

УДК 519.711.3

*Н.Д. Панкратова, Л.Ю. Малафеева*

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА

### Введение

В современных условиях глобализации мировой экономики опыт ведущих стран мира при решении вопросов социальной и экономической деятельности государств свидетельствует о необходимости обеспечения высоких темпов инновационного развития научно-технического и производственно-технологического потенциалов. В целях обеспечения высокого уровня конкурентоспособности национальной наукоемкой продукции на мировом рынке возникает необходимость в долгосрочном предвидении инновационного развития промышленности, науки и техники как основных составляющих экономики с применением методологии предвидения.

Использование методологии предвидения основывается на выявлении ключевых технологий (критических технологий) и построении будущих сценариев развития исследуемой сложной системы для поддержки принятия решений на уровне руководящих органов государства, отраслей промышленности или отдельных учреждений и компаний в формировании наиболее эффективной научно-технической политики и планировании ее развития [1]. Применение методологии сценарного анализа для решения практических задач предвидения осуществляется, в первую очередь, за счет методов качественного анализа, использование которых требует опыта и знаний экспертов в проведении экспертного оценивания в различных предметных областях при решении задач стратегического планирования и принятия решений.

Основываясь на опыте решения задач предвидения [1], необходимо отметить, что многофакторная, многопараметрическая, разнородная и слабо структурированная информация исследуемой предметной области (ПО), используемая на разных этапах процесса предвидения, приводит к сложностям, связанным с форматом представления знаний, построением опросных форм, обработкой результатов и согласованным управлением процессом предвидения в целом. Для эффективной реализации процесса сценарного анализа целесообразно в режиме on-line разрабатывать автоматизированные инструменты извлечения знаний, согласованное распределение потоков данных их обработки, средства углубленного анализа изучаемых предметных областей с учетом всех необходимых факторов по исследуемой проблеме. В этой работе, с учетом сказанного, приводится методика построения информационной модели знаний в рамках единого системного подхода [2].

### 1. Информационная модель знаний сценарного анализа

На основе предоставленной заказчиком исходной информации подготавливаются материалы для формализации исследуемой проблемы в целях создания информационной модели знаний как информационного ядра сценарного анализа [1].

Для создания информационной модели знаний целесообразно рассмотреть последовательно ряд взаимосвязанных задач:

- построение дерева целей;
- контекст ситуаций и достижение целей;
- построение базы знаний [3];
- построение информационной модели знаний.

**1.1. Построение дерева целей.** Объект исследования представляется в виде структурной схемы (рис. 1), что позволяет для рассматриваемой предметной области находить эффективные пути решения полного комплекса взаимосвязанных и взаимообусловленных проблем.

Построение дерева целей  $G = \{g_i \mid i = \overline{1, N_G}\}$  выполняется «сверху вниз» с помощью процесса декомпозиции до требуемого уровня формализации (рис. 2).

При построении многоуровневого дерева целей достижение цели каждого из уровней модели обеспечивается выполнением комплекса мер по достижению целей предыдущего уровня с учетом характеристик последующего уровня. Каждый уровень дерева целей должен занимать определенное место в иерархической последовательности, составленной на основе причинно-следственных связей.

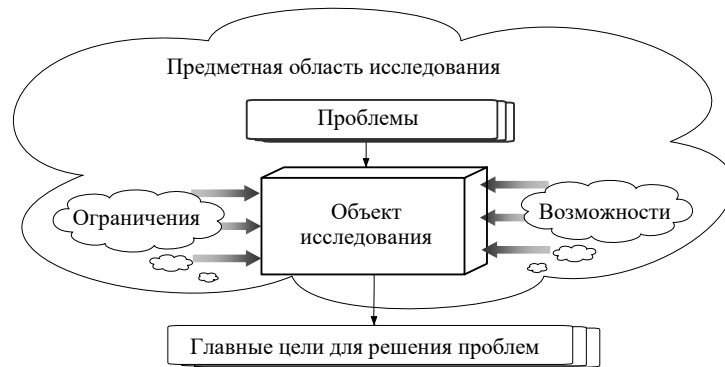


Рис. 1

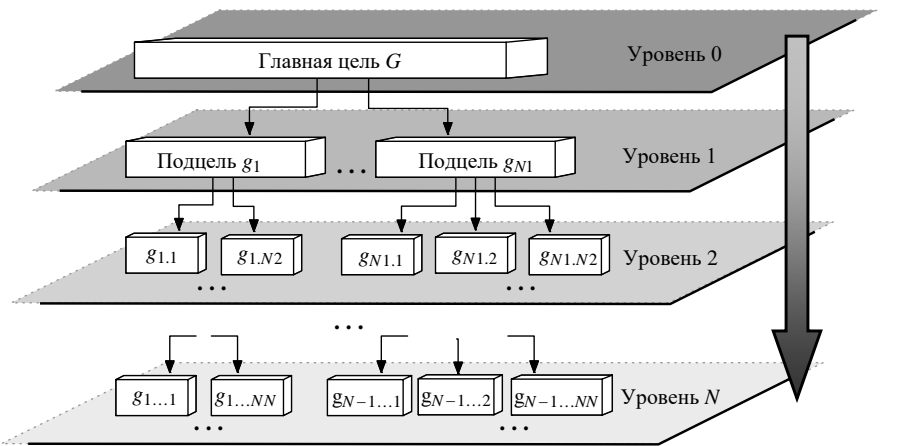


Рис. 2

**1.2. Контекст ситуаций и достижение целей.** Для отображения и учета всех задействованных объектов, их параметров, ролей и взаимосвязей необходимо определить контекст реальной ситуации, в которой находится рассматриваемый объект.

Зафиксируем текущее время  $T_0$ , т.е. начальное состояние объекта, или для случаев невозможности фиксации состояния объекта в определенный момент времени зафиксируем некоторый промежуток времени  $T_0 = [t_{01}; t_{02}]$ . Под пространством  $S_0$  понимаем ПО или физическое местонахождение главного объекта цели в фиксированное время  $T_0$ . Каждый объект  $O_{g_i}$  пространства  $S_0$  характе-

ризуется множеством показателей  $P_{g_i j}$ , значения которых формируют его состояние  $C(O_{g_i})$ . Зафиксируем состояние  $C(O_{g_i})_0$  объекта  $O_{g_i}$  цели исследования  $g_i$  в определенный промежуток времени  $T_0$  в пространстве  $S_0$ . В терминах объектов, показателей и внешних условий, которые зафиксированы во времени и пространстве исследования, контекст ситуации можно представить графически (рис. 3).

Каждая цель каждого уровня дерева целей  $G = \{g_i | i = 1, N_G\}$  (см. рис. 2) включает объект  $O_{g_i}$ , перечень изменений значений одного или нескольких его показателей  $P_{g_i j}$ , которые отвечают за достижение рассматриваемой цели (рис. 4).

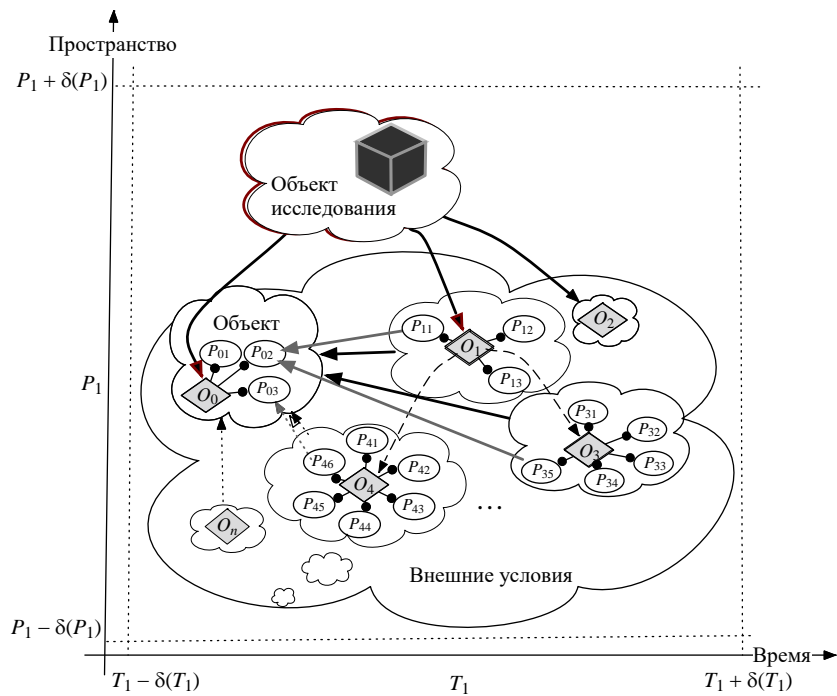


Рис. 3

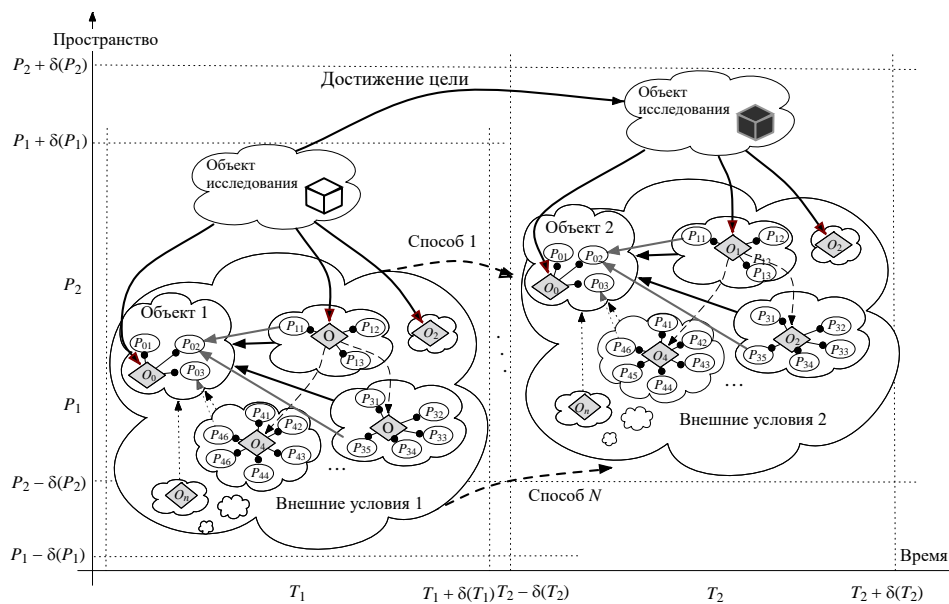


Рис. 4

Таким образом, процесс описания вариантов достижения цели — это процедура описания реального контекста ситуации, в которой находится рассматриваемый объект, желаемого контекста ситуации — конечной цели исследования и совокупности последовательных вариантов переходов между ними, которые в свою очередь формируют альтернативы сценариев.

Каждый показатель  $P_{g_i j}$  характеризуется минимально  $V_{\min}(P_{g_i j})$  и максимально  $V_{\max}(P_{g_i j})$  допустимыми значениями и единицами измерения  $M_{g_i j}$ . Каждую цель  $g_i$  можно представить в виде структуры со следующими составляющими:  $O_{g_i}$  — объект рассматриваемой цели;  $P_{g_i j}$  — показатель объекта цели, изменение которого указывает на достижение цели;  $M_{g_i j}$  — единицы измерения объекта цели;  $V_{\min}(P_{g_i j})$  — минимальное значение показателя объекта;  $V_{\max}(P_{g_i j})$  — максимальное значение показателя объекта;  $V_{t_0}(P_{g_i j})$  — значение показателя объекта в начальный момент времени  $t_0$ ;  $V_{t_x}(P_{g_i j})$  — желаемое значение показателя объекта в будущем времени  $t_x$ , достижение показателем которого будет свидетельствовать о достижении цели;  $E(P_{g_i j})$  — эффект, получаемый при изменении показателя объекта с условием достижения желаемого значения.

**1.3. Построение базы знаний.** Стратегически важным этапом при построении информационной модели знаний является этап создания структурированной базы знаний. На основе исходной информации с учетом построенного дерева целей рабочая группа проводит процедуру структурирования предметной области. На данном этапе формализации информации центральные позиции занимает поле знаний — условное неформальное описание главных сущностей построенного дерева целей, взаимосвязей между ними, заданных в виде семантической модели, которая в данном случае представлена фреймовой сетью, т.е. комбинацией фреймов и семантических ролей [4]. Под «сущностью» будем понимать объекты различной природы, например процессы, действия, сценарии, критические технологии и другие, которые выделяет аналитик, анализируя предметную область, объект, цели, ограничение исследования и т.д. [5, 6].

Поле знаний можно представить в виде архитектуры (рис. 5), состоящей из конечных наборов разрезов и соответствующих уровней [3].

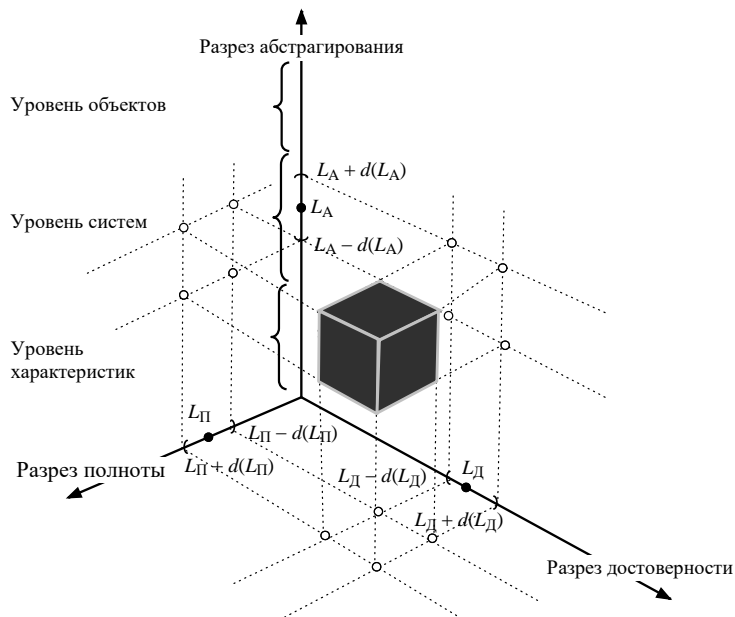


Рис. 5

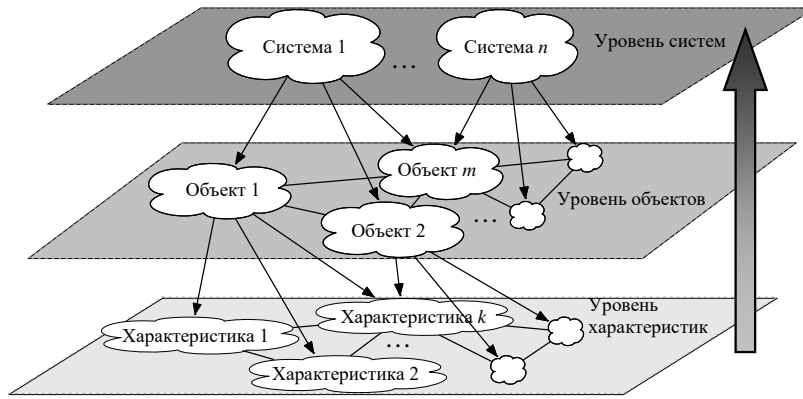


Рис. 6

Разрезы и уровни архитектуры, их количество и содержание должны определяться целями, ограничениями и условиями создания фреймовой сети. Таким образом, каждую сущность поля знаний в каждом разрезе можно отнести к определенному уровню с некоторым допуском (рис. 6).

Описание базовых сущностей формирует фундамент для представления более сложных сущностей, например сценариев будущего, объекта исследования и т.д.

На рис. 7 схематически представлен процесс формирования двух альтернатив сценария будущего в поле знаний, которые выходят из начальной точки отсчета, но в определенные промежутки времени могут пересекаться.

Архитектура поля знаний является концептуально необходимой составляющей процедуры описания сущностей аналитиком, в результате применения которой обеспечивается однородность связей в топологии фреймовой сети, что является преимуществом в эффективном представлении, обработке и хранении знаний с использованием компьютерных средств. Более детальный алгоритм процедуры построения базы знаний представлен в работе [3].

Рассмотрим некоторые приемы анализа связей и сущностей в построенной базе знаний. Пусть  $\|W_{R_i}\|$  — мощность множества связей типа  $R_i$ , где множество  $W_{R_i}$  определяется следующим образом:  $W_{R_i} = \{R_i | S_k R_i S_j, k, j = \overline{1, N_{P_i}}\}$ .

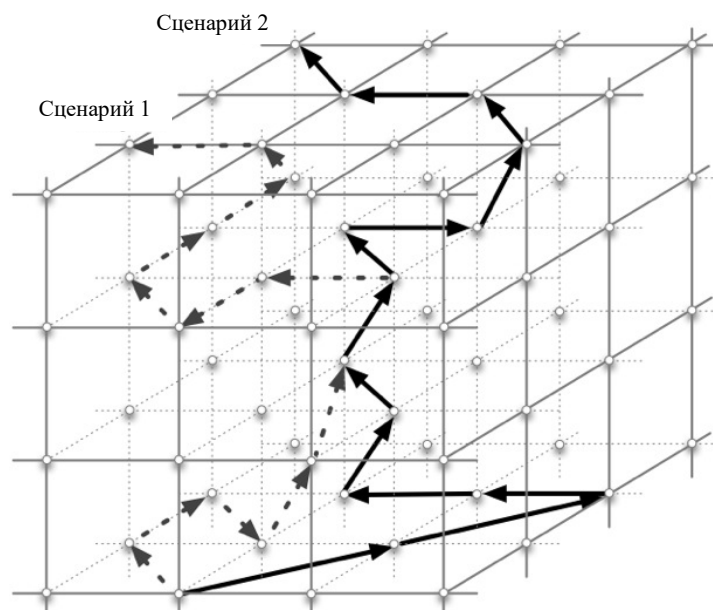


Рис. 7

Зададим взвешенную степень значимости связи по типу как отношение  $\|W_{R_i}\|$  к  $\|R\|$  — мощности множества всех связей:  $\tilde{W}_{R_i} = \frac{\|W_{R_i}\|}{\|R\|}$ .

Взвешенная степень значимости сущности  $\tilde{W}_{R_i}$  принимает значения из интервала  $[0;1]$ . Таким образом, сумма всех степеней значимости  $\sum_{i=1}^{N_R} \tilde{W}_{R_i} = 1$ .

Отметим, что чем больше в описании базы знаний используется связей определенного типа, тем больше становится взвешенная степень значимости относительно главных характеризующих связей исходной сущности [3]. Таким образом, некоторые типы связей, например «имеет показатель», «имеет составляющую», «имеет тип» и т.д., в практических исследованиях имеют наибольшие значения взвешенных степеней значимости и выступают в роли не достаточного, но необходимого набора типов связи для описания сущности главными характеризующими сущностями [3]. Практическое применение степеней значимости по типу связи может использоваться в определении дистанции между сущностями, в ранжировании множества связей по их значимости в целях выявления, например, основной информации о сущности и т.д.

Однако существует пороговое значение степени значимости для каждого отдельного типа связи, при превышении которого наступает эффект перенасыщения фреймовой сети соответствующей связью. В этом случае связь не только теряет свою значимость, но и из статуса важного переходит в статус общепринятого, например «это объект», «это действие» и т.д.

Представим взвешенную степень значимости сущности как отношение суммы произведений  $\|W_{R_i}\|$  и степеней значимости связей  $\tilde{W}_{R_i}$  к двойной мощности множества всех связей  $\|Q_R\|$ :

$$\tilde{W}_{S_i} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{P_i}} \|W_{R_j(S_i)}\| \tilde{W}_{R_j}}{2\|Q_R\|}.$$

Взвешенная степень значимости сущности используется для выявления наиболее значимых узлов в базе знаний, на которые следует обратить внимание, а также с целью выявления критических технологий.

#### 1.4. Построение информационной модели знаний сценарного анализа.

Практической реализацией информационной модели, которая представлена в памяти ПК в виде базы знаний и поля знаний, является модель, построенная на семантической сети с использованием фреймовых структур.

Общая модель знаний имеет следующий вид [3]:  $M = \langle F, R, P \rangle$ , где  $F = \{F_i | i = \overline{1, N_F}\}$  — множество фреймов;  $R = \{R_i | i = \overline{1, N_R}\}$  — множество семантических ролей;  $P = \{P_i | i = \overline{1, N_P}\}$  — конечное множество отношений между фреймами с использованием соответствующих семантических ролей, где  $P_i$  определяется следующим образом:  $P_i = \{F_i R_{ij} F_j | j = \overline{1, N_{P_i}}\} \quad \forall i = \overline{1, N_P}$ .

| Фрейм          |     |          |                   |         |
|----------------|-----|----------|-------------------|---------|
| Название слота | Тип | Значение | Единицы измерения | Функция |
| Слот 1         |     |          |                   |         |
| Слот 2         |     |          |                   |         |
| Слот 3         |     |          |                   |         |

Рис. 8

Структура фрейма, состоящая из множества слотов, каждый из которых имеет название, тип, значение, единицы измерения и функцию вычисления его значения, связанного с другими фреймами или информацией их слотов, представлена на рис. 8.

На базе приемов искусственного интеллекта в рамках фиксированного контекста ситуации рассмотрим информационную модель прототипов фреймов предметной области изучаемого объекта, которая с учетом контекста ситуаций, возможностей и ограничений, накладываемых на архитектуру поля знаний и структурированную базу знаний, ориентирована на решение задач предвидения с учетом понятий и особенностей процесса в режиме on-line (рис. 9).

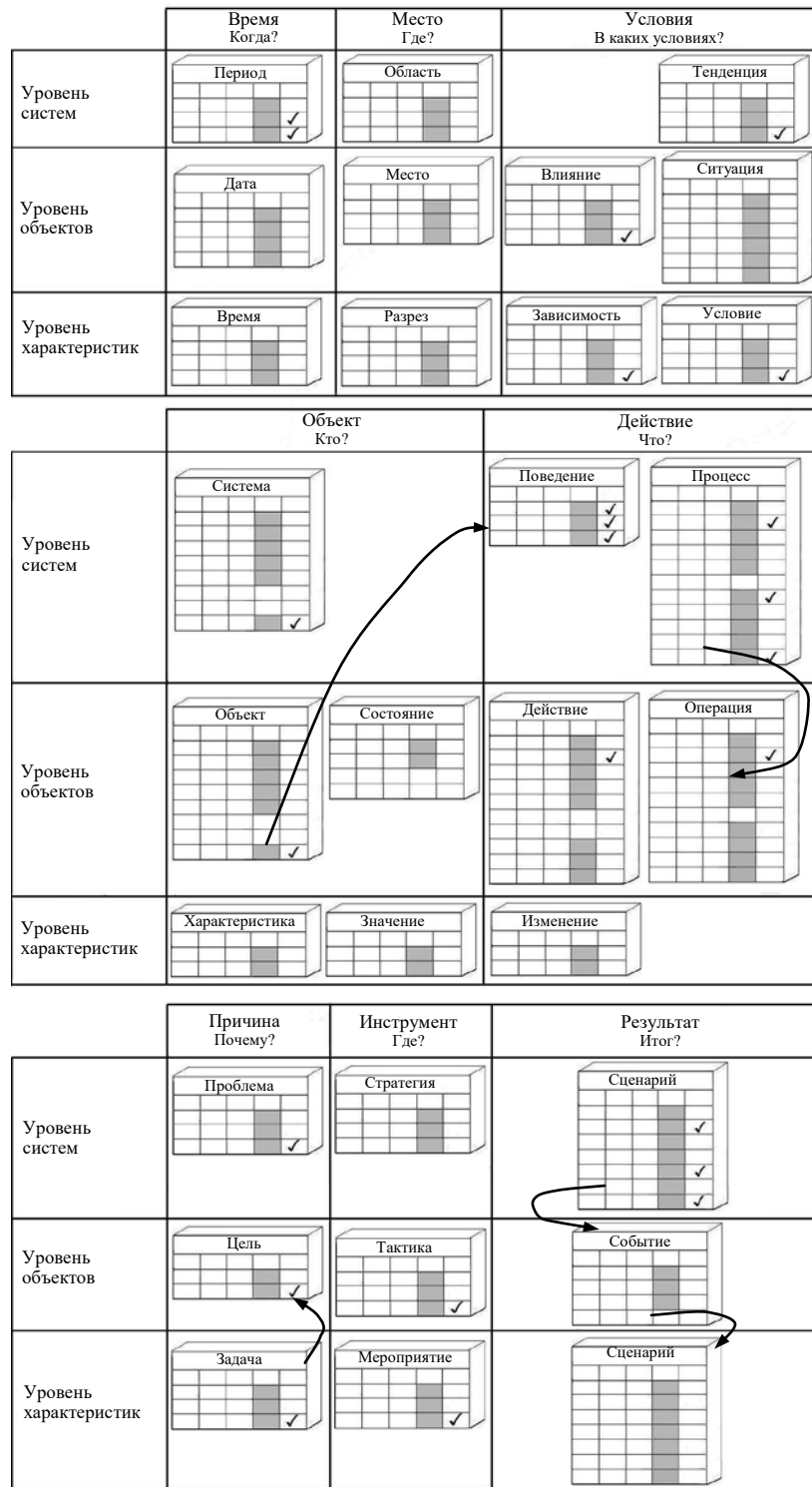


Рис. 9

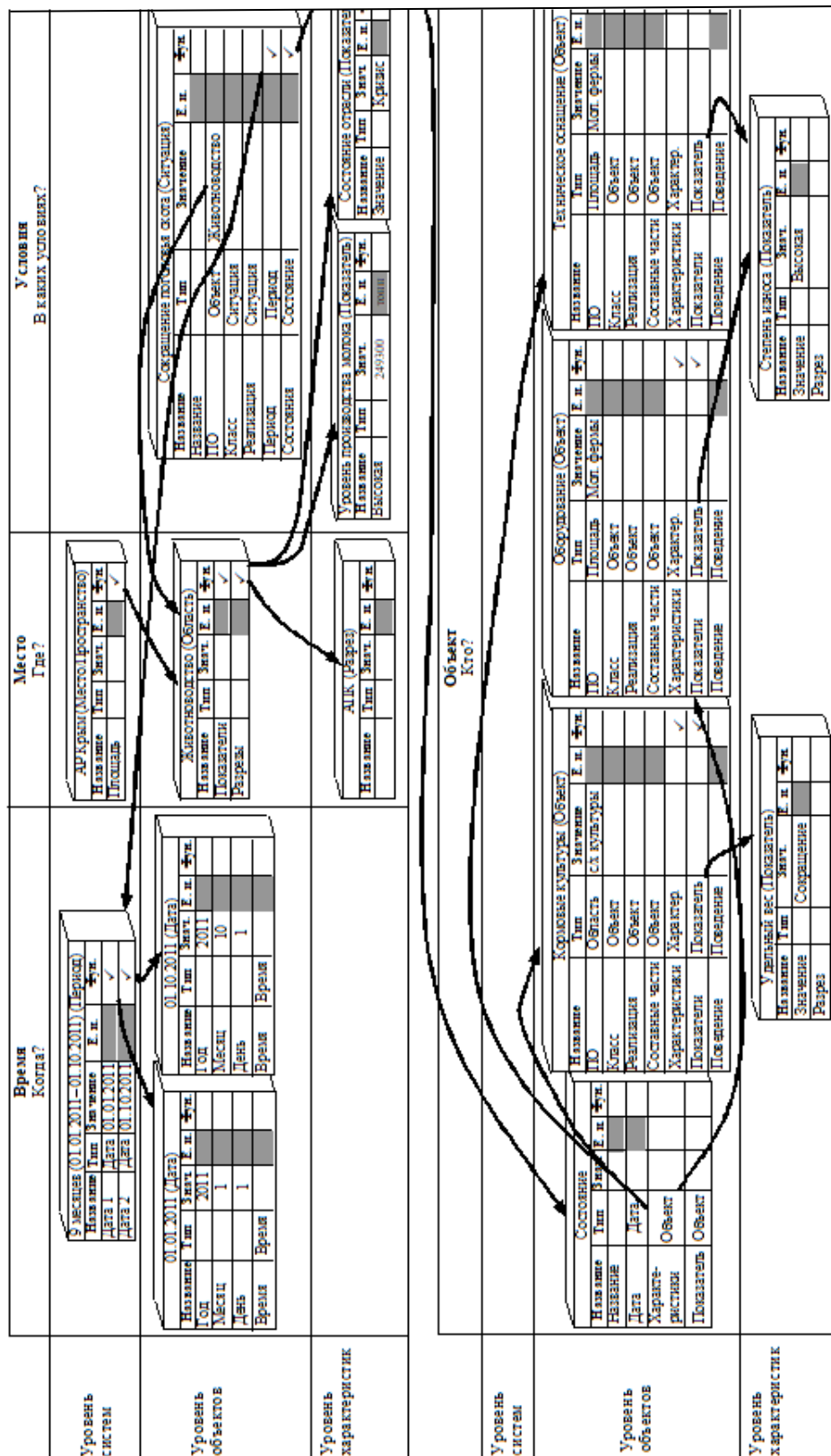


Рис. 10



Информационная модель прототипов фреймов представлена в разрезе абстрагирования с уровнями характеристик, объектов и систем, что дает возможность описывать на соответствующих уровнях взаимосвязанные сущности (см. рис. 6), представленные в виде фреймов (см. рис. 8). На каждом из уровней данные сущности образуют в своей совокупности взаимосвязанные контексты ситуаций (см. рис. 3), которые описывают время, место, условия, объект, действие, причину, инструмент и полученный результат, что соответствует ответам на вопросы «Когда?», «Где?», «В каких условиях?», «Кто?», «Что?», «Почему?», «Как?», «Итог?».

Таким образом, мы имеем возможность проследить развитие ситуации или альтернатив сценариев во времени на каждом из уровней. Фреймовый подход к построению моделей альтернатив сценариев формирует квазидинамическую систему управления знаниями, которая фиксирует значения показателей в определенные промежутки времени и позволяет построить сеть переходов для создания альтернатив сценариев будущего в соответствии с поставленными целями исследования [7].

## 2. Построение информационной модели ситуации АПК АР Крым

На основе предложенного подхода к построению информационной модели технологического предвидения с учетом построенной базы знаний для агропромышленного комплекса (АПК) АР Крым рассмотрим построение фрагмента информационной модели сценарного анализа на примере ситуации отрасли животноводства предметной области АПК АР Крым (рис. 10, где Знач. — значение, Е.и. — единицы измерения, Фун. — функция).

По состоянию на 1 октября 2011 года отрасль животноводства находилась в состоянии кризиса. За 9 месяцев 2011 года во всех категориях хозяйств наблюдалось сокращение поголовья коров и снижение валового производства молока [8].

Основными причинами кризиса стали устаревшее молочное оборудование и техническое оснащение молочных ферм, убыточность отрасли, сокращение удельного веса кормовых культур в общей посевной площади и т.д., что в свою очередь представлено соответствующими фреймами и их взаимосвязями на рис. 10.

### Заключение

В условиях стремительного развития инновационных технологий применение системного подхода для решения задач предвидения является необходимой составляющей для эффективного сопровождения процесса предвидения [7].

Информационная модель знаний является гибким инструментарием для построения, представления и анализа альтернатив сценариев развития будущего в наглядном для аналитика виде в целях дальнейшего анализа и соответствующих рекомендаций для помощи в принятии решения лицу, принимающему решение (ЛПР).

Совместное применение фреймов и семантических сетей дает преимущества в описании объектов, процессов, ситуаций и сценариев в базе знаний с временно-пространственным измерением и представлением каждого из них в виде цельной структуры — фрейма. Установление прямых и обратных связей между сущностями с помощью других сущностей повышает уровень восприятия информации аналитиком, обеспечивает удобное машинное представление для последующего анализа и предотвращает нарушения структурной однородности и целостности базы [3].

Архитектурный подход к представлению поля знаний в виде фреймовой сети позволяет выполнить масштабирование объектов до соответствующих уровней, благодаря чему появляется возможность сопоставлять их и сравнивать между собой по различными разрезам [3]. Представление уровневой архитектуры по принципу абстрагирования поля знаний дает возможность перейти от линейного плоского формирования сложных сущностей к более простым, что позволяет формировать упорядоченную иерархическую структуру знаний с учетом особенностей процесса предвидения.

*Н.Д. Панкратова, Л.Ю. Малафеева*

## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗНАНЬ СЦЕНАРНОГО АНАЛІЗУ

Запропоновано інформаційну модель знань у вигляді гнучкого інструментарію для побудови, представлення та аналізу альтернатив сценаріїв розвитку майбутнього в наочному для аналітика вигляді з метою подальшого аналізу та відповідних рекомендацій для підтримки прийняття рішення ОПР. Для ефективної реалізації процесу сценарного аналізу в режимі on-line розроблено автоматизовані інструменти вилучення знань, узгоджений розподіл потоків даних їх обробки, засоби поглибленого аналізу досліджуваних предметних областей.

*N.D. Pankratova, L.Yu. Malafeeva*

## KNOWLEDGE INFORMATION MODEL OF SCENARIO ANALYSIS

The knowledge information model is a flexible toolkit for building, reporting and analysis of scenarios alternatives of the future in the visual for the analyst form with the purpose of further analysis and appropriate recommendations for decision making support of the DMP. In order to effectively implement the process of scenario analysis in on-line mode the automated means of knowledge extraction are developed as well as coordinated distribution of data flows of processing data and means of deep analysis of the studied subject areas.

1. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Технологическое предвидение // Учебно-научный комплекс «Институт прикладного системного анализа» НТУУ «КПИ». — Киев : Политехника, 2005. — 165 с.
2. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Информационная платформа сценарного анализа в задачах технологического предвидения // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 4. — С. 112–125.
3. *Малафеева Л.Ю.* Розробка структурованої бази знань для розв'язання задач з технологічного передбачення // Наук. вісті НТУУ «КПИ». — 2009. — № 6. — С. 61–68
4. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб. : Питер, 2000. — 384 с.
5. *Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А.* Толковый словарь по искусственному интеллекту. — М. : Радио и связь, 1992. — 256 с.
6. *Искусственный интеллект: В 3 т. / Под ред. В.Н. Захарова, Э.В. Попова, Д.А. Поспелова, В.Ф. Хорошевского.* — М. : Радио и связь, 1990. — Т. 1. — 464 с.; Т. 2. — 304 с.; Т. 3. — 368 с.
7. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Системный анализ. Проблемы, методология, приложения. — Киев : Наук. думка, 2011. — 728 с.
8. *Официальный портал главного управления статистики в АР Крым // Социально-экономическое положение Автономной Республики Крым за январь–сентябрь 2011 года.* — 2011. — <http://www.ng.gov.ua/uk/statistic/208-statistic/2760-2011-11-03-07-54-19.html>.

*Получено 22.04.2013*

Статья представлена к публикации членом редколлегии чл.-корр. НАН Украины В.Ф. Губаревым.