

УДК 597.97

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ БАЗИСА МОДЕЛЕЙ

С.В. Микони

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия
smikoni@mail.ru

Аннотация

Вся умственная деятельность человека представляет собой моделирование его внешнего и внутреннего мира и основывается на применении моделей. Познавательную и конструктивную деятельность человека невозможно представить через огромное многообразие используемых им частных моделей. В работе предлагаются структурная, функциональная и операционная составляющие, присущие в разной степени любой разрешимой модели. Универсальность составляющих объясняется их принадлежностью модели языка предикатов первого порядка, положенной в основу любых математических моделей. Эти базовые свойства модели используются для описания модели знания, приобретаемого человеком в процессе познания окружающей и внутренней среды. Сам познавательный процесс осуществляется также с применением моделей, названных в работе моделями инструментального знания. В качестве базовой модели познавательного процесса принята «пирамида познания» Акоффа. Определены используемые в ней понятия. Каждый этап формирования модели нового знания и используемого для его приобретения инструментального знания описывается с применением базовых моделей, что позволяет представить познавательный процесс в терминах моделирования.

Ключевые слова: модель, свойства модели, моделирование, познание, онтологическая модель, знание, умение, данные, информация.

Цитирование: Микони, С.В. Формализация познавательного процесса на основе базиса моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №1(27). – С. 35-48. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-35-48.

Введение

Мировоззрение складывается из совокупности частных моделей, описывающих фрагменты окружающего и внутреннего мира человека. Работа [1] посвящена обоснованию того, что любая активность человека основана на моделировании, как неотъемлемого, внутренне присущего компонента любых внешних действий человека (познания реальности или преобразования её). Автор приводит многочисленные убедительные примеры применения моделей в познавательной и практической деятельности человека. Моделирование познавательной деятельности человека автор иллюстрирует на примере «пирамиды познания» Р. Акоффа [2], включающей следующие уровни познания: добычу данных (*data mining*), извлечение из них информации, пополнение (формирование) знания, его понимание и мудрость. Как это и бывает во многих случаях, русский и английский смысл словосочетания ”*data mining*” не совпадают. Буквально, по-русски, оно и означает добычу данных, но носители языка понимают под этим извлечение из полученных данных информации, под которой понимаются полезные (информативные) для познающего субъекта данные.

В работе [1] утверждается, что любую модель можно представить комбинацией из трёх типов моделей. К ним автор относит: модель *состава* (перечень существенных частей систе-

мы), модель *структуры* системы (перечень существенных связей между частями системы) и модель *чёрного ящика* (перечень существенных связей системы с окружающей средой).

Утверждение автора, что «все наши знания, явные и неявные, существуют только в виде моделей», не подлежит сомнению. Сложнее обстоит дело с базисом моделей. Модель чёрного ящика трактуется автором не в математическом, а в системном смысле – в качестве целостного образа моделируемого объекта. В математической интерпретации термин «ящик», как модель «вещи в себе или для нас» имеет три разновидности: чёрный, серый и белый. В понятие *чёрного ящика* вкладывается неизвестность формальной модели функции ψ , осуществляющей отображение $\psi: X \rightarrow Y$. Под *серым ящиком* понимается тот факт, что получена приближённая функция φ , например, в виде многочлена или уравнения регрессии, воспроизводящая отображение $\varphi: X \rightarrow Y$. Под *белым ящиком* понимается известность реальной функции f , осуществляющей отображение $f: X \rightarrow Y$.

Недостатком предложенного базиса моделей является взаимозависимость первых двух «типов моделей». Любая структура представима графом – отношением на множестве вершин (сущностей). Нуль-граф – граф без связей и представляет собой модель состава, т.е. совокупность не связанных между собой сущностей. Следовательно, модель состава является частным, хоть и вырожденным, вариантом структуры.

Целью настоящей работы является формализация познавательного процесса с применением уточнённого базиса моделей.

1 Формализация общих свойств модели

Наибольшей общностью для формирования типовых свойств модели обладает модель языка предикатов первого порядка, представленная многосортной алгебраической системой $\langle A, C, F, P \rangle$ [3]. В ней: A – множество предметных переменных (носитель), C – множество констант (домен значений переменной), F – множество функций, P – множество предикатов.

В силу тождественности (изоморфизма) предиката, как логической функции $p: C_1 \times \dots \times C_n \rightarrow B, B = \{\text{True}, \text{False}\}$, и n -местного отношения $R \subset C_1 \times \dots \times C_n$, справедлива другая форма записи алгебраической системы: $\langle A, C, F, R \rangle$, в которой символ предикатов заменён на символ отношений R . Пару $\langle F, R \rangle$ называют *сигнатурой* системы. Использование только одного из этих символов представляют собой частные случаи алгебраической системы. К ним относятся соответственно *реляционная система* (модель) $\mathbf{B} = \langle A, C, R \rangle$ и *алгебра* $\mathbf{A} = \langle A, C, F \rangle$ [4].

При интерпретации символов A и R реляционной системы множествами вершин V и связей E между ними (рёбер и/или дуг) переходим к модели графа $G = (V, C, E)$. Граф называется *помеченным*, если множество C содержит имена его вершин и связей, и *взвешенным* (нагруженным), если множество C содержит численные оценки вершин и связей. Графическое изображение реляционной системы является наглядной моделью любой структуры. Поэтому непредметно помеченный граф представляет *структурную составляющую* модели, которую назовём *C-моделью*.

Любая функция $f \in F$ в алгебре $\mathbf{A} = \langle A, C, F \rangle$ представляет собой отображение области её определения в область значений. Представим носитель A через множества определения X и значений Y функции $f: X \subset A, Y \subset A$. Пусть функция f отображает в область значений Y n аргументов $x_1, \dots, x_n: y = f(x_1, \dots, x_n)$. Если нас не интересуют внутренние связи между аргументами отображения, выражение $y = f(x_1, \dots, x_n)$ представляет собой функциональную модель (*Ф-модель*) или модель «чёрного ящика».

В алгебре \mathbf{A} функциям ставятся в соответствие одноимённые операции, например, сложение или умножение. Свойства операций определяются относительно элементов носителя

A , являющихся их аргументами. По имени известной функции можно установить результат отображения f . Например, в таблице умножения двум сомножителям 5 и 5 ставится в соответствие результат 25. Однако его вычисление требует выполнения совокупности элементарных операций, описываемых соответствующим алгоритмом. Функция называется *вычислимой*, если существует вычисляющий её алгоритм [5].

Пошаговое выполнение алгоритма влечёт изменение внутреннего состояния объекта действия – от $q(t)$ к $q(t + 1)$. Эти изменения привязываются к моментам времени $t = 0, 1, 2, \dots$, где $t = 0$ фиксирует начальное состояние объекта. Закономерность смены состояний описывается *функцией переходов* f_p , дополняющей *функцию выхода* объекта f_v .

Полагая $f_p, f_v \in F$ и $q \in Q$, получаем следующее расширение Φ -модели, соответствующее модели конечного автомата:

$$(1) \quad M_{\text{КА}} = \langle X, Y, Q, f_p, f_v, t \rangle$$

В отличие от Φ -модели модель конечного автомата $M_{\text{КА}}$ характеризует не правило, а *процесс* реализации функции, т.е. является её операционной моделью (*О-моделью*). Последовательность выполнения операций, реализующая выраженную функцией переходов причинно-следственную связь между состояниями автомата, позволяет отнести О-модель к классу динамических моделей.

С развитием параллельных вычислений алгоритм получил расширительное толкование как *набор инструкций, описывающих порядок действий исполнителя для достижения некоторого результата* [6]. О-модель параллельных вычислений определяет, например, процесс перемещения меток в такой дискретно-событийной модели, как сеть Петри. В искусственном интеллекте О-моделью описывается процесс *логического вывода* следствия.

В предметных областях (ПрО) О-модель определяется как «упорядоченная совокупность (система) взаимосвязанных действий, направленных на достижение определённой цели» [7]. Примерами О-модели в ПрО являются инструкции и технологические карты. По существу, О-моделью обобщаются такие понятия, как метод, алгоритм, инструкция и т.п. Иными словами, О-модель, формализуя процедуры, относится к моделям *процедурного* типа.

Раскрытие чёрного ящика описывается структурно-функциональной моделью (*СФ-моделью*). СФ-модель представляет собой композицию Φ -моделей, связи между которыми описываются С-моделью. На связях С-модели формируются функции *соотнесения* и *измерения*. Функции соотнесения представляются помеченным, а функции измерения – взвешенным графом. Метка связи двух вершин графа представляет собой имя отношения, в котором находятся эти вершины. По степени отвлечённости от предмета рассмотрения отношения делятся на *предметные* и *отвлечённые* (абстрактные). Примером предметного отношения является « A атакует B ». Модели с предметными отношениями называют семантическими сетями. Примерами отвлечённых отношений являются: род-вид, целое-часть, класс-элемент, сущность-свойство, причина-следствие. По существу, семантическая сеть является предметной конкретизацией онтологической модели.

Функции измерения представляются *взвешенным* графом. Вес связи количественно характеризует либо меру *близости* вершин графа, либо *пропускную способность* связи. Близость может трактоваться, например, расстоянием между вершинами или мерой их сходства. Модели с весами связей в роли их пропускной способности относятся к *потокowym* моделям. Первичной характеристикой потока через дугу графа является величина непрерывного потока, либо интенсивность дискретного потока, например, потока заявок. Вторичными характеристиками потока являются, например, время достижения им смежной вершины или стоимость транспортировки.

Для преобразования С-модели в СФ-модель метки, входящие в носитель структуры, ассоциируются с функциями, реализуемыми Φ -моделями, входящими в СФ-модель. Поскольку

элементами структуры являются вершины и ребра графа, для ассоциации меток с реализуемыми ими функциями используются отношения:

$$R_{fv} \subset A \times F, R_{fv} = \{(a_i, f_i)\}, a_i \in A, f_i \in F, i = \overline{1, n} \text{ и}$$

$$R_{fe} \subset E \times F, R_{fe} = \{(a_i, a_j), f_{ij}\}, a_i, a_j \in A, f_{ij} \in F, i \neq j, i, j = \overline{1, n}.$$

Функции СФ-модели рассматриваются с точки зрения их роли в модели.

С учётом объединения С-модели с Ф-моделью и разделения множества отношений на 3 вида $R = R_c \cup R_{fv} \cup R_{fe}$ СФ-модель имеет вид:

$$(2) \quad M_{сф} = \langle A, R_c, R_{fv}, R_{fe}, C, F \rangle.$$

Для построения СФ-модели на основе С-модели необходимо дополнительно сформировать множество функций F и два множества R_{fv} и R_{fe} .

Пример. Представить схему решения выражения $y = (6 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2) \cdot 5$ СФ-моделью. Это выражение имеет 5 аргументов (5 входных вершин графа): 2 переменных – x_1 и x_2 и 3 константы – 6, 3 и 5. Оно содержит 3 операции умножения (\times), одно сложение и операцию присваивания значения выражения (5 промежуточных вершин графа) выходной переменной y (одна выходная вершина графа). Таким образом, 11 вершин графа образуют носитель $A = \{a_1, \dots, a_{11}\}$, а отношение смежности на носителе $R_c = \{(a_1, a_7), (a_2, a_7), (a_3, a_8), (a_4, a_8), (a_7, a_9), (a_8, a_9), (a_9, a_{10}), (a_5, a_{10}), (a_{10}, a_{11}), (a_{11}, a_6)\}$.

Создание теоретико-множественной СФ-модели на основе известных множеств A, F, C, R_c заключается в формировании множеств R_{fv}, R_{fe} выражения (2):

- 1) множество функций F расширим переменными, считая их за разновидность функции одной переменной, и функциями связей: $F = \{x_1, x_2, \times, +, :=, \text{пд}\}$. Функция «пд» связи (a_i, a_j) означает передачу данных от i -й вершины графа к j -й вершине.
- 2) В примере множество констант C содержит целые числа 6, 3, 5: $C = \{6, 3, 5\}$.
- 3) На основе множеств A и F сформируем двумерное множество $R_{fv} = \{(a_1, 6), (a_2, x_1), (a_3, 3), (a_4, x_2), (a_5, 5), (a_6, y), (a_7, \times), (a_8, \times), (a_9, +), (a_{10}, \times), (a_{11}, :=)\}$.
- 4) На основе множеств A и R_c сформируем двумерное множество $R_{fe} = \{(a_i, a_j), \text{пд}\}, i, j = \overline{1, 11}$, отражающее присвоение всем дугам графа роли передачи данных.

Теоретико-множественная СФ-модель, построенная путём конкретизации выражения (2), пригодна для ввода в ЭВМ, являясь машинно-ориентированной (компьютерной) моделью. Этот пример показывает возможность порождения конкретных компьютерных моделей на основе частных формальных моделей алгебраической системы путём конкретизации их символов и их интерпретации свойствами предметного знания.

Графическая СФ-модель схемы решения задачи изображена на рисунке 1. Наряду с меткой $a_i, i = \overline{1, 11}$, каждой вершине графа присвоена переменная, либо константа, либо одна из операций: умножение, сложение, присвоение вычисленного значения.

Функциональные модели, входящие в состав СФ-модели, на рисунках обычно именуется блоками, благодаря чему СФ-модели в проектировании получили название блок-схем. Блок-схемы востребованы в силу своей наглядности и обзорности.

Ф- и СФ-модели содержат информацию о том, какие свойства объекта-оригинала моделируются, а О-модель – как решить задачу моделирования. Исходя из теории разрешимости, ни Ф-модель, ни СФ-модель не результативны в отсутствие О-модели. Именно она используется в моделировании с целью получения результата и в этом смысле является связующим звеном между моделируемыми свойствами объекта и реализующей их системой моделирования.

Таким образом, исходя из формального описания модели в языке предикатов первого порядка четвёркой $\langle A, C, R, F \rangle$, можно утверждать, что для выполнения моделирования Ф-

модель и СФ-модель должны содержать *операционную* составляющую. В совокупности с ней разрешимые модели обозначаются как ФО- и СФО-модели.

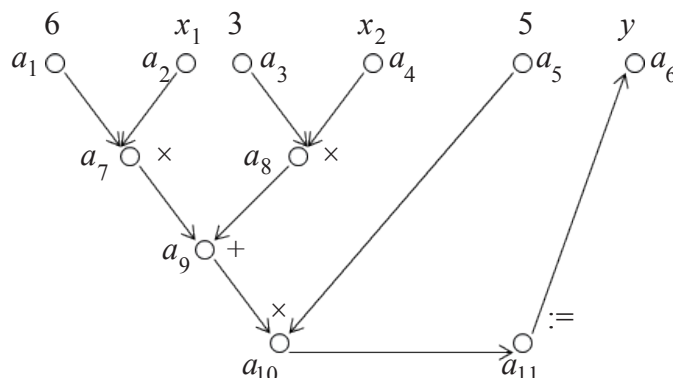


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель схемы решения задачи

ФО- и СФО-модели, не подготовленные к выполнению в среде моделирования, относятся к классу *описательных* или **D-моделей** (от *Descriptive*). Они существуют, но не погружены в среду моделирования. Примером D-модели в программировании является текст программы.

Описательная модель, погружённая в среду моделирования, т.е. представленная на её языке, относится к классу *выполнимых* или **E-моделей** (от *Executable*). Примером E-модели является компилированная программа, готовая к выполнению. Соответствующие файлы имеют расширения языка программирования и выполнения (*.exe от *executive*). Выполняемая версия модели активна в породившей её системе моделирования.

Поскольку среда моделирования также описывается моделью, существует необходимость введения понятия *модель среды моделирования*. В широком смысле под ней будем понимать любую естественную или искусственную среду. Примером естественной среды моделирования является мозг человека, а искусственной среды – всё то, что им создано, например, программная система моделирования. Именно её и будем понимать в узком смысле под обобщённой моделью среды моделирования (под «машинной» **M-моделью**). Она, в свою очередь, может быть выражена через модели, входящие в базис моделей и их комбинации.

Машинной формой O-модели (**OM-моделью**) является, например, структурированный запрос, запрограммированный на языке SQL (*Structural Query Language*). Примером выполнимой ФО-модели (**ФОМ-модели**) служит модуль динамической библиотеки в программной системе. Примером выполнимой СФО-модели в объектно-ориентированном программировании (**СФОМ-модели**) является *класс*, объединяющий структуру данных и операции над ними.

Все разновидности моделей, описанных выше, сведены в таблицу 1. В верхней половине таблицы приведены 5 разновидностей описательных моделей, а в нижней половине – 5 разновидностей выполнимых моделей, встроенных в среду моделирования. Из них самостоятельными (разрешимыми) являются *описательные* ФО- и СФО-модели, и *выполнимые* ФОМ- и СФОМ-модели.

Предложенные элементарные и комбинированные типы моделей позволяют моделировать любой объект как изолированно, так и в составе среды моделирования. Используем их для описания процесса познавательной деятельности человека.

Таблица 1 - Виды моделей

Вид модели	С-модель	Ф-модель	О-модель	М-модель
С-модель	√			
Ф-модель		√		
О-модель			√	
ФО-модель		√	√	
СФО-модель	√	√	√	
СМ-модель	√			√
ФМ-модель		√		√
ОМ-модель			√	√
ФОМ-модель		√	√	√
СФОМ-модель	√	√	√	√

2 Уровни познания

Познание является многоэтапным процессом извлечения информации из первичных данных, полученных в результате прямого взаимодействия с познаваемым явлением, объектом, процессом. Р. Акофф в образной форме предложил различать пять уровней познания [8]: «Содержание людских умов и, следовательно, то, чему можно обучиться, разделяется на пять классов: *данные, информация, знание, понимание, мудрость*». Он представил их в форме ступеней «пирамиды познания» (рисунок 2).

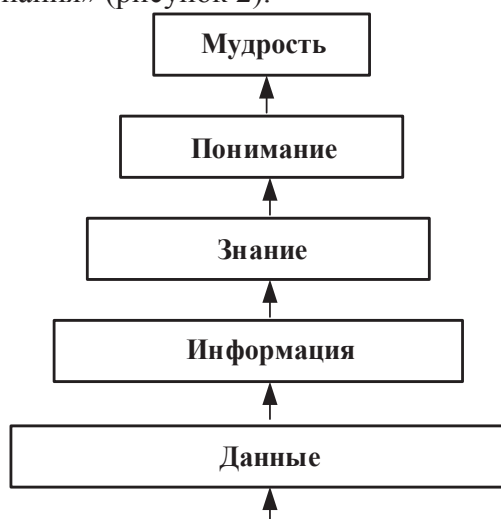


Рисунок 2 – Пирамида ступеней познания по Акоффу

На каждом уровне познания происходит обогащение знания об объекте познания – от примитивного знания фактов через создание индивидуальной модели знания до мудрости его применения – в соответствии с афоризмом Клода Андриана Гельвеция: «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов» [9]. В книге [1] правомерно утверждается, что «на каждом уровне познания происходит построение следующей новой модели знания, последовательное углубление переработки исходной эмпирической информации».

В связи с этим представляют интерес действия, которые предпринимаются для перехода к каждой последующей ступени познания. Они диктуются различием ступеней познания, которые заложены в определениях соответствующих понятий [10-13]. Не приводя и не обсуждая эти определения, проиллюстрируем различия понятий образными примерами.

В образной трактовке [1]: «данные подобны добытой руде, которую предстоит подвергнуть целой серии технологических преобразований, прежде чем получится нужный предмет

из металла, содержащегося в добытой руде». Продолжим такую трактовку, отталкиваясь от сырьевого значения английского слова *mining*, на практическом опыте автора, в студенческие годы принявшего участие в геологической экспедиции по поиску алмазов на северо-востоке Пермского края. Для геолога информацией об алмазе является наличие сопутствующей ему породы в образцах минералов. А роль данных играют камни, которые участник геологической партии собирает в труднопроходимой местности.

В пятидесятые годы прошлого века процесс обнаружения месторождения алмазов осуществлялся следующим образом. Участники геологической партии обходили обследуемую местность и к вечеру приносили в лагерь рюкзаки камней. Назовём их «сырыми» (необработанными) данными. Далее камни переправлялись на базу экспедиции, где измельчались в порошок, превращаясь в «обработанные данные». Затем осуществлялся отбор нужной породы промыванием порошка в реке. Положительным результатом такой камеральной обработки являлось нахождение алмазоносной породы – информации, интересующей геологов. По аналогии с изложенной технологией переход от сырых данных к информации осуществляется в три этапа: *добыча*, *обработка* и *отбор* данных. Согласно [14] отбор данных понимается как частный случай их *классифицирования* на два класса.

В терминах работы [1] полученная информация описывается моделью состава. В системе Пролог состав базы знаний описывается в секции *domains*. В терминах нашей работы информация представляет собой носитель *A*, на котором должны быть определены функциональные и иные отношения, причём каждый элемент носителя описывается Ф-моделью. В задачу следующего шага познания входит нахождение связей между элементами носителя. В системе Пролог связи между элементами носителя описываются в секции *clauses*. Итогом этого процесса является создание СФ-модели изучаемого явления. В терминах искусственного интеллекта эта модель характеризует *знание* «как устроено».

Секции *domains* и *clauses* представляют собой декларативную составляющую Пролог-программы. Процедурная часть программы задаёт способ получения результата, реализующий правила логического вывода и описываемый О-моделью. Эта модель характеризует *знание* «как решать» (*knowhow*).

Следует отметить, что для подтверждения на практике недостаточно знать найденную закономерность. Нужно ещё суметь ею воспользоваться. А это означает встраивание модели знания в систему моделирования и получение результата моделирования. Эта ступень практического познания отсутствует в «пирамиде познания» Р. Акоффа. Она характеризует *умение* как способность выполнять какое-либо действие по определённым правилам в среде моделирования.

Понимание определим как универсальную операцию мышления, связанную с усвоением нового содержания, включением его в систему устоявшихся идей и представлений [15]. В этом определении важна его последняя часть. Для понимания недостаточно только узнать что-то новое. Важно совместить его с уже имеющимся знанием, обосновать его истинность. В случае непротиворечивости нового знания с имеющимся знанием оно используется для пополнения имеющегося знания. В случае противоречивости нового знания с имеющимся знанием оно используется для уточнения (частичной перестройки) имеющегося знания. Пониманию близко и понятие осмысление, как процесс принятия решения о пополнении или перестройке имеющегося знания на основе полученного нового знания.

Понятие **мудрость** имеет различные трактовки. Одна из них означает *умение грамотно применять свои знания*, умение найти соответствие между моделью конкретного знания и моделью текущего состояния внешней среды.

Модель познавательного процесса в форме последовательности выполняемых этапов представлена на рисунке 3.

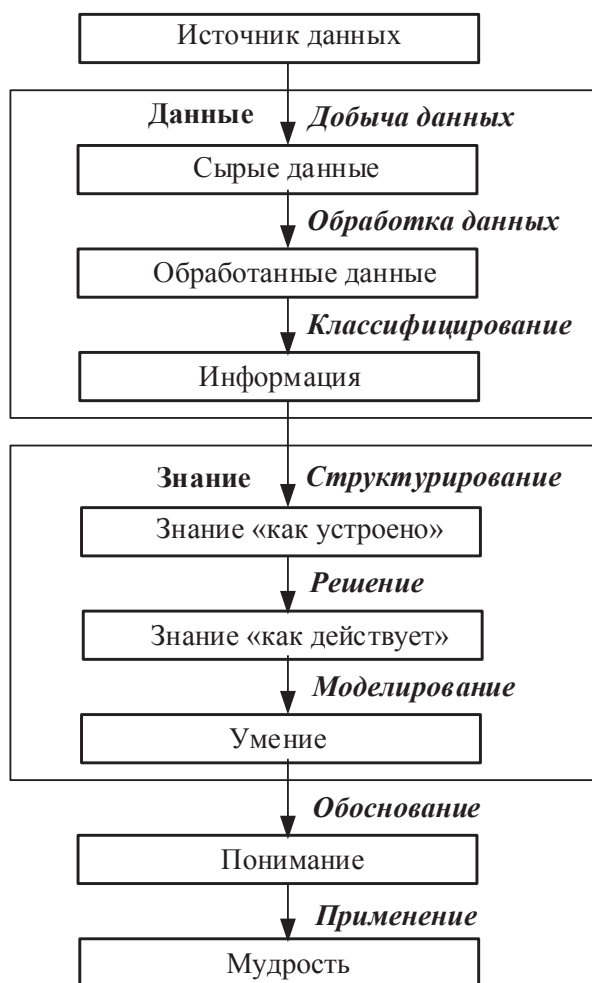


Рисунок 3 – Модель познавательного процесса

Операции над моделью данных объединены в блок *данные*, а операции над моделью знания – в блок *знание*. Этап *понимание* познавательного процесса требует применения моделей знания, аналогичных модели знания изучаемого явления, а на этапе *мудрость* дополнительно участвуют связанные с ней модели внешней среды.

Процесс моделирования познавательной деятельности проиллюстрируем на примере проектирования онтологической модели.

3 Проектирование онтологической модели

Проектирование онтологической модели можно разделить на три этапа: создание модели данных (определение состава модели знания в терминологии Ф. Тарасенко и информации – в терминах Р. Акоффа [1, 2]), создание модели знания и сопоставление полученной модели знания с имеющимся знанием. Процесс проектирования онтологической модели проиллюстрируем примером создания модели уровней управления сложным объектом [16]. Роль первичных данных при создании онтологической модели играют слова естественного языка. Ключевым словом выбранной Про является *управление*.

Первый этап (подготовительный) реализуется следующей последовательностью шагов (см. рисунок 4).

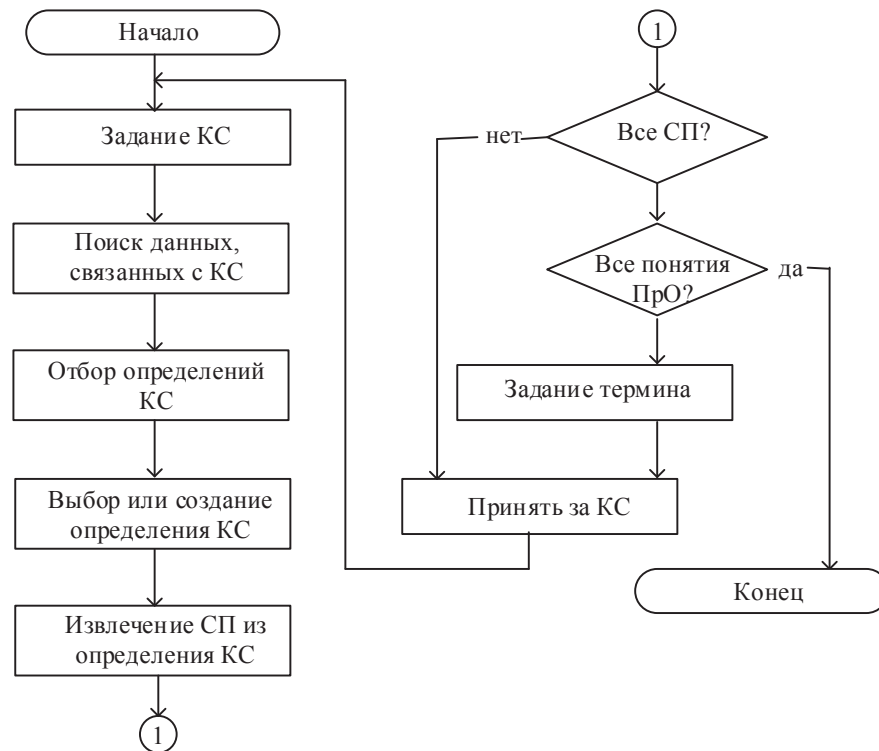


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма создания модели данных

- 1) Задание ключевого слова (КС) для поиска связанной с ним информации. В примере качестве начального ключевого слова принимается *управление*.
- 2) Осуществляется поиск информации по ключевому слову. Результат поиска – избыточная информация (сырые данные), связанная со словом *управление*.
- 3) Исключается вся информация, не относящаяся к определениям ключевого слова. Отсев ненужной информации можно совместить с поиском слова *управление*, конкретизируя связанную с ним информацию следующим образом: *определение понятия управление*. Результат поиска – обработанная информация в виде определений понятия *управление*.
- 4) Осуществляется выбор приемлемого определения понятия *управление* по критерию наибольшей общности. Если ни одно из определений не отвечает этому критерию, формулируется новое определение, содержащее существенные признаки всех частных определений. В [17] обобщённое определение понятия *управление* сформулировано как *выработка и осуществление воздействий одного объекта (субъекта управления) на другой объект (объект управления), предназначенных для поддержания его устойчивости и развития*.
- 5) Из принятого определения понятия извлекаются существенные признаки. В определении понятия *управление* ими являются *выработка воздействия, субъект управления, объект управления, устойчивость, развитие*.
- 6) Пока не сформулированы определения для всех существенных признаков из определения КС, очередной существенный признак (СП) принимается за КС для поиска его определений. Перейти к пункту 1.
- 7) Процесс расширения понятий ПрО продолжается до достижения ими границ ПрО, определяемых разработчиком модели. В качестве КС для поиска определений назначаются свойства, характеризующие понятие *управление*, такие например, как *управляемость* и *наблюдаемость*. Процедура логического вывода родственных понятий может дополняться понятиями, например, *система*, раскрываемое через её вещественные, энергетические

и информационные свойства, *качество*, которым оценивается система и т.д. Пока не определены все понятия ПрО, назначить в качестве КС исследуемый термин и перейти к пункту 1.

Сформированное множество понятий представляет собой состав модели знания.

Второй этап проектирования онтологической модели содержит выявление связей между понятиями, вошедшими в состав модели. Установленные логические связи между понятиями нельзя принять за окончательное отношение на множестве понятий. Определена лишь их принадлежность изучаемой ПрО, что характеризуется отношением *элемент-класс*.

Между понятиями онтологической модели устанавливаются следующие типы связи: логические (род-вид, целое-часть, объект-атрибут, причина-следствие), предметные, качественные и количественные связи. Количественные оценки характеризуют степень зависимости элементов модели в статических моделях и интенсивность обмена информацией (энергией, веществом) в динамических моделях. Выявление типа связи осуществляется парным сопоставлением понятий модели. Модель с установленными связями между её элементами представляет собой знание «как устроено».

Онтологическое моделирование заключается в обходе вершин семантической сети. Знание «как действует» в онтологической модели представляет собой совокупность правил вывода и организацию их применения. В ряде случаев оно оказывается очевидным на интуитивном уровне. Простейшим примером применения правил вывода в семантической сети является нахождение причинно-следственной цепочки факторов, последовательная активизация которых приводит к росту или уменьшению выходного фактора.

Знание «как действует» ещё не имеет практического воплощения. Оно проявляется в умении воспользоваться моделью полученного знания, что требует освоения среды моделирования. Если ею является мозг пользователя, то требуется ознакомление с моделью и правилами вывода. Если это программная система, необходимо ознакомиться с её языком и представить модель знания на языке среды моделирования, на котором и осуществляется процесс моделирования.

Третий этап познавательного процесса заключается в сопоставлении полученной модели знания с имеющимся знанием (понимание) и в определении области его применения (мудрость). При положительном исходе сопоставления новая модель знания включается в состав существующих моделей. При отрицательном исходе сопоставления принимается решение о поиске другой модели знания, согласующейся с текущей моделью внешней среды.

4 Моделирование процесса познания

В процессе познания с применением предложенных типов моделей следует отделить поэтапно формируемую модель знания об объекте познания (ОП) от знания, используемого для создания этой модели. Назовём это знание *инструментальным* (сокращённо ИЗ), поскольку оно используется как инструмент для формирования нового знания. Каждая процедура перехода от одного к другому этапу познания требует применения своих типовых моделей. Рассмотрим взаимодействие моделей ИЗ и ОП на каждом этапе познавательного процесса. Если предположить, что процесс познания начинается с добычи данных об ОП и завершается мудростью, как умением правильно применить полученное знание в конкретной обстановке, то моделирование процесса познания должно охватывать как поэтапно преобразуемую модель знания об ОП, так и применяемые на каждом этапе модели ИЗ. Модели ИЗ и среды моделирования, участвующие в формировании модели знания на каждом этапе познания, сведены в таблицу 2, где наименования всех этапов познавательного процесса соответствуют рисунку 3.

Таблица 2 - Этапы моделирования познавательного процесса

№	Наименование этапа	Модели инструментального знания	Модель знания	Модели среды моделирования
1	Сырые данные	СФ- и О-модели поиска источника данных	$\langle A_{сд}, \emptyset \rangle$	СФ-модель хранения, О-модели загрузки и запроса данных в БД
2	Обработанные данные	О-модель подготовки данных	$\langle A_{од}, \emptyset \rangle$	СФ-модель хранения, О-модели загрузки и запроса данных в БД
3	Информация	Ф-модели классов, О-модель классифицирования	$\langle A_{сд}, F \rangle$ $A_k/R_{кл}$	СФ-модель хранения, О-модели загрузки и запроса данных в БД
4	Знание «как устроено»	С-модели отношений, О-модели структурирования	$\langle A, R_c, R_{f_1}, R_{f_2}, C, F \rangle$	СФ-модель базы знаний
5	Знание «как действует»	О-модель решения	$\langle X, Y, Q, f_{п}, f_{в}, t \rangle$	О-модели вывода знания
6	Умение	О-модель анализа среды моделирования	СФОМ-модель	М- и О-модели среды моделирования
7	Понимание	О-модель анализа непротиворечивости	Подтверждённая СФО-модель	Аналогичные СФ-модели базы знаний
8	Мудрость	О-модель анализа соответствия	$\langle \text{СФОМ}, M \rangle$	М- и О-модели внешней среды

- 1) **Сырые данные** являются результатом добычи данных из найденного источника данных [18, 19]. На этом этапе в качестве ИЗ привлекаются многоуровневые СФ- и О-модели поиска источника данных. Применительно к приведённому примеру эти модели представляют каталоги литературных источников и способы поиска нужной информации с применением соответствующих О-моделей. В общем случае результатом поиска является начальная модель знания $\langle A_{сд}, \emptyset \rangle$, где $A_{сд}$ представляет собой множество сырых (необработанных) данных, например, слов изучаемой ПрО. При машинной реализации познавательного процесса данные фиксируются в базе данных (БД), для чего проектируются ER-модель (СФ-модель) и О-модели процедур загрузки и запроса данных.
- 2) **Обработанные данные**. Сырые данные подвергаются предварительной обработке. Например, она может состоять в выделении из найденных данных определений очередного термина ПрО. Получаемая модель предметного знания $\langle A_{од}, \emptyset \rangle$ содержит множество обработанных данных $A_{од}$. Предварительная обработка данных может предшествовать их фиксации в БД с целью экономии её объёма.
- 3) **Информация**. Под информацией, требуемой для создания онтологической модели, подразумеваются определения всех включённых в модель понятий. На этом этапе формируется определение, содержащее существенные признаки всех частных определений каждого понятия. Эта операция соответствует формированию класса определений обобщённого понятия. Следовательно, ИЗ этого этапа должно содержать Ф-модели понятий-классов. Процедура классифицирования (формирования классов) выполняется с применением отношения классификации $R_{кл}$ (С-модели на множестве $A_{од}$) и О-модели классифицирования. Результатом этого процесса является фактор-множество $A_{од}/R_{кл}$. Элементы каждого класса по отношению $R_{кл}$ представляют собой множество: $A_k/R_{кл} = \{x/R_{кл}: x \in A_k\}$, $k = \overline{1, m}$. По терминологии [1] k -й класс $A_k/R_{кл}$, $k = \overline{1, m}$, представляет собой *состав* (нуль-граф функций элементов) k -й модели знания.

- 4) **Знание «как устроено».** Для структурирования k -й модели знания используются S -модели типов отношений на множествах данных. На основе F -моделей классов и O -модели структурирования создаётся SF -модель знания. Для определения взаимосвязи понятий на основе численных данных используется корреляционная матрица. Высокое значение коэффициента корреляции указывает на необходимость анализа на предмет возможной содержательной взаимосвязи понятий. При её наличии формируется окончательная SF -модель PrO .
- 5) **Знание «как действует».** Разрешимость SF -модели PrO обеспечивается разработкой O -модели. Полученная SFO -модель представляет собой модель знания PrO .
- 6) **Умение** использование SFO -модели полученного знания требует освоения M -модели среды моделирования. С применением O -модели анализа среды моделирования SFO -модель нового знания представляется и решается на языке среды моделирования.
- 7) **Понимание.** Для подтверждения правильности полученной модели знания привлекаются SF - и O -модели аналогичного знания. При непротиворечивом исходе сопоставления SFO -модели нового знания с имеющимся знанием, выполненного с применением инструментальной O -модели, SFO -модель включается в состав имеющегося знания.
- 8) **Мудрость.** Для оценки применимости нового знания привлекаются M - и O -модели внешней среды. По положительному результату поиска M -модели внешней среды, соответствующей SFO -модели, принимается решение о возможности её применения.

Заключение

На основе модели языка предикатов первого порядка формализованы свойства, присущие любой модели. Типы моделей, реализующие эти свойства по отдельности и в совокупности, образуют базис формальных моделей, необходимый и достаточный для формализации процесса моделирования. За основу моделирования познавательного процесса принята «пирамида познания» Р. Акоффа. Процесс получения нового знания разделён на три этапа: формирование модели данных (состава модели знания), создание модели знания и сопоставление полученной модели знания с имеющимся знанием об аналогичных моделях и внешней среде. Введено понятие инструментального знания, которое используется для выполнения всех этапов познавательного процесса.

Благодарности

Автор выражает благодарность члену-корреспонденту РАН Р.М. Юсупову за предоставленные материалы по теме и полезные советы. Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-01-00139 в рамках бюджетной темы № 0073–2018–0003.

Список источников

- [1] **Тарасенко, Ф.П.** Моделирование и феномен человека. Часть I. Моделирование – инфраструктура взаимодействия человека с реальностью. – М.: Научные технологии, 2012. – 136 с.
- [2] **Акофф, Р.** Логико-лингвистические модели в системах управления / Р. Акофф, Д. Гринберг. – М. Энергия, 1981. – 231 с.
- [3] **Колмогоров, А.Н.** Введение в математическую логику / А.Н. Колмогоров, А.Г. Драгалин. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 120 с.
- [4] **Курош, А.Г.** Лекции по общей алгебре / А.Г. Курош. – СПб.: Лань, 2007. - 560 с.
- [5] **Хованский, А.Г.** Топологическая теория Галуа. Разрешимость и неразрешимость уравнений в конечном виде / А.Г. Хованский. – М.: Изд-во МЦНМО, 2008. – 296 с.

- [6] **Воеводин, В.В.** Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
- [7] **Тарасенко, Ф.П.** Прикладной системный анализ: Наука и искусство решения проблем / Ф.П. Тарасенко. – Томск: изд-во ТГУ, 2004. – 186 с.
- [8] **Акофф, Р.** Преобразование образования / Р. Акофф, Д. Гринберг. – Томск: Изд-во ТГУ, 2009. – 196 с.
- [9] **Гельвеций, К.А.** Сочинения / К.А. Гельвеций // В 2-х томах. Составление и общая редакция Х.Н. Момджяна. – М.: Мысль, 1973/1974. – 647/687 с.
- [10] **Новиков, А.М.** Методология: Словарь системы основных понятий / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2013. – 208 с.
- [11] **Юсупов, Р.М.** Концептуальные и научно-методологические основы информатизации / Р.М. Юсупов, В.П. Заболотский. – СПб.: Наука, 2009. – 542 с.
- [12] **Исаев, Г.Н.** Моделирование информационных ресурсов: теория и решение задач. / Г.Н. Исаев. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 224 с.
- [13] ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015) Информационные технологии (ИТ). Словарь.
- [14] **Микони, С.В.** Теория принятия управленческих решений / С.В. Микони. – СПб.: Лань, 2015. – 448 с.
- [15] **Ивин, А.А.** Словарь по логике / А.А. Ивин, А.Л. Никифоров. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 384 с.
- [16] **Микони, С.В.** О качестве онтологических моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С. 347-360. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [17] **Микони, С.В.** Формализация определений понятий как условие повышения качества содержательных моделей / С.В. Микони // Сборник докладов XX Международ. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2017). 24-26.05.2017. – СПб.: СПбГЭТУ (ЛЭТИ). 2017. – С. 19-22.
- [18] **Chen, M.S.** Data mining: an overview from a database perspective. / M.S. Chen, J. Han, P.S. Yu // Knowledge and Data Engineering. IEEE Transactions – 1996. – 8 (6). – P. 866-883.
- [19] **Пятецкий-Шапиро, Г.** Data Mining и перегрузка информацией / Г. Пятецкий-Шапиро // Вступительная статья к книге: Анализ данных и процессов / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод, М.Д. Тесс, С.И. Елизаров. // 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.

FORMALIZATION OF THE COGNITIVE PROCESS USING THE BASIS OF MODELS

S.V. Mikoni

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
smikoni@mail.ru*

Abstract

All human mental activity is a modeling of its external and internal world and is based on the application of models. The cognitive and constructive activity of man can't be imagined through the immense variety of particular models he uses. The paper proposes the structural, functional and operational components inherent in different degrees of any solvable model. The universality of the components is explained by their belonging to the model of the predicate language of the first order, which is the basis of any mathematical models. These basic properties of the model are used to describe the model of knowledge acquired by a person in the process of understanding the surrounding and internal environment. The cognitive process itself is also carried out with the use of models called models of instrumental knowledge. As a basic model of the cognitive process, the "pyramid of cognition" of Ackoff is adopted. The concepts used in it are defined. Each stage of the formation of a model of new knowledge and the instrumental knowledge used to acquire it is described using basic models, which allows us to represent the cognitive process in terms of modeling.

Key words: *model, model properties, modeling, cognition, ontological model, knowledge, skill, data, information.*

Citation: *Mikoni SV. Formalization of the cognitive process using the basis of models [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(1): 35-48. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-35-48.*

Acknowledgment

The author is grateful to Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences R.M. Yusupov for providing materials on the topic and useful advice. The studies carried out on this subject were carried out with the financial support of the RFBR grant 17-01-00139 within the framework of the budget theme 0073-2018-0003.

References

- [1] *Tarasenko FP*. Modeling and the phenomenon of man. Part I. Modeling - the infrastructure of human interaction with reality [In Russian]. – Moscow: Nauchnye tekhnologii, 2012.
- [2] *Akoff R, Grinberg D*. Logic-linguistic models in control systems [In Russian]. – Moscow: Ehnergiya, 1981.
- [3] *Kolmogorov AN, Dragalin AG*. Introduction to mathematical logic [In Russian]. – Moscow: Publishing house MSU, 1962.
- [4] *Kurosh AG*. Lectures on general algebra [In Russian]. – SPb.: Lan', 2007.
- [5] *Hovanskij AG*. Topological Galois theory. Solvability and insolvability of equations in a finite form [In Russian]. – Moscow: Izd-vo MCNMO, 2008.
- [6] *Voevodin VV, VoevodinVIV*. Parallel Computing [In Russian]. – SPb.: BHV-Peterburg, 2002.
- [7] *Tarasenko FP*. Applied Systems Analysis: Science and the Art of Problem Solving: A Textbook [In Russian]. – Tomsk: Publishing house TSU, 2004.
- [8] *Akoff R, Grinberg D*. Transformation of education [In Russian]. – Tomsk Publishing house TSU, 2009.
- [9] *Gel'vecij KA*. Compositions [In Russian]. In two volumes. Compilation and general revision X.N. Momdzhyan. – Moscow: Mysl', 1973/1974.
- [10] *Novikov AM, Novikov DA*. Methodology: Dictionary of the system of basic concepts [In Russian]. – Moscow: Publishing house LIBROKOM, 2013.
- [11] *Yusupov RM, Zabolotskij VP*. Conceptual and scientific-methodological bases of informatization [In Russian]. – SPb.: Nauka. 2009.
- [12] *Isaev GN*. Modeling Information Resources: Theory and Problem Solving [In Russian]. – Moscow: INFRA-M, 2010.
- [13] GOST 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015) Information technology (IT). Dictionary [In Russian].
- [14] *Mikoni SV*. Theory of administrative decision making [In Russian]. – SPb.: Lan', 2015.
- [15] *Ivin AA, Nikiforov AL*. Dictionary of logic [In Russian]. – Moscow: Gumanit. izd. centr VLADOS, 1997.
- [16] *Mikoni SV*. On the quality of ontological models [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2017; 7(3): 347-360. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [17] *Mikoni SV*. Formalization of definitions of concepts as a condition for improving the quality of content models [In Russian]. *Proc. XX Int. Conf. on Soft Computing and Measurements SCM-2017, 24-26.05.2017*. – SPb.: SPbGETU (LETI). 2017: 19-22.
- [18] *Chen MS, Han J, Yu PS*. Data mining: an overview from a database perspective. *Knowledge and data Engineering/ IEEE Transactions*. 1996; 8 (6): 866-883.
- [19] *Pyateckij-Shapiro G*. Data Mining and Information Overload [In Russian] / Introductory article to the book: Barsegyan AA, Kupriyanov MS, Holod II, Tess MD, Elizarov SI. *Data and Process Analysis [In Russian]*. – SPb.: BHV-Peterburg, 2009.

Сведения об авторе



Микони Станислав Витальевич, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994), ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций более 290 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта.

Stanislav Vitalievich Mikoni (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992). Professor (1994). He is Russian Association of Artificial Intelligence member (1998). He is author and co-author of more than 290 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematic, system analyses, artificial intelligence, decision making theory.