

DOI: 10.12731/IJASCE274
УДК 004.822

EDN: LUSGOQ

ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ «СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕТЬ» И «ГРАФ ЗНАНИЙ»

Зайцев А.Ф.

<https://orcid.org/0000-0002-0960-9061>

Восточно-Сибирский государственный университет технологий
и управления, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

Аннотация

В условиях постоянного увеличения информации, актуальность в разработке и использовании адекватных моделей для её представления, структурирования и анализа стремительно возрастает. При решении данной проблемы такие модели как, семантические сети и графы знаний выступают в роли эффективных средств, используемых в компьютерных системах управления и обработки информации. Семантические сети и графы знаний являются сетевыми моделями для представления информации, каждая из которых обладает своими уникальными особенностями, преимуществами и недостатками. В процессе исследования были использованы следующие общенаучные методы: анализ, синтез, обобщение, сравнение, описание, формализация, моделирование, а также элементы теории графов. В качестве материалов исследования использовались компьютеры и программное обеспечение. В результате исследования было выявлено, что семантические сети отличаются удобством представления взаимосвязанной информации и эффективны при моделировании относительно простых систем, в то время как графы знаний предоставляют более гибкие и масштабируемые возможности обработки знаний для моделирования сложных динамических систем.

Ключевые слова: сетевые модели; семантические сети; графы знаний; мультиграф знаний; модели данных; модели представления знаний; компьютерные системы; системный анализ; обработка информации

MAIN DIFFERENCES, ADVANTAGES, AND DISADVANTAGES OF USING THE NETWORK MODELS “SEMANTIC NETWORK” AND “KNOWLEDGE GRAPH”

Zaytsev A.F.

<https://orcid.org/0000-0002-0960-9061>

East Siberia State University of Technology and Management,
Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract

In conditions of constant increase of information, the relevance in the development and use of adequate models for its representation, structuring, and analysis is rapidly increasing. In solving this problem, such models as semantic networks and knowledge graphs act as effective tools used in computer systems for information management and processing. Semantic networks and knowledge graphs are network models for representing information, each of which has its own unique features, advantages, and disadvantages. As a result of the study, it was revealed that semantic networks are characterized by the convenience of representing interconnected information and are effective in modeling relatively simple systems, while knowledge graphs provide more flexible and scalable knowledge processing capabilities for modeling complex dynamic systems.

Keywords: network models; semantic networks; knowledge graphs; knowledge multigraphs; data models; knowledge representation models; computer systems; system analysis; information processing

Введение

В настоящее время существуют различные информационно-вычислительные системы анализа и обработки информации, которые активно используются для поддержки принятия и получения решений. Подобные компьютерные системы подразделяются на три больших класса:

1. Расчетно-логические (решающие системы) – позволяющие конечным пользователям получать точные решения различных задач по их постановкам на основе использования математических

моделей и имеющихся исходных знаний из выбранных предметных областей [1].

2. Экспертные (консультационные системы поддержки принятия решений) – назначением таких систем является выдача решений или рекомендаций для поддержки принятия решений [2–5]. Обязательное наличие специальной подсистемы объяснений и рекомендаций является главным отличием экспертных систем от расчетно-логических.

3. Интеллектуальные (естественно-языковые и вопросно-ответные системы) – обеспечивают взаимодействие с конечными пользователями в режиме диалога на каком-либо естественном языке (русском, английском и др.). Наличие подсистемы лингвистической обработки текстов естественных языков является главным отличием систем данного класса от других [6–8].

Часто базы знаний [9] и алгоритмы обработки данных в подобного рода системах строятся на основе одной или нескольких различных моделей представления информации [10, 11], например сетевых: семантических сетях, графах знаний или графовых нейронных сетях. Практически все известные сетевые модели используют такие понятия, как «сеть» или «граф», определения которых приводятся во многих работах по теории графов.

Целью представленной работы является проведение исследования по сравнительному анализу и выявлению ключевых отличий, преимуществ и недостатков использования двух сетевых моделей: семантических сетей и графов знаний. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- 1) привести определения и ключевые особенности рассматриваемых сетевых моделей;
- 2) привести примеры применения и использования рассматриваемых сетевых моделей;
- 3) описать преимущества и недостатки при использовании рассматриваемых сетевых моделей.

Сетевые модели

Сетевые модели основаны на понятии сети – множества элементов и связей между ними. В таких моделях в явной форме вы-

деляются все элементы и их отношения, составляющие информационную основу моделируемой предметной области с учётом их семантики.

Обобщенная сетевая модель может быть формально представлена в следующем виде:

$$\{ I, C, G \},$$

где:

$I = \{ I_1, I_2, \dots, I_n \}$ – множество типов информационных элементов (объектов), где n – количество элементов;

$C = \{ C_1, C_2, \dots, C_m \}$ – множество типов информационных отношений (связей) между информационными элементами из множества I , где m – количество связей;

G – отображение, задающее отношения из множества C между информационными элементами из множества I .

Существуют различные сетевые модели, отличающиеся друг от друга главным образом типом информационных элементов из множества I и типом отношений из множества C . Наиболее известными вариантами сетевых моделей являются семантические сети и графы знаний.

Графы

В общем виде графом G называется совокупность двух множеств $G(V, E)$, где V – непустое множество элементов, а E – непустое множество неупорядоченных или упорядоченных пар различных элементов из множества V . Множество V также называют – множеством вершин (или узлов), а множество E называют – множеством рёбер (или дуг).

Графы являются основой для задания и отображения структуры сетевых моделей. В частном случае существуют различные виды графов (неориентированные, ориентированные, деревья, двудольные графы, мультиграфы, гиперграфы и другие), которые используется при построении разнообразных сетевых моделей для представления информации. Например:

1. Ориентированные (направленные) графы – графы, в которых различные два узла соединяются не более чем одной дугой. Дуга –

это упорядоченная пара узлов, например: пара (v, z) , где узел v называют началом, а z – концом дуги. Дуга $(v \rightarrow z)$ означает то, что направление исходит от узла v к узлу z .

2. Мультиграфы – графы, в которых пары вершин (узлов) могут быть соединены более чем одним ребром (неориентированные), либо двумя и более дугами противоположных направлений (ориентированные).

Различные графы могут отражать и более сложную структуру. Например, мультиграфы могут содержать множественные дуги, кратные и параллельные дуги разной направленности, а также веса, петли и циклы. Всё это влияет на ход выполнения вычислений, упрощая и ускоряя процессы поиска информации для вывода верных результатов решений.

Графы применяются для решения конкретных задач вычислительного характера, решения которых содержат арифметические и логические операции, а результаты выражаются количественными численными значениями (целые числа, вещественные числа, двоичные числа $\{0,1\}$ и другие).

Часто связи между узлами в ориентированных графах и мультиграфах отражают только однородные математические отношения (арифметические, логические, функциональные или другие выполняемые операции). Поэтому метки с обозначениями отношений и элементов для дуг и узлов у подобных графов могут отсутствовать.

Семантические сети

Семантическая сеть – это ориентированный помеченный граф, с узлами которого сопоставлены элементы (конкретные объекты, величины, события, процессы, явления, факты и т.п.), а с дугами – отношения, существующие между указанными элементами.

В семантических сетях связи между узлами являются неоднородными, то есть отдельные дуги могут отражать разные типы отношений. Соответственно, все узлы и дуги в семантических сетях обязательно имеют метки с обозначениями различных элементов и отношений между ними [12, 13].

Семантические сети отражают следующие виды отношений:

1. Отношения классификации (Is_a):

– отношения между объектом и множеством, обозначающим, что объект принадлежит этому множеству (классу).

2. Отношения таксономии (Kind_of):

– отношения между надмножествами и подмножествами, категориями и подкатегориями.

3. Отношения партономии (Part_of):

– отношения, описывающие связь элемента с объектом (часть-целое).

4. Отношения меронимии (Has_part):

– отношения, описывающие связь объекта и его частей (целое-часть).

5. Атрибутивные отношения:

– «свойство-значение», «имеет свойство», «имеет значение» и др.

6. Логические отношения:

– «и», «или», «не», «следует» и др.

7. Темпорально-временные отношения:

– «раньше», «позже», «в течение», «одновременно» и т.п.

8. Пространственные отношения:

– «далеко от», «близко от», «над», «под», «за» и т.п.

9. Количественные отношения:

– «больше», «меньше», «равно» и пр.

10. Лингвистические отношения:

– «влияет», «зависит», «использует», «требует», «включает» и пр.

11. Глубинно-падежные отношения:

– «причина-следствие», «средство-цель», «ситуация-действие»

и пр.

В зависимости от структуры семантические сети подразделяют на следующие виды:

1. По типу узлов:

1) простые сети – содержат узлы, не имеющие вложенной структуры;

2) иерархические сети – содержат узлы, являющиеся некоторой вложенной структурой, например, в виде подсети процесс обхода

которой можно рекурсивно продолжить. Частным случаем иерархических сетей являются сети сценариев, фреймов и объектов.

2. По типу отношений:

1) однородные и неоднородные сети: если все отношения между элементами сети одинаковы (одного типа), то такая сеть называется однородной, в противном случае – неоднородной;

2) бинарные и n -арные сети: если все отношения в сети (и каждое в отдельности) связывают между собой только два элемента, то такая сеть называется – бинарной, в противном случае – n -арной. Частным случаем бинарных сетей являются сети сценариев, которые могут быть простыми или иерархическими (вложенными).

Преимущества семантических сетей:

- представление декларативных знаний (объектов, фактов и пр.);
- представление общелогических и узкопредметных отношений;
- иерархическое визуальное отображение всех элементов и их отношений;
- вывод результатов на основе взаимосвязей и наследования.

Недостатки семантических сетей:

- невозможность представления процедурных знаний (выполнения действий, правил, операций);
- ограниченность в представлении сложных многоаспектных отношений;
- возникновение противоречий и неоднозначности при выводе полученных результатов, отсутствие строгого логико-математического аппарата доказательства;
- сложность организации поиска и низкая эффективность вывода результатов;
- сложность масштабирования при увеличении объема информации.

Семантические сети применяются для решения различных задач, результаты решений которых часто выражаются качественными, символично-смысловыми значениями (есть/нет, больше/меньше, ближе/дальше, раньше/позже, является чем-то, принадлежит к чему-либо и т.д.). Семантические сети часто используются при трансляции естественных языков, чтобы компьютерные програм-

мы могли определять смысл информации, заложенный в различных словах (символах) и автоматически выполнять их правильный перевод (с учётом связей между ними и их синонимов) на другие языки [14]. Кроме того, семантические сети применяются при семантическом анализе формальных языков для определения смысла записанных выражений по взаимосвязям между отдельными составляющими (знаками) языка [15]. Также семантические сети можно использовать для решения задач поиска, классификации и кластеризации информации.

Структура семантических сетей в виде ориентированного графа более проста и понятна. Добавление множественных и параллельных дуг разной направленности в семантическую сеть, в сочетании с большим количеством разнородных отношений приводит к смысловым противоречиям и конфликтам вывода результатов. Для решения подобных проблем предлагаются различные модификации моделей [16] семантических сетей, такие как: концептуальные сети (схемы, карты, диаграммы), онтологии (тезаурусы), сети триплетов (субъект \rightarrow отношение \rightarrow объект), функциональные сети, графы знаний и другие.

Графы знаний

Если узлы и/или дуги в ориентированных мультиграфах и гиперграфах содержат метки с обозначениями каких-либо элементов или отношений, то подобные графы называют графами знаний.

Граф знаний – ориентированный помеченный мультиграф (или гиперграф) для представления информации, подобно модели семантической сети [17, 18]. Граф знаний не является семантической сетью в прямом смысле, так как, формально это две разные модели. Отличие графов знаний от семантических сетей заключается в их структуре. Графы знаний отражают более сложную и многоуровневую структуру, что позволяет более эффективно моделировать различные множественные отношения. Данная сетевая модель позволяет интегрировать различные типы данных, знаний и отношений, создавая более полные и целостные представления выбранных предметных областей с целью решения разнообразных задач [19].

Графы знаний похожи на семантические сети тем, что они тоже используют узлы и дуги для представления элементов и их взаимоотношений. Однако основное отличие заключается в том, что в графах знаний между двумя узлами может существовать множество дуг, представляющих разные аспекты отношений. Например:

- 1) «Человек» → «Владеть» → «Автомобиль» (право владения);
- 2) «Человек» → «Управлять» → «Автомобиль» (способ управления);
- 3) «Человек» → «Ремонтировать» → «Автомобиль» (тех. обслуживание).

Все связи (→) отражают взаимодействия (отношения) между двумя объектами (человеком и автомобилем), но с разных точек зрения.

Преимущества графов знаний:

- возможность представления сложных взаимоотношений и процедурных знаний (выполнение действий, правил, операций);
- возможность представления множества отношений с разных точек зрения;
- гибкость моделирования сложных динамических систем и процессов;
- более эффективная работа с большими объемами информации.

Недостатки графов знаний:

- сложность понимания и визуализации их структуры;
- более высокая вычислительная сложность алгоритмов анализа и обработки информации.

Графы знаний чаще всего применяются в сложных компьютерных системах анализа данных и знаний, где требуется учитывать множественные аспекты взаимодействия между различными объектами. В системах искусственного интеллекта графы знаний используются для представления и обработки знаний. На их основе работают программные интеллектуальные и многоагентные системы [20, 21], способные принимать решения на основе сложной взаимосвязанной информации. Кроме того, графы знаний применяются в информационных нейронауках, позволяя моделировать сложные процессы мышления и памяти, где информация хранится

и обрабатывается в различных контекстах. Это помогает моделировать сложные структуры мозга, изучать механизмы передачи сигналов между нейронами и способствует лучшему пониманию процесса человеческого мышления.

Заключение

В результате работы было проведено исследование по сравнительному анализу и выявлению ключевых отличий, преимуществ и недостатков использования двух сетевых моделей: семантических сетей и графов знаний. Выполнены следующие поставленные задачи:

- 1) приведены определения и ключевые особенности рассматриваемых сетевых моделей;
- 2) приведены примеры применения и использования рассматриваемых сетевых моделей;
- 3) описаны преимущества и недостатки использования рассматриваемых сетевых моделей.

В ходе исследования было выявлено, что семантические сети отличаются удобством представления взаимосвязанной информации и эффективны при моделировании относительно простых систем, в то время как графы знаний предоставляют более гибкие и масштабируемые возможности обработки знаний для моделирования сложных динамических систем.

Список литературы

1. Зайцев А. Ф. Анализ эффективности автоматизированной системы логико-математического моделирования динамических систем / А. Ф. Зайцев, В. А. Кравченко, Д. Ш. Ширапов // Кооперация науки и общества: проблемы и перспективы: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Уфа, 19 февраля 2021 года. Стерлитамак: Агентство международных исследований, 2021. С. 80-87.
2. Дунаев М. П. Технологии конструирования экспертных систем для электроэнергетики / М. П. Дунаев, Д. М. Буланов // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2021. № 15. С. 39-42.

3. Зайцев А. Ф. Обзорный анализ и классификация программных инструментальных средств для реализации экспертных систем // Технические науки: проблемы и решения: сборник статей по материалам LXXVIII международной научно-практической конференции, Москва, 17 ноября 2023 года. Москва: Интернаука, 2023. С. 22-34.
4. Козлов К. И. Экспертные системы в управлении IT-проектами / К. И. Козлов // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2024. № 4(50). С. 26-29.
5. Горбачев А. Ю. Преимущества использования экспертных систем в строительной сфере / А. Ю. Горбачев, Д. В. Гулякин // Наукосфера. 2021. № 12-1. С. 199-202.
6. Гавриленко Т. В. Интуитивные логические системы и их приложения в технологиях искусственного интеллекта / Т. В. Гавриленко, В. А. Галкин // Успехи кибернетики. 2024. Т. 5, № 1. С. 8-16. <https://doi.org/10.51790/2712-9942-2024-5-1-01>
7. Яхонтова И. М. Интеллектуальная система вопросов-ответов: интеграция баз знаний и языковых моделей для повышения эффективности обработки информации / И. М. Яхонтова, Н. М. Нетребин, А. Д. Стрелецкий // Современные инновации, системы и технологии. 2025. Т. 5, № 1. С. 1020-1026. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2025-5-1-1020-1026>
8. Трегубов А. С. Методы создания семантически ориентированных интеллектуальных помощников / А. С. Трегубов, И. С. Немцев, А. А. Котельникова, Д. А. Доможакова // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 3. С. 46-55. <https://doi.org/10.25205/1818-7900-2023-21-3-46-55>
9. Зайцев А. Ф. Подход к преобразованию модели базы знаний предметной области на основе мультиграфа в реляционную модель базы данных / А. Ф. Зайцев // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 4. С. 158-178. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2024-4-158-178>
10. Свиридова Л. Е. Математические модели представления знаний и проектирование интеллектуальных систем / Л. Е. Свиридова //

- Информатика. Экономика. Управление. 2024. Т. 3, № 4. С. 139-146. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2024-3-4-0139-0146>
11. Зайцев А. Ф. Обзорный анализ и классификация моделей представления знаний в компьютерных интеллектуальных системах // Способы, модели и алгоритмы управления модернизационными процессами: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Пермь, 20 апреля 2023 года. Уфа: Аэтерна, 2023. С. 31-43.
 12. Бурмистров А. А. Семантические сети как способ представления знаний // Наукосфера. 2023. № 3-2. С. 163-166. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7788675>
 13. Орлова Д. Е. Использование аппарата семантических сетей для интеллектуальной поддержки принятия решений / Д. Е. Орлова, А. В. Падалко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 1(36). С. 61-65.
 14. Жаксыбаев Д. О. Алгоритмы обработки естественного языка для понимания семантики текста / Д. О. Жаксыбаев, Г. Н. Мизамова // Труды Института системного программирования РАН. 2022. Т. 34, № 1. С. 141-150. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34\(1\)-10](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34(1)-10)
 15. Захарова О. И. Семантический анализ и синтез текстовых данных / О. И. Захарова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 4. С. 182-208. <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2023/4/182-208>
 16. Квасов М. Н. Разработка математической модели семантического анализа и синтеза данных / М. Н. Квасов, Г. А. Митряев, М. А. Прохоров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 11. С. 262-266. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2023-11-262-263>
 17. Волкова И. А. Экскурс в графы знаний / И. А. Волкова, Е. Д. Шамаева // International Journal of Open Information Technologies. 2023. Т. 11, № 3. С. 75-83.
 18. Рамазанова В. С. Обзор и анализ представлений графов знаний / В. С. Рамазанова, М. А. Самбетбаева, Ю. А. Загоруйко // Труды университета. 2024. № 1(94). С. 413-420. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_1_413

19. Щиканов М. А. Граф знаний – как способ исследования предметной области / М. А. Щиканов, С. Е. Кульчицкий, И. В. Парафейников // Двойные технологии. 2024. № 4(109). С. 62-66.
20. Воробьев Л. О. Обзор инструментов разработки диалоговых агентов с базами знаний / Л. О. Воробьев, А. В. Григорьев // Информатика и кибернетика. 2022. № 3(29). С. 22-27.
21. Зайцев Е. И. О подходе к управлению знаниями и разработке мультиагентной системы представления и обработки знаний / Е. И. Зайцев, Е. В. Нурматова // Russian Technological Journal. 2023. Т. 11, № 4. С. 16-25. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-4-16-25>

References

1. Zaitsev A. F. Analysis of the efficiency of the automated system of logical and mathematical modeling of dynamic systems / A. F. Zaitsev, V. A. Kravchenko, D. Shirapov // Cooperation of science and society: problems and prospects: a collection of articles based on the results of the International Scientific and Practical Conference, Ufa, February 19, 2021. Sterlitamak: Agency for International Studies, 2021. P. 80-87.
2. Dunayev M. P. Technologies of expert systems design for the electric power industry / M. P. Dunayev, D. M. Bulanov // Bulletin of the Angara State Technical University. 2021. № 15. P. 39-42.
3. Zaitsev A. F. Review analysis and classification of software tools for the implementation of expert systems // Technical Sciences: problems and solutions: a collection of articles on the materials of the LXXVIII International Scientific and Practical Conference, Moscow, November 17, 2023. Moscow: Internauka, 2023. P. 22-34.
4. Kozlov K. I. Expert systems in the management of IT-projects // Bulletin of N. F. Katanov Khakass State University. 2024. № 4(50). P. 26-29.
5. Gorbachev A. Yu. Advantages of using expert systems in the construction industry / A. Yu. Gorbachev, D. V. Gulyakin // Naukosphere. 2021. № 12-1. P. 199-202.
6. Gavrilenko T. V. Intuitive logical systems and their applications in the artificial intelligence technologies / T. V. Gavrilenko, V. A. Galkin // Uspekhi cybernetiki. 2024. Vol. 5, № 1. P. 8-16. <https://doi.org/10.51790/2712-9942-2024-5-1-01>

7. Yakhontova I. M. Intelligent question-answer system: integration of knowledge bases and language models to improve the efficiency of information processing / I. M. Yakhontova, N. M. Netrebin, A. D. Streletsky // *Modern Innovations, Systems and Technologies*. 2025. Vol. 5, № 1. P. 1020-1026. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2025-5-1-1020-1026>
8. Tregubov A. S. Methods of creating semantically oriented intellectual assistants / A. S. Tregubov, I. S. Nemtsev, A. A. Kotelnikova, D. A. Domozhakova // *Vestnik of Novosibirsk State University. Series: Information technologies*. 2023. Vol. 21, № 3. P. 46-55. <https://doi.org/10.25205/1818-7900-2023-21-3-46-55>
9. Zaitsev A. F. Approach to the transformation of the knowledge base model of the subject area based on the multigraph into a relational database model // *Control, communication and security systems*. 2024. № 4. P. 158-178. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2024-4-158-178>
10. Sviridova L. E. Mathematical models of knowledge representation and design of intellectual systems // *Informatics. Economics. Management*. 2024. Vol. 3, № 4. P. 139-146. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2024-3-4-0139-0146>
11. Zaitsev A. F. Review analysis and classification of knowledge representation models in computer intelligent systems // *Methods, models and algorithms of modernization processes management: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Perm, April 20, 2023*. Ufa: Aeterna, 2023. P. 31-43.
12. Burmistrov A. A. Semantic networks as a way of knowledge representation // *Naukosphere*. 2023. № 3-2. P. 163-166. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7788675>
13. Orlova, D. E. The use of semantic networks for intellectual support of decision making / D. E. Orlova, A. V. Padalko // *Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2021. № 1(36). P. 61-65.
14. Zhaksybaev, D. O. Natural language processing algorithms for understanding the semantics of the text / D. O. Zhaksybaev, G. N. Mizamova // *Proceedings of the Institute of System Programming RAS*. 2022. Vol. 34, № 1. P. 141-150. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34\(1\)-10](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34(1)-10)
15. Zakharova O. I. Semantic analysis and synthesis of text data // *Vestnik of Voronezh State University. Series: System analysis and informa-*

- tion technologies. 2023. № 4. P. 182-208. <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2023/4/182-208>
16. Kvasov M. N. Development of the mathematical model of the semantic data analysis and synthesis / M. N. Kvasov, G. A. Mitryaev, M. A. Prokhorov // *Izvestia Tula State University. Technical Sciences*. 2023. № 11. P. 262-266. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2023-11-262-263>
 17. Volkova, I. A. Excursus in knowledge graphs / I. A. Volkova, E. D. Shamaeva // *International Journal of Open Information Technologies*. 2023. Vol. 11, № 3. P. 75-83.
 18. Ramazanova V. S. Review and analysis of knowledge graph representations / V. S. Ramazanova, M. A. Sambetbaeva, Y. A. Zagorulko // *Proceedings of the University*. 2024. № 1(94). P. 413-420. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_1_413
 19. Shikanov M. A. Knowledge graph - as a way to study the subject area / M. A. Shikanov, S. E. Kulchitsky, I. V. Parafeinikov // *Dual Technologies*. 2024. № 4(109). P. 62-66.
 20. Vorobyev L. O. Review of tools for developing dialog agents with knowledge bases / L. O. Vorobyev, A. V. Grigoriev // *Informatics and Cybernetics*. 2022. № 3(29). P. 22-27.
 21. Zaitsev E. I. About the approach to knowledge management and development of a multi-agent system of knowledge representation and processing / E. I. Zaitsev, E. V. Nurmatova // *Russian Technological Journal*. 2023. Vol. 11, № 4. P. 16-25. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-4-16-25>