

Онтология иерархического проектирования интеллектуальных систем

© 2022, К.И. Костенко ✉, Б.Е. Левицкий

Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

Аннотация

Представлена система понятий, используемых в технологии построения и практического применения формализованных моделей интеллектуальных систем. Основу технологии составляют понятия, отражающие общность теоретических и эмпирических представлений о структурных и функциональных характеристиках знаний, формируемых в разных областях, занимающихся исследованием процессов мышления и структур организации памяти. Образы понятий реализуются как формализованные описания базовых элементов интеллектуальных систем, разделенные на три отдельные группы: формализмы представления знаний, многомерные структуры знаний и памяти, а также кибернетические элементы управления знаниями и структурами памяти. Преобразования абстрактных понятий из общей математической модели интеллектуальной системы в описания сущностей прикладных моделей таких систем осуществляется с использованием операций гомоморфного расширения. Основу указанных операций составляют символьные преобразования, конкретизирующие содержание общих математических выражений. Применение унифицированного семейства базовых понятий интеллектуальных систем и форматов их описания обеспечивает гибкость процессов разработки моделей, получаемых из начальной абстрактной модели. Понятия формализованных моделей интеллектуальных систем составляют фрагмент онтологии управления проектированием таких систем, применяемый для моделирования процессов проектирования.

Ключевые слова: интеллектуальная система, представление знаний, архитектура интеллектуальных систем, онтология проектирования, агенты управления системой, диаграмма процессов конструирования.

Цитирование: Костенко К.И., Левицкий Б.Е. Онтология иерархического проектирования интеллектуальных систем // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №1(43). С.68-81. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-1-68-81.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края проект номер № 19-41-230008, а также РФФИ проект номер № 20-01-00289.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Интеллектуальные системы (ИС) составляют особый класс сложных систем. Основу моделирования ИС составляют понятия формализованного представления знаний и операции их обработки. Выбор и формализация понятий для базовых элементов ИС осуществляется на основе анализа и унификации понятий и процессов, применяемых в разных областях знаний, занимающихся изучением процессов мышления и структур организации памяти. Полнота системы таких понятий обеспечивает возможность построения модели ИС, достаточной для её применения в качестве электронного двойника субъекта, действующего в соответствующей области знаний. Совокупность понятий ИС можно разделить на понятия, относящиеся к представлениям о формализмах представления знаний, многомерных структурах знаний и памяти, кибернетических элементах управления знаниями и структурами памяти.

Формализмы представления знаний составляют основу целостной математической модели представлений знаний и операций их обработки, представленной в работе [1], использу-

ющей понятия абстрактной теории алгоритмов, теории множеств, математической логики, общей алгебры, общей топологии и теории категорий. Инварианты представлений о структурах знаний и памяти используют понятия и процессы, изучению которых посвящены работы в области лингвистики и когнитивной психологии (см., например, [2-5]). Инварианты кибернетического управления знаниями основаны на применении понятий инженерии систем и кибернетики (см. [6, 7]). Основные классы инвариантов ИС приведены на рисунке 1.

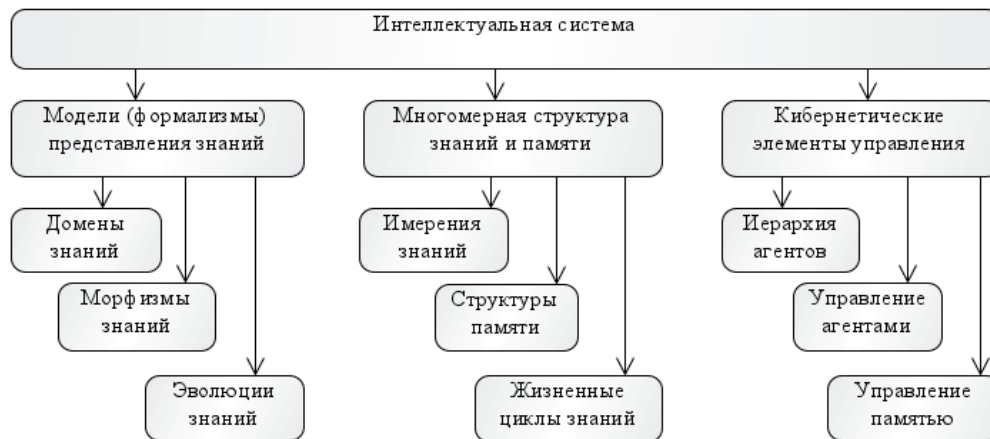


Рисунок 1 – Основные классы понятий модели ИС.

Понятия, относящиеся к семейству формализмов представления знаний, отражают опыт абстрактного и прикладного моделирования сущностей, определяющих форму и содержание знаний в разных предметных областях. Понятия представления знаний близкой структуры объединяются в класс доменов знаний, включающий области определения и области значений морфизмов и эволюций знаний. Класс понятий морфизмов знаний представляет собой математический аппарат для представления структур знаний и операций их обработки и сравнения. Класс понятий для эволюций знаний характеризует процессы обработки знаний (см. [1]).

Понятия семейства многомерных структур знаний и памяти определяют архитектуру ИС [1]. Класс понятий измерений знаний характеризует свойства представлений знаний, определяющие многомерную структуру знаний и компонентов ИС. Класс понятий для структур памяти определяет форматы организации памяти в ИС. Он связан с комбинациями доменов, резервирующими фрагменты памяти, в которых размещаются элементы реализаций морфизмов и эволюций знаний в архитектуре ИС. Понятия для класса жизненных циклов (ЖЦ) знаний характеризуют свойства процессов обработки знаний и потоков знаний, для моделирования которых применяются диаграммы процессов, определяющие структуру и элементы управления последовательностями морфизмов.

Понятия для семейства кибернетических элементов управления характеризуют общие представления о механизмах исполнения ЖЦ ИС. Основу реализации таких механизмов образуют агенты, относящиеся к классам агентов, управляющих реализацией целей ИС, и агентов, управляющих такими агентами [1]. Агенты второго типа моделируют действия, связанные с активацией новых агентов, контролем текущих состояний таких агентов (завершения работы, остановки до выполнения заданных условий, продолжения выполнения), а также удалением активированных агентов после реализации назначенных им целей. Такими целями являются трансформации знаний в памяти ИС, моделирующие потоки процессов обработки знаний в компонентах архитектуры ИС.

1 Инварианты технологии конструирования моделей ИС

Унификация процессов построения моделей ИС основана на применении однотипных схем конструирования описаний системы понятий, из которых составляются модели прототипов ИС. Множества реализаций отдельного понятия формируются с использованием класса преобразований гомоморфных расширений формализованных описаний. Начальные описания понятий моделей ИС определяют абстрактную математическую модель таких систем. Эти описания являются начальными данными операций гомоморфного расширения. Многообразия расширений определений составляют диаграммы реализаций понятий. Из элементов диаграмм реализаций понятий, конструируются целостные модели абстрактных и прикладных ИС разного уровня. Они получаются агрегированием и связыванием реализаций понятий в реализации агрегатов понятий в моделях ИС. Возможность совместного использования реализаций разных понятий модели ИС связана с унификацией их содержания.

1.1 Унифицированная структура процесса проектирования

Для управления процессами разработки модели ИС использована структура навигации по понятиям (инвариантам) модели. Она позволяет активировать процессы формирования классов реализаций отдельных инвариантов ИС. Для этого применяется унифицированная иерархическая диаграмма, вершинами которой являются этапы процессов разработки ИС. Один этап состоит в доступе к информационному или функциональному ресурсу среды проектирования ИС. Система видов этапов включает выбор: класса реализаций инварианта, операции, параметра операции или программы обработки выбранного элемента класса реализаций инварианта.

Шаблон системы этапов приведён на рисунке 2. Выбор реализаций инварианта представлен элементом «Диаграмма класса». Операции над выбираемыми реализациями инварианта задают элементы «Добавить элемент», «Открыть элемент» и «Удалить элемент». Элементами выбора параметров операций являются: «Новый», «Расширение», «Редактировать один», «Редактировать несколько» и «Дополнительные параметры».

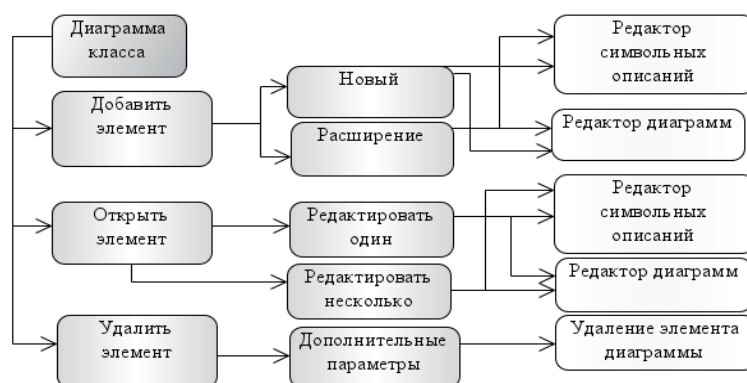


Рисунок 2 – Унифицированный фрагмент диаграммы процессов проектирования моделей ИС

Последняя группа элементов диаграммы связана с использованием специальных программ. Они реализуют выполнение определённых действий, уточняемых значениями параметров, над элементами, выбираемыми из диаграммы реализаций понятия. В приведённом примере применяются элементы, представляющие программные модули: «Редактор символьных описаний», «Редактор диаграмм» и «Удаление элемента диаграммы».

Рассмотренный фрагмент содержит описание семейства последовательностей этапов для процессов разработки определений (далее реализаций) понятий в конструируемых моделях ИС. Вершина «Диаграмма класса» образует корень рассматриваемого фрагмента. Этот фрагмент

мент задаёт диаграмма процессов, относящихся к конструированию реализаций некоторого понятия ИС. Вершины серого цвета представляют варианты этапов процессов работы с диаграммой класса. Вершины белого цвета соответствуют программам обработки элементов, выбираемых из диаграммы класса.

Вершина «Открыть элемент» используется для доступа к элементам иерархии гомоморфных расширений понятия модели ИС, определяемого корнем фрагмента диаграммы процессов проектирования ИС. Вершина «Открыть элемент» этой диаграммы может соединяться с вершинами диаграмм классов. Такая ситуация соответствует понятию для корня рассматриваемого фрагмента, реализации которого составляются как наборы реализаций классов для нескольких понятий. Каждая новая вершина «Диаграмма класса», добавляемая в последнем случае определяет корень диаграммы процессов конструирования иерархии реализаций понятия ИС, являющегося частью составного инварианта. Такая вершина является началом отдельного фрагмента диаграммы процессов конструирования моделей ИС. Этот фрагмент аналогичен фрагменту диаграммы процессов конструирования класса, составленного из нескольких классов. Схема указанного случая управления процессами проектирования моделей ИС приведена на рисунке 3.

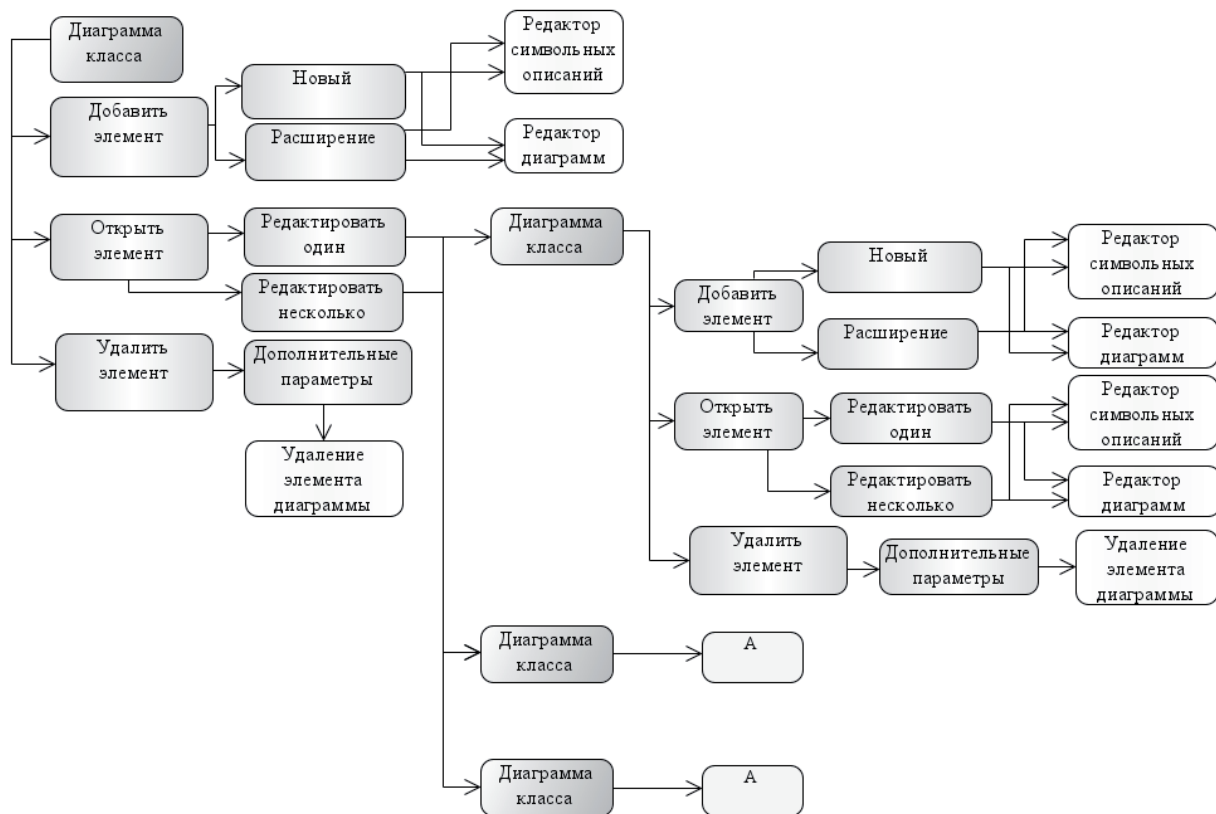


Рисунок 3 – Диаграмма процессов проектирования моделей ИС

Она включает корневой фрагмент, составленный элементами управления для фрагмента диаграммы этапов процессов проектирования ИС на рисунке 2. Однотипные с ним новые элементы фрагмента подключаются как продолжения диаграммы, присоединённые к вершинам параметров операции «Открыть элемент» («Редактировать один» и «Редактировать несколько»). Диаграмма процессов проектирования ИС на рисунке 3 включает три однотипных фрагмента, корни которых составляют добавленные вершины «Диаграмма класса». Эти вершины образуют корни диаграмм проектирования реализаций инвариантов, из которых составляются реализации понятия для диаграммы класса, являющегося корнем всей диаграм-

мы. Верхний добавляемый фрагмент приведён на рисунке полностью. Два других фрагмента изображены с использованием обозначения фрагмента диаграммы под именем «А».

Регулярная структура общей диаграммы процессов проектирования ИС изображена на рисунке 4.

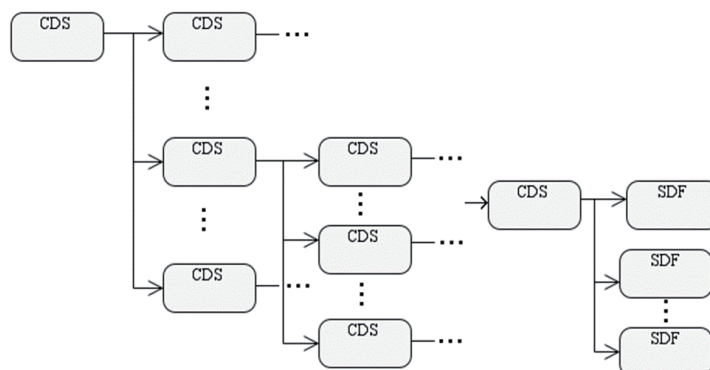


Рисунок 4 – Схема однородных фрагментов процессов проектирования моделей ИС

Последнюю диаграмму образуют блоки двух типов. Из них составляется иерархия переходов между блоками. Блоки, размеченные как *SDF*, соответствуют диаграмме, приведённой на рисунке 2. Эти блоки являются листьями диаграммы на рисунке 4. Блоки, размеченные как *CDS*, моделируют процессы обработки классов - наборов классов. Такие блоки являются частью *SDF*, получаемую удалением второй сверху пары элементов «Редактор символьных описаний» и «Редактор диаграмм». Вместо них после уточнения параметров команды «Открыть элемент» выполняется переход к блокам *SDF* или *CDS*. На рисунке 3 изображен один такой блок. Он соответствует фрагменту диаграммы, начинающемуся из элемента «Диаграмма класса» в левом верхнем углу рисунка. Этот фрагмент связан с тремя блоками *SDF*. Последние начинаются из внутренних элементов диаграммы на рисунке 3, обозначаемых как «Диаграмма класса». Структура четырёх блоков, составляющих диаграмму на рисунке 3, приведена в правой части рисунка 4.

1.2 Онтология проектирования ИС

Отмеченная ранее особенность рассматриваемой технологии построения моделей ИС, связана с использованием формализованных фундаментальных понятий таких систем. Фундаментальные понятия допускают конкретизацию, состоящую в построении многообразия реализаций понятий фундаментальной модели с помощью операций гомоморфного расширения их математических определений. Это позволяет сохранить в конкретных примерах реализаций понятий самые общие порождающие принципы и аспекты ИС, формализующие понятия для подходов к моделированию организации памяти и процессов обработки знаний.

Знания, представляющие описания понятий, относящихся к процессам конструирования моделей ИС, составляют онтологию проектирования таких систем. В общем виде элементарные знания этой онтологии соответствуют сущностям, задаваемым именами (символьными последовательностями) или формулами (принадлежащими специальным классам формализованных математических выражений). Для моделирования онтологий используются карты знаний (КЗ). КЗ составляют именованные классы элементарных знаний, связываемые заданными семантическими отношениями. Элементы таких отношений составляют семейство простых знаний онтологии. КЗ позволяет моделировать процессы конструирования (синтеза) реализаций целей (задач) из элементарных и простых знаний, используя элементы классов и отношений.

Пример такой КЗ, позволяющий моделировать процессы построения формализованных моделей ИС, приведён на рисунке 5. Он содержит описание морфологии ИС и схем формализации, адаптации и интеграции структурных элементов моделей разного уровня и разных типов.

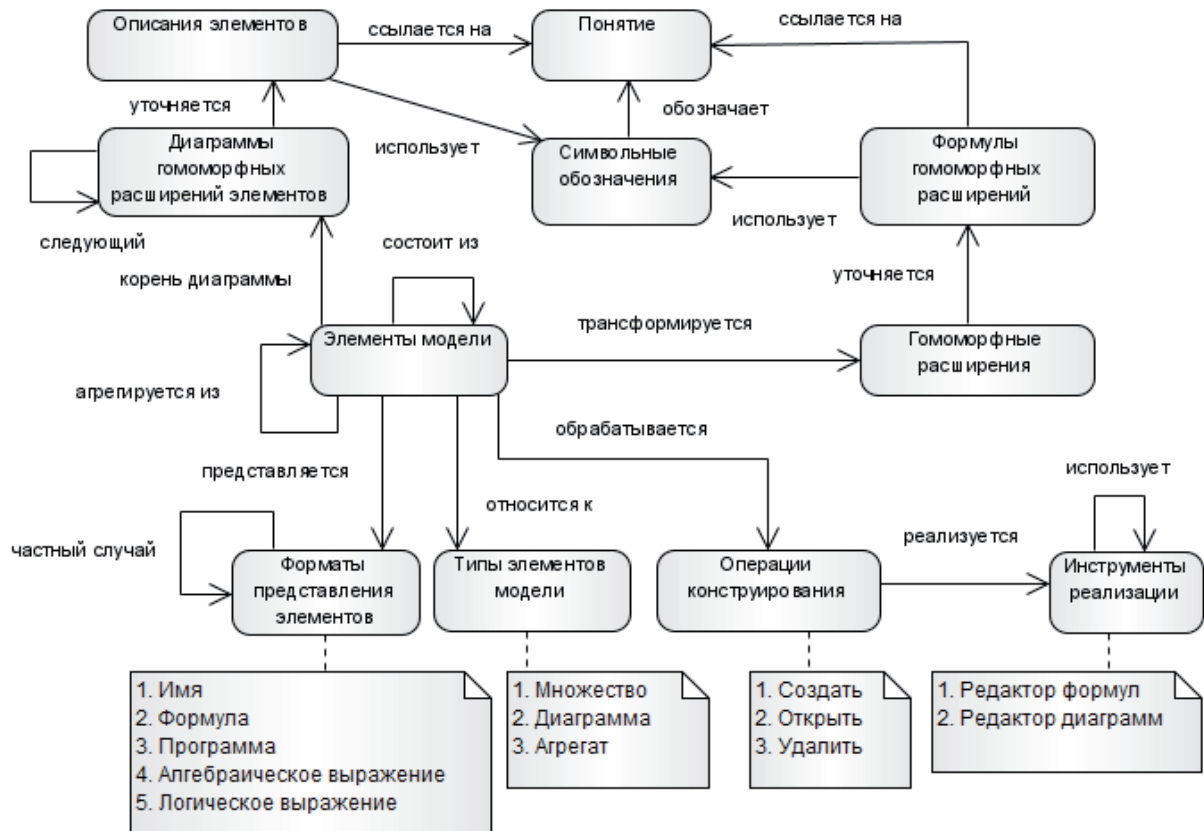


Рисунок 5 – Онтология проектирования моделей ИС

Приведённый пример КЗ оперирует сущностями, обозначающими понятия для моделей ИС и инструменты построения моделей. Модель составляют элементы модели, которые могут быть составлены из других элементов. Для интеграции применяется агрегирование наборов подходящих элементов в составные элементы. Схемы агрегирования определяют иерархическую структуру ИС. Если элемент составляется как комбинация нескольких элементов, то в иерархической структуре системы такая ситуация представляется элементом в некотором ярусе и связанным с ним набором элементов в следующем ярусе. Структурные свойства элементов модели определяются типами элементов и способами их формального представления, выбираемыми из соответствующих классов онтологии. Формальные описания элементов модели группируются в диаграммы гомоморфных расширений фундаментальных определений таких элементов. Уточнения описаний элементов диаграмм реализуются с использованием формализованных выражений, размещаемых в классе «Описания элементов». Структуры диаграмм, составленных гомоморфными расширениями определений абстрактных понятий, на КЗ представляются отношением «следующий». Формальные описания гомоморфных расширений разных типов задают схемы преобразования формализованных математических выражений (шаблоны). Множество наименований таких преобразований составляет класс «Гомоморфные расширения». Примерами специальных видов расширений являются структуризация элементов используемых множеств и сужение множеств с помощью дополнительных требований к их элементам. Шаблоны гомоморфных расширений и формулы определения элементов диаграмм гомоморфных расширений элементов моделей

ИС используют символьные обозначения элементов моделей ИС и их параметров. Последние применяются для моделирования применения шаблонов к формализованным математическим выражениям при изменении таких выражений с помощью гомоморфных расширений.

Сложность интерпретации символьных обозначений в формулах связана с допустимостью множественности смыслов одного и того же обозначения. Для КЗ, приведённой на рисунке 5, отмеченная многозначность частично преодолевается использованием дополнительного отношения «ссылается на». Это отношение дополняет связи формул с понятиями, представленными с помощью символьных обозначений. Из разных интерпретаций символьных обозначений в формулах для каждой формулы используется то, которое связано с формулой с использованием отношения «ссылается на». В таком случае треугольники «Понятия», «Символьные обозначения» и «Описания элементов» («Формулы гомоморфных расширений»), являются коммутативными. Это позволяет распознавать содержание символьных обозначений в математических формулах. Схема распознавания работает, если для каждого символьного обозначения в формуле имеет место единственность выбора понятия, на которое ссылается рассматриваемая формула. Данное условие обычно выполняется в целостных областях знаний. Проверка выполнимости последнего условия выполняется алгоритмически. Она может использоваться для автоматизации управления процессами составления формализованных описаний с помощью редакторов символьных описаний.

Операции конструирования имён или формализованных выражений, составляющих описания элементов моделей, реализуют специальные программы, завершающие процессы конструирования описаний инвариантов ИС. Операции обработки элементов диаграмм гомоморфных расширений инвариантов моделей ИС, определяют список команд, выбираемых из класса «Операции конструирования».

2 Схемы конструирования моделей ИС

2.1 Диаграммы процессов разработки инвариантов формализмов знаний

Формализмы знаний применяются в ИС для моделирования форматов представления и алгоритмов обработки знаний. Система понятий для формализмов знаний задаёт абстрактную математическую теорию таких формализмов. Гомоморфные расширения понятий формализмов знаний, состоят в детализации и конкретизации общих определений и предполагают возможность обратных гомоморфных преобразований.

Практически важный случай моделирования формализмов основывается на применении множеств элементарных и простых знаний в конструируемых формализмах. Знание является элементарным, если оно не может быть представлено как композиция других знаний. Знание называется простым, если оно не является элементарным и представляется в виде композиции трёх элементарных знаний. Совокупность элементарных и простых знаний образует часть формализма знаний. Такие знания ассоциируются с онтологиями содержания областей знаний. Отдельные классы, элементы классов и отношения между классами в онтологиях являются элементарными знаниями соответствующих формализмов. Простыми знаниями моделируются элементы отношений между классами онтологии. Многообразие других (сложных) знаний в формализме реализуется в форме знаний, синтезируемых их элементарных и простых знаний. Процессы синтеза используют схемы из комбинаций операции композиции фрагментов знаний. Последние позволяют формировать типовые структуры знаний из элементов онтологии. Определяемые онтологиями фрагменты изменяются вместе с развитием содержания области знаний. В моделях прикладных ИС они соответствуют базам знаний,

составленных элементарными и простыми знаниями, реализованным в форматах формализмов знаний и онтологий. Например, в формате КЗ (см. рисунок 5).

На рисунке 6 показана диаграмма управления процессами проектирования понятий формализмов знаний. В качестве специальных программ конструирования описаний понятий на диаграммах процессов проектирования моделей ИС использованы редакторы формул и диаграмм. Остальные блоки диаграммы на рисунке 6 определяют этапы выбора элементов управления процессами проектирования.

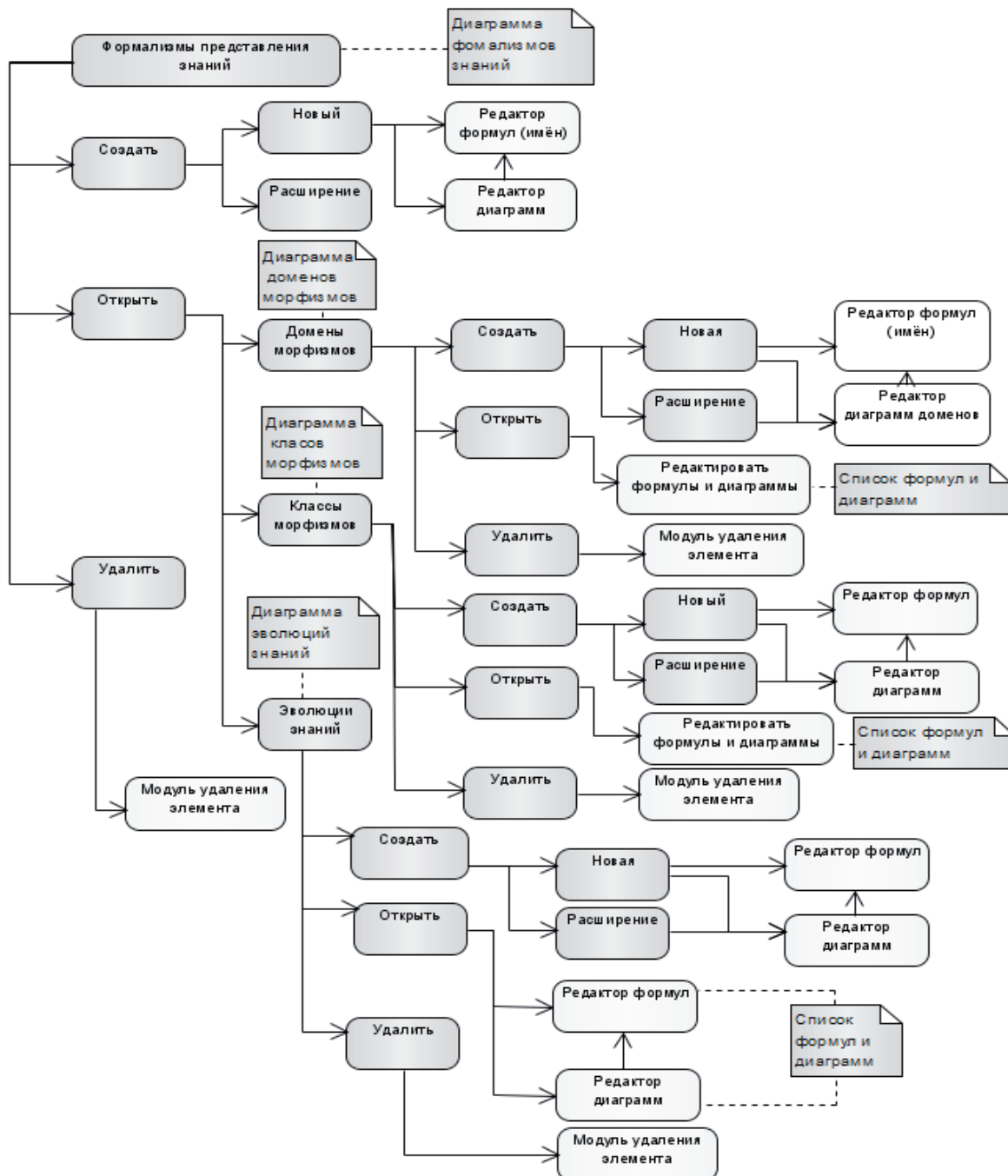


Рисунок 6 – Диаграмма управления процессами проектирования понятий формализмов знаний

Специальный элемент диаграммы «Редактор формул и диаграмм» обозначает пару программных модулей, реализующих выполнение команды «Открыть». Её составляют програм-

мы «Редактор формул» и «Редактор диаграмм». Применение объединений программ в блоки упрощает представления диаграмм для случаев, когда некоторые такие фрагменты применяются многократно.

2.2 Диаграммы процессов проектирования элементов архитектуры ИС

Моделирование формализованных описаний элементов архитектуры ИС также состоит в построении определений абстрактных понятий, развиваемых в множества своих реализаций. Основные инварианты, относящиеся к структурам ИС, связаны с концепциями многомерной сетевой архитектуры компонентов ИС, потока знаний между компонентами, процесса обработки знаний в компоненте, а также структуры памяти компонента.

На рисунке 7 изображена диаграмма этапов процессов проектирования элементов архитектуры моделей ИС. Процесс проектирования начинается с общих абстрактных определений. Диаграммы расширения таких определений допускают конструирование с помощью шаблонов изменения символьных выражений, используемых как параметры операций.

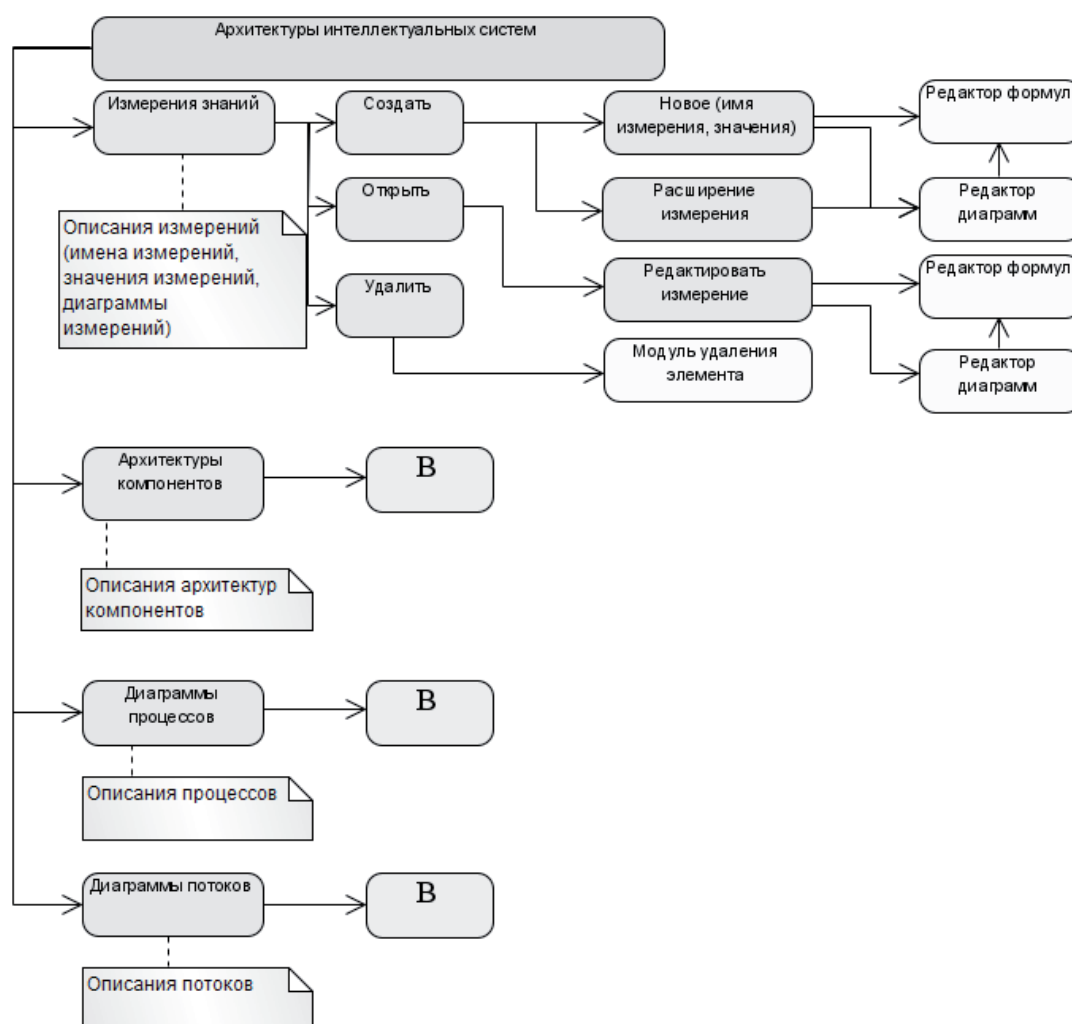


Рисунок 7 – Диаграмма этапов процессов проектирования элементов архитектуры моделей ИС

Диаграмма на рисунке 7 синтезирована из содержания приведённого на рисунке 5 примера онтологии проектирования моделей ИС. Из элементов этой онтологии, относящихся к понятиям архитектуры ИС, разворачивается иерархическая структура этапов процессов кон-

строирования реализаций расширений отдельных понятий, применяемых при последующем построении целостных моделей ИС. К таким понятиям относятся измерения знаний, архитектура компонентов ИС, потоки знаний и процессы обработки знаний в компонентах. Элементы диаграммы, размеченные символом «В» представляют фрагменты диаграммы. Эти фрагменты совпадают с фрагментом, соединённым с элементом процесса «Измерения знаний».

2.3 Диаграммы процессов разработки инвариантов агентов ИС

Агенты ИС образуют основу моделирования кибернетических аспектов таких систем. Они представляют универсальные механизмы исполнения ЖЦ ИС. Формальные описания агентов зависят от инвариантов формализмов представления знаний и архитектур ИС. Поэтому конструирование реализаций инвариантов ИС эффективно выполняется после развёртывания реализаций понятий моделей таких систем.

Диаграмма процессов построения описаний элементов агентов управления функционированием ИС, приведена на рисунке 8.

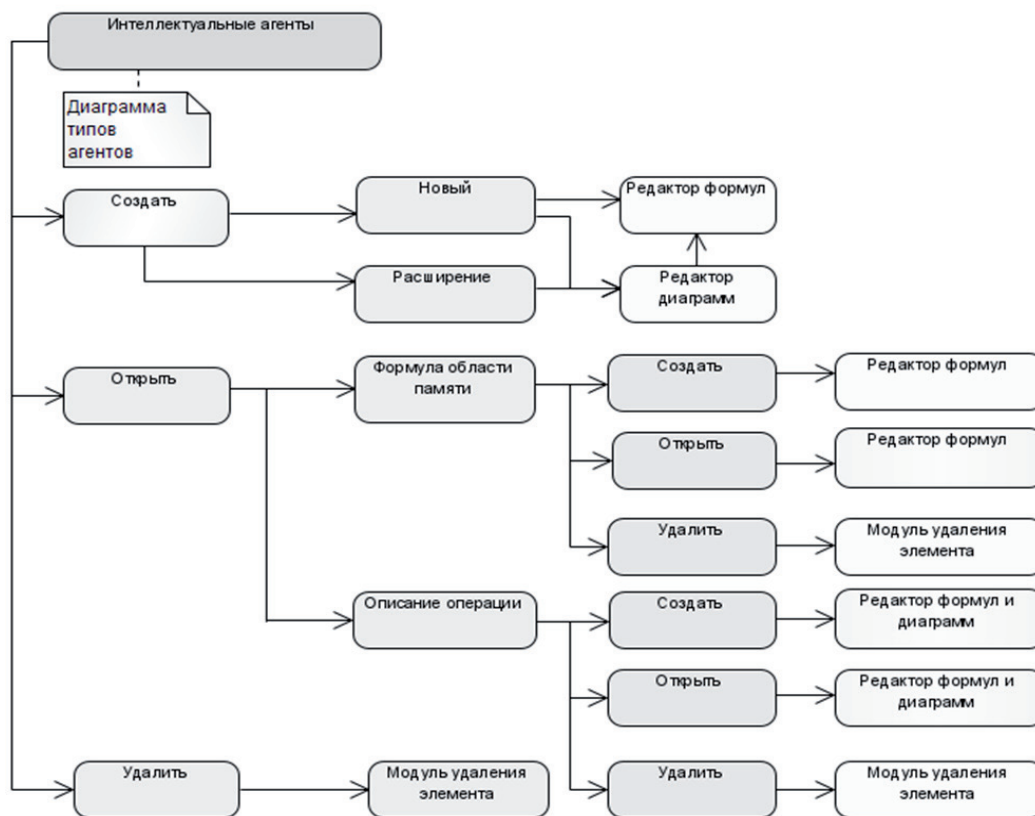


Рисунок 8 – Диаграмма процессов построения описаний элементов агентов

Агентами обеспечивается выполнение ограниченного многообразия действий, состоящих в обработке описаний реализаций заданного семейства понятий для функционирования ИС на основе общих определений понятий таких моделей. Агенты не связаны явно с областью знаний, к которой относится ИС. Они реализуют фиксированное разнообразие функциональных возможностей управления знаниями, составляющими содержание предметной области, на основе унифицированных форматов представления знаний. Основой диаграммы на рисунке 8 является структура, извлекаемая из онтологии понятий области проектирования моделей ИС. Корень диаграммы соответствует понятию «интеллектуальный агент» класса

«Элементы модели». Команда «Создать» инициирует процесс расширения многообразия реализаций понятия агентов, добавляемых в диаграмму реализаций этого понятия в качестве новых агентов, или расширения (детализации) существующей иерархии реализаций агентов. Обработка отдельных описаний реализаций понятия агента ИС выполняется с помощью команды «Открыть». Элементами модели ИС, относящимися к реализациям инварианта агента системы, являются инварианты области памяти (формулы памяти) агентов и отображений, соответствующих схемам функционирования агентов. Для этого возможно применение общего формата представления детерминированных автоматов с помощью канонических уравнений, оперирующих формулами описаний соответствующих отображений. Последние допускают построение с использованием обширного набора специальных форматов: от функциональных алгебраических выражений до диаграмм операций и схем алгоритмов.

2.4 Процесс синтеза модели ИС

Содержание этапов процесса реализации конкретной ИС из реализаций инвариантов таких моделей показано на рисунке 9.

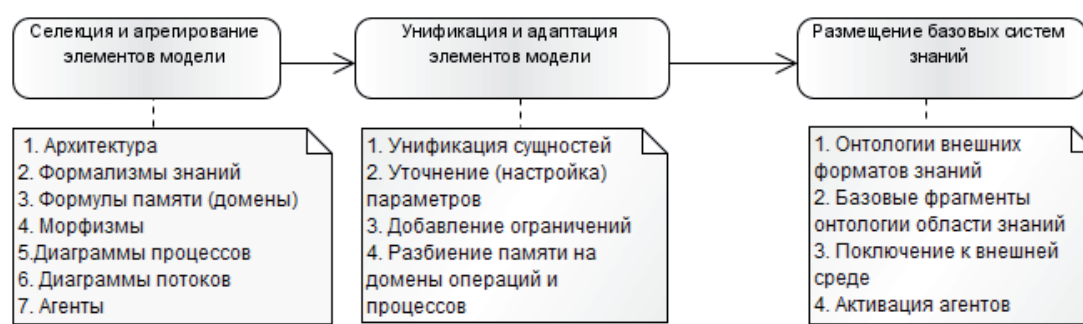


Рисунок 9 – Содержание этапов процессов реализации конкретной ИС

Конструирование унифицированных моделей прототипов ИС выполняется в несколько общих этапов. К ним относятся определение базовых понятий (элементов) моделей, интеграция отбираемых элементов в единую и целостную систему, а также начальная загрузка содержания области знаний (деятельности), размещаемая в структурах памяти отдельных компонентов архитектуры проектируемой модели ИС. На первом этапе выполняется выбор подходящего семейства реализаций понятий моделей, интегрируемых в единую структуру целостной модели ИС. Процесс инициируется выбором структуры ИС, составленной подходящей системой компонентов применяемой системы измерений знаний, а также формализмов знаний, выбранных для моделирования операций и процессов в компонентах. Такая структура дополняется описаниями формул организации памяти, определяющими разнообразия видов процессов, последовательно и параллельно реализуемых в соответствующих компонентах. Затем проводится выбор фрагментов иерархий классов гомоморфных расширений морфизмов и эволюций знаний, определяемый уровнем абстрактности создаваемой модели.

Описания потоков и процессов обработки знаний, начинающихся и выполняемых в отдельных компонентах, размещаются в специальных областях структур памяти этих компонентов [1]. В памяти ИС также размещаются общие базы знаний, используемые морфизмами размещения, классификации, декомпозиции и структуризации потоков знаний, поступающих из внешней среды, в форматах, принятых в области знаний ИС. Заключительная фаза первого этапа состоит в выборе семейств агентов управления моделью ИС. В памяти всякого компонента ИС размещается фрагмент диаграммы реализаций агентов разных типов, элементы

которого управляют потоками и процессами обработки знаний, начинающимися из этого компонента, на основе их формализованных определений.

На завершающем этапе процесса проектирования модели выполняется трансформация согласования реализаций интегрируемых понятий модели ИС, учитывающая особенности предполагаемого использования этой модели. Для согласования используемых реализаций отдельных понятий ИС, включаемых в конструируемую модель, применяется операция унификации. Особенностью последнего этапа является использование универсальных инструментов трансформации знаний из внешних форматов в формализованное содержание области знаний. Формирование содержания баз простых и элементарных знаний компонентов архитектуры модели ИС начинается с переноса знаний из ресурсов, отражающих содержание моделируемой области знаний (деятельности).

Заключение

Использование многообразий унифицированных типов сущностей, составляющих целостные модели ИС, позволяет представлять процессы конструирования таких моделей с помощью операций создания и адаптации формальных описаний многообразия универсальных понятий моделей ИС к особенностям областей знаний. Онтология проектирования ИС аккумулирует профессиональные знания, позволяющие автоматизировать отдельные этапы процессов разработки моделей. Рассмотренная модель предполагает использование универсальных программ создания и редактирования формализованных математических выражений, настраиваемых на форматы представления описаний понятий для моделей ИС.

Список источников

- [1] *Костенко К.И.* Инварианты ядра фундаментальной модели интеллектуальной системы // Программная инженерия, 2021, Т.12, № 3. С.157-168.
- [2] *Stanovich K.E.* Rationality and the reactive mind. Oxford Univ. Press, 2011. 344 p.
- [3] *Burkin M.* Theory of Knowledge: Structures and Processes. World Scientific Series in Information Studies, 2017. Vol.5, 964 p.
- [4] *Bloom B.S., Engelhart M.D., Furst E.J., Hill W.H., Krathwohl D.R.* Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain. NY: David McKay. 1956. 207 p.
- [5] *Doignon J.-P., Falmagne J.-Cl.* Knowledge Spaces. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, & NY. 1999. 584 p.
- [6] *Richards M.* Software Architecture Patterns Publisher(s). O'Reilly Media, Inc., 2015. 54 p.
- [7] *Mesarovic M., Takahara Y.* General Systems Theory: Mathematical Foundations (Mathematics in Science and Engineering). Elsevier. 1975. 268 p.

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 (КубГУ). ORCID ID 0000-0002-9851-2455. AuthorID (RSCI): 18020.kostenko@kubsu.ru. ✉.

Левицкий Борис Ефимович, 1948 г. рождения. Окончил Томский государственный университет в 1970, канд. физ.-мат. наук (1980), доцент, директор Регионального центра компьютерной связи КубГУ. ORCID ID 0000-0003-2582-624X. bel@kubsu.ru.



Поступила в редакцию 23.12.2021, после рецензирования 30.03.2022. Принята к публикации 31.03.2022.

Ontology of hierarchical design of intelligent systems

© 2022, K.I. Kostenko ✉, B.E. Levitskii

Kuban State University, Krasnodar, Russia

Abstract

A system of concepts used in the technology of designing and application of intelligent systems formalized models is presented. The technology is based on concepts that reflect the commonality of theoretical and empirical ideas about the structural and functional characteristics of knowledge formed in different areas involved in the study of thought processes and memory organization structures. Concept images are implemented as formalized descriptions of the basic elements of intelligent systems, divided into three separate groups: knowledge representation formalisms, multidimensional knowledge and memory structures, and cybernetic elements of knowledge and memory structures control. The transformation of abstract concepts from the general mathematical model of an intelligent system into descriptions of the entities of applied models of such systems is carried out using homomorphic extension operations. These operations are based on symbolic transformations that specify the content of general mathematical expressions. The application of unified classes of basic concepts of intelligent systems elements and their description formats provides flexibility in the development of models developed out the initial abstract model. The concepts of formalized models of intelligent systems constitute a fragment of the ontology of design management of such systems, used to model design processes.

Key words: intelligent system, knowledge representation, intelligent systems architecture, ontology of designing, agent based system, diagrams of designing processes.

Citation: Kostenko KI, Levitskii BE. Ontology of hierarchical design of intelligent systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 68-81. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-68-81.

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

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

- Figure 1 - Basic classes of concepts for a IS model
- Figure 2 - Unified diagram fragment of the IS models designing process
- Figure 3 - Diagram of IS models designing processes
- Figure 4 - The diagram homogenous fragments of IS designing processes
- Figure 5 - Ontology of IS models designing
- Figure 6 - Diagram of managing the designing processes of the knowledge formalism concepts
- Figure 7 - Diagram of the designing process of the IS models architecture elements
- Figure 8 - Diagram of the processes of constructing agent elements descriptions
- Figure 9 - Stages of IS models deployment

References

- [1] **Kostenko KI.** Core invariants of the intelligent system's mathematical model [In Russian]. *Programmnaja Ingengerija*, 2021; 12(3): 157-168.
- [2] **Stanovich KE.** Rationality and the reactive mind. Oxford Univ. Press, 2011. 344 p.
- [3] **Burgin M.** Theory of Knowledge: Structures and Processes. *World Scientific Series in Information Studies*, 2017. Vol. 5, 964 p.
- [4] **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. 207 p.
- [5] **Doignon J-P, Falmagne J-Cl.** Knowledge Spaces. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York. 1999. 584 p.
- [6] **Richards M.** Software Architecture Patterns Publisher(s). O'Reilly Media, Inc., 2015. 54 p.
- [7] **Mesarovic M, Takahara Y.** General Systems Theory: Mathematical Foundations (Mathematics in Science and Engineering). Elsevier. 1975. 268 p.

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 Computer technologies and applied mathematics) Scopus Author ID: 57220219474, ORCID ID 0000-0002-9851-2455. Author ID (RSCI): 18020. kostenko@kubsu.ru.
✉.

Boris Efimovich Levitskii (b. 1948) graduated from Tomsk State University (Tomsk) in 1975, PhD (1980). He is an assistant professor, Director of the Regional Center for Computer Communications of the SBEI HE «KubSU» ORCID ID 0000-0003-2582-624X, <http://www.mathnet.ru/rus/person20053>.

Received December 23, 2021. Revised March 30, 2022. Accepted March 31, 2022.
