

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.82

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-89-103

**Онтология пользовательских интерфейсов
в кибернетической модели интеллектуальных систем****К.И. Костенко, В.Ю. Белкин***Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия***Аннотация**

Предложена модель интеллектуальной системы, поддерживающей высокоуровневое управление процессами профессионального применения многообразия знаний о программных интерфейсах с внешними пользователями. Унифицированная абстрактная модель системы базируется на согласованном семействе инвариантов модели формализма представления знаний, включающем: систему классов морфизмов абстрактных знаний и доменов морфизмов таких классов; инвариантов многомерной архитектуры компонентов интеллектуальных систем, включающей межкомпонентные потоки знаний и процессы синтеза знаний внутри компонентов; инвариантов агентов управления потоками и процессами обработки абстрактных знаний. Базу знаний модели составляют фрагменты онтологии предметных и профессиональных знаний, распределённые между компонентами многомерной архитектуры. Архитектура компонентов модели опирается на значения измерений, соответствующих аспектам абстрактности, структурированности и уровня знаний. В онтологиях отражаются представления о структурах памяти и процессах мышления, применяемых для моделирования схем профессиональной деятельности специалиста. Основой формализации таких представлений являются фундаментальные понятия философии, лингвистики, когнитивной психологии, математики, инженерии систем. Это позволяет сформировать содержательно полную систему классов информационных структур и процессов синтеза сложных знаний, поддерживающих извлечение, анализ и применение знаний о пользовательских интерфейсах в интеллектуальной системе. Процессами синтеза моделируется достижение разнообразных когнитивных целей, необходимых для осуществления профессиональной деятельности специалистов. Многообразие таких целей моделируется системой шаблонов высокоуровневой реализации. Они составлены из целей базовых типов, реализуемых с использованием когнитивных операций над знаниями, синтезируемыми из элементов онтологий. В качестве унифицированного представления знаний применяются структуры знаний в формате семантических иерархий. Когнитивные цели реализуются комбинациями операций над структурированными знаниями, адаптированными к специальным классам структур.

Ключевые слова: интеллектуальная система, пользовательский интерфейс, онтология, измерение знаний, поток знаний, когнитивная цель.

Цитирование: Костенко, К.И. Онтология пользовательских интерфейсов в кибернетической модели интеллектуальных систем / К.И. Костенко, В.Ю. Белкин // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С.89-103. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-89-103.

Введение

Фундаментом полнофункционального моделирования процессов интеллектуальной деятельности в искусственных системах являются семейства понятий, разрабатываемых в разных областях знаний [1-5]. Они связаны со структурами представления знаний и операциями их обработки, позволяющими реализовать разные подходы к организации памяти и процессов мышления. Следствием слабой формализованности подходов является невозможность

создания интеллектуальных систем (ИС), реализующих содержательно полные многообразия процессов интеллектуальной деятельности, основываясь на адаптации отдельных и ограниченных моделей. Требуется общая математическая модель ИС, ядро которой составляют формализуемые аспекты сущностей разных областей знаний. Согласованная формализация инвариантов широкого спектра моделей вызвана потребностями развития интеллектуальных технологий. Основу формализации составляют аналоги понятий и порождающих принципов в различных областях математики. Они включают специальные классы структурированных объектов и операций (морфизмов) над объектами из этих классов. Инварианты прикладной ИС, моделирующей определённые аспекты мышления специалиста в выбранной предметной области (ПрО), являются конкретизациями абстрактных понятий, связанных с представлением знаний и алгоритмическим моделированием процессов решения профессиональных задач.

Унифицированными источниками формализованных инвариантов ИС являются абстрактные модели формализма представления знаний, многомерного пространства компонентов и процессов потоков знаний в нём, агентов управления жизненными циклами (ЖЦ) таких систем. Согласованное представление и совместное использование знаний из разных областей позволяет считать междисциплинарной всякую модель ИС, основанную на таких инвариантах. При этом достигается содержательная полнота и универсальность общей абстрактной модели.

1 Формализмы представления знаний

Формализмы представления знаний реализуют унифицированный подход к моделированию форм представления, сравнения и обработки знаний в ИС. Всякий формализм определяется как четвёрка $\mathfrak{Z} = (M, D_M, \circ, \prec)$. Здесь M – перечислимое множество абстрактных знаний, D_M – перечислимое множество фрагментов знаний, $\circ: M \times M \rightarrow M$ – вычислимая композиция фрагментов, а $\prec$ – разрешимое отношение вложения фрагментов знаний ($\prec \subseteq D_M \times D_M$). Элементом M является пустое знание Λ . Предполагается, что M является разрешимым подмножеством D_M . Если $z_1 \circ z_2 = \Lambda$, то такая композиция фрагментов знаний z_1 и z_2 рассматривается как не имеющая содержания. Знание называется элементарным, если оно не представляется композициями других знаний. Алгебраической структурой знания называется всякое бинарное дерево, представляющее комбинацию композиций заданных знаний, равную этому знанию. Внутренние вершины такой структуры размечены операцией композиции, а висячие – фрагментам знаний.

Важным классом формализмов являются формализмы семантических иерархий [6, 7]. Знания в таких формализмах представляются конечными бинарными деревьями. Они называются полными структурными представлениями (ПСП) знаний. Висячие вершины деревьев размечаются элементарными знаниями. Всякая внутренняя вершина дерева размечена отношением, выполняющимся между знаниями, представленными левым и правым поддеревьями этой вершины. Важным свойством формализмов семантических иерархий является единственность алгебраической структуры всякого непустого знания, которой соответствует единственное размеченное бинарное дерево представления знания в формате семантической иерархии. Такой формат удобен для моделирования семантических структур сложных знаний, включая сравнения вложения и операции над знаниями, являющиеся аналогами операций из разных разделов абстрактной математики. Множество элементарных знаний в рассматриваемых формализмах обозначается как M_0 . Множество простых знаний (обозначается как M_1) составляют знания ПСП, которые имеют глубину 1. Такие знания являются аналога-

ми троек *RDF* (*Resource Description Framework*). Они применяются для представления элементов онтологий ПрО как основы реализации ЖЦ и процессов в ИС.

Использование формата семантических иерархий связано с моделированием содержания памяти компонент ИС. Такое содержание представляется развиваемыми структурами сложных знаний, задаваемых специальными формулами организации памяти. Последние задаются как комбинации специальных классов (баз) структурных представлений знаний в формате семантических иерархий, составляемых с использованием специальных операций над базами. Примерами таких классов являются множества структурных представлений знаний (Σ), множества знаний представлениями заданной глубины k (Σ_k), окрестности знаний разных радиусов (O), неупорядоченные и линейно упорядоченные серии знаний из разных классов (S и L) [8]. Регулярные структуры семантических представлений в памяти ИС конструируются с использованием операций суммы ($\oplus$) и произведения ($\otimes$) баз или регулярных выражений. Выражения $S \otimes \Sigma_1$ и $(S \otimes \Sigma_1) \oplus (S \otimes \Sigma)$ обозначают множества параллельных серий простых знаний и прямую сумму серий простых и произвольных знаний. Первое из приведённых выражений естественно для описания структур памяти, применяемых для представления онтологий. Второе выражение используется при моделировании процессов пошагового синтеза знаний, реализуемых как эволюции знаний. Первая серия таких процессов представляет развиваемое во времени описание ситуации решаемой задачи в форме серии простых знаний ($S \otimes \Sigma_1$). Второй серией реализуется процесс синтеза семантической структуры знания, реализуемой пошагово в дискретном времени ($S \otimes \Sigma$). Такие процессы определяют унифицированный формат реализации ЖЦ ИС для развиваемых во времени исходных данных отдельных процессов.

2 Многомерная архитектура интеллектуальных систем

Унифицированная структура ИС связана с измеримыми универсальными аспектами знаний. Они позволяют формировать многообразие знаний как систему классов с одинаковыми наборами значений аспектов. Каждый такой класс определяет компоненту архитектуры ИС.

Количество измерений и множества значений для отдельных измерений (квантов измерений) определяется ПрО ИС. Наборы значений квантов выбранной системы измерений определяют многомерную структуру пространства знаний, а также универсальную абстрактную модель архитектуры ИС. Примерами измерений знаний являются качественные свойства знаний, представляемые понятиями абстрактности, структурированности, уровня и времени [5]. Измерение глубины знаний с квантами значений *поверхностный*, *алгоритмический* и *метаалгоритмический* неявно содержатся в концепции уровней интеллектуальных процессов [1]. Примерами квантов измерения структурированности знаний являются: *целостный* (*неструктурированный*), *частично структурированный* и *полностью структурированный*. Множества квантов измерений уровня и времени связаны со значениями: *начальный*, *профессиональный*, *аналитический*; и *прошедший*, *настоящий*, *будущий*. Система выбранных измерений вместе со значениями квантов измерений применяется далее для моделирования прототипа ИС, управляющей знаниями специалиста в области программных интерфейсов пользователей. Указанная область допускает полное и явное представление содержания в форме онтологии, применяющей ограниченные семейства классов и отношений. Пример совместного изображения элементов многомерного пространства для первых трёх измерений в форме трёхмерной сотовой структуры приведён на рисунке 1.

Здесь $D_1 = \{A, B, C\}$, $D_2 = \{1, 2, 3\}$ и $D_3 = \{I, II, III\}$ – упорядоченные множества имён для значений измерений глубины, структурированности и уровня знаний. Смещения приведённой

структуры по аналогичному множеству значений квантов измерения времени $D_4 = \{\alpha, \beta, \gamma\}$ формирует структуру четырёхмерного пространства. Элементы последней структуры представляются наборами из $D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4$. Им соответствуют классы близких по значениям рассматриваемых аспектов знаний. Классы обозначаются с помощью наборов значений квантов используемых измерений. Наборы (x, y, z, v) и (p, q, r, s) называются соседними, если каждый из них получается из другого изменением ровно одного кванта на соседний с ним в соответствующем измерении. Отношение соседства элементов формирует базовую структуру рассматриваемого многомерного пространства. С этой структурой связаны схемы построения и управления ЖЦ ИС. Отдельный элемент рисунка, обозначаемый как Т, соответствует внешнему дополнению ИС.

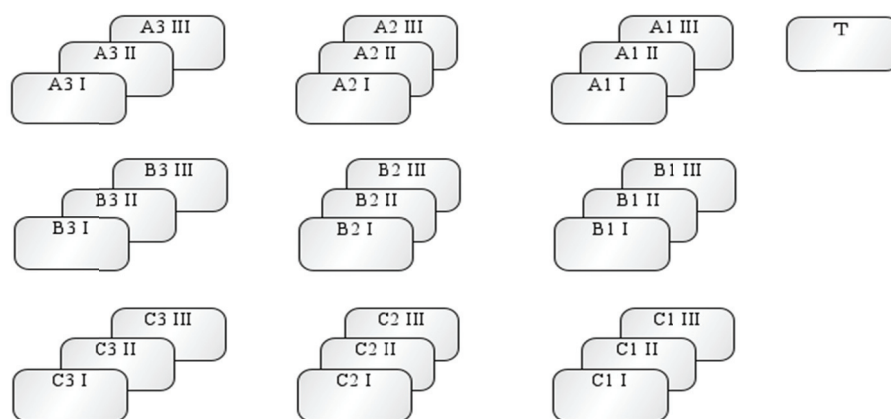


Рисунок 1 – Трёхмерная сотовая структура интеллектуальной системы

С каждым элементом многомерной структуры измерений знаний связана компонента архитектуры ИС. Элементом структуры всякой компоненты архитектуры ИС является область памяти. Формат последней уточняется формулой памяти как комбинация типовых классов структур знаний в формате семантических иерархий, составленных с помощью операций суммы и произведения баз. Одним из фрагментов структуры памяти является онтология компоненты. Она представляется как серия простых знаний в базе $S \otimes \Sigma_1$. В памяти компоненты размещаются представления знаний, конструируемых и обрабатываемых при моделировании процессов, которые реализуются в этой компоненте, а также знаний, перемещаемых между компонентами ИС при реализации потоков знаний. Пример онтологии процессов, реализуемых в компонентах ИС, приведён в [6]. Потоки знаний моделируют ЖЦ ИС. Они представляются именованными последовательностями операций переноса знаний между соседними компонентами, дополненными трансформациями перенесённых знаний внутри компонент. Перенос знаний реализуется как перевод знания в формализме компоненты источника в формат знания компоненты, в которую переносится знание. Другие разделы структуры памяти предназначены для реализации процессов синтеза знаний в формате формализма, применяемого в компоненте. Там же размещаются представления знаний, передаваемых в компоненту из других компонент и используемые совместно с онтологией в памяти этой компоненты.

3 Управление интеллектуальными системами

Управление активацией и последующей реализацией ЖЦ ИС выполняется специальными функциональными сущностями. Они называются агентами ИС. Агенты составляют осно-

ву кибернетического аспекта унифицированного подхода к разработке ИС на базе универсальной абстрактной модели таких систем. Модель агентов дополняет модели формализма представления знаний и многомерных структурных организаций таких систем механизмами их самостоятельного функционирования. Этим обеспечивается возможность субъектного существования ИС, взаимодействующего с объектами внешнего дополнения ИС. Абстрактное моделирование систем агентов ИС согласуется с принципами математического конструирования в общей теории систем [4].

Формула структурной организации памяти компонент ИС позволяет задавать множество алгебраических структур знаний в качестве множеств исходных данных и результатов отдельных шагов функционирования агентов. Она представляет множество возможных структур представления знаний в памяти компоненты ИС, используемых как исходные данные и формируемых (изменяемых) агентами. Множество состояний агента составляет собственную память этого агента. В каждый момент времени агент находится в одном из своих состояний. Состояние влияет на функционирование агента и функционально изменяется агентом за один шаг работы. Многообразие активированных агентов изменяется во времени. Оно структурировано отношениями, связывающими экземпляры активированных агентов разных типов и применяемыми для управления совместным функционированием агентов.

Унифицированный классификатор агентов связан с группированием агентов в семейства агентов управления агентами и агентов управления памятью ИС. Агентами управления моделируются активация и деактивация агентов управления потоками знаний. Класс таких агентов обозначается как **АС**. Агенты активации распознают ситуации, при которых в ИС может или должен быть реализован конкретный ЖЦ системы. Если это так, то соответствующий агент активирует соответствующее семейство новых агентов, которые управляют процессами реализации актуальных ЖЦ ИС. Активированные агенты наделяются атрибутами, уточняющими условия их функционирования. К ним относятся области памяти компонентов, в которых содержится описание моделируемых ЖЦ ИС. Состояния агента $\alpha \in \mathbf{AC}$ позволяют управлять параметрами агентов, активированных этим агентом.

Другой класс агентов управления агентами (обозначается как **АФ**) составляют агенты управления этапами реализации потоков знаний. Экземпляры агентов этого класса активируются агентами из **АС**. Каждый агент $\beta \in \mathbf{AF}$ управляет реализацией конкретного потока знаний. Она основана на описании потока в онтологии соответствующей компоненты архитектуры ИС. Функционирование агентов данного класса связано с активациями агентов двух типов. Первые отвечают за реализацию операций переноса знаний между компонентами архитектуры ИС. Вторые – за реализацию отдельных этапов обработки знаний, реализуемых в компонентах архитектуры ИС.

Агенты управления памятью осуществляют пошаговое моделирование операций по изменению информации, размещаемой компонентами архитектуры ИС. Класс таких агентов обозначается как **АМ**. Изменения содержания памяти компонент определяются двумя основными формами реализации этапов процессов в ИС. Первая относится к пошаговому синтезу семантических представлений в памяти компонент ИС. Возможная схема моделирования такой реализации в памяти компоненты основана на применении инварианта эволюции знаний как развиваемой во времени последовательной серии структурированных представлений знаний. Изменения содержания памяти согласованы с последовательным выполнением действий, предписываемых описаниями диаграмм процессов.

Вторая форма изменения содержания памяти относится к размещению в памяти отдельных компонент образов знаний, переносимых в компоненту из предшествующей компоненты потока. Активированный для этого агент управляет выбором морфизма трансформации

переносимого знания в новый формат и размещением преобразованного знания в памяти следующей компоненты потока. Агенты управления памятью активируются агентами из AF .

К более сложным агентам управления памятью относятся агенты управления моделями организации памяти компонент. Агенты этого класса изменяют форматы памяти компонент архитектуры ИС при переходе к новой структуре отдельных фрагментов. Для этого применяются операции изменения структурной организации памяти, в том числе связанные с анализом и удалением избыточных или неактуальных знаний, синтезированных при реализации потоков и процессов обработки знаний.

Общий формат описания произвольных агентов содержит сведения, достаточные для моделирования в целом процессов функционирования агентов в дискретном времени существования ИС. Параметрами таких описаний являются инварианты многомерной архитектуры и организации памяти ИС, а также собственные инварианты агентов. Общие формализованные описания приведённых классов агентов и их подклассов определяют возможные многообразия агентов ИС.

Всякому типу агентов можно поставить в соответствие вычислимое отображение $f_A : M \times Q \rightarrow M \times Q \times O$. Здесь A – тип агента; Q – перечислимое множество состояний агента; M – перечислимое множество значений содержания памяти ИС; O – перечислимое множество операций, реализуемых отдельными агентами. Множество M составляют комбинации элементов баз морфизмов одного или нескольких формализмов знаний. Примерами дополнительных операций агентов являются активация, деактивация, удаление экземпляров агентов разных типов, а также изменение содержания или структуры памяти, фиксирующее размещение результата шага обработки или переноса знаний.

Архитектура агентов обеспечивает унификацию механизмов реализации функционирования ИС как кибернетической системы. Развитая система схем функционирования агентов допускает разные форматы согласованного управления системой активных агентов. В основе таких схем лежит общее дискретное время, общие форматы структурной организации памяти и дискретная структура потоков и процессов, реализуемых агентами.

4 Онтология профессиональных знаний области программных интерфейсов

Онтология некоторой ПрО реализуется в виде связанного семантического представления, содержащего описание свойств и отношений между концептами, используемыми для моделирования процессов решения профессиональных задач в рассматриваемой области. За основу проектирования онтологий принята модель карт знаний формализованного контента. Карта знаний представляется нагруженным ориентированным графом. Каждой вершине графа соответствует множество элементарных знаний M_0 применяемого формализма знаний. Семантические отношения, связывающие элементы классов, представляются ориентированными дугами, соединяющими соответствующие классы. Дуги размечены именами отношений между классами.

Основу процессов проектирования и заполнения конкретных онтологий составляют операции формирования иерархий разделов онтологии и отдельных классов в них. Для этого используются операции добавления, удаления, расщепления и слияния классов и отношений между классами. Они позволяют трансформировать исходную структуру онтологии, представленную классом всех сущностей *Things*, в карту знаний с иерархической структурой системы областей. Теоретическим фундаментом проведения трансформаций системы концептов онтологии (имён классов и отношений) в модель онтологии ПрО является формальный анализ понятий. Имена классов и отношений соответствуют элементарным знаниям в применяемом формализме знаний. Для реализации онтологии в форматах памяти компонент ар-

хитектуры ИС можно использовать серии простых знаний, которые создаются путём указаний принадлежности классам отдельных элементов (моделируется простыми знаниями вида $a \in C$), а также связыванием элементов классов заданными отношениями, а также знаний вида $A \subseteq B$, где A и B – это классы.

В качестве элементарных знаний онтологии формализованного контента используются имена понятий и формализованные выражения, принятые в моделируемой ПрО. Также применяются не типизированные объекты, которыми представляются слабо структурированные и слабо формализованные сущности, применяемые в качестве элементов синтезируемых семантических структур. К формализованным выражениям относятся разнообразные математические формулы и формализованные описания алгоритмов и программ.

Построение фрагмента онтологии *Пользовательские интерфейсы* области знаний *Информатика* показано на рисунках 2-6. Начальный фрагмент системы концептов понятия *Интерфейс* приведён на рисунке 2.



Рисунок 2 – Концепты содержания понятия *Интерфейс*

Структуры концептов, показанных на рисунке 2, приведены на рисунках 3-5.

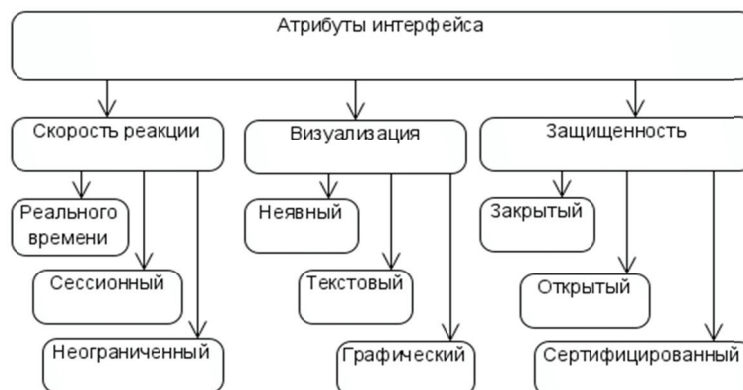


Рисунок 3 – Структура концептов содержания понятия *Атрибуты интерфейса*

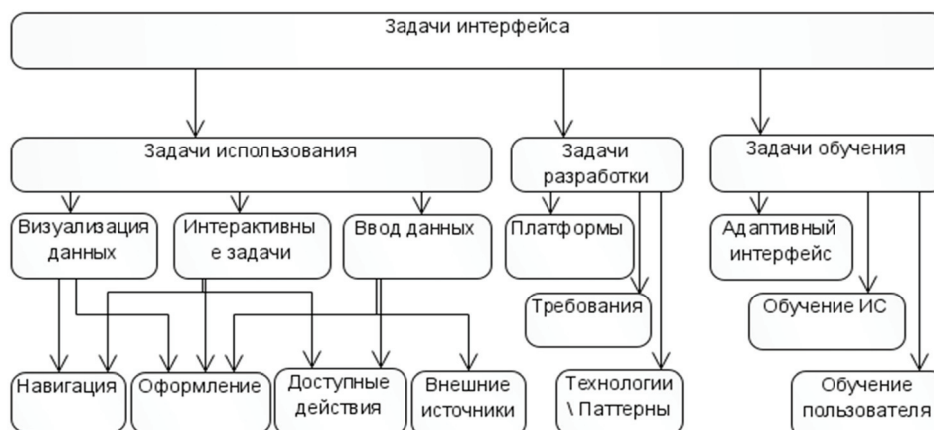


Рисунок 4 – Структура концептов содержания понятия *Задачи интерфейса*

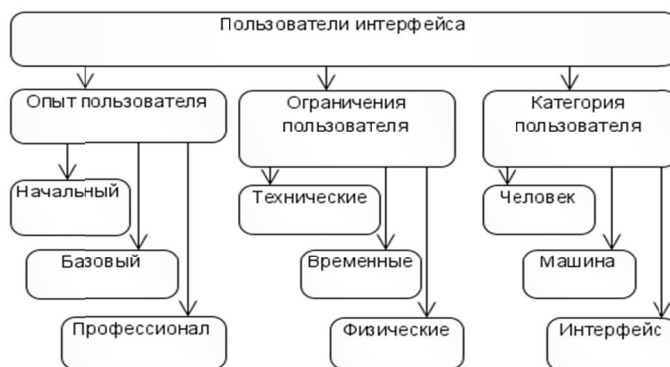


Рисунок 5 – Структура концептов содержания понятия *Пользователи интерфейса*

Содержание приведённых понятий ассоциируется с семействами специальных понятий, относящихся к разнообразным представлениям об атрибутах, свойствах, принципах, задачах и пользователях программных интерфейсов.

Фрагмент онтологии пользовательского интерфейса изображён на рисунке 6.

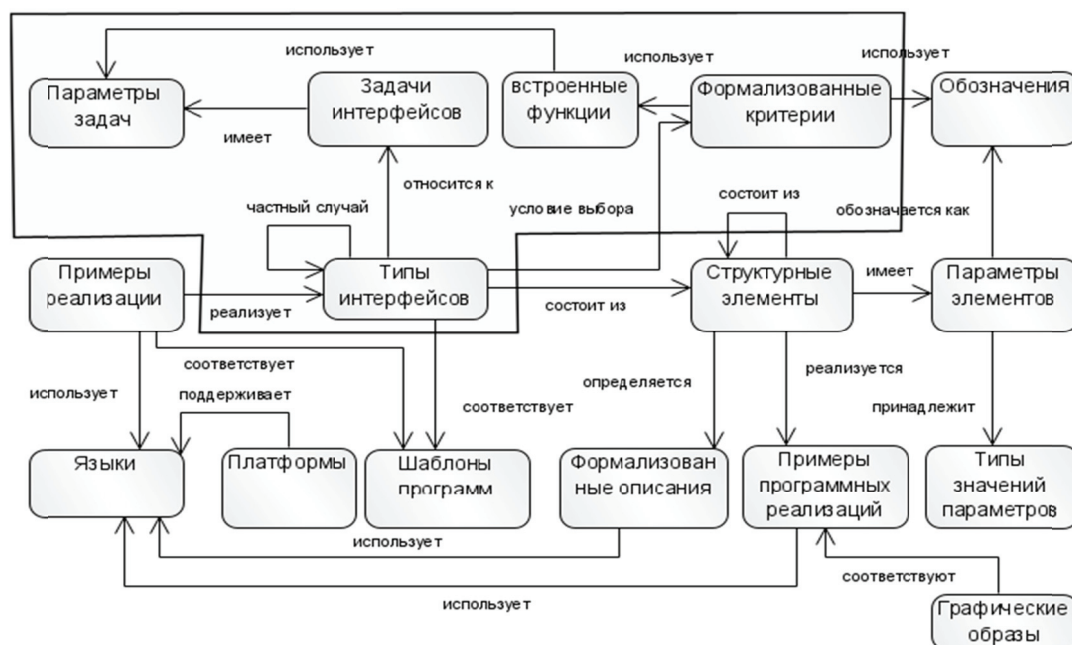


Рисунок 6 – Фрагмент онтологии пользовательского интерфейса

Приведённый фрагмент онтологии относится к компоненте $B3$ двумерной структуры таких систем $D_1 \times D_2$ (см. рисунок 1). Он содержит знания, позволяющие конструировать структуры знаний, используемые для моделирования процессов консультирования, обучения, качественного оценивания и экспертизы в области пользовательских интерфейсов.

Классы приведённого фрагмента онтологии распределяются по трём отдельным областям. Область, ограниченная специальной линией, интегрирует элементарные знания о задачах, классификации и критериях выбора пользовательских интерфейсов. Другие области интегрируют знания о структурных элементах интерфейсов и реализациях интерфейсов разных типов с использованием различных языков и программных платформ. Можно привести следующие примеры профессиональных задач, реализуемых ИС.

- Вопросно-ответное консультирование, состоящее в синтезе и предоставлении фрагментов ПрО, содержащих ответ на вопросы, описывающие конкретные ситуации.

- Передача знаний (обучение) в области программирования пользовательских интерфейсов, адаптированных к профессиональному уровню, опыту и потребностям обучаемых.
- Проектирование структуры и элементов формализованного описания пользовательских интерфейсов на основе слабо формализованных требований к нему с использованием и адаптацией подходящих шаблонов.
- Комментированный анализ (экспертиза) представленного фрагмента текста программы, реализующей элементы пользовательского интерфейса.

В двумерной архитектуре ИС $D_1 \times D_2$ описание системы задач представлено в содержании онтологии компоненты C_3 . В ней аккумулируются абстрактные знания, относящиеся к когнитивным целям и абстрактным операциям над знаниями, осуществляемым в профессиональной деятельности специалистов ПрО. Концепты когнитивных целей и операций соответствующего фрагмента онтологии приведены на рисунке 7.

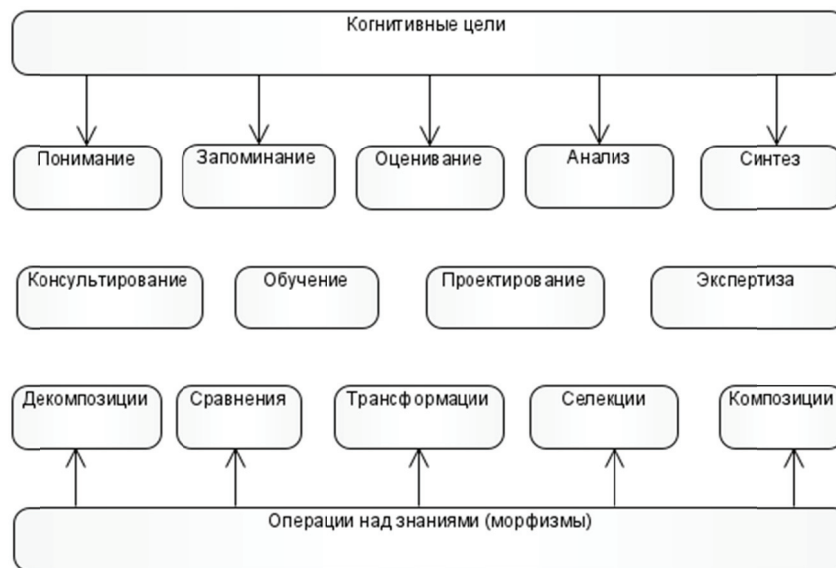


Рисунок 7 – Концепты когнитивных целей и операций

Основой схем решения каждой из указанных задач являются потоки знаний. Ими реализуются последовательности переноса знаний между компонентами архитектуры ИС для разных этапов решения задач. В таких последовательностях этапы переноса чередуются с этапами обработки знаний в соответствующих компонентах архитектуры ИС. На этапе обработки знаний осуществляют синтез семантических структур, формируемых внутри соответствующих компонент ИС из знаний онтологии компоненты, а также структурированных знаний, переносимых из предыдущих компонент потоков. Фрагмент, содержащий описание потоков, реализуется в онтологии компоненты B_3 . Исходные данные каждой из рассматриваемых задач переносятся в эту компоненту из компоненты A_1 . Структура результата реализации применяемой схемы обработки знаний переносится потоком в следующую компоненту.

Элементы данной структуры можно рассматривать как результат интеграции и обработки знаний с совпадающими значениями квантов измерений D_1 и D_2 .

Примером описания задач консультирования является конструкция вида *Объяснить фрагмент программы (P)*. Здесь P – формализованное выражение, содержащее рассматриваемый фрагмент программы. Решение данной задачи связано с реализациями когнитивных целей понимания и применения знаний [6, 9]. Первая из целей связана с развёртыванием сложного знания иерархической структуры. В нём интегрируются и совместно обрабатываются разнообразные сведения о понятиях и формальных выражениях. Основные этапы син-

тезатакого знания моделируют схемы мышления специалистов. Последовательность этапов может включать:

- 1) распознавание языка, в котором реализован предложенный фрагмент программы (для этого анализируются служебные слова разных языков, относящиеся к интерфейсам);
- 2) покрытие текста P иерархией фрагментов, составляющих законченные описания элементов интерфейсов, дополненные формальными описаниями и графическими образами примеров описаний, поддерживающими возможность разъяснения получаемой структуры P ;
- 3) анализ синтаксической правильности фрагментов, основанный на проверке возможности порождения фрагментов с помощью формальных описаний;
- 4) оценка качества реализации P , основанная на полученной структуре P с шаблонами программных интерфейсов.

Реализация каждого из приведённых этапов соответствует фрагменту диаграммы процесса, основанному на моделировании последовательностей операций обработки знаний [8].

Решение задачи обучения связано с формированием структуры информационных объектов (понятий, формул, изображений, комментариев), визуализация которого позволяет организовать управляемое обучение в области *программных интерфейсов пользователей*.

Задача проектирования основывается на получении и использовании значений критериев выбора шаблонов интерфейсов. Для этого выполняется уточнение списка требований к параметрам разрабатываемого интерфейса, представленных как начальные данные.

Экспертиза программ, заданных своими формализованными описаниями (формулами), состоит в реализации цели оценивания [10]. Она включает оценку профессионального уровня и опыта разработчика, соответствия программы заданным требованиям. Для реализации таких целей операций существенно применение морфизмов сравнения.

5 Потоки и процессы знаний интеллектуальной системы

Система потоков знаний ИС формирует многообразие ЖЦ системы. Основой каждого цикла являются знания, размещённые в компонентах, а также описания исходных ситуаций трансформируемых и переносимых потоками знаний в ИС. Эмпирическая классификация базовых потоков в ИС включает потоки: анализа и трансформации внешних информационных объектов, развития онтологии области знаний и модели когнитивных структур и процессов, реализуемых в ИС. Формальная модель потока ИС включает описания шаблона потока, диаграмм процессов, реализуемых в компонентах, через которые проходит поток, а также операций трансформации знаний и переноса знаний между компонентами [5].

Потоки, реализующие отдельные типы ЖЦ ИС, демонстрируют особенности адаптации конструкций абстрактной модели ИС к свойствам ПрО. Конструкции потоков соответствуют двумерной структуре ИС $D_1 \times D_2$. Система нумерованных потоков для целей извлечения и профессионального применения знаний приведена на рисунке 8.

Поток с номером 1 моделирует процессы обработки первичной информации, содержащей знания во внешних форматах или описание ситуаций решаемых задач. Результаты реализации потока добавляются в онтологию, представленную в компоненте ВЗ. Поток моделирует прохождение последовательности соседних вершин двумерной структуры $A1-A2-A3-B3$. Здесь $A1$ – вершина начала потока, а $B3$ – вершина завершения потока. Область памяти вершины $A1$ содержит целостные образы информационных объектов, реализованных во внешнем формате представления, принятом среди специалистов рассматриваемой ПрО.

Каждой вершине потока соответствует диаграмма процесса, реализуемого в соответствующей компоненте ИС. Описания диаграмм и условия выбора составляют фрагменты он-

тологии компоненты. Реализация всякого процесса завершается формированием результата. Он представляется алгебраической структурой знания для формализма представления знаний, применяемого в этой компоненте.

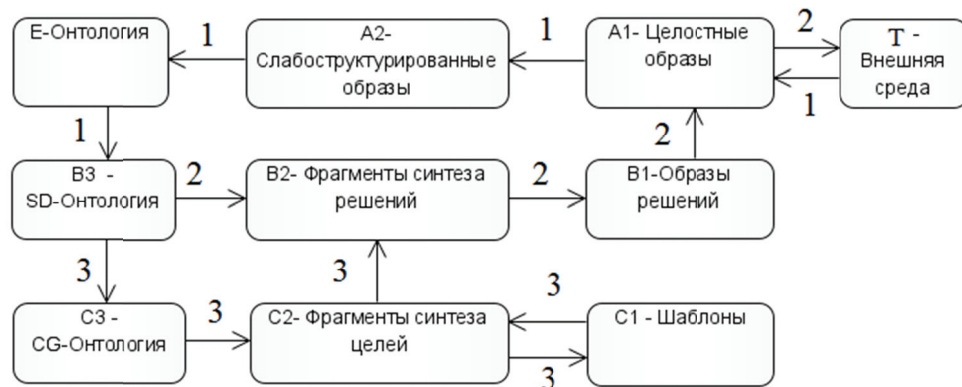


Рисунок 8 – Поток целей извлечения и профессионального применения знаний

В общем случае формализмы знаний, соответствующих разным компонентам ИС, могут различаться. Поэтому при переносе фрагмента в следующую компоненту потока может потребоваться изменение формата представления. Параметром переноса является область памяти компоненты, в которой размещается переносимая структура знаний. Полный формат описания потока знаний имеет вид, представленный на рисунке 9.

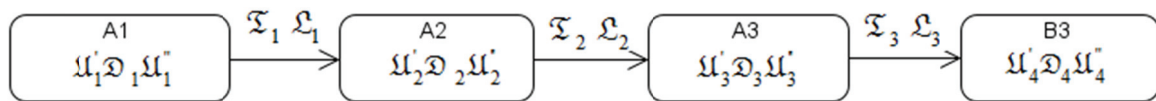


Рисунок 9 – Поток знаний обработки содержания внешних ресурсов

Структуру приведённого описания составляют однородные фрагменты двух типов. Фрагменты первого типа соответствуют компонентам. Они представляются в виде $\mathcal{U}'_i \mathcal{D}_i \mathcal{U}''_i$, где $\mathcal{U}'_i$ – условие активации этапа потока, $\mathcal{D}_i$ – условие выбора диаграммы, реализуемой в компоненте, а $\mathcal{U}''_i$ – условие успешности завершения выполнения этапа потока знаний в этой компоненте. Фрагменты второго типа размечают рёбра потока и обозначаются как $\mathfrak{T}_i \mathcal{L}_i$. Здесь $\mathfrak{T}_i$ – отображение преобразования формата переносимого знания, а $\mathcal{L}_i$ – правило выбора формата и размещения переносимого знания в области памяти следующей компоненты потока. Конструирование потоков в прикладных ИС допускает использование упрощённых схем.

Описания потоков и диаграмм процессов относятся к данным, применяемым агентами, управляющими реализацией потоков и этапов потоков. Функционирование агентов поддерживает пошаговое моделирование потоков и процессов. Элементы управления, применяемые агентами, предполагают использование инструментов обработки выражений формализованного математического языка, что обеспечивает универсальные возможности моделирования процессов в ИС.

Содержание решения конкретных профессиональных задач определяется структурами потоков и применяемых диаграмм. Их формальные описания основаны на операционной семантике используемых функциональных конструкций. Особенности ПрО отражаются в онтологии её содержания.

Содержание обработки каждого ресурса в компоненте $A2$ состоит в преобразовании слабо структурированного представления ресурса из внешнего формата в структурированное представление. База знаний компоненты $A2$ содержит онтологию процессов компоненты и параметров управления процессами. Области такой онтологии аккумулируют предметные и профессиональные знания, используемые для последовательной декомпозиции ресурсов во внешних форматах представления на фрагменты, а также связывания результатов декомпозиций с помощью семантических отношений. Для обработки внешних ресурсов, составленных с использованием разных форматов представления, применяются разные области онтологии. Глубина и полнота декомпозиции связаны с выбором диаграммы процесса, определяемой соответствующим условием в описании потока. Результат декомпозиции подготавливается к передаче в компоненту $A3$. Преобразование полученной структуры в формат представления знаний в $A3$ включает замены внешних имён на внутренние, а также удаление фрагментов структур, не ассоциируемых с элементами онтологии данного компонента.

Два других потока знаний в ИС (2 - реализации профессиональной задачи и 3 - синтеза шаблона такой реализации) представляются последовательностями соседних компонент архитектуры ИС: $B3-B2-B1-A1$ и $B3-C3-C2-B2$. Второй поток реализует универсальную схему алгоритмического решения профессиональной задачи, представленную этапами:

- 1) распознавание и активация задачи, извлечение фрагмента SD -онтологии, применяемого для её решения в качестве начального данного;
- 2) перемещение полученной структуры в компоненту $B2$ для моделирования процесса синтеза структуры знания, составляющей решение распознанной профессиональной задачи;
- 3) синтез решения в компоненте $B2$ с помощью выбранной диаграммы процесса;
- 4) перемещение найденного решения в $B1$ с использованием подходящего трассирования ПСП синтезированных знаний [8];
- 5) обработка полученного решения в $B1$, связанная с интеграцией нового решения в экспертный опыт ИС, размещаемый в памяти указанной компоненты;
- 6) перемещение преобразованного решения в $A1$ с преобразованием структурированного внутреннего представления найденного решения во внешний формат представления знаний, принятый в соответствующей ПрО.

Третьим потоком моделируются ЖЦ ИС, относящиеся к метаалгоритмическому уровню абстрактного мышления [1]. Для него выполняется обработка знаний о когнитивных целях и операциях, применяемых для решения профессиональной задачи конструирования шаблона интерфейса реализации цели задачи. Полный вариант этого потока определяет последовательность: $B3-C3-C2-C1-C2-B2$. Она включает специальные этапы поиска фрагментов синтезируемого шаблона среди предопределённых шаблонов реализации когнитивных целей разных типов (реализуется в компоненте $C1$).

Многообразие абстрактных потоков в ИС реализуется специальной алгебраической системой. Множество потоков замкнуто относительно операции композиции. Данная операция выполняет замену этапа потока на поток, начальная и завершающая компоненты которого совпадают. Моделирование потоков в прикладной ИС основывается на конечном семействе базовых и вспомогательных потоков. Получаемые при этом модели абстрактных потоков имеют разный уровень возможностей трансформации в прикладные потоки с использованием операций гомоморфного расширения потоков.

Заключение

Трансформация абстрактных инвариантов ИС в элементы прототипов конкретных ИС затрудняется многочисленными содержательными аспектами ПрО. Это связано с

множественностью проявлений специфических свойств знаний, содержащихся в слабо формализованных моделях ПрО. Создание общей математической модели ИС связано с согласованной и сбалансированной интеграцией формализованных аспектов и свойств указанных моделей, трансформируемых в элементы прикладных систем. Использование инвариантов абстрактной математической модели на примере построения онтологии пользовательских интерфейсов приведено в данной работе.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект номер № 20-01-00289) и администрации Краснодарского края (проект номер № 19-41-230008).

Список источников

- [1] *Stanovich, K.E.* Rationality and the reactive mind / K.E. Stanovich. Oxford Univ. Press. 2011.
- [2] *Hermann, H.* Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language / Helbig Hermann, Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 2006.
- [3] *Burgin, M.* Theory of Knowledge: Structures and Processes / M. Burgin // World Scientific Series in Information Studies, Vol.5. 2017.
- [4] *Месарович, М.* Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. М.: Мир, 1978.
- [5] *Bloom, B.S.* Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals / B.S. Bloom, M.D. Engelhart, E.J. Furst, W.H. Hill, D.R. Krathwohl // Handbook 1: Cognitive domain. New York: David McKay. 1956.
- [6] *Kostenko, K.* Knowledge flows processes at multidimensional intelligent systems / K. Kostenko // Russian Advances in Artificial Intelligence: selected contributions to the Russian Conference on Artificial intelligence (RCAI 2020), Moscow, Russia, October 10-16, 2020, Vol. 2648, p.74-84.
- [7] *Kostenko, K.* The intelligent office engineering by rational and reactive mind invariants / K. Kostenko, A. Lebedeva, B. Levitskii // Proceedings of the 6th International Conference Actual Problems of System and Software Engineering, Moscow, Russia, 12-14 November 2019. 2514, 106-116.
- [8] *Костенко, К.И.* Операции когнитивного синтеза формализованных знаний / К.И. Костенко // Программная инженерия, Т.9, №4, 2018, с.174-184.
- [9] *Hammal, Y.* Formal techniques for consistency checking of orchestrations of semantic Web services / Y. Hammal, Kh.S. Mansour, A. Abdelli, L. Mokdad // Journal of Computational Science, Vol. 44, July 2020, p.1-17.
- [10] *Krathwohl, D.R.* Revising Bloom's taxonomy: An overview / D.R. Krathwohl // Theory into Practice. 41(4), 2002, p.212-218.

Сведения об авторах



Костенко Константин Иванович, 1957 г. рождения. Окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в 1980, канд. физ.-мат. наук. (1985). Доцент кафедры математического моделирования Кубанского государственного университета. ORCID: 0000-0002-9851-2455. AuthorID (RSCI): 18020. kostenko@kubsu.ru.

Белкин Виктор Юрьевич, 1979 г. рождения. Окончил Кубанский государственный университет в 2001 г. Ведущий программист

управления информационных технологий Кубанского государственного университета. AuthorID (RSCI): 126215. belkin@kubsu.ru.



Поступила в редакцию 25.12.2020, после рецензирования 20.02.2021. Принята к публикации 15.03.2021.

User interfaces ontology in the cybernetic model of intelligent systems

K.I. Kostenko, V.Yu. Belkin

Kuban State University, Krasnodar, Russia

Abstract

A model of an intelligent system is proposed for implementing the control and professional use of a knowledge collections related to subject area of software interfaces with external users. The basis of formalization is an abstract model of an intelligent system. It is based on coordinated and balanced invariants of the knowledge representation formalism model. Invariants set includes classes of morphisms for abstract knowledge processing modelling with morphisms' domains, invariants of the multidimensional architecture of intelligent systems components, which includes inter-component knowledge flows and processes of knowledge synthesis within components, as well as invariants of control agents for abstract knowledge flows and processes within intelligent systems. The intelligent system knowledge base is presented as subject area ontology by non-ordered series of simple knowledge. Fragments of such ontology are distributed between components of intelligent systems three-dimensional architecture. The basis of such structure based on the dimensions of abstraction, structuring and the level of knowledge addressed to and processed within intelligent system's separate components. The ontologies reflect the ideas about the structures of memory and the processes of thinking used to model the schemes of the professional activity of a specialist. The basis for the formalization of such concepts is the fundamental principles of philosophy, linguistics, cognitive psychology, mathematics, and system engineering. This allows deploying a comprehensive system of classes of information structures and processes for complex knowledge synthesizing that support achievement of various cognitive goals implemented by specialists within professional tasks implementation processes. The goals system includes extraction, analysis and application of knowledge about user interfaces. The variety of such goals is modeled by a high-level implementation pattern system. They are composed of basic types of goals and are implemented using knowledge processing cognitive operations. Knowledge structures in the format of semantic hierarchies are used as a unified representation of knowledge. Cognitive goals are realized by combinations of operations on structured knowledge, adapted to special classes of structures.

Keywords: intelligent system, knowledge dimension, ontology, knowledge flow, cognitive goal, user interface.

Citation: Kostenko KI, Belkin VYu. User interfaces ontology in the cybernetic model of intelligent systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 89-103. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-89-103.

Acknowledgment: This work was funded by RFBR (grant project number № 20-01-00289) and administration of Krasnodar territory (grant project number № 19-41-230008).

List of figures

- Figure 1 - The three-dimensional honeycomb structure of intelligent system
- Figure 2 - Content concepts of the Interface concept
- Figure 3 - The structure of the content concepts of the Interface attributes concept
- Figure 4 - The structure of the content concepts of the Interface tasks concept
- Figure 5 - The structure of the content concepts of the Interface tasks Users of the interface concept
- Figure 6 - Fragment of the user interface ontology
- Figure 7 - Cognitive goals and operations concepts
- Figure 8 - Streams of goals for knowledge extraction and professional application
- Figure 9 - Knowledge flow of processing the content of external resources

References

- [1] **Stanovich KE.** Rationality and the reactive mind. Oxford Univ. Press. 2011.
- [2] **Helbig H.** Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language, Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 2006.
- [3] **Burgin M.** Theory of Knowledge: Structures and Processes. World Scientific Series in Information Studies, Vol. 5. (2017).

- [4] **Mesarovich YM, Takahara Ya.** General Theory of the systems: mathematical Foundations [In Russian]. Moscow: Mir, 1978, 312 p.
 - [5] **Bloom BS, Engelhart MD, Furst EJ, Hill WH, Krathwohl DR.** Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain. New York: David McKay. 1956.
 - [6] **Kostenko K.** Knowledge flows processes at multidimensional intelligent systems. Russian Advances in Artificial Intelligence: selected contributions to the Russian Conference on Artificial intelligence (RCAI 2020), Moscow, Russia, October 10-16, 2020, Vol. 2648, p.74-84.
 - [7] **Kostenko K, Lebedeva A, Levitskii B.** The intelligent office engineering by rational and reactive mind invariants. Proceedings of the 6th International Conference Actual Problems of System and Software Engineering, Moscow, Russia, 12-14 November 2019, 2514, 106-116.
 - [8] **Kostenko KI.** Operations of formalized knowledge cognitive synthesis [In Russian]. *Programmnaja Ingenerija*, 2018; 9(4): 174-184.
 - [9] **Hammal Y, Mansour KhS, Abdelli A, Mokdad L.** Formal techniques for consistency checking of orchestrations of semantic Web services. *Journal of Computational Science*, 2020; 44(7): 1-17.
 - [10] **Krathwohl DR.** Revising Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*. 2002; 41(4):212-218.
-

About the authors

Konstantin Ivanovich Kostenko (b. 1957) graduated from Moscow State University (Moscow) in 1980, PhD (1985). He is an assistant professor at Kuban State University (Department of Computing technologies and applied mathematics) ORCID: 0000-0002-9851-2455. AuthorID (RSCI): 18020. kostenko@kubsu.ru

Victor Yurievich Belkin (b. 1979) graduated from Kuban State University (Krasnodar) 2001. He is a leading programmer at Kuban State University Department of information technologies. Author ID (RSCI): 126215. belkin@kubsu.ru

Received December 25, 2020. Revised February 20, 2021. Accepted March 15, 2021.
