

Информационные технологии

Разработка формального аппарата для описания и обработки концептуальных моделей

Н.И. Н.И. ХТВЕ^I, Г.Д. Волкова^I, О.Г. Григорьев^{II}

^I Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

^{II} Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

Аннотация. В статье представлено формальное описание концептуальной модели 1-го рода на объектном и конкретном уровнях для предметной задачи, представляющей документированные технические знания с учетом различной степени их формализации и расслоения концептуальной модели под постоянную информацию.

Ключевые слова: моделирование предметных знаний, формальное описание концептуальной модели 1-го рода, статистические ограничения 1-го рода, типология ограничений 1-го рода.

DOI: 10.14357/20790279230305

Введение

Интеллектуальный ресурс любой организации или промышленного предприятия включает как опыт и знания работающих в них специалистов и руководителей, так и разнообразные фонды, хранящиеся и в документной, и в электронной форме. Фонды могут иметь различное назначение, например, организованы в виде архивов технической и организационной документации, библиотечных фондов, фондов регламентов, стандартов, патентов, методик, типовых решений и др. По сути, документные фонды предприятий представляют собой аккумулированные знания многих поколений специалистов.

В современных условиях, связанных с дефицитом квалифицированных инженерных кадров и ситуацией «разрыва поколений», на промышленных предприятиях остро стоит вопрос сохранения и дальнейшего развития интеллектуального потенциала. Специфика инженерных знаний заключается в их сложной организации, обусловленной не-

обходимостью их увязывать в рамках жизненного цикла создаваемых машиностроительных изделий.

Одним из решений этого вопроса является перенос интеллектуального ресурса в компьютерную среду. Но простое сканирование и/или формирование документов непосредственно в компьютере не позволит решить эту проблему. Требуется перевести в компьютерную среду не только «форму», но и «содержание» документа. Это возможно при наличии формализованных методов семантического моделирования предметных областей, в которых знания зафиксированы в различных средах: бумажных носителях, в компьютере, в памяти специалистов.

Формализованные методы семантического моделирования в значительной мере зависят от технологий автоматизации информационных и интеллектуальных процессов. Можно условно выделить несколько этапов развития и смены технологий в этой области [1,31]:

– электронная обработка данных (ЭОД) или технологии традиционного программирования;

- информационные технологии (ИТ) или технологии структурного программирования;
- новые информационные технологии (НИТ) или технологии объектно-ориентированного программирования и методов искусственного интеллекта;
- когнитивный подход (КП) или когнитивные технологии.

Когнитивный подход как этап развития автоматизации интеллектуального труда продолжает развиваться и в настоящее время. Суть этого этапа заключается в многоуровневом отображении реального мира, где каждый уровень включает в себе ряд функциональных центров: монадического, структурного и контекстуального, которые связаны между собой законом цикличности научного познания [31].

1. Анализ методов семантического моделирования

Анализ методов семантического моделирования в рамках выделенных этапов выполнялся по следующим критериям: область деятельности – источник; начало разработки; основания семантического моделирования или базовые элементы; виды и разнообразие статических отношений или структур; виды и разнообразие динамических отношений или структур; наличие закономерностей формирования структур/конструкций; наличие формального аппарата для описания отношений/структур и для их интеграции; наличие формального аппарата для обработки моделей/структур; методическое обеспечение; программная поддержка.

В качестве основных методов семантического моделирования для анализа были выбраны следующие представители: в рамках этапа ЭОД метод тезаурусов [4]; в рамках этапа ИТ метод Чена (ERA- подход) [5,6,7,8]; в рамках этапа НИТ – декларативные методы ИИ (семантические сети, фреймы), – процедуральные методы ИИ (логического вывода, продукции), – метод онтологий, – методы семантического моделирования в О-О подходе [9–23]; в рамках этапа КП метод концептуального моделирования в рамках методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ), разработанной на кафедре ИТВС МГТУ «СТАНКИН» [1,2,31].

В табл. 1 приведены результаты сравнительного анализа методов семантического моделирования. По результатам сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Методы этапов ЭОД и ИТ ориентированы на описание статических составляющих семанти-

ческой модели. При этом методы этапов НИТ и КП ориентированы на описание и статических, и динамических составляющих семантической модели.

2. В методах этапов ЭОД, ИТ, НИТ механизмы формирования составляющих модели индивидуальны, «рецептурные». В методе этапа КП – выявлено наличие закономерностей формирования всех составляющих семантической модели.
3. В методах этапов ЭОД и ИТ отсутствует формальный аппарат описания/интеграции семантических моделей. В методе этапа НИТ – наличие формального аппарата (известного). В методе этапа КП – наличие оригинального формального аппарата для описания/интеграции концептуальных представлений, концептуальных моделей, концептуальных конструкций.
4. В методах первых трех этапов отсутствует формальный аппарат для обработки и/или оптимизации самих моделей.
5. Методическое обеспечение для трех этапов обусловлено индивидуальным опытом и квалификацией специалистов и, как правило, сопровождается графической поддержкой. Методическое обеспечение для этапа КП включает унифицированный набор процедур, правил их выполнения, правил оформления и фиксации результатов в графической и табличной форме.

Основываясь на анализе семантических методов, используемых при разработке систем автоматизации приложений, было установлено, что большая часть перечисленных методов затруднительно использовать при создании систем поддержки интеллектуального труда в машиностроении. Кроме того, в существующих программных продуктах удобно, информативно и доступно используются визуальные средства для представления информации в этих методах. Они не имеют формального описания различных моделей и их обработки.

Анализ инструментальных средств для создания автоматизированных систем показывает, что существующие инструменты часто разрабатываются и обеспечивают работу только с одним классом из существующих методов. Наличие настраиваемого программного обеспечения затрудняет его разработку, использование и значительно увеличивает его стоимость.

Проблемы, выявленные по результатам анализа, показали, что при проектировании и реализации прикладных автоматизированных систем следует использовать не только методы моделирования знаний, но требуются способы и средства поддержки обработки концептуальных представлений предметных задач, включающие оптими-

Табл. 1
Результаты сравнительного анализа методов семантического моделирования

Метод / Критерий	Тезаурусов	ERA-метод	Декларативные модели ИИ	Процедурные модели ИИ	Метод онтологий	Методы в О-О подходе	Метод КМ в МАИТ
Этап	ЭОД (1)	ИТ (2)	НИТ (3)	НИТ (3)	НИТ (3)	НИТ (3)	КП 4)
Область деятельности – источник	Библиотечная деятельность	Информационные системы – моделирование данных. Системы организационного управ-я	Моделирование знаний	Моделирование знаний	Моделирование знаний (=концептуализация знаний)	Проектирование баз данных	Автоматизация проектной деятельности
Начало разработки	Середина 60г. 20 века	Середина 70-х г. 20 в	80-е годы 20-го века	80-е годы 20-го века	00-е годы 20 века	10-е	Середина 80-х годов 20-го века
Основания семантического моделирования / базовые элементы	Понятия, семантические отношения: род-вид; синонимия; ассоциация	Entity, Attribute, Relation	для СС – понятия и связи; для фреймов – фрейм, слот, процедура	Логический вывод; причинно-следствие	Построение онтологии - субъективно: объекты, их свойства, отношения, обработка	Объекты, отношения, ограничения, отображения	Основания моделирования- методологические, теоретические, практические. Категории и зависимости разных уровней абстрагирования, типы и виды связей
Виды и разнообразие статических отношений	Иерархия понятий. Алфавитный перечень. Классы усл. эквивалент	Структуры сущностей на разных отношениях	для СС – сеть объектов и част-ных понятий на разных связях; для фреймов-структура	Структура предикатов	Структуры на концептах	Структуры объектов	Модели разных представлений и разных уровней абстрагирования. Статические структуры: основные, производные
Виды и разнообразие динамических отношений	Нет	Нет	Структура процедур / вычислимых фреймов	Структура логического вывода/продукций	Нет	Структуры отображений	Модели разных представлений и разных уровней абстрагирования. Динамические структуры: ограничения 1-го рода (на основные структуры), ограничения 2-го рода (на производные структуры)
Наличие закономерно-стей формирования	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Закономерности формирования всех концептуальных конструкций в УКП
Наличие формального аппарата для описания отношений	Нет	Нет	Теория графов.	Нет	Формальное описание структур	Частично	Оригинальный формальный аппарат для описания и интеграции всех составляющих концептуальных моделей.
Наличие формального аппарата для обработки	Нет (Запрос как логическая формула).	Нет	Нет	Математическая логика.	Частично	Реляционная алгебра	Формальное описание содержательной связности
Методическое описание	Нет	Индивидуальные методики	Индивидуальные методики.	Индивидуальные методики.	Индивидуальные методики	Индивидуальные методики	Методика моделирования (унифицированный набор процедур, правил выполнения, оформления и фиксации результатов)
Программная поддержка	Информационно-поиск. системы	ER Win, IDEF X1	Языки FRL, KRL	Система Пролог и др.	Имеется	В разработке	а) Concept (2003), б) Soda (2005), в) ВИС (2008), г) ИС-2 (2018)

зацию, расслоение, классификацию и поддержку связанности составляющих моделей [27].

2. Уточнение метода концептуального моделирования

В рамках методологии автоматизации интеллектуального труда концептуальное моделирование рассматривается на трех взаимосвязанных уровнях абстрагирования и для двух представлений: универсального и представления предметных задач. Наличие трех взаимосвязанных уровней абстрагирования в универсальном представлении предопределяет возможность интеграции на нижележащих уровнях, обеспечивая целостность и единство системы знаний, которые невозможны без существования определенных закономерностей формирования моделей. Соотношение концептуальных представлений можно определить как наличие ограничений, которые накладываются универсальным представлением на представления предметных задач.

Формальное описание концептуальных представлений в целом и концептуальных моделей в каждом представлении, а также наличие закономерностей формирования для всех составляющих концептуальных моделей в рамках универсального представления, обеспечивает теоретическую основу для моделирования знаний в различных предметных областях [1,24].

Прикладная часть метода концептуального моделирования связана с семантическим моделированием предметных задач, что предполагает выделение самой задачи из предметной области и моделирование ее системы знаний.

Поскольку концептуальное представление определяет совокупность моделей, то формально это можно описать (ф.1) [2,24,29]:

$$KP(n) = \langle KP2(n), \overline{KP3(n)}, R_{23}^{KP}(n) \rangle, \quad (1)$$

где $KP2(n)$ – модель объектного уровня (2) для выделенной (n -ой) предметной задачи; $\overline{KP3(n)} = \{KP3(nm)\}$ – совокупность моделей конкретного уровня для той же задачи.

При этом уточнение модели каждого уровня абстрагирования в данном представлении включает подмодели (ф.2) соответствующего i -го уровня и j -го рода – $KPi.j(z)$, где для $i=2, z=n$, а для $i=3, z=nm$:

$$KPi(z) = \langle KPi.1(z), KPi.2(z), R_i^{KP}(z) \rangle \quad (2)$$

Уточненная структура предметного представления с учетом подмоделей приведена на рис. 1.

Формально данное уточнение можно записать (ф.3):

$$KP.1(n) = \langle KP2.1(n), \overline{KP3.1(n)}, R_{23}^{KP1}(n) \rangle, \quad (3)$$

где $KP2.1(n)$ – модель 1-го рода объектного уровня (2) для выделенной (n -ой) предметной задачи; $\overline{KP3.1(n)} = \{KP3.1(nm)\}$ – совокупность моделей 1-го рода конкретного уровня для той же задачи.

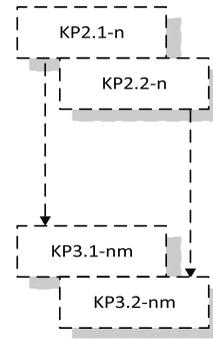


Рис. 1. Уточненная структура концептуального представления предметной задачи с учетом подмоделей [24,29]

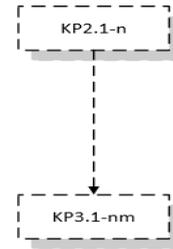


Рис. 2. Уточнение структуры для КМ-1 в общем виде

Уточненная структура концептуальных моделей 1-го рода приведена на рис. 2.

Дальнейшее уточнение структуры связано с уточнением концептуальных моделей 1-го рода на объектном и конкретном уровнях и с увязкой моделей разных уровней.

Уточнение концептуальной модели 1-го рода на объектном уровне для n -ой предметной задачи включает (ф.4): множество предметных категорий (ПК), множество статических (структурных) отношений на ПК и множество динамических отношений на ПК [24,25,29]:

$$KP2.1(n) = \langle M2(n), T2(n), H2(n), \overline{F2(n)}, R_2^{KP1}(n) \rangle \quad (4)$$

Множество ПК для n -ой предметной задачи разбивается на множество непересекающихся подмножеств (ф.5) [2]:

$$\begin{aligned} M2(n) &\equiv A(n) = \{a_{km}\}, \\ A(n) &= \bigcup_i A_i(n), A_i(n) \cap A_j(n) = \\ &= \emptyset, A_i(n) \subset A(n), A_i(n) = \{a_{ik}\}, \end{aligned} \quad (5)$$

а $T2(n)$ – множество бинарных отношений (ф.6) и $H2(n)$ – множество тернарных отношений на ПК (ф.7), $\overline{F2}(n)$ – множество динамических отношений 1-го рода (ф.8), $R_2^{KP1}(n)$ -уязвка статической и динамической составляющих:

$$T2(n) \subset A(n) \times A(n) \quad (6)$$

$$H2(n) \subset A(n) \times A(n) \times A(n) \quad (7)$$

Динамические отношения включают систему предметных зависимостей 1-го рода $\overline{F2}(n)$ [2]:

$$\overline{F2}(n) = (\overline{V2}(n), \overline{FV2}(n)), \quad (8)$$

где $\overline{V2}(n)$ – множество предметных зависимостей 1-го рода (ПЗ-1) и $\overline{FV2}(n)$ -множество бинарных отношений между ПЗ-1.

Множество ПЗ-1 разбивается на множество подмножеств разных уровней разложения (декомпозиции) (ф.9,10) [2]:

$$\overline{V2}(n) \equiv \overline{W}(n), \quad (9)$$

$$\overline{W}(n) = \bigcup_s \overline{W}_s(n), \overline{W}_s(n) = \{ \overline{w}_{sp} \}$$

$$\overline{FV2}(n) \subset \overline{W}(n) \times \overline{W}(n) \quad (10)$$

Так как ПЗ-1 всегда есть вариант определенного типа, то ПЗ-1 как вариант фиксируется на подмножестве множества предметных категорий (ф.11,12) [2]:

$$\overline{w}_{sp} = \overline{w}_{sp}(i, t, u_{sp}); \quad (11)$$

$$\overline{w}_{sp}(i, t, u_{sp}) = (a_{j1}, \dots, a_{jq})_{u_{sp}} \& Q_{it}^{sp}(n) \quad (12)$$

где $Q_{it}^{sp}(n)$ – описывает соотношения структурных и контекстуальных ПК и индекс u_{sp} размечает подмножество $A_i(n)$, которое характеризует sp -е ограничение или ПЗ-1 для выделенной предметной задачи.

Концептуальная модель конкретного уровня 1-го рода есть совокупность множества экземпляров предметных категорий (ЭПК), множества статических отношений и множества динамических отношений (ф.13) [2,29,30]:

$$KP3.1(nm) =$$

$$= \langle M3(nm), T3(nm), H3(nm), \overline{F3}(nm), R_3^{KP1}(nm) \rangle \quad (13)$$

где каждое из множеств можно представить в следующем виде (ф.14-16) [7]:

$$M3(nm) \equiv B(nm), \quad (14)$$

$$B(nm) = \bigcup_{i,j} B_{ij}(nm), B_{ij}(nm) \cap B_{km}(nm) = \emptyset, \quad (15)$$

$$B_{ij}(nm) \subset B(nm), B_{ij}(nm) = \{ b_r^{ij} \}, \quad (16)$$

а $T3(nm)$ - множество бинарных отношений (ф.17) и $H3(nm)$ - множество тернарных отношений меж-

ду экземплярами ПК (ф.18), $\overline{F3}(nm)$ – динамические отношения, $R_3^{KP1}(nm)$ - уязвка статической и динамической составляющих:

$$T3(nm) \subset B(nm) \times B(nm); \quad (17)$$

$$H3(nm) \subset B(nm) \times B(nm) \times B(nm). \quad (18)$$

Динамические отношения – это система экземпляров предметных зависимостей первого рода $\overline{F3}(nm)$ (ф.19) [2]:

$$\overline{F3}(nm) = (\overline{V3}(nm), \overline{FV3}(nm)), \quad (19)$$

где $\overline{V3}(nm)$ – множество экземпляров предметных зависимостей 1-го рода (ЭПЗ-1) (ф.20) и $\overline{FV3}(nm)$ –множество бинарных отношений между ЭПЗ-1 (ф.21):

$$\overline{V3}(nm) \equiv \overline{P}(nm)$$

$$\overline{P}(nm) = \bigcup_{i,p} \overline{P}_{ip}(nm), \overline{P}_{ip}(nm) \cap \overline{P}_{rt}(nm) = \emptyset,$$

$$\overline{P}_{rt}(nm) \subset \overline{P}(nm), \overline{P}_{rt}(nm) = \{ p_s^{rt} \} \quad (20)$$

$$\overline{FV3}(nm) \subset \overline{P}(nm) \times \overline{P}(nm) \quad (21)$$

Так как ЭПЗ-1 всегда есть вариант определенного типа, то ЭПЗ-1 как вариант - фиксируется на подмножестве множества экземпляров предметных категорий (ф.22,23) [2,24]:

$$\overline{p}_r^{sp} = \overline{p}_r^{sp}(i, t, s, u_{spr}), \quad (22)$$

$$\overline{p}_r^{sp}(i, t, s, u_{spr}) =$$

$$= (b_x^{j1}, \dots, b_z^{jq})_{u_{spr}} \& H_{its}^{spr}(nm), \quad (23)$$

где $H_{its}^{spr}(nm)$ – условие, отражающее соотношение структурных и контекстуальных экземпляров предметных категорий и индекс u_{spr} размечает подмножество $B(nm)$, которое характеризует spr -е ограничение для выделенного экземпляра предметной зависимости 1-го рода [24].

Уточнение отношений, описывающих взаимосвязи концептуальных моделей 1-го рода разных уровней абстрагирования для представления предметных задач $R_{23}^{KP1}(n)$ можно представить в следующем виде (ф.24) [2,26,29]:

$$R_{23}^{KP1}(n) \subset KP2.1(n) \times KP3.1(nm),$$

$$R_{23}^{KP1}(n) = \{ r_i^{KP23} | r_i^{KP23}: KP2.1(n) \rightarrow KP3.1(nm) \} \quad (24)$$

Взаимосвязь моделей может быть представлена по-компонентно (ф.25-28):

$$KP2.1(n) \rightarrow KP3.1(nm); \quad (25)$$

$$A(n) \rightarrow B(nm); \quad (26)$$

$$T2(n) \rightarrow T3(nm), H2(n) \rightarrow H3(nm), \quad (27)$$

Табл.2

Взаимосвязи моделей 1-го рода объектного и конкретного уровней

$R_{23}^{KP1}(n)$	$B(nm)$	$T3(nm)$	$H3(nm)$	$\bar{P}(nm)$	$\overline{FV3}(nm)$
$A(n)$	$R_{23}^{KP1-1}(n)$	0	0	0	0
$T2(n)$	0	$R_{23}^{KP1-1}(n)$	0	0	0
$H2(n)$	0	0	$R_{23}^{KP1-1}(n)$	0	0
$\bar{W}(n)$	0	0	0	$R_{23}^{KP1-2}(n)$	0
$\overline{FV2}(n)$	0	0	0	0	$R_{23}^{KP1-2}(n)$

$$\begin{aligned} \overline{F2}(n) \rightarrow \overline{F3}(nm): \bar{W}(n) \rightarrow \\ \rightarrow \bar{P}(nm), \overline{FV2}(n) \rightarrow \overline{FV3}(nm), \end{aligned} \quad (28)$$

Или, по-другому, эту взаимосвязь концептуальных моделей можно представить в виде множеств и блочной матрицы (табл.2) (ф.29) [2,26,29]:

$$R_{23}^{KP1}(n) = \{R_{23}^{KP1-1}(n), R_{23}^{KP1-2}(n)\}. \quad (29)$$

Таким образом, уточнение моделей 1-го рода позволило обосновать типологию предметных ограничений 1-го рода.

3. Формальное описание типологии предметных ограничений 1-го рода в уточненном представлении предметных задач

Типология предметных ограничений (зависимостей) обусловлена наличием увязки концептуальных представлений в методе семантического моделирования по методологии автоматизации интеллектуального труда. То есть, универсальное концептуальное представление (как фундаментальная часть теории) накладывает ограничений на предметное представление (прикладная часть теории).

Любая предметная зависимость 1-го рода (как элемент предметного представления) может быть сопоставлена с определенным типом зависимостей 1-го рода (элементом универсального представления), т.е. можно для нее определить «замыкающую» вершину или ПК определенного класса в основной концептуальной структуре. Любой тип зависимости имеет двухпозиционный код, в котором 1-я позиция характеризует уровень семантической сложности, а 2-я – определяет «замыкание» на одну или разные контекстуальные предметные категории данного уровня семантической сложности [26,29].

Классы предметных категорий определяются информационными категориями универсального представления следующих видов: Цикл (S), Про-

цесс (P), Задача (Z), Компонент (K), Объект (O), Признак (R), Значение (C). Эти классы образуют строгую иерархию. Для уровней семантической сложности контекстуальные предметные категории определяют классы семантической сложности (1 – соответствует классу Цикл; 3 – Задача; 5 – Объект).

Исходя из вышеизложенного, можно определить совокупность правил определения типов предметных зависимостей 1-го рода:

- Тип 5.1: ограничение на взаимосвязь ПК класса «R» в рамках одной ПК класса «O»;
- Тип 5.2: ограничение на взаимосвязь ПК класса «R», связанных с разными, но однородными ПК класса «O», то есть принадлежащих одной ПК класса «K»;
- Тип 5.3 = Тип 3.1: ограничение на взаимосвязь ПК класса «R», связанных с разными и разнородными ПК класса «O», принадлежащих различным ПК класса «K», но в рамках одной ПК класса «Z»;
- Тип 3.2: ограничение на взаимосвязь ПК класса «R», связанных с разными и разнородными ПК класса «O», принадлежащих различным ПК класса «K» разных, но однородных ПК класса «Z», т.е. в рамках одной ПК класса «P»;
- Тип 3.3 = Тип 1.1: ограничение на взаимосвязь ПК класса «R», связанных с разными и разнородными ПК класса «O», принадлежащих различным ПК класса «K» разных ПК класса «Z», входящих в различные ПК класса «P» в рамках одной ПК класса «S»;
- Тип 1.2: ограничение на взаимосвязь ПК класса «R», связанных с разными и разнородными ПК класса «O», принадлежащих различным ПК класса «K» разных ПК класса «Z», входящих в различные ПК класса «P» в рамках разных ПК класса «S».

Таким образом, любая ПЗ-1 «замыкается» на одну ПК определенного класса в соответствии с их иерархией.

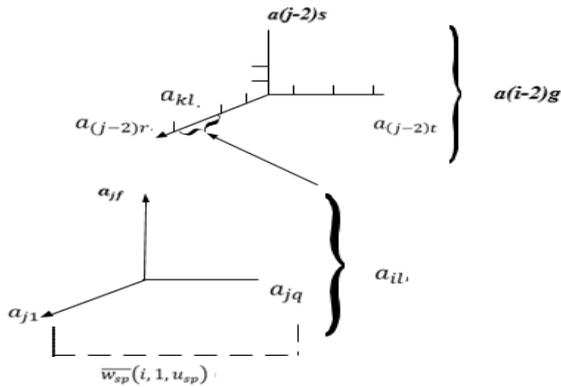


Рис.3. Геометрическая интерпретация предметной зависимости 1-го рода 1-го типа: $\overline{w}_{sp}(1,1,u)$ – кривая в α -мерном пространстве, где a_{il} – определяет абстрактное пространство i -го уровня семантической сложности, $a_{j1}, \dots, a_{jq}, a_{(j-2)r}, a_{(j-2)t}$ – определяют оси пространств разного уровня сложности, a_{kl} – определяет фрагмент шкалы на оси [24,25]

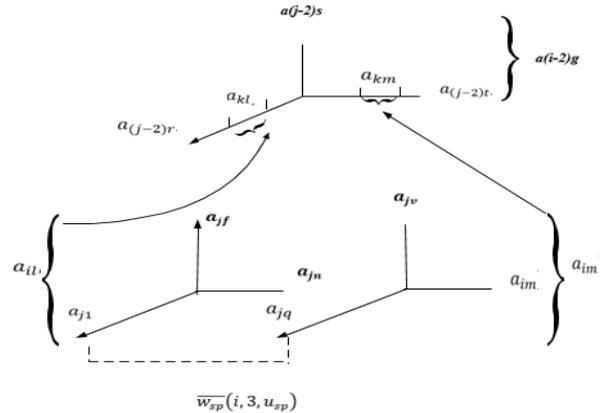


Рис.5. Геометрическая интерпретация предметной зависимости 1-го рода 3-го типа, где a_{il}, a_{im} – определяют абстрактные пространства, $a_{j1}, \dots, a_{jq}, a_{jm}, a_{(j-2)r}, a_{(j-2)t}$ – определяют оси пространств разного уровня семантической сложности, a_{kl}, a_{km} – определяют фрагменты шкал на разных осях [24,25]

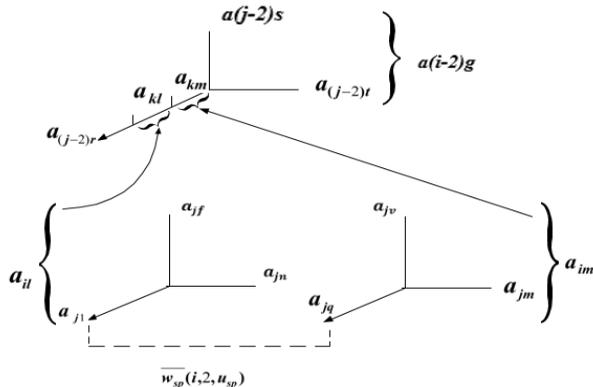


Рис.4. Геометрическая интерпретация предметной зависимости 1-го рода 2-го типа, где a_{il}, a_{im} – определяют абстрактные пространства, $a_{j1}, \dots, a_{jq}, a_{jm}, a_{(j-2)r}, a_{(j-2)t}$ – определяют оси пространств разного уровня семантической сложности, a_{kl}, a_{km} – определяют фрагменты шкал на оси [24,25]

Для геометрической интерпретации формальных описаний предметных ограничений 1-го рода можно использовать следующие понятия: абстрактное пространство, оси абстрактного пространства, метрики или шкалы осей абстрактного пространства. При этом полагается, что оси имеют «разнородные» метрики и любая ось может иметь набор «неравномерных» шкал.

На рис. 3, 4 и 5 приведена геометрическая интерпретация предметных зависимостей 1-рода от 1-го до 3-го типа для объектного уровня.

Для геометрической интерпретации ограничений 1-го рода на конкретном уровне можно использовать следующие понятия: абстрактное

пространство как совокупность точек, оси абстрактного пространства, метрики или шкалы осей абстрактного пространства и их значения.

Тогда само абстрактное пространство будет определяться контекстуальной ПК, а его точка – экземпляром этой ПК, оси пространства – определяются структурными ПК и глобальным значением на оси – экземпляром этой ПК, а метрики этих осей – набором монадических предметных категорий и их экземпляров. На конкретном уровне монадический ЭПК определяет локальную точку на фрагменте оси.

Совокупность точек на осях определяет точку в абстрактном пространстве (или контекстуальный ЭПК).

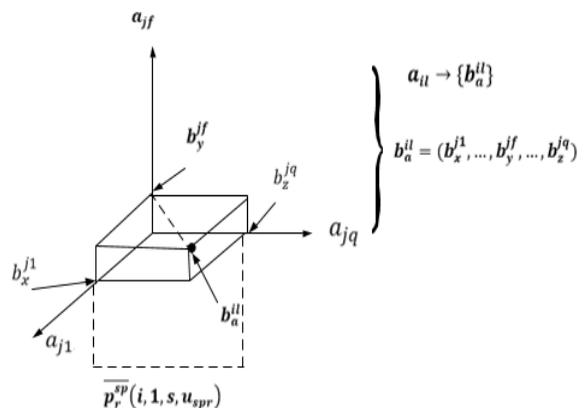


Рис.6. Геометрическая интерпретация экземпляров предметной зависимости 1-рода 1-го типа: a_{il} – пространство с осями $a_{j1}, \dots, a_{jf}, \dots, a_{jq}$, b_a^{il} – точка в пространстве a_{il} [24]

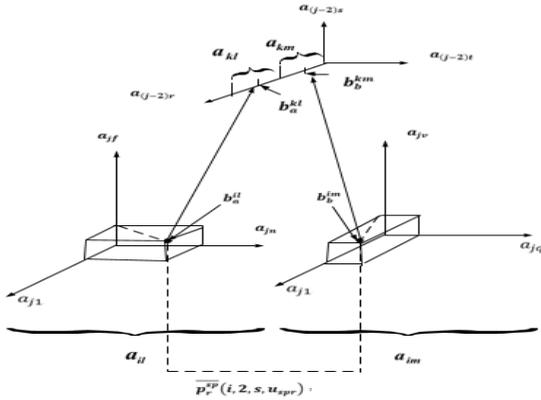


Рис.7. Геометрическая интерпретация экземпляра предметной зависимости 1-рода 2-го типа, где b_b^{km} – точка во фрагменте a_{km} оси $a_{(j-2)r}$, b_a^{kl} – точка во фрагменте a_{kl} оси $a_{(j-2)r}$, b_a^{il} – точка в пространстве a_{il} , b_b^{im} – точка в пространстве a_{im} [24]

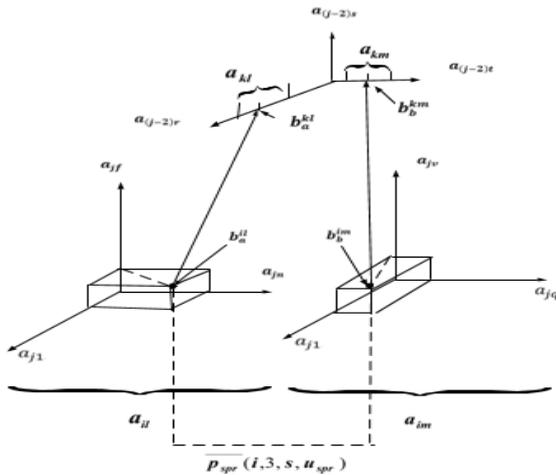


Рис.8. Геометрическая интерпретация экземпляров предметной зависимости 1-рода 3-го типа, где b_b^{km} – точка во фрагменте a_{km} оси $a_{(j-2)t}$, b_a^{kl} – точка во фрагменте a_{kl} оси $a_{(j-2)r}$, b_a^{il} – точка в пространстве a_{il} , b_b^{im} – точка в пространстве a_{im} [24]

На рис. 6,7 и 8 приведена геометрическая интерпретация экземпляров предметных зависимостей 1-рода от 1-го до 3-го типа для конкретного уровня.

4. Формальное описание статистических предметных ограничений 1-го рода

Статистические предметные зависимости 1-го рода (ПЗ-1) являются фрагментами концептуальной модели предметной задачи объектного уровня, в котором одна ПЗ-1 связана с фрагментом (подструктурой) основной концептуальной структуры.

Исходя из этого, было выполнено формальное описание процедуры расслоения концептуальной модели предметной задачи под переменную и постоянную информацию [2].

Каждая простая ПЗ-1 по степени формализации может быть аналитической, статистической и эмпирической [2].

Формальное описание концептуальных представлений позволяет рассмотреть и систематизировать все ограничения, применяемые в прикладных задачах на основе типологии ограничений в единой концептуальной структуре. Данное описание частных моделей знаний является основой для их последующей методической идентификации и выявления при выделении фрагментов под постоянную информацию из концептуальной модели 1-го рода.

Концептуальная модель 1-го рода любого уровня абстрагирования для n -ой предметной задачи с учетом расслоения представляется набором фрагментов модели в виде (ф.30) [2,8]:

$$KPi.1(z) = \langle KPi_v.1(z), \overline{KPi_c.1(z)} \rangle, \quad (30)$$

где при $z=n$ описывает набор концептуальных моделей n -ой предметной задачи объектного уровня ($i=2$), при $z=nm$ – набор концептуальных моделей m -ой реализации n -ой предметной задачи конкретного уровня ($i=3$).

Рассмотрим эти наборы более подробно. Тогда $KP2_v.1(z)$ – фрагмент концептуальной модели под переменную информацию и $\overline{KP2_c.1(z)}$ – множество фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию для объектного уровня (ф.31) [24,25]:

$$\overline{KP2_c.1(n)} = \{KP2_c^w.1(n)\}, \quad (31)$$

где $KP2_c^w.1(n)$ – фрагмент концептуальной модели под постоянную информацию на объектном уровне абстрагирования; индекс w – идентифицирует статистическую ПЗ-1 [24,29].

Для конкретного уровня $KP3_v.1(nm)$ – фрагмент концептуальной модели под переменную информацию; $\overline{KP3_c.1(nm)}$ – множество фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию (ф.32):

$$\overline{KP3_c.1(nm)} = \{KP3_c^{wp}.1(nm)\}, \quad (32)$$

где $KP3_c^{wp}.1(nm)$ – фрагмент концептуальной модели под постоянную информацию на конкретном уровне; индекс wp – идентифицирует p – экземпляр w -статистической ПЗ-1 [2,25].

Расслоение ПЗ-1 на простые (el) и сложные (com) на объектном уровне формально можно представить (ф.33) [24,29]:

$$\overline{W}(n) = \overline{W}^{el}(n) \cup \overline{W}^{com}(n). \quad (33)$$

Все простые ПЗ-1 по степени формализации разделяются на: аналитические (*an*), статистические (*st*), эмпирические (*em*). Формально это можно представить (ф.34):

$$\overline{W^{el}}(n) = \overline{W^{el-an}}(n) \cup \overline{W^{el-st}}(n) \cup \overline{W^{el-em}}(n) \quad (34)$$

Поскольку типология зависимостей обусловлена уровнем семантической сложности, то необходимо для ПЗ-1 определять ее тип с учетом уровня сложности.

Статистические ПЗ-1 соответственно можно классифицировать по типам и по содержанию.

Фрагмент концептуальной модели 1-го рода под постоянную информацию для выделенной статистической ПЗ-1 на объектном уровне может быть представлен (ф.35) [24,29]:

$$\begin{aligned} KP2_c^{sp}.1(n) &= \\ &= \langle A^{sp}(n), T2^{sp}(n), \overline{w_{sp}}, R_2^{KP1-\overline{w_{sp}}} \rangle, \\ &= \langle A^{sp}(n), T2^{sp}(n), \overline{w_{sp}}, R_2^{KP1-\overline{w_{sp}}} \rangle, \quad (35) \end{aligned}$$

где $A^{sp}(n)$ – множество ПК, характеризующих *sp*-ую ПЗ 1-го рода; $T2^{sp}(n)$ – множество бинарных отношений на ПК; $\overline{w_{sp}}$ – статистическая ПЗ-1, $R_2^{KP1-\overline{w_{sp}}}$ – увязка *sp*-ой ПЗ-1 и подструктурой основной концептуальной структуры.

Разделение экземпляров статистических ПЗ-1 на простые (*el*) и сложные (*com*) формально можно представить (ф.36) [24]:

$$\overline{P}(n) = \overline{P^{el}}(n) \cup \overline{P^{com}}(n). \quad (36)$$

Формально разделение ПЗ-1 по степени формализации можно представить (ф.37):

$$\overline{P^{el}}(n) = \overline{P^{el-an}}(n) \cup \overline{P^{el-st}}(n) \cup \overline{P^{el-em}}(n) \quad (37)$$

Фрагмент концептуальной модели под постоянную информацию для выделенного статистического ЭПЗ-1 на конкретном уровне может быть представлен (ф.38) [24,29]:

$$\begin{aligned} KP3_c^{spl}.1(nm) &= \\ &= \langle B^{spl}(nm), T3^{spl}(nm), \overline{p_l^{sp}}, R_3^{KP2-\overline{p_l^{sp}}} \rangle \quad (38) \end{aligned}$$

где $B^{spl}(nm)$ – множество ЭПК, характеризующих *spl*-ый ЭПЗ 1-го рода; $T3^{spl}(nm)$ – множество бинарных отношений на ЭПК; $\overline{p_l^{sp}}$ – экземпляр ПЗ-1 $R_3^{KP2-\overline{p_l^{sp}}}$ – увязка *s*-ого ЭПЗ-1 и подструктуры основной концептуальной структуры [24,29].

Увязка фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию для выделенной статистической ПЗ-1 (*sp*) и для множества ее экземпляров (ф.39) [24]:

$$KP2_c^{sp}.1(n) \rightarrow \{KP3_c^{spl}.1(nm)\}. \quad (39)$$

Таким образом, каждой модели для статистической ПЗ-1 на объектном уровне соответствует множество моделей для той же ПЗ-1 на конкретном уровне.

Заключение

Уточнение формального описания концептуальных представлений прикладных инженерных задач позволяет учесть и систематизировать все многообразие ограничений, применяемых в этих задачах, в соответствии с типологией ограничений на единой концептуальной структуре.

Это является основой для последующего их методического выявления и описания при разработке методики выделения фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию для предметных задач и методики определения типологии предметных зависимостей 1-го рода.

Литература

1. Волкова Г.Д. Методология автоматизации интеллектуального труда. М.: Янус-К. 2013. 104 с.
2. Волкова Г.Д. Концептуальное моделирование проектных задач: учеб. Пособие М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». 2016. 117 с.
3. Лаврѐнова О.А. Моделирование семантики научно-технических текстов для АИС и его теоретические основы // Труды 8-ой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» RCDL' 2006. Суздаль. Россия. 2006.
4. Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска // М.: МГУ. 2011. 495 с.
5. Кара-Ушанов В.Ю. Модель «Сущность – Связь»: учеб. пособие // Екб.: Электронное текстовое издание. 2017. 64 с.
6. Пинягина О.В. Лекции «Базы Данных»: ER-модель (entity–relationship) // [Электронный ресурс]. URL: http://kek.ksu.ru/EOS/BD/ER_model.html/ (доступ 12.10.2019).
7. Методология IDEF1X // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.idef.com/idef1x-data-modeling-method/>. (доступ 12.09.2019).
8. Марка Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT // М.: Метатехнология. 1993. 240 с.
9. Симаков К.В. Модели и методы извлечения знаний из текстов на естественном языке/ Диссертации на соискание ученой степени кандидата

- технических наук. Специальность 05.13.17. Москва. 2008.
10. *Норман Д.* Семантические сети // Психология памяти. М.: Че Ро. 2000. С. 350-356.
 11. *Соломатин Н.М.* Информационно-семантические системы // М.: Высшая школа. 1989. 127 с.
 12. Prolog [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Prolog/> (доступ 01.04.2021).
 13. *Кузин Е.С.* Информационные технологии и проектирование прикладных программных систем // Информационные технологии и вычислительные системы РАН. 1996. № 3.
 14. *Кузин Е.С.* Концепции информационной технологии функционально-ориентированного проектирования прикладных информационных систем. // Информационные технологии. 2000. № 1.
 15. *Вагин В.Н., Михайлов И.С.* Обеспечение интероперабельности информационных систем на основе подхода метамоделирования и онтологии предметной области // Труды Второй Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии». САИТ-2007. Обнинск. Россия. С. 149-152.
 16. *Сидорова Е.А.* Подход к моделированию процесса извлечения информации из текста на основе онтологий // Онтология проектирования. 2018. Т.8. №1(27). С. 134-151.
 17. Описание метода Онтология // [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Онтология_\(информатика\)/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Онтология_(информатика)) (доступ 18.03.2021).
 18. *Гладун А.Я.* Онтологии в корпоративных системах // Корпоративные системы. М.: Комиздат. 2006. С. 13-26.
 19. *Кузнецов О.П., Суховеров В.С.* Онтологический подход к оценке тематики научного текста // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. №1(19). С. 55-66.
 20. *Бабанов А.М.* Два современных подхода к семантическому моделированию – ORM и ERMM // Вестник Томского Государственного университета. 2014. №3(28). С. 46-56.
 21. Object Oriented Approach // [Электронный ресурс]. URL: https://www.tutorialspoint.com/system_analysis_and_design/system_analys_and_design_object_oriented_approach.html (доступ 18.03.2021).
 22. *Грэхем И.* Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика. М.: Вильяме. 2004. 880 с.
 23. *Леоненков А.В.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2006. 320 с.
 24. *Ньи Ньи Хтве, Волкова Г.Д.* Разработка формального описания типологии статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач // Вестник МГТУ «Станкин». 2021. №2(57). С. 13-19.
 25. *Ньи Ньи Хтве, Волкова Г.Д., Тюрбева Т.Б.* Формальное описание классификации и обработки концептуальной модели объектного уровня для предметной задачи // В сборнике: Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал. Материалы III всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 73-78.
 26. *Волкова Г.Д., Ньи Ньи Хтве.* Формальное описание процедуры обработки концептуальной модели // Материалы XIII всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2020)». Сборник докладов. М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». 2020. С. 298-305.
 27. *Волкова Г.Д.* Философские аспекты моделирования конструкторско-технологических знаний при создании систем автоматизации проектирования в машиностроении // Вестник МГТУ Станкин. 2012. № 1 (19). С. 141-144.
 28. *Тюрбева Т.Б., Волкова Г.Д., Семячкова Е.Г., Винарская Г.А.* Исследование методов классификации и представления знаний в научно-технических публикациях и технической документации // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2018. № 4 (47). С. 168-171.
 29. *Nyi Nyi Htwe, Galina D. Volkova, Tatyana B. Tyurbeeva, Khant Ko Zan.* Processing Of Conceptual Models Of Subject Problems For Extracting Knowledge From Technical Documentation // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), IEEE. 2021. P. 2185-2189.
 30. *Волкова Г.Д., Ньи Ньи Хтве.* Формальное описание классификации и обработки концептуальной модели конкретного уровня для предметной задачи // XXVIII конференция «Математика. Компьютер. Образование. 2021» МКО-2021, 25-30 января 2021 г.: Тезисы докладов. М. 2021. 212. С. 48.
 31. *Волкова Г.Д.* Методология автоматизации проектно-конструкторской деятельности в машиностроении // Учебное пособие. М.: МГТУ «Станкин». 2000. 81 с.

Ньи Ньи Хтве. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва. Аспирант. Область научных интересов: информационные технологии, автоматизация интеллектуальных процессов. E-mail: sawnyinyi90@yandex.ru.

Волкова Галина Дмитриевна. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва. Заведующий кафедрой. Доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: информационные технологии, автоматизация интеллектуальных процессов., концептуальное проектирование техники и технологий. E-mail: cog-par@yandex.ru. (ответственный за переписку).

Григорьев Олег Георгиевич. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва. Главный научный сотрудник. Доктор технических наук. Область научных интересов: информационные технологии, методы искусственного интеллекта. E-mail: oleggpolikvart@yandex.ru

Development of a formal apparatus for the description and processing of conceptual models

Nyi Nyi Htwe¹, G.D. Volkova¹, O.G. Grigoriev¹¹

¹ Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, Russia,

¹¹ Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This article presents a formal description of the conceptual model of the 1st kind at the object and specific levels for the subject task, which represents documented technical knowledge, taking into account the varying degree of their formalization and stratification of the conceptual model into constant information.

Keywords: conceptual model of the 1st kind of object, statistical constraints of the 1st kind, typology of constraints of the 1st kind.

DOI: 10.14357/20790279230305

References

1. *Volkova G.D.* Methodology of automation of intellectual work – Moscow.: Janus-K, 2013. P.104.
2. *Volkova G.D.* Conceptual modeling of project tasks: textbook. Manual. Moscow. “MSTU “STANKIN”, 2016. P. 117.
3. *Lavrenova O.A.* Modeling the semantics of scientific and technical texts for AIS and its theoretical foundations // Proceedings of the 8th All-Russian Scientific Conference “Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections” – RCDL’ 2006. Suzdal. Russia. 2006.
4. *Lukashevich N.V.* Thesaurus in the problems of information retrieval // M.: Izdvo MSU. 2011. P. 495.
5. *Kara-Ushanov V.Yu.* Model “Entity-Relationship”: textbook. allowance // Ekb.: Electronic text edition, 2017. P. 64.
6. *Pinyagina O.V.* Lectures “Databases”: ER-model (entity-relationship) // [Electronic resource]. URL: http://kek.ksu.ru/EOS/BD/ER_model.html/ (accessed 10.12.2019).
7. IDEF1X methodology [Electronic resource]: URL: <https://www.idef.com/idef1x-data-modeling-method/> (accessed 09.12.2019).
8. *Mark D., McGowan K.* Methodology of structural analysis and design SADT // M.: Metatechnology, 1993. P. 240
9. *Simakov K.V.* Models and methods for extracting knowledge from texts in natural language / Dissertations for the degree of candidate of technical sciences. Specialty 05.13.17. Moscow. 2008.
10. *Norman D.* Semantic networks // Psychology of memory. – M.: Che Ro. 2000. P. 350-356.
11. *Solomatin N.M.* Information-semantic systems // M.: Higher school. 1989. P. 127.
12. Prolog // [Electronic resource]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Prolog/> (accessed 04.01.2021).
13. *Kuzin E.S.* Information technology and design of applied software systems. // Information technologies and computer systems of the Russian Academy of Sciences No. 3. 1996.
14. *Kuzin E.S.* Concepts of information technology of functionally oriented design of applied information systems. // Information technologies No. 1, 2000.
15. *Vagin V.N., Mikhailov I.S.* Ensuring the interoperability of information systems based on

- the metamodeling approach and domain ontology // Proceedings of the Second International Conference “System Analysis and Information Technologies” – SAIT. 2007. Obninsk. Russia. P. 149-152.
16. *Sidorova E.A.* ontology-based approach to modeling the process of extracting information from text // *Ontology of design*. 2018. V.8. No. 1 (27). P. 134-151.
 17. Description of the ontology method // [Electronic resource]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ontology_\(computer_science\)/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ontology_(computer_science)) (accessed 03.18.2021).
 18. *Gladun A.Ya.* Ontologies in corporate systems // *Corporate systems: zhurn.* M.: Komizdat. 2006. P. 13-26.
 19. *Kuznetsov O.P., Sukhoverov V.S.* Ontological approach to assessing the subject of a scientific text // *Ontology of design*. 2016. V. 6. No. 1 (19). P. 55-66.
 20. *Babanov A.M.* Two modern approaches to semantic modeling – ORM and ERMM // *Tomsk State University Bulletin*. 2014. №3(28). P. 46-56.
 21. Object Oriented Approach // [Electronic resource]. URL: https://www.tutorialspoint.com/system_analysis_and_design/system_analys_and_design_object_oriented_approach.html (accessed 03.18.2021).
 22. *Graham I.* Object-Oriented Methods. Principles and practice. M.: William. 2004. P. 880.
 23. *Leonkov A.V.* Object-oriented analysis and design using UML and IBM Rational Rose. M.: Binom. Knowledge Laboratory. 2006. P. 320.
 24. *Nyi Nyi Htwe, Volkova G.D.* Development of a formal description of the typology of statistical subject constraints in the conceptual modeling of applied problems. *Vestnik MSTU Stankin*. 2021. No. 2 (57). P. 13-19.
 25. *Nyi Nyi Htwe, Volkova G.D., Turbeeva T.B.* Formal description of the classification and treatment of the conceptual model of the object-level substantive tasks. In the collection, the Digital economy: technology, governance, human capital. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. 2020. P. 73-78.
 26. *Volkova G.D., Nyi Nyi Htwe.* Formal description of the procedure for processing a conceptual model. Materials of the XIII All-Russian Conference with international participation Mechanical Engineering: traditions and innovations (MIT-2020), Collection of reports. Moscow, “MSTU “STANKIN”. 2020. 444. P. 298-305.
 27. *Volkova G.D.* Philosophical aspects of simulation design and technological knowledge to create systems of design automation in engineering. *Vestnik of MSTU Stankin*. 2012. No. 1 (19). P. 141-144.
 28. *Tyurbeeva T.B., Volkova G.D., Semyachkova E.G., Vinarskaya G.A.* Research of methods of classification and representation of knowledge in scientific and technical publications and technical documentation. *Vestnik MSTU Stankin*. 2018. No. 4 (47). P. 168-171.
 29. *Nyi Nyi Htwe, Galina D. Volkova, Tatyana B. Tyurbeeva, Khant Ko Zan.* Processing Of Conceptual Models Of Subject Problems For Extracting Knowledge From Technical Documentation // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). IEEE. 2021. P. 2185-2189.
 30. *Volkova G.D., Nyi Nyi Htwe.* Formal description of the classification and processing of a conceptual model of a specific level for an objective problem // XXVIII Conference “Mathematics. Computing. Education – 2021” MKO-2021. January 25-30. 2021: Abstracts., M.: 2021. 212. P. 48.
 31. *Volkova G.D.* Methodology of automation of design and engineering activities in mechanical engineering / G.D. Volkova // Textbook. M.: MSTU “Stankin”. 2000. P. 81.

Nyi Nyi Htwe. Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, Russia. Postgraduate student. E-mail: sawnyinyi90@yandex.ru.

Volkova Galina Dmitrievna. Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, Russia. Head of Department, Doctor of technical sciences, Professor. E-mail: cog-par@yandex.ru.

Grigoriev Oleg Georgievich. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Science. Chief Researcher, Doctor of technical sciences. E-mail: oleggpolikvart@yandex.ru