

УДК: 004.896 + 519.682.6

## РАЗРАБОТКА ЯЗЫКА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСЧИСЛЕНИЯ СИТУАЦИЙ

Массель Людмила Васильевна

Д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, e-mail: massel@isem.irk.ru

Кузьмин Владимир Русланович

Аспирант, e-mail: kuzmin\_vr@isem.irk.ru

Институт систем энергетики имени Мелентьева, СО РАН, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, д. 130, 664033

**Аннотация.** В статье предлагается использование исчисления ситуаций при создании интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе концепции ситуационного управления. Рассматриваются история развития и основные понятия исчисления ситуаций и ситуационного управления. Построена онтология исчисления ситуаций, интегрирующая базовые понятия исчисления ситуаций и ситуационного управления и иллюстрирующая возможность совместного использования этих концепций.

**Ключевые слова:** исчисление ситуаций, ситуационное управление, интеллектуальная система поддержки принятия решений, ситуационное управление в энергетике.

**Введение.** При рассмотрении проблемы интеллектуальной поддержки принятия решений авторы используют опыт коллектива, который они представляют, в области разработки инструментальных средств поддержки стратегических решений по развитию интеллектуальной энергетики. Тем же коллективом для этих целей развивается и применяется концепция ситуационного управления, предложенная российским ученым Д.А. Поспеловым. Для структурирования знаний и представления знаний в этой области активно используются онтологии.

Авторами выполнено сравнение основных понятий ситуационного управления и исчисления ситуаций, которые ранее совместно не использовались. Сходство базовых понятий позволяет предложить идею интеграции этих подходов. В статье рассматривается возможность применения исчисления ситуаций при реализации одного из основных компонентов Интеллектуальной системы поддержки принятия решений – языка ситуационного управления, а также показывается возможность реализации некоторых отношений данного языка при помощи понятий исчисления ситуаций.

**1. Исчисление ситуаций: история, основные понятия.** Для описания модели мира в 1963 г. Дж. Маккарти предлагает использовать аппарат математической логики и создает исчисление ситуаций – формальный аппарат для построения модели мира и выполнения рассуждений о воздействиях на мир [13]. Дж. Маккарти в исчислении ситуаций использовал следующие основные понятия:

- *Ситуация (situation)* — логическая формула (терм), который описывает полное состояние мира (complete state of the universe) в некоторый момент времени.
- *Флюента (fluent)* — это предикаты или функции, значения которых

изменяются от одной ситуации к другой.

- Переход от одной ситуации к другой осуществляется с помощью специальной флюенты **result**

Назначение исчисления ситуаций – формализация ситуаций, действий и причинно-следственных связей между ними для некоторых систем. Наиболее распространенная область применения исчисления ситуаций – агентное моделирование [12].

Задачи, решаемые с помощью исчисления ситуаций:

- *Задача проектирования* – определение результата выполнения конкретной последовательности действий.
- *Задача планирования* – нахождение последовательности действий, позволяющей достичь определенного результата.

**2. Ситуационное управление.** Термин «ситуационное управление» сформировался в 60-е годы прошлого века. Основателем этого направления по праву считается Д.А. Поспелов. Первоначально использовался термин «модельное управление», эта концепция активно развивалась В.Н. Пушкиным и Д.А. Поспеловым, итоги ее развития были подведены в книге [10]. Затем возник термин «ситуационная модель». С появлением статьи Д.А. Поспелова [9] термин «ситуационное управление» вытесняет все остальные. Наиболее полно концепция ситуационного управления описана Д.А. Поспеловым в [11].

По определению Поспелова Д.А.: «Ситуационное управление – метод управления сложными техническими и организационными системами, основанный на идеях теории искусственного интеллекта; представлении знаний об объекте управления и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей, использовании обучения и обобщения в качестве основных процедур при построении процедур управления по текущим ситуациям, использовании дедуктивных систем для построения многошаговых решений». Вообще, ситуационное управление основано на следующем положении: каждому классу ситуаций, возникновение которых считается допустимым в процессе функционирования системы, ставится в соответствие некоторое решение по управлению.

В современных публикациях [1] ситуационное управление трактуется следующим образом: 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:

$$C \in Q' \xrightarrow{U \in \Omega_u} Gg \in Q''$$

Таким образом, ситуационное управление выступает как отображение:

$$(Q', Q'') \rightarrow U \in \Omega_u,$$

сопоставляющее паре «текущая ситуация - целевая ситуация» требуемый результат – управление  $U$ .

Ситуационное управление в контексте энергетической безопасности 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 [4].

В лаборатории информационных технологий в энергетике, которую представляют авторы, были разработаны онтологии ситуационного управления и ситуации, которые представлены на рисунках 1 и 2 соответственно [8].

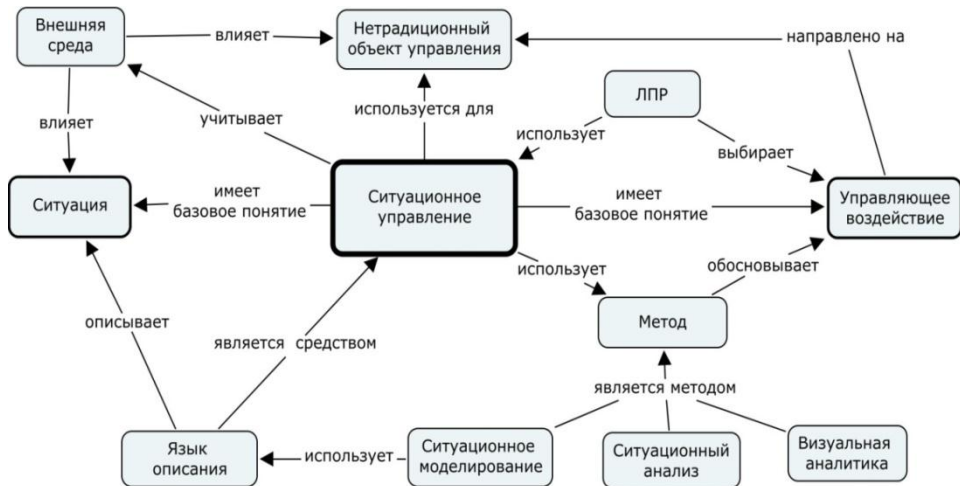


Рис. 1. Онтология ситуационного управления

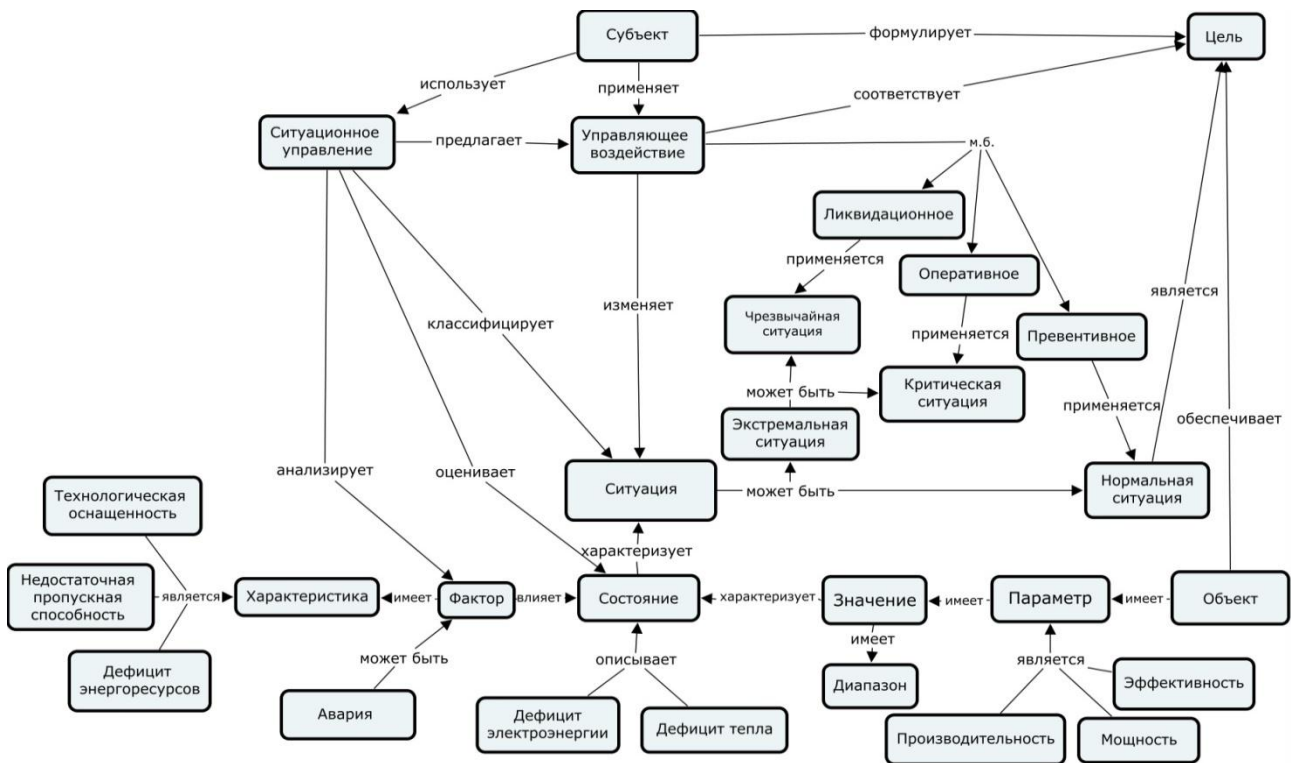


Рис. 2. Онтология ситуации

**3. Основные понятия исчисления ситуаций.** Одним из средств формализации ситуации в динамике является исчисление ситуаций, позволяющее фиксировать совокупность фактов и свойств объектов и среды, в которой эти объекты функционируют. Исчисление ситуаций является формальной системой, базирующейся на логике предикатов первого порядка, в связи с чем его можно рассматривать как логический язык для описания динамики изменения среды. Этот формальный язык позволяет выразить на нем все знания о среде – предметной области, необходимые для решения поставленной задачи. Семантика определяет смысл этих предложений. Символы сопоставляются с объектами реального мира, а предложения соответствуют отношениям между объектами.

Интуитивно язык исчисления ситуаций предполагает, что есть некоторая начальная ситуация и среда изменяется от ситуации к ситуации по мере выполнения действий. При этом предполагается, что других ситуаций, помимо тех, которые могут быть достигнуты с помощью выполнения действий, не существует [2]. В этом языке используются следующие основные понятия: категории, предикаты и функции [12]. Рассмотрим эти основные понятия подробнее.

Вводятся три непересекающиеся категории: категория действий  $A$ , категория ситуаций  $S$  и категория объектов среды  $D$ . Элементами категории действий являются простые или сложные константы, обозначающие действия. Сложные константы этой категории, т.е. константы, сами являющиеся категориями, могут содержать в качестве элементов только элементы категории. Элементами категории ситуаций являются простые константы, обозначающие ситуации. Элементами категории объектов среды являются любые простые или сложные константы, кроме именуемых действия и ситуации. Сложные константы этой категории могут содержать в качестве элементов только элементы категории.

Стандартная функция переходов  $A \times S \rightarrow S'$ . Значением функции переход  $(a, s)$  является ситуация  $s'$  в которую переходит ситуация  $s$  в результате действия  $a$ .  $S_0$  – начальная ситуация. Стандартный предикат  $do(s_1, s_2)$ , который будет также записываться в обычном инфиксном виде  $s_1 < s_2$ . Этот предикат истинен, если ситуация  $s_1$ , наступает раньше ситуации  $s_2$ ;  $s_1 \leq s_2$  означает  $s_1 < s_2 \cup s_2 = s_2$ .

Стандартный предикат *допустимо*  $(a, s)$ . Этот предикат истинен, если действие  $a$  допустимо (может быть выполнено) в ситуации  $s$ .

Функторный предикат  $\varphi(d_1, d_2, \dots, d_n, s)$ , где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – переменные или константы категории  $D$ ,  $\varphi$  – предикатный символ. Функторный предикат содержит единственный аргумент  $s$ , значение которого принадлежит категории ситуаций  $S$ . Смысл функторного предиката следующий: если свойство или отношение  $\varphi$  между  $d_1, d_2, \dots, d_n$  имеет место в ситуации  $s$ , то предикат  $\varphi(d_1, d_2, \dots, d_n, s)$  истинен в этой ситуации и наоборот.

Функторная функция  $f(d_1, d_2, \dots, d_n, s)$ , где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – переменные или константы категории  $D$ . Функторная функция также содержит единственный аргумент  $s$ , значение которого принадлежит категории ситуаций  $S$ . Значение функции принадлежит категории  $D$ .

Основными понятиями в исчислении ситуаций являются объекты, объектные переменные, категории, стандартные предикаты, функции, а также микроситуации, состояния, действия, меры, единицы измерения, время. Используя данные понятия, можно моделировать ситуации, систематизировать и классифицировать объекты и их признаки,

выполнять анализ ситуаций и динамику их изменения, а также формулировать правила вывода для выбора управленческих решений.

**4. Язык ситуационного управления CML.** В данный момент коллективом, представляемым авторами, разрабатывается интеллектуальная система поддержки принятия решений «Ситуационный полигон». Его архитектура приведена на рис. 3 [6].



Рис. 3. Архитектура Ситуационного полигона

Базовыми компонентами Ситуационного полигона являются инструментальные средства поддержки семантического моделирования [5], экспертная система Advice, обеспечивающая создание и использование баз знаний и Репозитарий, поддерживающий хранение семантических моделей и работу с ними. Кроме того, одним из основных компонентов Ситуационного полигона является язык ситуационного управления (CML) [7].

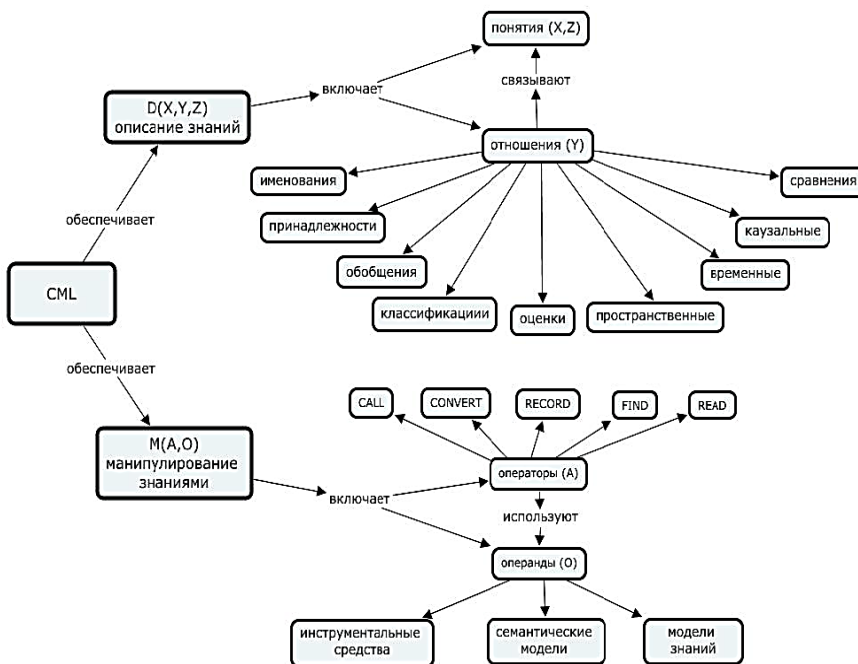


Рис. 4. Метаонтология CML

На рис. 4 приведена метаонтология CML. Он включает две составляющих ( $D, M$ ): средства *описания знаний*  $D$  (для описания ситуаций, сценариев, управляющих воздействий), реализующие совокупность отношений, и средства *манипулирования знаниями*  $M$  (для поддержки отображений).

На основе вышеописанных понятий была построена следующая онтология исчисления си-

туаций [3], изображённая на рис. 5. Пересечение с понятиями ситуационного управления отражено классификацией ситуаций, включенных в онтологию, а также понятиями «объект», «действие», «состояние».

Рассмотрим некоторые из отношений [7], представленных на рис. 5, относящихся к компоненту описания знаний, и сопоставим им понятия языка исчисления ситуаций, с помощью которых их можно выразить:

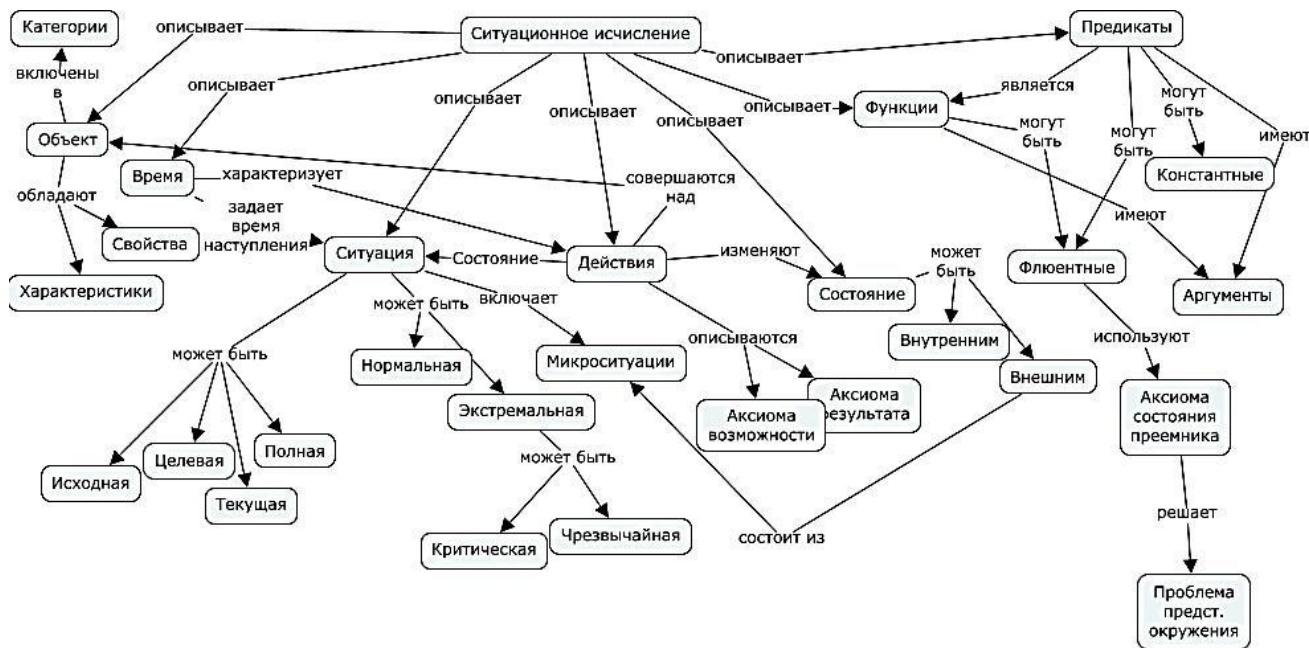


Рис. 5. Онтология исчисления ситуаций

**Отношения именования:**

< объект > <имеет> <имя>

< объект > := <физический объект> | <программный компонент> | <информационный объект>

Для данного типа отношений можно использовать характеристики объекта, введенные в исчислении ситуаций.

**Отношения классификации:**

<ситуация > <имеет тип> < исходная | переходная > | <целевая> < управляющее воздействие | мероприятие > <имеет тип> <превентивное | оперативное | ликвидационное >

Исчисление ситуаций позволяет классифицировать ситуации и действия. Для классификации угроз предлагается использовать словарь имён и понятий.

**Пространственные отношения:**

<ситуация > <происходит> <место>

Для описания данного типа отношения также предлагается использовать словарь имён и понятий

**Временные отношения:**

<ситуация > <происходит> <время>

Для того чтобы описать данные отношения, можно использовать понятие времени, так как в исчислении ситуаций именно оно задаёт время наступления конкретной ситуации.

Первоначальный анализ показывает, что таким образом можно рассмотреть все предлагаемые отношения и сопоставить им базовые понятия языка исчисления ситуаций.

**Заключение.** В статье рассмотрены основные понятия исчисления ситуаций и ситуационного управления. Выполнено сравнение базовых понятий ситуационного управления и исчисления ситуаций и на их основе построена онтология исчисления ситуаций, интегрирующая эти понятия. Также обоснована возможность применения исчисления ситуаций при реализации языка ситуационного управления – одного из ключевых компонентов Интеллектуальной системы поддержки принятия решений, называемой Ситуационным полигоном.

Работа выполнена в рамках научного проекта программы фундаментальных исследований СО РАН III.17.2, рег. № АААА-А17-117030310444-2 и при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №16-07-00474, 17-07-01341, 18-07-00714

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.И. Интеллектуальные системы защиты информации. М.: Машиностроение. 2012. 171 с.
2. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта: Учебн. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001. 352 с.
3. Кузьмин В.Р. Возможности использования ситуационного исчисления при решении проблем ситуационного управления // Системные исследования в энергетике / Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Вып. 47. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2017. С. 112 – 116. ISBN 978-5-93908-160-3.
4. Массель Л.В., Массель А.Г. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике // Вычислительные технологии. 2013. Т.18. Специальный выпуск. С. 37 – 44.
5. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике // Труды IV Международной конференции OSTIS. Беларусь. Минск: БГУИР. 2014. С. 111 – 116.
6. Массель А.Г., Массель Л.В. Ситуационный полигон как интеллектуальная система семиотического типа // Труды XLIII Международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании и управлении», под ред. проф. Е.Л. Глориезова. Москва. 2015. С. 246 – 255.
7. Массель Л.В., Массель А.Г. Язык описания и управления знаниями в интеллектуальной системе семиотического типа // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 112 – 124.
8. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И. Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Онтология проектирования. 2017. Том. 7. №1 (23). С. 66 – 76.
9. Поспелов Д.А. Принципы ситуационного управления. Известия РАН СССР. Техническая кибернетика. 1971. №2. С. 10 – 17.
10. Поспелов Д.А., Пушкин В.Н. Мышление и автоматы. М.: Советское радио. 1972. 22 с.
11. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука. 1986. 284 с.

12. Рассел С, Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд. : Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2006. 1408 с
  13. John McCarthy. Situations, actions and causal laws. Technical Report Memo 2. Stanford University Artificial Intelligence Laboratory. Stanford. CA. 1963. 14p.
- 

**UDK: 004.896 + 519.682.6**

**DEVELOPMENT OF CONTINGENCY MANAGEMENT LANGUAGE  
BASED ON SITUATION CALCULUS**

**Liudmila V. Massel**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Technologies Laboratory,  
e-mail: massel@isem.irk.ru

**Vladimir R. Kuzmin**

Postgraduate student, e-mail: [kuzmin\\_vr@isem.irk.ru](mailto:kuzmin_vr@isem.irk.ru)  
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS 130 Lermontov Str.,  
Irkutsk, 664033, Russian Federation

**Abstract.** This article proposes usage of situation calculus for solving problems of situational management in energetics. Development history and basic concepts of situation calculus and situational management are being considered. Ontology of situation calculus was created, it integrates basic concepts of situation calculus and situational management and also shows the possibility of their combined usage.

**Keywords:** situation calculus, situational management, intelligent decision-making support system, situational management in energetics.

**References**

1. Vasilev V.I. Intellektualnie sistemy zashity informatsii [Intelligent systems of information protection] // M. Mashinostroenie = Mechanical engineering. 2012. 171 p. (in Russian)
2. Devyatkov V.V. Sistemy iskustvennogo intellekta: Ucheb. Posobie dlya vuzov [Artificial intelligence systems: Textbook for high schools]. // M.:MGTU imeni Baumana = Bauman Moscow State Technical University publishing. 2001. 352 p. (in Russian)
3. Kuzmin V.R. Vozmozhnosti ispolzovaniya situatsionnogo ischisleniya pri reshenii problem situatsionnogo upravleniya [Possibility of usage of situation calculus for solving problems of situational management] // Sistemnie issledovaniya v energetike / Trudy molodikh uchenikh ISEM SO RAN = System research in energetics / Articles of youth scientists of MESI SB RAS. Vol. 47. Irkutsk. ISEM SO RAN = MESI SB RAS. 2017. Pp. 112 – 116. ISBN 978-5-93908-160-3. (in Russian)
4. Massel L.V., Massel A.G. Tehnologii i instrumentalnye sredstva intellektualnoj podderzhki prinjatija reshenij v jekstremalnyh situacijah v jenergetike [Technologies and tools of intellectual support of decision-making in extreme situations in power engineering] / Vychislitelnie tehnologii = Computing technologies. 2013. T.18. Special issue. Pp. 37 – 44. (in Russian)



5. Massel L.V., Massel A.G. Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modelirovanie v jenergetike [Contingency management and semantic modeling in the energy sector] // Trudy IV Mezhdunarodnoj konferencii OSTIS = Proc. of IV International Conference OSTIS. Belarus, Minsk: BGUIR, 2014. Pp. 111 – 116. (In Russian)
6. Massel L.V., Massel A.G. Situacionnyj poligon kak intellektualnaya sistema semioticheskogo tipa [Situational polygon as an intellectual system of semiotic type]// Trudy XLIII Mezhdunarodnoi konferentsii “Informatsionnie tehnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii” = Proceedings of XLIII International conference “Informational technologies in science, education and management”. Moscow. 2015. Pp. 246 – 255. (in Russian)
7. Massel A.G., Massel L.V. Yazik opisaniya i upravleniya znaniyani v intellektualnoi srede semioticheskogo tipa [The language for knowledge description and knowledge management in intelligent system of semiotic type] // XX Baikalskaya Vserossiyskaya konferentsiya “Informatsionnie i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii” = Proceedings of the XX Baikal All-Russian conference “Information and mathematical technologies in science and management”.Part III. – Irkutsk: ISEM SO RAN = MESI SB RAS. 2015. Pp.112 – 124. (in Russian)
8. Massel L.V., Vorozhtsova T.N., Pyatkova N.I. Ontologicheskij inzhiniring dlya podderzhki prinyatiya resheniy v energetike [Ontology engineering to support strategic decision making in the energy sector] // Ontologiya proektirovaniya = Ontology of designing. №1 (23). Vol. 7. 2017. Pp. 66 – 76. (in Russian)
9. Pospelov D.A. Printsipi situatsionnogo upravleniya [Situational management principles] // Izvestiya RAN SSSR, Tehnicheskaya kibernetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences of USSR. Technical cybernetics. №2. 1971. Pp. 10 – 17. (in Russian)
10. Pospelov D.A., Pushkin V.N. Myshlenie i avtomaty [Thinking and machines]. Sovetskoe radio = Soviet radio. Moscow. 1972. (in Russian)
11. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie. Teorija i praktika [Situational management. Theory and practice] // M. Nauka = Science. 1986. 284 p. (in Russian)
12. Stuart J. Russell, Peter Norvig Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod, 2-e izd [Artificial Intelligence A Modern Approach, 2nd edition]. M.: Izdatelskiy dom «Williams» = Publishing house “Williams”. 2006. 1408 p. (in Russian)
13. John McCarthy. Situations, actions and causal laws. Technical Report Memo 2, Stanford University Artificial Intelligence Laboratory, Stanford. CA. 1963. 14p.