

## **Интеллектуальная система поддержки принятия решений по стратегическому инновационному развитию энергетической инфраструктуры**

*Л.В. Массель*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский Государственный университет

### **Киберфизические системы (CPS)**

Термин CPS был предложен в 2006 г., сейчас CPS включены в приоритетные списки инноваций США и ряда европейских стран.

Предшественниками CPS считают встроенные системы реального времени, распределенные вычислительные системы, автоматизированные системы управления техническими процессами и объектами, беспроводные сенсорные сети.

CPS - это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, которые образуют в совокупности единое целое.

Новизна и принципиальное отличие CPS от существующих встроенных систем или АСУ ТП, на которые они похожи внешне, состоит в том, что CPS интегрируют в себе кибернетическое начало, компьютерные аппаратные и программные технологии, а также качественно новые исполнительные механизмы, встроенные в окружающую их среду и способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, самообучаться и адаптироваться.

### **Предпосылки появления CPS**

Технические предпосылки:

1. **рост числа устройств со встроенными процессорами и средствами хранения данных:** сенсорные сети, работающие во всех протяженных технических инфраструктурах; медицинское оборудование; умные дома и т. д.;
2. интеграция, позволяющая достигнуть наибольшего эффекта путем **объединения отдельных компонентов в большие системы: Интернет вещей, World Wide Sensor Net, умные среды обитания (Smart Building Environment),** оборонные системы будущего.

Помимо технических предпосылок, в числе причин появления CPS указывают **ограничение когнитивных способностей человека**, которые эволюционируют медленнее, чем машины, и непременно наступает момент, когда они уже не в состоянии справиться с объемом информации, требуемой для принятия решений, и какую-то часть действий нужно передать CPS, выведя человека из контура управления (human out of loop).

В то же время в ряде случаев **CPS могут усилить аналитические способности человека**, поэтому есть потребность в создании интерактивных систем нового уровня, сохраняющих человека в контуре управления (human in the loop).

### **CPS в отечественной энергетике**

Одной из сфер развития и применения CPS, наряду с «умным производством» и «умным транспортом», считают **«умное энергоснабжение», или Smart Power Grid.** Нынешние энергосистемы лишь условно можно назвать киберфизическими - они создавались в то время, когда господствовало расточительное отношение к энергии, а средства связи были достаточно примитивны. Тем не менее, существующие системы регулирования уже включают элементы CPS, поскольку они обеспечивают динамическое управление генерирующими мощностями в соответствии с неподконтрольными и переменными во времени нагрузками. Пока еще не все задачи комплекса автоматизированы и решаются операторами, которые руководствуются собственным опытом оценки данных, получаемых по каналам обратной связи.

### **Проблема построения интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике**

В настоящее время все большее внимание привлекают задачи управления сложными динамическими объектами. К ним относятся современные летательные аппараты, силовые и энергетические установки, мобильные роботы и др. Для них характерны отсутствие точных математических моделей либо их чрезмерная сложность, высокая размерность пространства состояний и принимаемых решений по управлению, иерархичность, многообразие критериев

качества, высокий уровень шумов и внешних возмущений. Очевидно, что для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления становится все более актуальным применение методов ситуационного управления, основанных на интеллектуальных технологиях. В энергетике изложенный подход развивается, под руководством авторов, в рамках направления, связанного с созданием интеллектуальных энергетических систем (ИЭС) (Smart Power Grid)

### Определение критической инфраструктуры

- Критической инфраструктурой называется часть гражданской инфраструктуры, представляющая собой совокупность физических или виртуальных систем и средств, важных для государства в такой мере, что их выход из строя либо уничтожение может привести к губительным последствиям в области обороны, экономики, здравоохранения и безопасности нации.
- В исследованиях критических инфраструктур большое внимание уделяется выявлению ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также в оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков.
- Под энергетической инфраструктурой, которую относят к критически важным инфраструктурам, понимают совокупность энергетических объектов и систем энергетики, включая энергетические транспортные магистрали.

### Проблемы исследований критических инфраструктур

- Одной из основных трудностей при выявлении ключевых объектов критической инфраструктуры является отсутствие четкого математического аппарата, что не позволяет сформировать количественные показатели уязвимости объектов.
- В основе большинства подобных исследований лежит метод экспертных оценок, предусматривающий обязательное наличие информации о возможном ущербе «эталонного объекта» или разработку специальной шкалы факторов рискованности («небезопасности») таковых.
- Предлагается для выявления критически важных объектов использовать концепцию ситуационного управления и семантического моделирования для анализа критических ситуаций, потенциально возможных для этого объекта

### Современная трактовка ситуационного управления

Под текущей ситуацией  $C$  понимается совокупность текущего состояния объекта (вектор состояния  $X$ ) и его внешней среды (вектор возмущений  $F$ ). Тогда  $C = \langle X, F \rangle$ . Вводится понятие полной ситуации:  $S = \langle C, G \rangle$ , где  $C$  – текущая ситуация,  $G$  – цель управления. В свою очередь, цель управления  $G$  может быть представлена в виде целевой ситуации  $Gg$ , к которой должна быть приведена имеющаяся текущая ситуация. Тогда  $S = \langle C, Gg \rangle$ . Полагая, что текущая ситуация  $C$  принадлежит некоторому классу  $Q'$ , а целевая (заданная) ситуация  $Gg$  – классу  $Q''$ , ищется такое управление (вектор управляющих воздействий  $U$ ), которое принадлежит множеству допустимых управлений  $\Omega_u$  и обеспечивает требуемое преобразование одного класса ситуаций в другой:

$$C \in Q' \xrightarrow{U \in \Omega_u} Gg \in Q'' \quad (1)$$

### Онтологический инжиниринг

Онтологический инжиниринг включает выявление

- основных классов сущностей (базовых понятий) в описании реальных взаимодействующих процессов,
- отношений между этими классами, а также
- совокупности свойств, которые определяют их изменение и поведение во взаимодействии.

Целями онтологического инжиниринга являются:

- повышение уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений,

- повышение эффективности информационного поиска,
- предоставление возможности совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний.

Метаонтология ситуационного управления представлена на рис. 1.

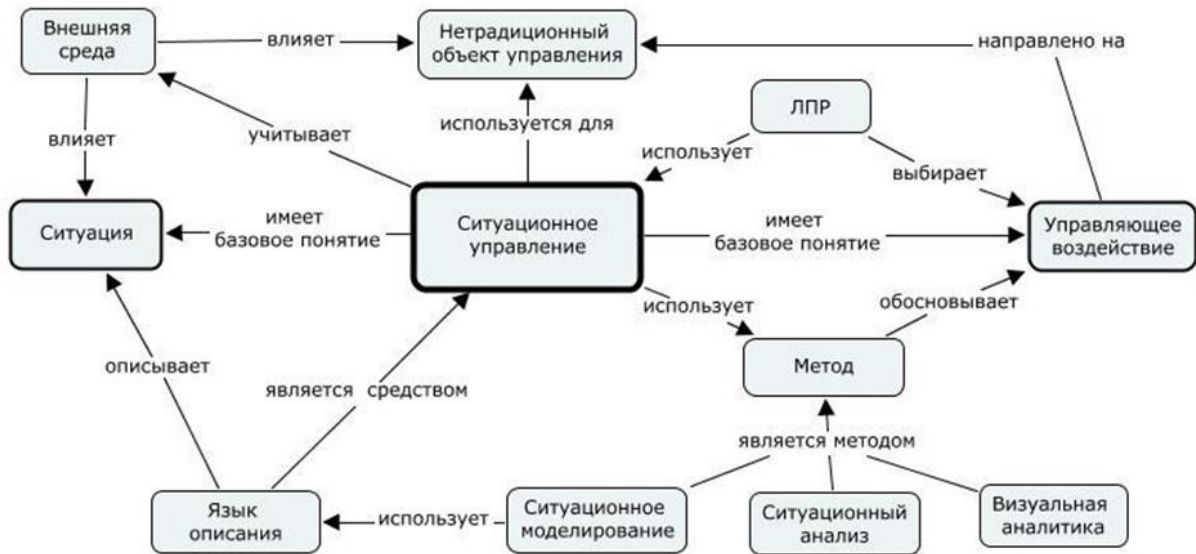


Рис. 1. Метаонтология ситуационного управления

Метаонтология пространства знаний для ситуационного управления в энергетике представлена на рис. 2.

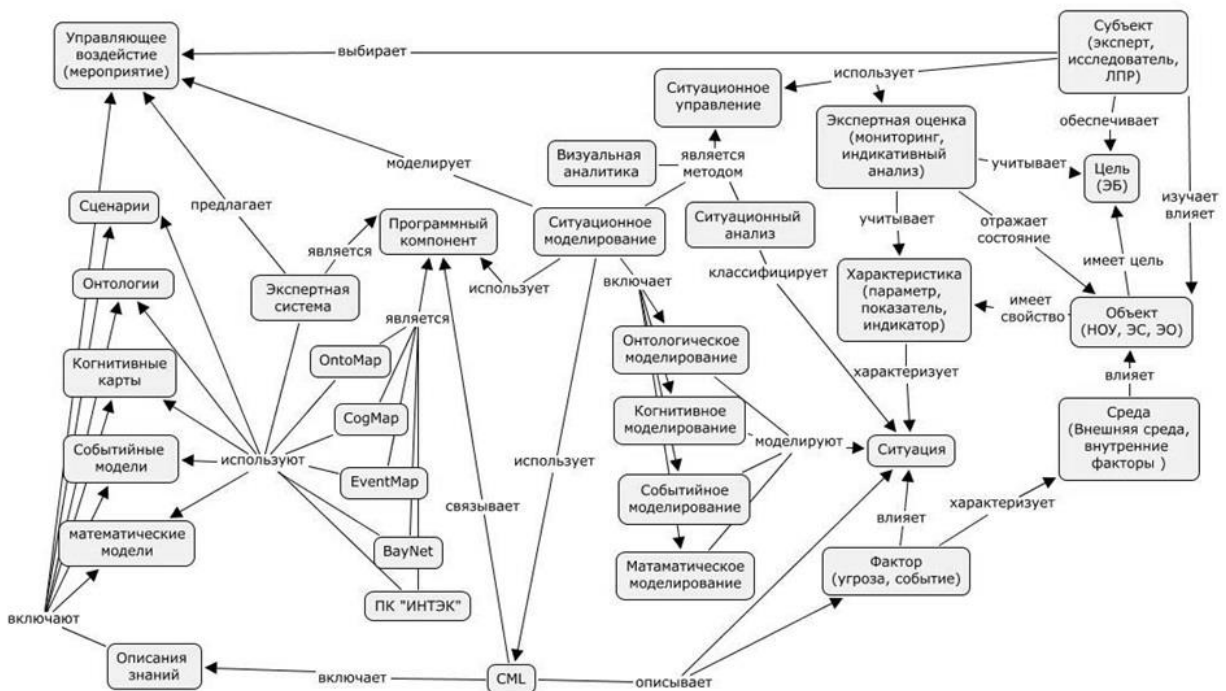


Рис. 2. Метаонтология пространства знаний для ситуационного управления в энергетике

Онтология ситуационного анализа представлена на рис. 3.

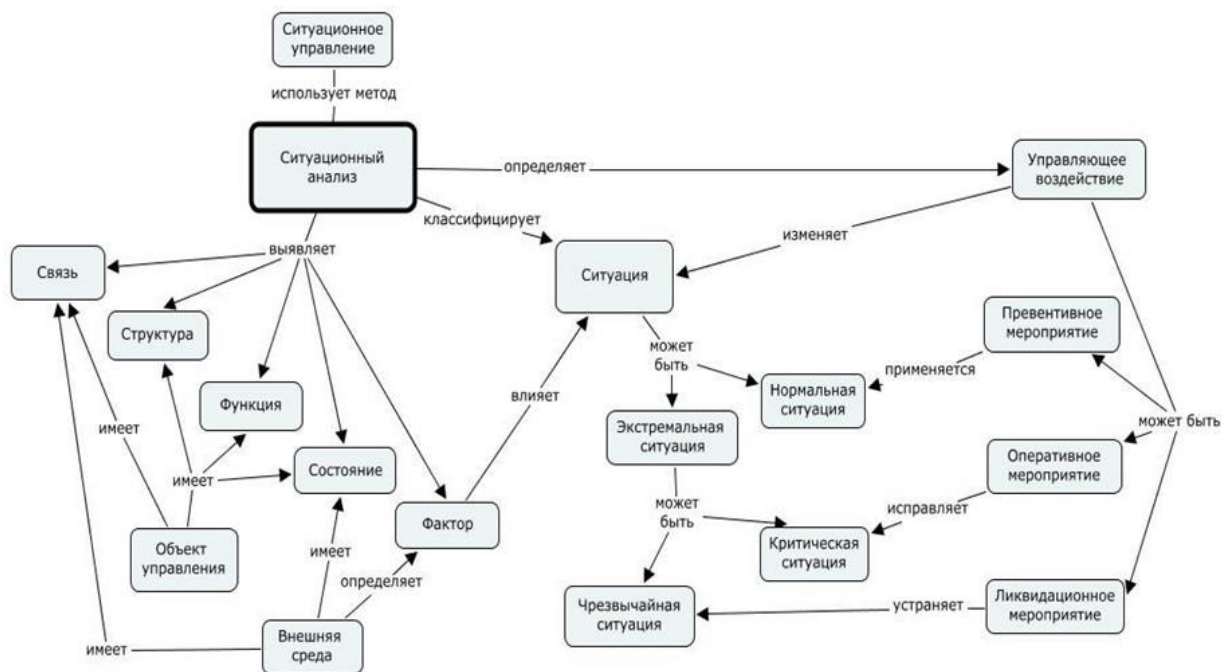


Рис. 3. Онтология ситуационного анализа

### Семиотика – наука о знаках

- Семиотика - это наука, исследующая свойства знаков, знаковых и символических систем, используемых в процессе коммуникации. В настоящее время в мире она активно развивается.
- В 2014 г. состоялся 12-й Всемирный конгресс по семиотике (Болгария, София), в котором принимали участие более 600 человек. Рассматривались всевозможные приложения семиотики в самых различных предметных областях.
- Отмечалось недостаточное распространение семиотики в технических областях, а точнее, практическое отсутствие таких работ.

### Семиотическая модель (Д.А.Поспелов [2])

Семиотическая модель лежит в основе метода ситуационного управления.

Определение 1. Формальной моделью называется четверка

$$M = \langle T, B, A, R \rangle$$

где  $T$  – множество базовых элементов,

$B$  – синтаксические правила,

$A$  – система аксиом,

$R$  – семантические правила.

Семиотической моделью называется модель

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_B, \chi_A, \chi_R \rangle \quad (2)$$

где  $\chi_T, \chi_B, \chi_A, \chi_R$  – соответственно, правила изменения  $T, B, A, R$ .

### Семиотическая модель (Поспелов, Осипов [3])

Семиотическую модель можно определить как восьмерку:

$$W = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle, \quad (3)$$

где

$T$  - множество основных символов;

$R$  - множество синтаксических правил;

$A$  - множество знаний о предметной области;

$P$  - множество правил вывода решений (прагматических правил);

$\tau$  - правила изменения множества  $T$ ;

$\rho$  - правила изменения множества  $R$ ;

$\alpha$  - правила изменения множества  $A$ ;  
 $\pi$  - правила изменения множества  $P$ .

### **Семиотическая модель**

Подобное название связано с тем, что в отличие от формальных моделей, в которых элементы, образующие множество  $T$ , обладают жестким синтаксисом, жесткой семантикой и жесткой прагматикой, в модели  $S$  все эти свойства элементов  $i$  становятся доступными для изменения. Но именно такой особенностью обладают знаки – элементы знаковых, или семиотических систем, изучаемых в семиотике. Такие системы тесно связаны со всей человеческой деятельностью. Именно изменчивость и условность знаков делают эту деятельность эффективной.

### **Семантическое моделирование**

В обобщенном виде семантическая модель – это информационная модель, отражающая понятия предметной области и отношения между ними. К ним относят онтологии, инфологические модели данных (модель «сущность-связь»), семантические сети.

В настоящее время семантическое моделирование развивается в одном из трендов направления «Семантические технологии», а именно «Семантические технологии в приложениях» [4]

В работах коллектива, возглавляемого автором, к семантическим моделям относятся онтологические, когнитивные, событийные и вероятностные (на основе Байесовских сетей доверия) модели [5].

### **Семантическое моделирование как современная трактовка семиотического подхода**

Учитывая, что наличие факторов неопределенности усложняет адекватную оценку состояния объекта и среды, авторами предложено использовать семантические технологии ситуационного анализа и моделирования, к которым отнесены **онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное** моделирование.

**По сути дела, семантическое моделирование предлагается рассматривать как одно из направлений семиотического моделирования, в котором преобладает графическое представление разрабатываемых моделей, с элементами когнитивной графики.**

### **Когнитивная графика**

Термин «когнитивная графика» был введен в российской науке А.А. Зенкиным в 90-х гг. прошлого столетия и первоначально связывался с новыми возможностями визуализации результатов научных исследований, обусловленными появлением новых графических средств персональных компьютеров [6]. Впоследствии было осознано, что графические образы могут активизировать ассоциативную логику подсознательных процессов мышления человеческого мозга, что позволяет с помощью когнитивной графики быстро находить оригинальные и зачастую неожиданные решения.

А.А. Зенкиным в его работах было успешно продемонстрировано, что когнитивная графика также может использоваться для иллюстрации и поиска математических решений.

### **Язык ситуационного управления**

Постановка задачи, связанной с описанием ситуаций, а также структуры и функционирования объекта управления: найти такой способ естественно-языкового описания необходимой информации, который позволял бы реализовать основные процедуры ситуационного управления: классификацию, корреляцию (соотнесение с помощью ЛТП описания ситуаций с одношаговыми решениями), экстраполяцию [2].

### **Ситуационное управление стратегическим развитием энергетических систем**

Поскольку авторы работают в области, связанной с энергетической безопасностью (ЭБ), ситуационное управление в данном контексте рассматривается как управление в условиях экстремальных ситуаций в энергетике (Contingency Management). Под экстремальными ситуациями (ЭКС) понимаются как критические, так и чрезвычайные ситуации, в соответствии со шкалой «норма – предкризис – кризис», причем большее внимание уделяется именно

критическим ситуациям. Первоочередная область приложения – ситуационное управление стратегическим развитием энергетических систем и ТЭК в целом с учетом требований энергетической безопасности.

### **Общее описание языка ситуационного управления CML**

Предлагается использовать язык ситуационного управления CML для нескольких целей:

- 1) язык описания знаний и манипулирования знаниями;
- 2) инструмент классификации ситуаций («норма», критические ситуации, чрезвычайные ситуации);
- 3) средство вызова соответствующих инструментальных средств семантического моделирования, модулей отображения (для перехода от одного типа моделей к другому); средство инициации ЭС для установления соответствия между ситуациями и управляющими воздействиями; средство обращения к геокомпоненту для 3D-геовизуализации результатов моделирования.
- 4) средство взаимодействия с Репозитарием (хранение баз знаний и семантических моделей, поиск и извлечение)

### **Разработка языка ситуационного управления CML (contingency management language)**

С помощью ФС-модели можно представить язык ситуационного управления как пятерку  $L = (C, G, E, U, F)$ , где  $\{C\}$  и  $\{G\}$  - описания исходных и целевых ситуаций,  $\{E\}$  – сценарии ЭкС,  $\{U\}$  - описания управляющих воздействий (событий),  $\{F\}$  - описания отображений. В соответствующей ФС-модели могут быть выделены слои как исходных и целевых ситуаций  $C$  и  $G$ , так и  $E$  – сценариев ЭкС. Управляющие воздействия  $U$  могут быть описаны как события, образующие отдельный слой. Отображения  $F$  есть не что иное, как наложение сценариев  $E$  на исходные ситуации  $C$ , порождающие «переходные» ситуации  $P$ , а также воздействие управляющих воздействий  $U$  на «переходные» ситуации  $P$ , с тем чтобы перевести их в целевые (безопасные) ситуации  $G$ . Соответственно язык ситуационного управления должен включать две составляющих ( $D, M$ ): средства *описания знаний*  $D$  (для описания ситуаций, сценариев, управляющих воздействий), и средства *манипулирования знаниями*  $M$  (для поддержки отображений).

### **CML как элемент системы семиотического типа**

Таким образом, CML рассматривается как надстройка над существующей версией Ситуационного полигона, или, скорее, оболочка (shell) и выполняет функции как создания и пополнения баз знаний, так и функции интеграции всех компонентов Ситуационного полигона, что, по сути дела, и превращает Ситуационный полигон в *интеллектуальную систему управления семиотического типа*, поскольку именно с помощью CML можно описывать правила изменения компонентов формальной модели, приведенной выше: множества основных символов  $T$ ; множества синтаксических правил  $R$ ; множества знаний о предметной области  $A$ ; множества правил вывода решений (прагматических правил)  $P$ .

### **Заключение**

- 1) Рассмотрены некоторые направления инновационной энергетики: CPS и Smart Grid
- 2) Рассмотрено понятие критических инфраструктур и обосновано применение концепции ситуационного управления для выявления критически важных объектов на основе анализа возможных критических ситуаций
- 3) Выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления
- 4) Рассмотрена трактовка семиотического подхода по Поспелову и предложено рассматривать семантическое моделирование как одно из направлений семиотического подхода.
- 5) Предложена реализация семиотического подхода с использованием авторских инструментальных средств семантического моделирования и экспертных систем.
- 6) Рассмотрено общее описание языка ситуационного управления CML, как инструмента построения интеллектуальной системы семиотического типа

### Литература

1. *Черняховская Л.Р., Федорова Н.И.* Ситуационный подход к управлению взаимодействием сложных процессов на основе онтологического инжиниринга /Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть III.- Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015.-261 с.
2. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика, М.: Наука. - Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, - 288 с.
3. *Поспелов Д.А., Осипов Г.С.* Прикладная семиотика //Новости искусственного интеллекта №1, 1999
4. *Хорошевский В.Ф.* Семантические технологии: ожидания и тренды/ Труды II Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем». -Беларусь, Минск: БГУИР, 2012.-С. 143-158.
5. *Массель Л.В., Массель А.Г.* Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Материалы III международной научно-технической конференции «OSTIS-2013» – Беларусь, Минск: БГУИР, 2013. – С. 247-250.
6. *Зенкин А.А.* Когнитивная компьютерная графика. – М.: Наука. 1991. 188 с.