



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 179 за 2018 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Нечаев Ю.И., Осипов В.П.,
Четверушкин Б.Н., Балута В.И.

Онтологический синтез
управленческих решений в
условиях антагонистических
конфликтов

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Онтологический синтез управленческих решений в условиях антагонистических конфликтов / Ю.И.Нечаев [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 179. 22 с. doi:[10.20948/prepr-2018-179](https://doi.org/10.20948/prepr-2018-179)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-179>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

Ю.И.Нечаев, В.П.Осипов, Б.Н.Четверушкин, В.И.Балута

**Онтологический синтез
управленческих решений
в условиях антагонистических
конфликтов**

Москва — 2018

Ю.И. Нечаев, В.П. Осипов, Б.Н. Четверушкин, В.И. Балута

Онтологический синтез управленческих решений в условиях антагонистических конфликтов

Обсуждается онтологический синтез и формальный аппарат формирования управленческих решений на основе моделирования антагонистических конфликтов программными средствами электронного полигона. В статье представлена структура концептуальной базы неоконфликтологии для описания средств моделирования конфликтов в условиях неопределенности. Основное внимание уделяется применению комплексной онтологии при формализации использования интеллектуальных технологий в задачах моделирования развития различных форм конфликтных ситуаций.

Ключевые слова: онтология, конфликтология, антагонистический конфликт, моделирование конфликтов

Yuriy Ivanovich Nechaev, Vladimir Petrovich Osipov, Boris Nikolaevich Chetverushkin, Victor Ivanovich Baluta

Ontological synthesis of management decisions in conditions of antagonistic conflicts

The ontological synthesis and the formal apparatus of formation of management decisions on the basis of simulation of antagonistic conflicts by software of the electronic polygon are discussed. The article presents the structure of the conceptual base of neoconflictology for describe the means of modeling conflicts under uncertainty. The main attention is paid to the use of complex ontology in the formalization of the use of intelligent technologies in the problems of modeling the development of various forms of conflict situations.

Key words: ontology, conflictology, antagonistic conflict, conflict simulation

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-29-09550 офи-м.

Оглавление

Введение	3
Комплексная формальная онтология антагонистических систем.....	4
Формальные модели и иерархическая структура онтологии антагонистической системы.....	8
Онтология, определяющая аксиоматический базис антагонистической системы.....	17
Заключение.....	20
Библиографический список.....	21

Введение

При разработке программного комплекса поддержки управленческих решений по обеспечению комплексной безопасности критически важных объектов прикладной интерес представляет разработка теоретических аспектов исследования конфликтных ситуаций с учетом особенностей современного состояния и развития проблемы конфликтологии [1,2].

Концептуальные основы контроля состояния конфликтной ситуации как нестационарного динамического объекта в условиях неопределенности определяют решение сложных задач анализа и интерпретации информации с помощью адаптивных алгоритмов. Реализация этих алгоритмов связана с широким применением математического моделирования и визуализации конфликтных ситуаций. Использование методов и средств моделирования при создании электронного полигона (ЭП) как интеллектуальной системы нового поколения позволяет повысить его функциональную эффективность, надежность и живучесть. Алгоритмическое и программное обеспечение ЭП выступают в роли одного из основных концептуальных элементов управления и принятия решений. Именно этот элемент определяет совершенство разрабатываемой технологии интерпретации конфликтных ситуаций в рамках *неоконфликтологии* как нового направления в изучении сложных процессов и явлений антагонистического взаимодействия в условиях существенной неопределенности [3].

Ниже обсуждается онтологический базис, определяющий новые подходы и технологии, обеспечивающие функционирование ЭП в интегрированной программной среде динамической системы знаний, реализованной в рамках системы поддержки принятия решений (ППР). Особенности эксплуатации ЭП в сложной динамической среде потребовали корректировки методов интерпретации динамики конфликтного взаимодействия на основе эффективного аппарата знаний, разработанного в рамках концепции конкуренции в мультипроцессорной вычислительной среде [4].

Динамическая модель предметной области неоконфликтологии, интегрирующая достижения интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений, представлена на рис. 1.

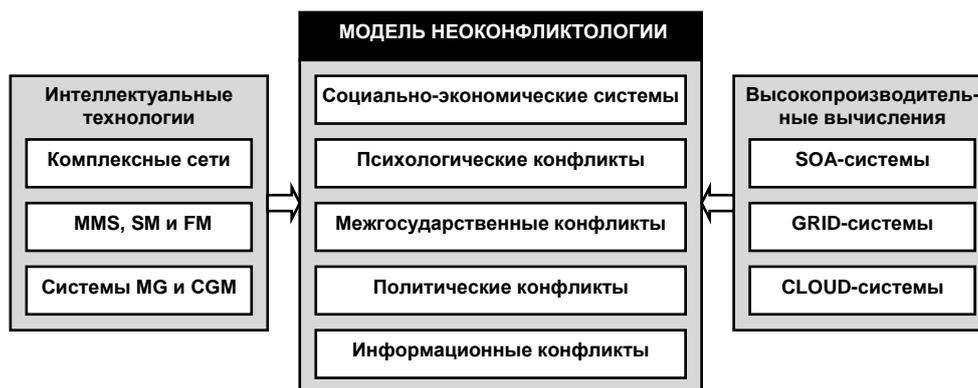


Рис.1. Динамическая модель предметной области неоконфликтологии

Модель включает содержательную интерпретацию современной теории неоконфликтологии, поддержанной интеллектуальными технологиями (комплексные сети [6], мультиагентное MMS, структурное SM и факторное FM моделирование [3], теория матричных игр MG [7] и когнитивное моделирование CGM [8, 9]) и высокопроизводительными вычислениями (сервисно-ориентированная архитектура – SOA-системы [10], GRID-системы [11], «облачно»-распределенные – CLOUD-системы [12]). Исследуемые в рамках динамической модели задачи неоконфликтологии охватывают глобальный комплекс проблем возникновения и развития конфликтных ситуаций в различных приложениях – от социально-экономических до политических и информационных конфликтов.

Сформулированная таким образом модель может быть применена на этапе обоснования принципов построения и функционирования вычислительного комплекса ЭП и поддерживающего его программного инструментария моделирования и анализа сложных конфликтных ситуаций в различных практических приложениях с опорой на результаты ранее выполненных исследований, в том числе в ИПМ им. М.В.Келдыша [1] – [34].

Комплексная формальная онтология антагонистических систем

Комплексная формальная онтология проблемной области (Subject) неоконфликтологии $N(C)$ (рис.2) определяется в следующем виде:

$$Ont(N(C)) = \langle T(S), R(S), A(S) \rangle, \quad (1)$$

где $T(S)$ (Terms) – множество классов терминов (понятий) закономерностей проблемной области неоконфликтологии $N(C)$, обладающих качественными признаками, которые составляют их отличительную особенность в онтологии предметных областей; $R(S)$ (Relations) – конечное множество отношений между классами терминов; $A(S)$ (Axiomas) – конечное множество аксиом (функций интерпретации), заданных на классах и отношениях онтологии.

Функциональные компоненты (1) представляются в виде следующих онтологий, заданных соответствующими кортежами:

- онтология, определяющая множество $T(S)$:

$$Ont T(S) = \langle Tr(S), Pr(S), Str(S) \rangle, \quad (2)$$

где $Tr(S)$ – онтология триады «критерии – показатели – индикаторы», определяющей объект взаимодействия; $Pr(S)$ – онтология принципов и категорий изучения конфликтов; $Str(S)$ – онтология стратегических решений;

- онтология, определяющая множество $R(S)$:

$$Ont R(S) = \langle Tr^*(S), Pr^*(S), Str^*(S) \rangle, \quad (3)$$

где $Tr^*(S)$ – онтология отношений в критериях, показателях и индикаторах; $Pr^*(S)$ – онтология отношений в принципах и категориях изучения конфликтов; $Str^*(S)$ – онтология отношений при построении стратегических решений;

- онтология, определяющая множество $A(S)$:

$$Ont A(S) = \langle Id(S), Pl(S), C(S) \rangle, \quad (4)$$

где $Id(S)$ – онтология функций интерпретации задач идентификации, планирования действий $Pl(S)$ по управлению объектом взаимодействия и вычислительной среды $C(S)$ в системе ППР.

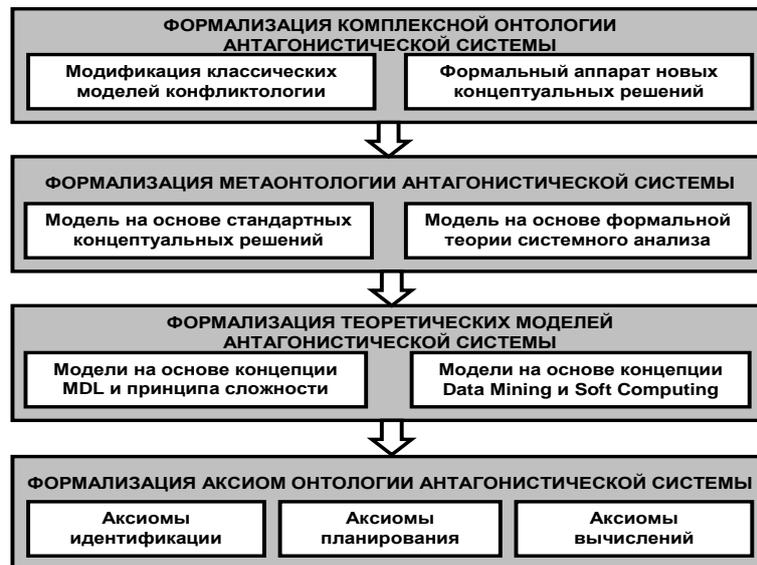


Рис.2. Формальная модель комплексной онтологии антагонистической системы: MDL – минимальная длина описания [13], Data Mining – модели выявления «скрытых» знаний [14], Soft Computing – модели, реализующие «мягкие» вычисления [15].

Особенностью математических модельных структур (онтологическая корректность) является представление элементов сигнатуры (1) в элементах множества–носителя. Следовательно, центральным в построении динамических структур взаимодействия при интерпретации рассмотренных множеств является вопрос о носителе, который определяется как пространство состояний,

а модель процесса – как сложная динамическая система, эволюционирующая в нестационарной среде.

Предлагаемый подход к формированию комплексной онтологии проблемной области *неоконфликтологии* состоит в поэтапной, нисходящей детализации представленного континуума с последующим выделением конструкций типа *объект, атрибуты и взаимодействия* между объектами. Устойчивые группы континуума объединяются в классы терминов, образуя фактор-множества. Для поддержки разработчика используется словарь, в котором накоплены статистики из большого числа источников. Избежание проблем лингвистического характера в рассмотренной онтологии достигается тем, что для каждого объекта в заданной ситуации вводится некоторое прямое имя, которое отличает его от всякого рода непрямых – классификаторов и функциональных имен. Подобного рода проблемы носят имманентный характер, поскольку онтология может рассматриваться как языково-зависимая концептуальная модель [16, 17].

Таким образом, при переходе от $OntT(S)$ к $OntR(S)$ и $OntA(S)$ формируется множество антагонистической системы $D(T,R,A)$. Элементами этого множества являются элементарные объекты взаимодействия в качестве носителя динамических модельных структур, а элементами сигнатуры – процессы, которые так же, как и элементы сигнатур из онтологии, имеют представление в носителе. Следовательно, решению обобщенной задачи реализации соответствует онтологическая модельная система метабазиса, представленного различными видами метадиаграмм [11, 18, 19]. С помощью такого представления формализуется уровень метаонтологии, обеспечивающей интенциональное описание свойств онтологии проблемной области и онтологии задач. Иерархическая модель, объединяющая функциональные модули прикладных программ обработки информации, позволяет описывать интегрированную систему неоконфликтологии на различных уровнях абстракции с использованием следующих определений.

Определение 1. Комплексная онтология динамической среды неоконфликтологии $S(NC)$ в пространстве состояний объектов антагонистической системы является модельной структурой, которая может быть построена на основе алгебраической системы так, что логической моделью языка этого типа будет являться одна из форм логики действий [20].

Рассматривая семантическое пространство исследуемых динамических структур проблемной области $S(NC)$, необходимо предварительно осуществить их семантическую локализацию [21].

Определение 2. Семантическая локализация пространства взаимодействия системы неоконфликтологии определяет аналитическую $A(S(NC))$ и геометрическую $G(S(NC))$ интерпретацию компонент $C_{S(NC)}$ в семантическом пространстве $S(NC)$:

$$A(S(NC)) = \{A(S(NC)_{11}), \dots, A(S(NC)_{1m})\}; \quad (5)$$

$$G(S(NC)) = \{G(S(NC)_{n1}), \dots, G(S(NC)_{nm})\}. \quad (6)$$

Определение 3. Пересечение множеств семантических свойств компонент $A(S(NS))$, $G(S(NC))$ проблемной области $S(NC)$

$$A(S(NC)) \cap G(S(NC)) \neq \{0\} \quad (7)$$

позволяет записать *критерий локализации* этих компонент в семантическом пространстве

$$A(S(NC)) \cap G(S(NC)) = \{0\}. \quad (8)$$

Определение 4. Критерием существования компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ в семантическом пространстве $S(NC)$ является *различимость* их свойств в представленной семантической локализации. Для множества свойств CS компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ модели исследуемой предметной области $S(NC)$ следует ее однозначная идентификация

$$\forall cs(i), cs(i) \in CS[i]; (i = 1, \dots, m) \Rightarrow A(S(NC)); \quad (9)$$

$$\forall cs(j), cs(j) \in CS[j]; (j = 1, \dots, n) \Rightarrow G(S(NC)). \quad (10)$$

При этом считается, что свойства остаются тождественными себе на время, достаточное для построения компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ модели $S(NC)$ и их использования в рамках реализации *аспектно-ориентированной* технологии моделирования и программирования.

Важное значение при моделировании компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ комплексной онтологии имеют *функциональная полнота* и *логическая целостность*. Модели компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ необходимы для решения задач аналитической и геометрической интерпретации исследуемых ситуаций с включением только необходимых и достаточных свойств взаимодействия в зависимости от особенностей динамики конфликтной ситуации. Причем *функциональная полнота* компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ модели $S(NC)$ подразумевает отражение свойств исследуемых объектов, необходимых и достаточных для решения поставленных задач при интерпретации текущей ситуации. Критерий функциональной полноты компонент $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ модели $S(NC)$ зависит от класса решаемых задач и требует определения глубины их детализации. Формальная постановка задачи в проблемной области $S(NC)$ позволяет выделить особенности ситуации и ее интерпретации на основе теоретического базиса неоконфликтологии.

Разработанные на основе такой формализации модели онтологии $A(S(NC))$, $G(S(NC))$ рассматриваются как составляющие общей проблемы комплексной онтологии $S(NC)$ и определяются критерием истинности $C_R(\text{True})$ с учетом требований полноты $\text{Dem}(\text{Full})$ и непротиворечивости $\text{Dem}(\text{Non-Contr})$] аксиом и правил вывода.

$$\text{Ont}(S(NC)) = \langle C_R(\text{True}) [\text{Dem}(\text{Full}), \text{Dem}(\text{Non-Contr})] \rangle. \quad (11)$$

В результате проведенного исследования определена онтология проблемной области с обоснованной структурой и содержанием. Формальное описание интегрированной системы знаний неоконфликтологии $S = \{S_i | i=1, \dots, N\}$ можно представить на основе следующих онтологий:

$$\text{Ont}(\text{NET}) \rightarrow \langle \text{Ont}(\text{CONCEPT}), \text{Ont}(\text{CONNECT}) \rangle, \quad (12)$$

где $Ont(CONCEPT)$ – множество понятий, обозначающих исследуемые процессы в сложных динамических сценах (задачи интерпретации); $Ont(CONNECT)$ – множество связей между понятиями.

На основе рассмотренных представлений можно описать концептуальную модель комплексной онтологии системы ППР в виде следующих компонент:

$$Ont(Com) = \langle Ont(A), Ont(G) \rangle; \quad (13)$$

$$Ont(A) = \langle Ont(S), Ont(H), Ont(Syn), Ont(NF), Ont(MMS) \rangle; \quad (14)$$

$$Ont(G) = \langle Ont(Str), Ont(Cog), Ont(Vis) \rangle, \quad (15)$$

где аналитический компонент $Ont(A)$ включает онтологии, формализующие стохастические $Ont(S)$ системы и иерархические $Ont(H)$ структуры, синергетическую парадигму $Ont(Syn)$, нечеткую формальную систему (НФС) управления $Ont(NF)$ и мультиагентное моделирование $Ont(MMS)$, а геометрическая интерпретация – структурное $Ont(Str)$ и когнитивное моделирование $Ont(Cog)$ и визуализацию $Ont(Vis)$ динамических сцен. Проверка адекватности модели онтологии сводится к оценке корректности процедур динамической среды, определяющей объекты и отношения проблемной области.

Формальные модели и иерархическая структура онтологии антагонистической системы

При формализации модели онтологии предметных областей $Ont(S)$, составляющих общую проблемную область $Ont(P)$ моделирования и визуализации антагонистической системы, используют следующие определения [18, 21]:

Определение 5. Онтология предметной области

$$Ont(S) \rightarrow \langle Q, C \rangle \in Ont(P) \quad (16)$$

определяет множество понятий Q (объектов, процессов, явлений) и множество связей C между ними:

$$Q = \{q_k | k = 1, \dots, K\}, C = \{c_l | l = 1, \dots, L\} \quad (17)$$

Определение 6. Элементам множества Q ставятся в соответствие компоненты векторов

$$\langle \alpha_1 = \{\alpha_{1k}\}; \alpha_2 = \{\alpha_{2k}\}; \alpha_3 = \{\alpha_{3k}\}; \alpha_4 = \{\alpha_{4k}\} \rangle; k = 1, \dots, K, \quad (18)$$

а элементам множества C – набор векторов:

$$\langle \beta_1 = \{\beta_{1l}\}; \beta_2 = \{\beta_{2l}\}; \beta_3 = \{\beta_{3l}\}; \beta_4 = \{\beta_{4l}\}; \beta_5 = \{\beta_{5l}\}; \beta_6 = \{\beta_{6l}\} \rangle; l = 1, \dots, L. \quad (19)$$

В формулах (18) и (19) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – векторы идентификаторов, названия, описания смысла и весов понятий; β_1, β_2 – векторы идентификаторов связей между понятиями из множества Q и связей между понятиями q_{i1} и q_{i2} ($q_{i1}, q_{i2} \in Q$); β_3 – вектор описаний связей между понятиями q_{i1} и q_{i2} ; β_4 – векторы, компоненты которых задают идентификаторы для q_{i1} и q_{i2} ; β_5 –

векторы, задающие направленную ($\beta_5=1$) или ненаправленную ($\beta_5=0$) связь между q_{i1} и q_{i2} ; β_6 – вектор весов связей, где β_{6l} – вес l -й связи в интервале $[0,1]$.

Компоненты модели (16)–(19) предварительно формализуются и изучаются на базе математического моделирования с учетом накопленного опыта. Проблема математического описания антагонистической системы реализуется в рамках концепции *минимальной длины описания* [22] и *теории сложности*, требующей одновременного учета *структуры* модели и ее *адекватности* [7].

На рис. 3 представлена интегрированная среда неоконфликтологии, формализующая динамическую модель взаимодействия на основе онтологической системы. Здесь выделены аспекты онтологии, определяющие особенности поведения системы и ее геометрическую интерпретацию.



Рис. 3. Онтология, определяющая модель интегрированной среды неоконфликтологии

Онтология основана на построении и анализе *семантической модели* [18, 21]. Объекты в этой модели систематизированы по функциональному признаку их свойств и являются частью иерархии классов. *Связи* определяют структуру системы, а *элементы* – функцию узлов в этой структуре. Корневая качественная структура может быть развернута до более конкретных классов путем разделения на каждом уровне свойств в соответствии с делением класса.

Рассматриваемая классификация может быть уточнена (переименована, расширена, дополнена производными классами) в зависимости от решаемой задачи обработки информации и изменения знаний о конфликтной ситуации. Например, класс ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА в классификации свойств может быть уточнен путем выделения свойств СТРУКТУРА ПО УПРАВЛЕНИЮ и СТРУКТУРА ПО ДАННЫМ. Это повлечет за собой выделение в классификации компонент внутри класса ИНФОРМАЦИОННАЯ СВЯЗЬ подклассов связей ПЕРЕДАЧА КОМАНД и ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ, которым могут быть присвоены соответствующие обозначения.

Таким образом, *системный подход* [5] позволяет использовать при решении каждой конкретной задачи обработки информации свой набор средств моделирования: элементов и связей, одинаково интерпретируемых в процессе развития конфликтной ситуации. При этом можно разнообразить экземпляры классов информационных связей и элементов, сохранив соответствующие компоненты в виде абстрактных классов.

В рамках такой интерпретации сохраняется принцип, в соответствии с которым свойства элементов и связей конфликтной ситуации определяются иерархией классов, учитывающей эти свойства. Это обеспечивает возможность системной декомпозиции задачи создания вычислительного комплекса ЭП при интерпретации сложных динамических ситуаций в системе ППР. Таким образом, при формализации задачи построения динамической базы знаний онтологии улучшают интерпретируемые характеристики системы и упрощают ее использование для анализа и моделирования конфликтных ситуаций.

Определение 7. Построение онтологической системы неоконфликтологии ведется с использованием принципа конкуренции [4]:

$$Ont[Com(PR)] = \langle Ont(ST), Ont(FM) \rangle, \quad (20)$$

где $Ont(ST)$ – онтология стандартной модели, описывающей ситуацию на основе достижений классической математики; $Ont(FM)$ – онтология модели, реализованной в рамках конкурирующих вычислительных технологий.

Определения 5 – 7 позволяют формализовать эволюционное пространство онтологической системы неоконфликтологии при построении функции управления процедурами обработки информации в сложной динамической среде. Структура используемых моделей интерпретации исследуемого функционального пространства представляется как отображение $f : T \rightarrow X$, определяемое как сеть пространства взаимодействия (семантическая, иерархическая, динамическая), где T – направленное множество. Сеть включается в множество интерпретаций $B(Int) \subset X$, если существует $t_0 < T$ такое, что

$$(t_0 < t) \Rightarrow [f_t \in B(Int)] \quad (21)$$

На рис. 4 представлено семантическое пространство функциональных элементов динамической базы знаний системы ППР с уровнями иерархии А, В, С и со структурой (Q,F,R) в виде кортежа, определяющего класс подсистемы Q, функциональную зависимость F и диапазон изменения R соответствующего параметра. Модель семантической сети (Semantic Web) отображена в виде узлов и упорядоченных отношений (связей), соединяющих эти узлы. Узлы выражают базовые понятия (концепты) динамической среды взаимодействия, а связи описывают взаимоотношения между ними. *Структурная связь* между иерархическими уровнями онтологии обеспечивается через понятия проблемной области.

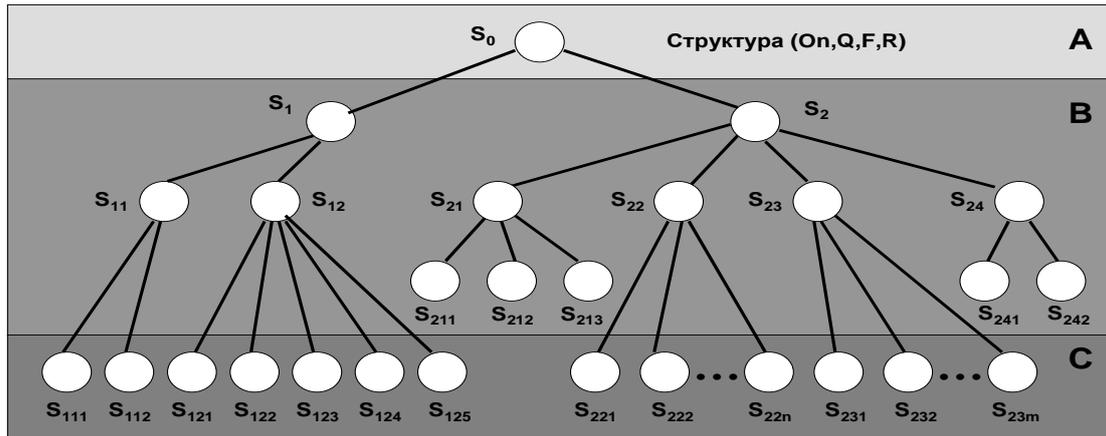


Рис. 4. Семантическая сеть, определяющая онтологию функциональных элементов эволюционной динамики антагонистической системы

Построение сети осуществляется таким образом, чтобы на верхних уровнях иерархии использовались универсальные понятия, а на нижних — локализованные по каждому типу структуры решаемой задачи, т.е. понятия, которые важны именно для конкретного приложения (текущей ситуации). Особенность иерархической структуры сети состоит в возможности разделения сети на подсети (пространства) и установления отношений не только между вершинами, но и пространствами. Различные пространства, существующие в сети, могут быть упорядочены в виде дерева пространств, вершинами которого являются пространства, а дугами — отношения. Вся информация в сети собрана относительно объекта исследования и позволяет выделять содержания, взаимоотношения, внутреннюю структуру и уровни детализации. Наличие организационных признаков — ассоциативности и иерархичности — обеспечивает гибкость такого представления, а гармоничное сочетание синтаксического (структурного) и семантического (относящегося к данной предметной области) знания дает возможность легко обновлять это знание в относительно однородной структуре. Графическая нотация обеспечивает естественность, наглядность и простоту отображения связей между объектами, а также возможность разбиения процессов на независимые части при параллельной обработке информации в мультипроцессорной вычислительной среде.

В рамках рассмотренной интерпретации на рис. 5 реализовано пространство функциональных зависимостей антагонистической системы. Приведенная структура представляет собой универсальную модель, позволяющую работать с декларативной и процедурной компонентами динамической базы знаний системы ППР в процессе интерпретации текущей конфликтной ситуации (поиск, внесение изменений, выделение, преобразование и визуализация информации). Этому способствует использование в вершинах пространства соответствующих кодов и

стандартных условных обозначений, значительно упрощающих процедуры поиска и обеспечивающих единственность решения.

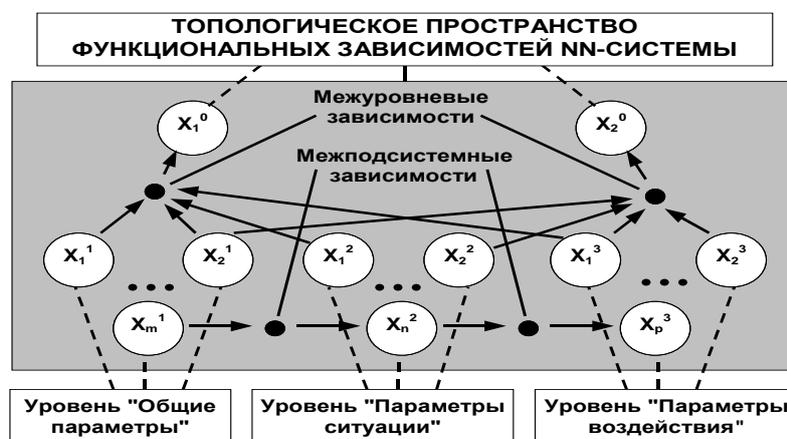


Рис. 5. Топологическое пространство функциональных зависимостей антагонистической системы

При реализации методов синтеза антагонистической системы на основе рассмотренных представлений учитываются общие принципы и структура концептуальной модели обработки информации при анализе и прогнозе исследуемых ситуаций. Модели контроля ситуации разрабатываются в рамках формализованных методов интерпретации антагонистической системы в сложной динамической среде. Разработанные теоретические принципы и концепция построения моделей обработки информации о эволюционной динамике позволяют представить структурный синтез системы и выделить типичные задачи информационного обеспечения ППР.

Таким образом, построенная на основании онтологии классификация компонент динамической базы знаний ППР изоморфна классификации свойств системы в виде классификации связей и функциональных элементов [18, 21]. Получаемый таким образом алфавитный набор связей и элементов однозначно интерпретируется по своим дефинициям (свойствам) и имеет однозначную содержательную характеристику. В процессе построения онтологии выявлялись основные закономерности проблемной области неоконфликтологии, с учетом которых сети перестраивались, порождая новые структуры (знания) на различных уровнях абстракции. При этом достигаются систематичность, единообразность и возможность восстановления всех отсутствующих логических связей при модификации логических правил и совершенствовании знаний системы ППР [5].

Преобразование содержательного описания сценария (знания) в параметры модели (данные) осуществляется с использованием следующей структуры операторов [17, 21]:

$$\langle K, Q, \Phi, H, D, F \rangle, \quad (22)$$

где K – ключевое слово или фраза, выделяющая класс сценария; Q – описание сценария; Φ – факторы, определяющие сценарий; H – шаблоны шифров переменных и уравнений (описание сценария в параметрах модели); D – данные, соответствующие выбранному фактору (следствие исходной посылки); F – функция зависимости данных от факторов.

Для удобства формализации информации проблемной области $S(NC)$ используется матрица онтологии $K(ONT)$ (Knowledge-Ontology), в которой столбцы представляют собой группы «объект» и «факты», а строки – соответствующая информация, содержащая названия объектов и относящихся к ним фактов. Общая характеристика групп и множеств, используемых в матрице $K(ONT)$, дается в табл.1, где использованы следующие обозначения:

1 – множество «объект» (Object), в котором $i=1, \dots, n$; n – число идентифицированных объектов, а множество $T(S_{i,k})$ вырождается в классы терминов;

2 – множество *атрибутов* (Attributes), где $j=1, \dots, m$; m – число атрибутов соответствующего объекта;

3 – множество, определяющее *вариации поведения* (Behavior) для каждого объекта, где $j=1, \dots, p$; p – число вариаций поведения соответствующего объекта;

4 – множество *взаимодействия*, определяющее субъект и объект предложения, над которым субъект совершает действие путем пересылки сообщения.

Таблица 1.

Группы и множества в матрице $K(ONT)$

Группы	Представление множеств
1	$T(S_{i,k}) = \{t_{1,1}, \dots, t_{i,1}, \dots, t_{n,1}\}$
2	$A(S_{i,2}) = \{a_{1,2}, \dots, a_{j,2}, \dots, a_{m,2}\},$
3	$B(S_{i,3}) = \{b_{1,3}, \dots, b_{j,3}, \dots, b_{p,3}\},$
4	$C(S_{i,4}) = \{c_{1,4}, \dots, c_{j,4}, \dots, c_{s,4}\}.$

В результате представленной формализации факты, ранее соотнесенные с объектами, трансформируются в три новые группы, и исходная матрица $K(ONT)$ принимает вид:

$$K(OHT) = \begin{pmatrix} T_{1,1} & A_{1,2} & B_{1,3} & C_{1,4} \\ & \dots & & \\ T_{i,1} & A_{i,2} & B_{i,3} & C_{i,4} \\ & \dots & & \\ T_{n,1} & A_{n,2} & B_{n,3} & C_{n,4} \end{pmatrix}, \quad (23)$$

где столбцы представлены множествами, определяющими классы понятий $T(S)$ – *атрибуты* $A(S)$ – *вариации поведения* $B(S)$ – *взаимодействия* $C(S)$.

В строках матрицы $K(OHT)$ размещаются соответствующие экземпляры классов (выделенные ранее объекты и элементы групп), отражающие семантику фактов в виде множеств аксиом (функций интерпретации) — $A(XS)$, заданных на объектах и определяющих взаимодействия между ними. Пара *объект–атрибуты* образует конечное множество классов – $T(S)$, а группы *вариации поведения–взаимодействия* составляют конечное множество отношений – $R(S)$. Естественным ограничением, накладываемым на множества $T(S)$, $R(S)$ и $A(XS)$, является их конечность и непустота. В случае если $R(S)$ и $A(XS)$ – пустые множества, онтология $Ont(S)$ трансформируется в простой словарь.

Таким образом, предлагаемый подход к формализации проблемы неоконфликтологии дает возможность вводить иерархическую систему понятий, связанных между собой различного рода отношениями. Понятия организованы в иерархии, связи внутри которых структурированы так, чтобы осуществлять различные модели логического вывода в системе ППР.

Теоретические аспекты неоконфликтологии при интерпретации эволюционной динамики антагонистической системы определяют онтологический базис для формирования динамических моделей «Поля знаний» и «Пирамиды знаний». Эти модели ориентированы на стратегии представления и интерпретации информации в сложных динамических средах и завершают стадию *структуризации* знаний, рассмотренную на начальных этапах разработки онтологической системы. Рассмотрим примеры реализации комплексной онтологии антагонистической системы при построении моделей «Поля знаний» и «Пирамиды знаний».

Модель «Поля знаний». Эта модель представляет собой неформальное описание основных понятий исследуемой конфликтной ситуации и взаимосвязей между ними, выявленных из системы знаний проблемной области неоконфликтологии. Формирование «Поля знаний» осуществляется на стадии структурирования и является первым шагом на пути формализации знаний. Однако при реализации конфликтной ситуации в непрерывно изменяющейся среде модель «Поля знаний» рассматривается как динамическая структура (рис.6). При этом расширяется функциональность программного комплекса и приобретает новый физический смысл интерпретирующей модели. В «Инженерии знаний», имея дело с динамикой сложных процессов

взаимодействия, приходится оперировать с «мягкими» вычислениями [15], где выразительности классической математики оказывается недостаточно, и значение имеет эффективность нотации — компактность, полнота, наглядность [18, 21].

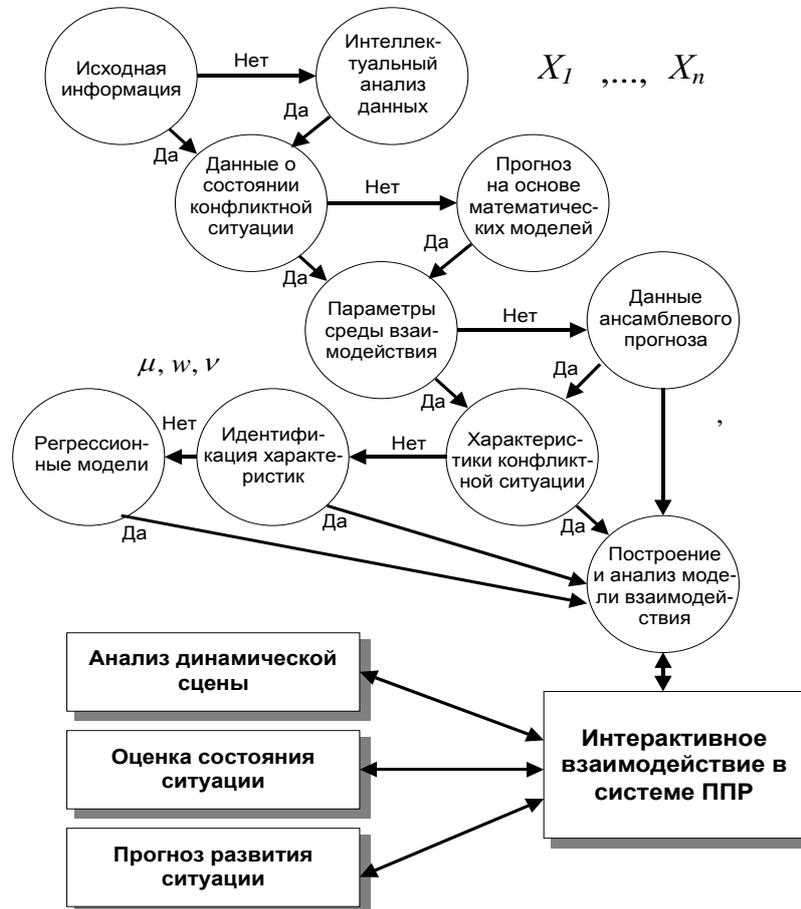


Рис.6. «Поле знаний» конфликтной ситуации как динамической структуры

Среди перспективных направлений реализации современных тенденций при построении модели «Поля знаний» конфликтной ситуации следует выделить концепцию *онтологического инжиниринга* как одного из подходов к семиотическому моделированию предметной области [18, 23]. Семиотическая модель «Поля знаний» исследуемой проблемной области конфликтологии включает следующие компоненты

$$\langle K, Q, \Phi, H, D, F \rangle, \quad (24)$$

где SIN — синтаксис; SEM — семантика; PR — прагматика.

Операционная модель предметной области в рамках семантического подхода представляется как совокупность структур

$$M = \langle SK, SF \rangle, \quad (25)$$

где SK — концептуальная структура; SF — функциональная структура.

Семиотическое моделирование имеет важное значение при разработке динамической базы знаний ППР, особенно систем, функционирующих в

динамически нестационарной среде. Совершенствование модели «Поля знаний» осуществляется на основе методов прикладной семиотики в рамках подхода ситуационного управления. Формулировка и развитие этого подхода основаны на взаимном проникновении идей и методов прикладной математики и искусственного интеллекта (ИИ) [18, 21].

Семиотическая система формально задается кортежем [23]:

$$S = \langle B, F, A, R, Q(B), Q(F), Q(A), Q(R) \rangle, \quad (26)$$

где первые четыре компоненты представляют собой кортеж, определенный формальной системой

$$S = \langle B, F, A, R \rangle, \quad (27)$$

а остальные – правила изменения этих компонент под влиянием накопленной в базе знаний информации о функционировании сущностей в данной проблемной области.

Здесь B – алфавит теории S (множество базовых символов); F – формула теории (множество выражений – конечных последовательностей базовых символов теории S); A – аксиомы теории S (выделенное множество априорно истинных формул); R – правила вывода (конечное множество отношений r_1, \dots, r_n между формулами). Формальная теория считается разрешимой, если существует единая эффективная процедура, позволяющая выяснить для любой формулы существование вывода в теории. Формальная система считается непротиворечивой, если не имеется формулы A , такой, что A и $\neg A$ выводимы в S .

Реализация подхода к формализации «Поля знаний» на основе семиотического моделирования [24] открывает новые возможности использования комплексной онтологии при формализации знаний антагонистических систем, функционирующих в сложной динамической среде. Эти возможности особенно ярко проявляются при разработке алгоритмов принятия решений по интерпретации эволюции сложных систем методами теории катастроф [18, 21].

Модель «Пирамиды знаний». Развивая традиционную модель «Пирамиды знаний» при рассмотрении стратегии принятия решений как функциональной структуры программного комплекса ЭП, рассмотрим особенности такого представления на основе следующей интерпретации:

$$\Phi : PKN \Rightarrow PKN^*, \quad (28)$$

где $PKN = (A, R, S)$; $PKN^* = (A^*, R^*, S^*)$; A^* — мета-понятия более высокого уровня абстракции; R^* — мета-отношения; S^* — мета-стратегии.

В «Пирамиде знаний» (рис.7) каждый следующий уровень определяет восхождение на новую ступень обобщения и углубления знаний об эволюционной динамике конфликтной ситуации. Восходя по ступеням «Пирамиды знаний», мы получаем систему гомоморфизмов, свидетельствующую об уменьшении размерности семантического пространства. Примером реализации «Пирамиды знаний» служит интерпретация процедурной компоненты системы ППР. При восходящем

движении рассматриваются функциональные элементы вычислительной среды, поддерживающие формирование модели конфликтной ситуации и моделирование эволюционной динамики в пространствах поведения и управления, а также разработку критериального базиса и оценку эффективности управленческих решений. Более сложные модели конфликтных ситуаций рассматриваются в рамках концепции конкуренции [4] и технологии [3, 17].



Рис.7. «Пирамида знаний» как динамическая структура антагонистической системы

Реализация механизмов преобразования информации в моделях «Пирамиды знаний» осуществляется в зависимости от сложности конфликтной ситуации и определяется различными функциональными структурами. Одним из примеров такой структуры является поток информации при генерации управленческих решений и анализе альтернатив при выборе предпочтительного варианта в системе интеллектуальной ППР. Многие процессы взаимодействия в сложных динамических средах неоконфликтологии могут быть интерпретируемы только в рамках гипотез и упрощающих предположений [18, 21], синергетической парадигмы [18] (фаза расширения–сжатия) и движения по каскаду бифуркаций при реализации теории катастроф [18].

Онтология, определяющая аксиоматический базис антагонистической системы

Основные операции, выполняемые в системе ППР в рамках парадигмы обработки информации [5], осуществляются на основе аксиоматического базиса, позволяющего описать динамику антагонистической системы на уровне структурной и функциональной конфигурации (рис. 8).

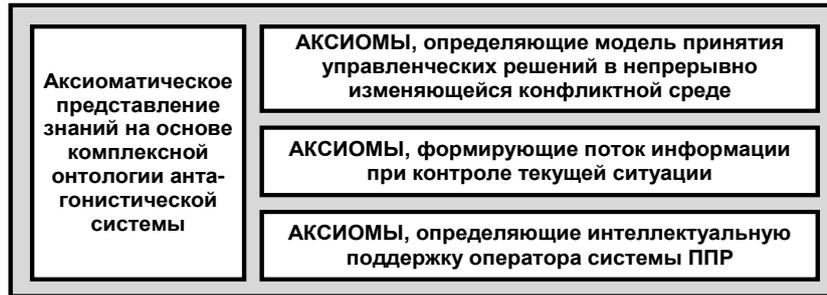


Рис.8. Аксиоматический базис антагонистической системы

Принципиальным достоинством такой технологии является представление эволюции системы конфликтного взаимодействия на интервале реализации $[t_0, t_k]$ в виде динамических структур, а интерпретации динамики взаимодействия – с помощью энтропийного анализа [25] и принципа максимума информации [26]. В результате достигается простота и наглядность отображения процесса развития текущей ситуации в сложной динамической среде [3].

Общие понятия аксиоматики исследуемой предметной области специфичны в каждой прикладной онтологии. В рассматриваемой проблемной области аксиоматическое представление знаний при интерпретации конфликтного взаимодействия определяется формализацией потока информации на основе комплексной онтологии в виде следующих утверждений.

Аксиома 1. Назначением аксиом идентификации является описание всех типов переменных и отношений, определяющих формализованную область структуры антагонистической системы:

$$Axiom(Ident) = \langle Var, Rel \rangle \in \Omega(Str), \quad (29)$$

где Var, Rel – переменные задачи и отношения между ними; $\Omega(Str)$ – топологическая структура.

Аксиома 2. Аксиомы планирования задают правила (порядок и условия корректности) вычислений. В основе вычислений объектов взаимодействия в фазовом пространстве лежит свойство интервальной арифметики, позволяющее осуществить сходимость итеративной процедуры вычислений интервальных значений параметров к некоторым локализирующим интервалам, содержащим требуемые решения при интерпретации антагонистической системы:

$$Axiom(Plan) = \langle Evol(PH), Int(Cal) \rangle, \quad (30)$$

где $Evol(Ph)$ – область эволюции фазового пространства, $Int(Cal)$ – процедуры интервальной арифметики.

Аксиома 3. Аксиомы вычислений задают правила вычисления отношений в фазовом пространстве антагонистической системы. Аксиомы вычислений включают также аксиомы оптимизации.

$$Axiom(Calcul) = \langle Rule(Cal), Axiom(Opt) \rangle, \quad (31)$$

где Rule(Cal) – правила вычислений; Axiom(Opt) – аксиомы оптимизации, обеспечивающие решение задач поиска оптимальных решений, структура которых представляется в виде таблиц логических аксиом (Logical Axioms Table).

Аксиома 4. Идентификация конфликтной ситуации осуществляется из множества альтернативных ситуаций:

$$\{S_i\} \quad (i = 1, \dots, z < \infty), \quad (32)$$

каждой из которых по выбранному критерию R соответствует один из альтернативных алгоритмов:

$$\{A_i\} \quad (i = 1, \dots, q). \quad (33)$$

Аксиома 5. Соответствие между исследуемой ситуацией S_i и оптимальной структурой алгоритма $S_i \rightarrow A_i$, реализуется функцией

$$i = \varphi(j), \quad (i = 1, \dots, q; j = 1, \dots, z). \quad (34)$$

Определение функции (33) решает проблему адаптируемой структуры. Процедура идентификации ситуации S_i – отнесение ситуации к одной из множества (32). Реализация процедуры – с использованием результатов работы алгоритма на предыдущих этапах исследования, а также специальных тестов, выявляющих принадлежность контролируемой ситуации к одной из (32).

Аксиома 6. В случае использования континуального множества исследуемые ситуации кодируют вектором $S=(S_1, \dots, S_u)$ в u -мерном пространстве. Каждой точке S_i этого пространства соответствует лучший алгоритм A_i , определяемый как

$$R(A_i, S_i) = \min_{j=1, \dots, q} R(A_j, S). \quad (35)$$

Аксиома 7. Реализация энтропии при контроле поведения антагонистической системы образует ядро множества, содержащего преобразования, позволяющие представить величину энтропии $H(y)$, энтропийного потенциала Δ_ε и его приращения $\delta\Delta_\varepsilon$ [25] на основе эволюционной динамики:

$$H(y) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(y) \ln p(y) dy = - \int_{-\Delta}^{\Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \frac{1}{2\Delta} dy = \ln 2\Delta ; \quad (36)$$

$$\Delta_\varepsilon = K_\varepsilon \sigma ; \Delta_\varepsilon \rightarrow \min ; \delta\Delta_\varepsilon = \Delta_{\varepsilon 1} - \Delta_{\varepsilon 2}, \quad (37)$$

где $p(y)$ – закон распределения исследуемого параметра; K_ε – энтропийный коэффициент; σ – величина среднеквадратического отклонения, характеризующая степень рассеяния исследуемого параметра антагонистической системы.

Аксиома 8. Система координат (σ, K_ε) рассматривается как частный случай фазового пространства системы (энтропийная плоскость). Изображающая точка (σ, K_ε) определяет прямоугольник со сторонами σ и K_ε на соответствующих осях. При $\Delta_\varepsilon = \text{const}$ множество точек на плоскости (σ, K_ε) образуют линию изоэнтропии – «изотропу» состояния системы.

Энтропийный потенциал состояния антагонистической системы для каждой точки изотропы будет постоянным и равным $\Delta_{\mathcal{E}}$. Переход системы из одного состояния в другое на одной изотропе не изменяет его энтропийный потенциал. Совокупность энтропийных траекторий для различных ситуаций взаимодействия образует *энтропийный портрет*. Относительное значение энтропийного потенциала представляется в виде $\bar{\mathcal{E}} = \Delta_{\mathcal{E}}/X_{\Pi}$ на интервале реализации $[t_0, t_1]$, где X_{Π} – базовое значение исследуемого параметра при реализации антагонистической системы на заданном интервале времени.

Аксиома 9. Фундаментальным принципом обработки информации в антагонистической системе является *принцип максимума* информации [13]:

$$Inf(X \rightarrow Y) = \max, \quad (38)$$

X – внешнее воздействие; Y – реакция системы ППР на внешнее воздействие с целью получения полезного результата.

Для достижения результата (38) необходимо обеспечить максимум взаимной информации между условиями среды и реакциями системы:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y) - Inf(X, Y). \quad (39)$$

Иначе говоря, чем больше взаимная информация, тем теснее связь и тем меньше энтропия $H(X, Y)$.

Таким образом, аксиоматическое представление знаний позволяет осуществлять поддержку процедур моделирования при интерпретации эволюции антагонистической системы в сложной динамической среде.

Аксиоматический базис (29)–(39) позволяет формализовать эволюционную динамику антагонистической системы в виде следующего отображения:

$$W(t_0) \rightarrow W^*(t) \rightarrow W(t_i) \xrightarrow{\alpha} \dots \xrightarrow{\beta} W(t_n), \quad (40)$$

где $W(t_0)$ – исходная система; $W^*(t)$ – факторизованная система; $W(t_i)$ и $W(t_n)$ – системы, построенные в результате интерпретации эволюционной динамики объектов среды взаимодействия; α – гомеоморфизм, определяющий включение системы $W^*(t)$ в $W(t_i)$; β – система канонических гомоморфизмов, представленных в виде отображения:

$$\beta: H_U \rightarrow H_U / H_U^* = H_U^n, \quad (41)$$

где H_U , H_U^n – структуры гомеоморфизмов, индуцированные на факторгруппе, определяющей преобразование информации на интервале реализации $[t_0, t_n]$.

Заключение

Подводя итог рассмотрению онтологического синтеза неоконфликтологии, следует выделить основные аспекты интерпретации формального аппарата программного комплекса ЭП, поддерживающего интегрированную среду интерпретации антагонистических систем на основе следующих моделей:

$$Ont N(S) = Ont(M) \cup Ont(U) \cup Ont(R) \cup Ont(S) \cup Ont(D), \quad (42)$$

где $Ont(M)$ – метаонтология; $Ont(U)$ – онтология управления вычислениями и моделированием; $Ont(R)$ – онтология ограничений на роли терминов и отношений между ними; $Ont(S)$ – онтология проблемной области; $Ont(D)$ – онтология данных по вычислениям и моделированию.

Используемый в программном комплексе ЭП базис понятий и отношений является открытым и может пополняться в зависимости от компонентов, составляющих интегрированную структуру ЭП. Причем пополнение может происходить за счет интерпретации нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуаций взаимодействия, возникающих в процессе функционирования ЭП в сложной динамической среде. Таким образом, модель онтологической системы, определяющей функционирование динамической базы знаний системы ППР, позволяет описывать онтологии разных уровней. Взаимосвязь между онтологиями этой модели представляется в виде различных интерпретаций. Основой интеллектуализации компьютерных технологий, реализующих методы анализа и прогноза конфликтных ситуаций в интегрированном программном комплексе ЭП, является погружение знаний исследуемой проблемной области в высокопроизводительную вычислительную среду. Одна из особенностей рассмотренной динамической системы – разнообразие знаний, используемых при их создании и использовании. Поэтому для разработки технологий неоконфликтологии, поддерживающих интеграцию компонент динамической базы знаний системы ППР, необходимо создание базового формального аппарата представления и интеграции знаний, с учетом результатов исследований в рассматриваемой области [3, 27-31].

Библиографический список

1. Анцупов А.Я., Баклановский С.В. Конфликтология в схемах и комментариях // Санкт-Петербург: Питер, 2009. – 304 с.
2. Светлов В.А., Семенов В.А. Конфликтология // Санкт-Петербург: Питер, 2011. — 352 с.
3. Балута В.И., Нечаев Ю.И., Осипов В.П., Четверушкин Б.Н. Концептуальный базис суперкомпьютерной платформы прикладного моделирования, прогнозирования и экспертиз конфликтного взаимодействия // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. №24. 20 с.
4. Нечаев Ю.И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени // Труды 5-й всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2003». М.: МИФИ.2003. Лекции по нейроинформатике. Ч. 2, с.119–179.
5. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. — М.: Мир, 1978. – 311 с.
6. Wasserman S., Faust K. Social Network Analysis. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

7. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. – М.: Советское радио. 1977.– 304 с.
8. Cognitive science. An introduction a bradford book // The MIT Press Cambridge-Messachusetts-London-England.1989.
9. Nechaev Yu.I., Degtyarev A.B., Boukhanovsky A.V. Cognitive computer graphics in information interpolation in real time intelligence systems // Proc. of International conference «Computational Science-ICCS 2002». Amsterdam. The Netherlands. Part.1. Springer. 2002, p.p.683-692.
- 10.Lublinsky V. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. [Электронный ресурс]: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>
- 11.Нечаев Ю.И., Бухановский А.В., Васильев В.Н. Концепция и методологические основы создания интеллектуального базиса грид-систем // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. №54. 2008, с.13 – 28.
- 12.GTSI Cloud Computing Maturity Model [электронный ресурс] [http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud Compuing.pdf](http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud%20Compuing.pdf)
- 13.Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
- 14.Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – Санкт-Петербург. БХВ-Петербург, 2004.
- 15.Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol.37. №3, p.p.77–84.
- 16.Гаврилова Т.А., Фертман В.П. Визуализация онтологии как инструмент приобретения знаний // Труды 4-го международного семинара по прикладной семиотике, семиотическому и интеллектуальному управлению ASC/IC-99.М.1999, с.34-41.
- 17.Якимов В.И., Дьяконов Г.Н., Машков А.В. Формирование онтологии предметной области на основе анализа NFL-континуума // Информационные технологии. №3. 2006, с.36–39.
- 18.Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. – 392 с.
- 19.Никольский С.Н. Метаонтологии и обобщенная задача реализации // Автоматизация и современные технологии. 2006. №9, с.24–29.
- 20.Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. – 376 с.

21. Нечаев Ю.И. Топология нелинейных нестационарных систем: теория и приложения. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2015. – 325 с.

22. Девятков В.В. Онтологии в проектировании систем // Сборник докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-99. Санкт-Петербург. 1999. Т.2, с.137–140.

23. Поспелов Д.А., Эрлих А.И. Прикладная семиотика — новый подход к построению систем управления и моделирования // Динамические интеллектуальные системы в управлении и моделировании. М.: ЦРДЗ. 1996, с.30-33.

24. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс – Традиция, 2000. – 536 с.

25. Лазарев В.Л. Теория энтропийных потенциалов. – Санкт-Петербург. Изд-во Политехнического университета, 2012. – 127 с.

26. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. — М.: Мир, 1981. – 324 с.

27. Farquhar A., Fikes R., Rice J. The ontologua server: A tool for collabarative ontology construction // Knowledge Systems Laboratory. KSL-96-26, 1996.

28. Fernandes M., Gomez-Perez A. Juristo N. METHODOLOGY: From ontological Art toward ontological engineering // Spring Symposium Series on Ontological engineering AAAI-97. Stanford. USA, 1997.

29. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, rensable knowledge base // Principles of knowledge representation on Conference. Morgan Kaufman. 1991, p.p.601–602.

30. Guarino N. Ontologies: what are they, and where the research? // A panel held at KR-96. The Fifth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 1996. Cambridge. Massachusets. <http://www-ksl.stanford.edu/KR96>.

31. Александров В.А., Балута В.И., Варыханов С.С., Карандеев А.А., Роднин Я.В. Моделирование антагонистических конфликтов в парадигме кибернетики третьего порядка // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2018, №86, 22 с., doi: 10.20948/prepr-2018-86.

32. Михайлов А.П., Маревцева Н.А. Модели информационной борьбы. // Математическое моделирование. 2011. Т. 23. № 10. С. 19–32.

33. Математическое моделирование социальных процессов. Сборник трудов. Гл. ред. А.П. Михайлов. – М. Изд-во «Экон-Информ», 2016. 244 с

34. Михайлов А.П., Петров А.П., Прончева О.Г., Прончев Г.Б., Маревцева Н.А. Моделирование периодических дестабилизирующих

воздействий при информационном противоборстве в социуме // Препринты
ИПМ им. М.В.Келдыша. 2016. № 16. 13 с.