментальными знаниями, на базе которых формулируется парадигма современной теории катастроф, являются понятия пространства и времени. Взаимодействие динамического объекта с внешней средой в динамической модели катастроф реализуется в пространстве и времени, с помощью которых отображается эволюция сложной системы. В рамках такой интерпретации основное внимание обращается на принципиальные физико-философские аспекты, с помощью которых можно рассматривать формальный аппарат современной теории катастроф. Онтологическую систему знаний для анализа и синтеза динамической модели катастроф определяет формальная логическая система, базирующаяся на результатах измерений, математического и физического эксперимента и его интерпретациях при построении ИС контроля чрезвычайных ситуаций на основе достижений в области интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений.

На рисунке 1 представлена онтологическая система, формализующая динамическую модель современной теории катастроф. Здесь выделены аспекты онтологии, определяющие эволюцию системы и ее геометрическую интерпретацию.



Рисунок 1 – Онтологическая система, определяющая динамическую модель современной теории катастроф

2 Метаонтология современной теории катастроф при интерпретации эволюции сложной системы

Из числа возможных концептуальных метабазисов современной теории катастроф, соответствующих уровню метаонтологии «пространство–время» в рамках интерпретации процесса взаимодействия DO с внешней средой как эволюции высокоорганизованной материи, можно выделить [3, 4]:

$$(3) \quad Ont[META(t)]: Ont-A[W, V, DO], Ont-B[W, V, DO],$$

где $Ont-A[W, V, DO] = \{(W, V, DO) - \text{особенности, отношение, отображение}\}$;

$Ont-B[W, V, DO] = \{(W, V, DO) - \text{состояние, процесс, время}\}$,

W, V, DO – внешняя среда (пространство) и динамический объект.

Концептуальный метабазис $Ont-A[W, V, DO]$ называют естественным, так как он непосредственно связан с субъектно-предикатной моделью предложений естественного языка в структурированной базе знаний: эволюция системы при движении к целевому аттрактору и при потере устойчивости (возникновение катастрофы). Поэтому если принимается соответствие «множество есть объект» при формализации знаний динамической модели катастроф как эволюционного потенциала самоорганизующейся системы, то справедливо утверждение:

$$(4) \quad \forall C \in Ont-A[W, V, DO], [c] \text{ is-a } [ob].$$

Это означает, что элементы объема понятия «динамика взаимодействия» $Cat \in C(Ont-A[W, V, DO])$ отнесены в C -категорию «объект исследования», а обобщение задачи реализации на уровне W, V -моделей приводит к следующей метадиаграмме интерпретации чрезвычайных ситуаций методами современной теории катастроф (рисунок 2). Математическими модельными структурами $Ont-A[W, V, DO]$ являются структурные типы $g_0 = \langle A \rangle$ – множество, $g_1 = \langle AR \rangle$ – реляционная система, $g_2 = \langle AF \rangle$ – алгебра, $\langle AFR \rangle$ – алгебраическая система. Следовательно, на основании метадиаграммы элементы математических модельных структур, такие как множества A , отношения R и отображения F , являются объектами. Элементарными объектами являются только элементы множества A .

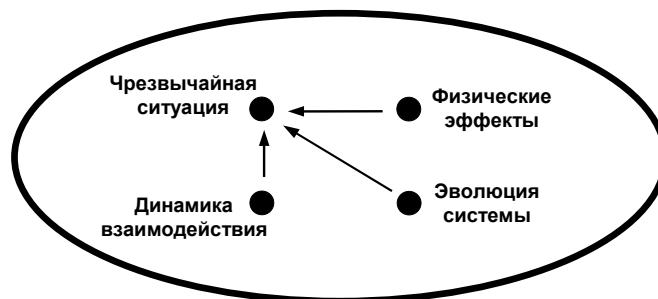


Рисунок 2 - Метадиаграмма, определяющая обобщение задачи реализации стратегии управления при перестройке динамической базы знаний интеллектуальной системы контроля чрезвычайных ситуаций

Элементы отношений R и отображений F имеют представление в элементах множества-носителя A (чрезвычайные ситуации). Таким образом, естественный метабазаис $Ont-A[W, V, DO]$ задает объектную метаонтологию, язык которой $L(Ont-A[W, V, DO])$ обладает логической моделью в форме заданной импликации. Концептуальный базаис $Ont-B[W, V, DO]$ называют «физическим», содержащим понятия «процесс», «состояние» и «время». Поэтому модельные структуры метабазаиса $Ont-B[W, V, DO]$ являются динамическими и онтология $Ont-B[W, V, DO]$ представляет собой информационную систему, ориентированную на моделирование процессов взаимодействия в чрезвычайных ситуациях для функции управления и принятия решений.

Особенностью математических модельных структур (онтологическая корректность) при формализации концептуальных решений эволюции сложной системы является представление элементов сигнатуры в элементах множества-носителя. Следовательно, центральным в построении математических динамических структур при реализации методов современной теории катастроф является вопрос о носителе, определяемом как пространство состояний, и модели процесса – как динамической системы. Причем переход из $Ont-A[W, V, DO]$ в $Ont-B[W, V, DO]$ приводит к понятию элементарного DO (исследуемая чрезвычайная ситуация), задаваемого в следующем виде: $DSt = DO = \{\text{объект, состояние, время}\}$, которое определяет событие с объектом как пару $DSt(ob) = \{\text{объект, состояние}\}$ [3, 4].

Таким образом, при переходе из $Ont-A[W, V, DO]$ в $Ont-B[W, V, DO]$ множество DSt , элементами которого являются элементарные динамические объекты, принимается в качестве носителя динамических модельных структур, определяющих взаимодействие в текущей чрезвычайной ситуации. Элементами сигнатуры динамических модельных структур при реализации компонент $Ont-A[W, V, DO]$ и $Ont-B[W, V, DO]$ являются процессы преобразования информации, которые так же, как и элементы сигнатур из онтологии, должны иметь представление в носителе. Следовательно, решению обобщенной задачи реализации динамической модели катастроф соответствует онтологическая модельная система метабазаиса $Ont-B[W, V, DO]$, метадиаграмма которой приведена на рисунке 3.

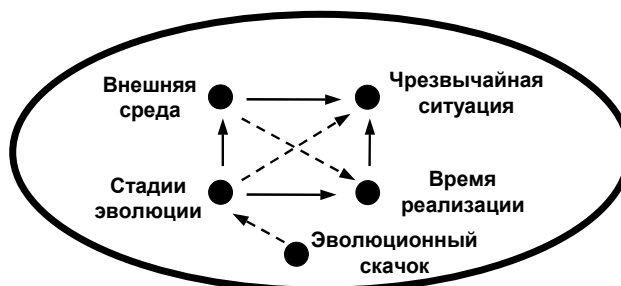


Рисунок 3 - Метадиаграмма как онтологическая модельная система

Пунктирные стрелки метадиаграммы на рисунке 3 задают представление процессов в носителе DSt и определяют модель процесса как значение символа в пространстве динамических объектов:

$$(5) \quad Int[\rightarrow] = \partial \Sigma^0(DSt); DSt_0[DSt_1[\rightarrow]DSt_2],$$

которое является математической моделью динамической системы, построенной в форме расширения алгебраической операции:

«соответствия на объектах» \rightarrow «соответствие в пространстве состояний».

Динамическая система $\partial \Sigma^0(DSt)$ в пространстве состояний объектов является элементарной модельной структурой системного структурного типа, которая может быть построена на основе алгебраической системы так, что логической моделью языка этого типа будет являться одна из форм логики действий [3].

3 Физико-философские аспекты проблемы интерпретации динамической модели катастроф

Важная роль в создании интеграционной теории катастроф на основе интеллектуальных технологий XXI века принадлежит физико-философским аспектам проблемы, формируемой на базе концептуальных решений пространства и времени (пространства «скрытых» знаний и пространства альтернатив) с учетом физических эффектов и тенденций, определяющих проблемы математического описания, «скачка» (катастрофы), интерпретации и принятия решений (рисунок 4).

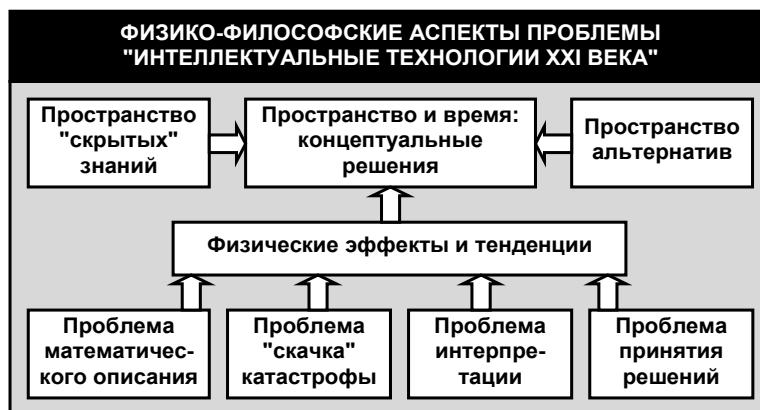


Рисунок 4 - Модель физико-философских аспектов преобразования информации при реализации современной теории катастроф

Проблемы и парадоксы всегда сопутствовали научному поиску и формированию научного знания. Интерпретация сложного взаимодействия во многих моделях катастроф [10] ведется в рамках *гипотезы квазистационарности* на основе фрактального анализа, энтропийного и вероятностного подходов [3, 5]. Введение гипотезы *квазистационарности* не является самоцелью, а стремлением сохранить достижения классической теории в рамках новой интерпретации [3]. В то же время такой подход порождает проблемы *прерывности и дискретности* в сложных физических явлениях, требующих теоретических обобщений механизма взаимодействия. Формирование структур, раскрывающих связи и закономерности, связано с физическим своеобразием и аналитическим упрощением исследуемых явлений. При этом фрактальный анализ усиливает роль геометрической компоненты динамической модели катастроф, а энтропийный подход обеспечивает аналитическое отображение текущей ситуации в условиях значительной неопределенности.

При разработке онтологической системы современной теории катастроф большое внимание уделено проблеме *неопределенности*. В задачах математического описания и критериального базиса нормирования динамических характеристик рассмотрены классификации неопределенностей и формализации математического описания [3]. По образному выражению Ландау «ввиду краткости нашей жизни мы не можем позволить себе роскошь заниматься вопросами, не обещающими новых результатов» [2]. Именно поэтому автор ограничился неопределенностями в рамках только одного класса, оставив эту проблему в других приложениях на рассмотрение новых поколений исследователей. Приходят новые ученики, навсегда уходят старые учителя. Однако научный мир развивается по своим законам и все повторяется сначала. Бурное развитие науки в наши дни, использование нетрадиционных методов вычислительной математики и формального анализа в рамках концепции *мягких вычислений* [9] вызывают неоднозначное отношение к этим направлениям развития вычислительной математики. В этих условиях не менее остро проявляется всевозрастающая трудность приспособления к новым идеям, когда способности специалистов критически осмысливать действительность опережают способности к конструктивным решениям.

В трудноформализуемых средах необходимо разработать физический механизм, соединяющий картину мира и абстрактный образ «скачка». Реализация этого механизма в современной теории катастроф осуществляется в рамках синергетической парадигмы [7] в виде адаптивной модели [3]. В процессе адаптации рассматривается онтология, описывающая два типичных сценария развития текущей ситуации динамики взаимодействия с помощью фрактальной геометрии:

$$(6) \quad \text{Ont}[Frac(S, t)] \rightarrow \text{Ont}[\Omega(Stab, t)], \text{Ont}[Frac(S, t)] \rightarrow \text{Ont}[\Omega(Cap, t)],$$

характеризующие устойчивое и неустойчивое состояния динамической системы – возникновение «скачка» в поведении системы за счет резкого изменения структуры внешнего возмущения. Первый сценарий соответствует случаю стабилизации ситуации в процессе движения DO к целевому аттрактору за счет управляющих воздействий, проводимых на основе рекомендаций, вырабатываемых ИС (стабильное состояние системы $\Omega(Stab, t)$), второй – потере устойчивости при малой эффективности управления (возникновение катастрофы $\Omega(Cap, t)$).

Идея «скачков» в современной теории катастроф реализуется во времени и пространстве. Изучая динамику чрезвычайных ситуаций, где господствуют «скачки», приходится создавать равноправные механизмы взаимодействия, но каждый исследователь отдает предпочтение только своей схеме. В результате возникает проблема, когда сравниваемые алгоритмы, построенные на разных математических языках, представляют ситуацию неопределенности, в которой слабо согласуется расчет и эксперимент. Это означает, что в рамках онтологической системы мы должны описывать явления природы на языке научного опыта с предельной и мудрой осмотрительностью, всегда помнить о диалектическом единстве несовместимых представлений. Никакими общими соображениями нельзя привести к согласию расходящиеся точки зрения на природу «скачка» и порождающих его внутренних механизмов. Проблема *иррациональности* подразумевает невыразимость с помощью обычной логики. Так уж устроен мир научного поиска, в котором с помощью онтологии выделяют цепочки событий (поиск новых форм):

$$(7) \quad \text{Ont}[Search(Q, N, F)] = \langle \text{Ont}(C), \text{Ont}(P), \text{Ont}(U), \text{Ont}(J) \rangle,$$

определяющие причинность C , случайность P , непрерывность U , «скачок» J .

При оценке риска, связанного с возникновением «скачка» осуществляется построение сценариев взаимодействия объекта с внешней средой. Анализ альтернатив при интерпретации текущей ситуации методами теории катастроф предусматривает рассмотрение текущего S^t , начального S^0 и конечного S^k состояний исследуемого объекта [6]. Начальное состояние

соответствует моменту реализации принятого решения (альтернативы), а конечное – состоянию, которое приобретает в результате управляющего воздействия. Указанные ситуации можно представить в виде онтологии состояний обобщенных векторов:

$$(8) \quad \text{Ont}[S^i] = \text{Ont}\{S_i^i\}, \text{Ont}[S^0] = \text{Ont}\{S_i^0\}, \text{Ont}[S^k] = \text{Ont}\{S_i^k\}, i = 1, \dots, n.$$

Каждое из этих состояний будет различно для ИС, образующих многоцелевую платформу обработки информации. Поэтому в общем виде для экстренных вычислений можно записать:

$$(9) \quad \text{Ont}[S_j^i] = \text{Ont}\{S_{ji}^i\}, \text{Ont}[S_j^0] = \text{Ont}\{S_{ji}^0\}, \text{Ont}[S_j^k] = \text{Ont}\{S_{ji}^k\}, j = 1, \dots, m, i = 1, \dots, n.$$

Функция управления ИС состоит в том, чтобы из множества целевых состояний (альтернатив) $\{S^i\}^m$ сформировать обобщенный вектор конечного состояния S^k в соответствии с некоторой коллективной стратегией F^k , описание которой в рамках комплексной онтологии имеет вид:

$$(10) \quad \text{Ont}[S_j^k] = \text{Ont}[F^k(\{S^i\}^m, S_j^k, j)]; l = 1, \dots, n, l \neq j,$$

где S_j^k - множество целевых состояний ИС.

Эти данные позволяют на заданном интервале времени $[t_0, t_k]$ определить искомое решение поставленной задачи. Анализ ведется в *реальном масштабе времени* с использованием методов математического моделирования. При этом подмножества разрешенных и запрещенных состояний исследуемого объекта определяются соотношениями

$$(11) \quad \left\{ \begin{array}{l} \{S^i\}_j^\alpha = F^\alpha(\{S^i\}, S_j^i, j); \{S^i\}^\alpha = \bigcup_{j=1}^m \{S^i\}_j^\alpha; \quad j = 1, \dots, m \\ \{S^i\}^\beta = \{S^i\} \setminus \{S^i\}^\alpha \end{array} \right\}.$$

Здесь $\{S^i\}^\square$ и $\{S^i\}_j^\square$ - подмножества запрещенных состояний для отдельных ИС; $\{S^i\}^\square$ - подмножество разрешенных состояний. Функция рассогласования, определяющая качество работы ИС при реализации коллективной стратегии, может быть построена на основе функции выбора. Однако во многих случаях можно ограничиться построением критерия в рамках нечеткого логического базиса и использования нечеткой модели риска [3].

Онтологическая система динамической модели катастроф позволяет формализовать критериальную функцию J , определяющую преобразование множества альтернатив X в множество возможных исходов Y , в виде отображения:

$$(12) \quad \text{Ont}(J): \text{Ont}(X) \rightarrow \text{Ont}(R),$$

где $\text{Ont}(R)$ – онтология, представляющая собой оценку исхода $\text{Ont}(Y)$.

В общем случае, когда целевой функционал оценивается не одним числом, а векторным отображением, используется многокритериальная модель принятия решений в виде:

$$(13) \quad J_i(x) \rightarrow \mathbf{max} (I = 1, \dots, n, X \subset R^n).$$

Основная цель такого исследования – выяснение физико-философских аспектов проблемы и построение концептуальных решений стратегической инициативы в виде динамической модели иерархической сети (рисунок 5), характеризующей фундаментальный результат интеграции достижений в области реализации перспективных направлений развития интеллектуальных технологий XXI века.

Иерархическая модель позволяет описывать систему на различных уровнях абстрагирования: детальности отражения элементов, свойств, характеристик. При декомпозиции модель онтологической системы представляется совокупностью моделей подуровней, связанных древовидным отношением:

$$(14) \quad \text{Ont}(M) = \langle \text{Ont}(M^i), \text{Ont}(R^T) \rangle,$$

где $Ont(M^{sl}) = Ont\{M^{sl}(S_i)\}$ – онтология модели подуровня (sublevel), порождаемого подсистемой S_i ; $Ont(R^T) \in Ont(M^{sl})$ – онтология, определяющая древовидное отношение.

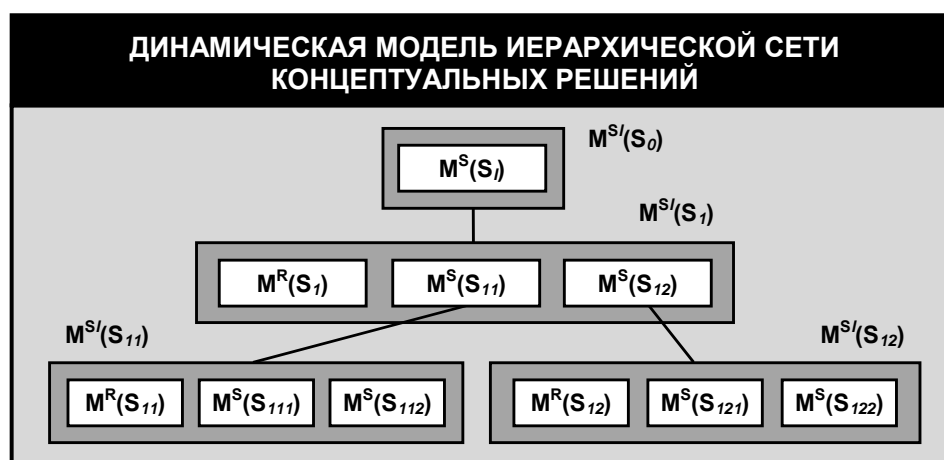


Рисунок 5 - Динамическая иерархическая сеть

Формирование уровней иерархии осуществляется с помощью стандартных оснований декомпозиции. На любом уровне иерархии с помощью онтологии выделяются подсистемы и взаимосвязи между ними. Формально онтологию, определяющую модель подсистемы можно описать следующим образом:

$$(15) \quad Ont[M^S(S_i)] = \langle Ont[C(S_i)], Ont\{V_j(S_i)\} \rangle,$$

где $Ont[C(S_i)]$ – онтология описания класса подсистемы S_i ; $Ont\{V_j(S_i)\}$ – онтология множества экземпляров (вариантов) подсистем S_i .

Заключение

В настоящей работе предложена формальная модель комплексной онтологии и базовые компоненты сложной системы знаний, описывающей структурно-функциональные составляющие поддержки принятия решений при оперативном мониторинге чрезвычайных ситуаций с помощью современной теории катастроф. Разработанная информационная модель может быть использована при формализации подхода, обеспечивающего контроль поведения сложных объектов на основе динамической модели катастроф.

Интеграция высокопроизводительных вычислительных средств с интеллектуальными технологиями открывают большие возможности создания моделей взаимодействия в ИС новых поколений. Человек и ИС составляют взаимодополняющий информационный комплекс, где высокоорганизованные алгоритмические операции получения новых знаний реализуются в рамках причинно-следственной схемы. Формирование целей и получение новой информации путем интеграции знаний осуществляются человеком с использованием опыта качественных этапов глобальной эволюции и успешного преодоления последующего фазового перехода к ноосфере и искусственному разуму [1].

Список источников

- [1] Вернадский, В.И. Научная мысль как планетное явление / В.И. Вернадский – М.: Наука, 1991.- 270 с.
- [2] Данин, Д. Нильс Бор / Д. Данин - М.: Изд-во «Молодая гвардия», 1978. – 560 с.
- [3] Нечаев, Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Ю.И. Нечаев – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.

- [4] **Никольский, С.Н.** Матаонтологии и обобщенная задача реализации / С.Н. Никольский // Автоматизация и современные технологии. - 2006. - №9. - С. 24-29.
 - [5] **Пайтген, Х.-О.** Красота фракталов / Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. – М.: Мир, 1993. - 176 с.
 - [6] **Силич, В.А.** Метод объектного моделирования для проектирования сложных систем / В.А. Силич, М.П. Силич // Автоматизация и современные технологии. – 2003. - №4. - с. 14-21.
 - [7] Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов / Отв. редакторы В.И. Аршинов, В.Г. Буданов, В.Э. Войцехович. – М.: Прогресс – Традиция, 2000. – 536 с.
 - [8] **Thom, R.** Catastrophe theory: its present state and future perspectives / R. Thom, E.C. Zeeman // In Dynamical Systems Warwick, 1974. -: Berlin – Heidelberg – New York: Springer Verlag, 1975. – P. 366–389. (Lecture Notes in Mathematics. V. 468).
 - [9] **Zadeh, L.** Fuzzy logic, neural networks and soft computing / L. Zadeh // Communication on the ASM. -1994. - V. 37. - №3. - P. 77–84.
-

Сведения об авторе



Нечаев Юрий Иванович, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ наукоемких компьютерных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Международный эксперт в области высокопроизводительных вычислений и интеллектуальных систем.

Nechaev Yury Ivanovich, Academician of RANS, Russian Federation Science Honored Figure, the main scientific employee of scientific research Institute of the high technology computer technologies of the St.-Petersburg national research university information technologies, mechanics and optics. International expert in the field of high-performance computing and intelligence systems.