

Повышение когнитивной ясности графовых моделей представления знаний и принятия решений с применением визуализации*

В статье рассматриваются пути повышения когнитивной ясности графовых моделей представления знаний и принятия решений за счет применения возможностей визуализации. На примере нечетких когнитивных моделей показано, что применение подхода, основанного на метафорах визуализации, позволяет структурировать и частично формализовать задачу повышения когнитивной ясности моделей, разбить ее на отдельные легко интерпретируемые этапы, каждый из которых вносит вклад в обеспечение когнитивной ясности в целом. Сделан вывод об актуальности разработки метафор визуализации для повышения когнитивной ясности графовых моделей других типов.

Ключевые слова: представление знаний, принятие решений, графовые модели, когнитивная ясность, метафора визуализации, когнитивные карты.

R.A. Isaev,
A.G. Podvesovsky

Improving the cognitive clarity of graph models of knowledge representation and decision-making using visualization

The article discusses the ways to improve the cognitive clarity of graph models for knowledge representation and decision making by applying visualization capabilities. Using fuzzy cognitive models as an example, it is shown that applying an approach based on visualization metaphors allows one to structure and partially formalize the task of increasing the cognitive clarity of models, breaking it down into separate easily interpreted stages, each of which contributes to providing cognitive clarity in general. The conclusion is made about the relevance of developing visualization metaphors to increase the cognitive clarity of graph models of other types.

Keywords: knowledge representation, decision making, graph models, cognitive clarity, visualization metaphor, cognitive maps.

Введение

В современной теории и практике инженерии знаний и принятия решений зачастую требуется работать с моделями, допускающими возможность представления в форме графов. При этом обычно именно графовая форма представления таких моделей является наиболее естественной и интуитивной с точки зрения их пользователей.

В качестве примеров графовых моделей представления знаний и принятия решений можно указать:

- Семантические сети и набирающие по-

* Статья написана в рамках исследования по гранту РФФИ № 19-07-00844 на тему: «Новые методы формирования и применения многомерных визуальных моделей для представления, обработки, анализа, интерпретации и использования больших мультисенсорных данных».

пулярность онтологии [2];

- Сети Байеса, а также основанные на них диаграммы влияния [13, 15];
- Деревья решений [6], вероятностные деревья решений [15];
- Марковские модели принятия решений [13, 14];
- Иерархические и сетевые модели принятия решений [11];
- Модели транспортных задач с промежуточными пунктами [14];
- Когнитивные модели, основанные на различных типах когнитивных карт [1].

Каждой из таких моделей может быть поставлен в соответствие граф, в котором, как правило, вершины соответствуют элементам, составляющим задачу принятия решения (или модель знаний о некоторой предметной области), а ребра между вершинами – отношениям между соответствующими элементами.

Важно отметить, что в зависимости от типа модели, вершины графа могут быть как однородными (представляя «равноправные» элементы одной природы), так и разнородными (в качестве примера можно привести разные типы узлов в деревьях решений). Аналогичное утверждение касается ребер графа. В любом случае, смысловое содержание вершин и, особенно, ребер определяет характеристики графа – так, граф может быть ориентированным или неориентированным, взвешенным или нет, допускать циклы или быть ациклическим и т.д.

Наличие у обсуждаемых моделей графовой формы представления естественным образом приводит к задаче их визуализации. Для этой задачи чаще всего характерно отсутствие какого-либо «единственно верного» способа визуализации модели – вместо этого существует множество возможных способов. Этим обусловлена актуальность подхода к визуализации информации, основанного на понятии метафоры визуализации [3], под которой понимается совокупность принципов переноса элементов и свойств визуализируемого объекта в пространство визуальной модели. Метафора визуализации включает в себя две составляющие, применяемые последовательно:

- пространственную метафору, описывающую общие принципы построения визуальной модели (в частности, вид и размерность пространства визуализации, взаимное расположение элементов модели);
- метафору представления, отвечающую за уточнение характеристик визуального образа (как правило, с целью визуализации определенных свойств исследуемого объекта, наиболее значимых на текущем этапе его анализа).

С другой стороны, важным аспектом работы с любой моделью представления знаний и принятия решений является удобство и эффективность ее практического использования исследователем. Одним из ключевых понятий, связанных с данным аспектом, является понятие когнитивной ясности [16]. В общем случае под когнитивной ясностью подразумевается простота интуитивного понимания и интерпретации некоторого объема информации, представленного в определенной форме. Недостаток же когнитивной ясности обычно ассоциируется с затруднением в понимании информации (что может выражаться в существенном замедлении понимания), с упущением значимой ее части из внимания, в неточной

или даже ошибочной интерпретации некоторых ее элементов и т.д.

Применительно к графовой модели, обеспечение высокой когнитивной ясности ее представления позволяет исследователю заметить «одним взглядом» большее количество важных свойств модели, обнаружить больше допущенных при ее построении ошибок, а также быстрее интерпретировать результаты ее анализа.

В статье рассматриваются пути повышения когнитивной ясности графовых моделей представления знаний и принятия решений за счет применения возможностей визуализации, в частности, подхода, основанного на метафорах визуализации.

Применение метафор визуализации для повышения когнитивной ясности графовых моделей

Рассмотрим общие аспекты применения метафор визуализации к задаче визуализации любых графовых моделей.

Пространственная метафора, в силу ее определения, должна определять принцип расположения вершин и ребер графа в пространстве визуализации, то есть, говоря в терминах теории графов, укладку графа. Поэтому естественной основой пространственной метафоры могут служить известные многочисленным алгоритмы укладки графов.

Метафора представления должна акцентировать внимание исследователя на тех или иных аспектах или результатах моделирования – в зависимости от потребности исследователя на конкретном этапе работы с моделью. В качестве основного способа такого акцентирования в случае с графовыми моделями могут применяться различные стиливые оформления вершин и ребер графа, передающие в когнитивно доступном виде значения определенных атрибутов, приписанных соответствующим элементам этого графа.

Каждая из рассмотренных составляющих метафоры визуализации должна вносить вклад в повышение когнитивной ясности графовой модели. В случае с пространственной метафорой это повышение в основном осуществляется за счет оптимизации ряда формальных показателей, характеризующих укладку графа. Эти показатели и принимаются в качестве критериев когнитивной ясности. Для любого типа графовых моделей может приниматься во внимание следующий набор основных критериев (при этом необходимо отметить, что

для каждого конкретного типа моделей данный набор должен корректироваться с учетом его особенностей).

1. Оптимизация направлений ребер: направления «сверху-вниз» и «слева-направо» способствуют ускорению «прочтения» графовой модели, поскольку совпадают с принятыми в нашем языке направлениями чтения (критерий актуален в основном для ориентированных графов).

2. Однонаправленность изображения последовательных ребер: зрительный «обход» путей и циклов графа совершается быстрее, если не требуется постоянно менять направление движения взгляда.

3. Минимизация пересечений ребер.

4. Минимизация количества искривленных ребер.

5. Минимизация длин ребер: чем короче ребра, тем проще увидеть, какие вершины связаны друг с другом, и тем больше связей можно увидеть одновременно.

6. Унификация длин ребер: более удобными для восприятия являются изображения, в которых все ребра имеют примерно одинаковую длину.

7. Максимизация углов между ребрами, инцидентными одной вершине: при небольших углах между такими ребрами они будут «сливаться» друг с другом вблизи вершин, что затрудняет визуальное восприятие графа.

8. Оптимизация области размещения, с целью эффективного использования доступного для визуализации пространства.

9. Подчеркивание симметрии графа: изображения, симметричные относительно некоторой оси или центра, более удобны для восприятия и анализа.

С помощью метафоры представления осуществляется второй этап повышения когнитивной ясности модели, связанный уже, как правило, с визуализацией свойств и атрибутов элементов модели. Это накладывает достаточно общие и интуитивно понятные требования к любым метафорам представления.

Так, не должно происходить смещения двух и более атрибутов в рамках одного визуального признака. Иными словами, разные свойства модели в рамках одной метафоры должны визуализироваться разными способами – в противном случае произойдет смешение этих свойств в восприятии исследователя модели. Это требование можно назвать требованием инъективного отображения.

С другой стороны, каждый визуальный признак должен отражать определенный зна-

чимый атрибут или свойство модели – то есть, восприятие исследователя не должно загромождаться незначительной в контексте решаемой задачи информацией. Это требование, в свою очередь, можно назвать требованием сюръективного отображения.

Таким образом, удовлетворительная метафора представления должна обеспечивать биективное отображение подмножества значимых атрибутов графовой модели на множество признаков ее визуального образа.

В то же время, уточнение требований к метафорам представления и, в особенности, разработка соответствующих критериев когнитивной ясности становятся возможными лишь применительно уже к конкретным типам графовых моделей.

Далее рассмотрим примеры применения метафор визуализации когнитивных моделей, основанных на нечетких когнитивных картах (НКК) В.Б. Силова [1, 12], с целью повышения их когнитивной ясности. Материал преимущественно основан на результатах, полученных авторами в работах [4, 7, 8].

Повышение когнитивной ясности нечетких когнитивных моделей на основе применения пространственных метафор

НКК Силова отражает субъективное представление исследователя о системе в виде множества семантических категорий (называемых факторами или концептами) и набора причинно-следственных связей (влияний) между ними [12]. Граф, соответствующий данной НКК (называемый когнитивным графом), в общем случае обладает следующими основными характеристиками:

- вершины и ребра графа являются однородными;
- граф является ориентированным (т.е. ребра являются дугами), при этом ориентации дуг отражают направления соответствующих причинно-следственных связей между концептами (вершинами графа);
- граф является взвешенным, при этом веса дуг отражают знаки и интенсивности соответствующих влияний и могут принимать вещественные значения из диапазона $[-1; 1]$;
- граф допускает ориентированные циклы, соответствующие контурам обратной связи, имеющимся в моделируемой системе;
- граф является слабо-связным (т.е. связным без учета направлений дуг), соблюдение сильной связности (с учетом направлений дуг) не гарантируется.

С учетом приведенных характеристик, набор критериев когнитивной ясности, которые целесообразно рассматривать в рамках визуализации НКК Силова, совпадает с набором, рассмотренным в предыдущем разделе.

Принимая во внимание суть пространственной метафоры, а также возможность ее реализации с использованием алгоритмов укладки графов, можно сделать вывод об актуальности автоматизации процесса ее построения. Для этого необходимо, в первую очередь, обеспечить возможность автоматического оценивания генерируемых укладок когнитивного графа по всем критериям когнитивной ясности.

С этой целью в работе [8] авторами были предложены способы формализации критериев когнитивной ясности, основанные, в силу нечеткой природы данных критериев, на применении аппарата теории нечетких множеств. Также было сформировано решающее правило, позволяющее на основе оценок укладки графа по отдельным формализованным критериям получить интегральную оценку уровня

когнитивной ясности данной укладки, с возможностью моделирования компромиссов между отдельными критериями. Это, в свою очередь, позволяет проводить в автоматизированном режиме сравнение множества сгенерированных укладок заданного когнитивного графа, с целью выбора той из них, которая обеспечивает наибольшую когнитивную ясность визуального образа.

Так, при сравнении визуальных образов, представленных на рис. 1, предпочтение будет отдано варианту (а), поскольку он лучше удовлетворяет большинству критериев когнитивной ясности – в частности, является более симметричным и не содержит пересечений дуг. Отметим, что в рамках авторских метафор визуализации атрибуты причинно-следственных связей НКК отображаются следующим образом: красный цвет дуги означает положительное влияние («усиление»), синий – отрицательное («торможение»), а толщина дуги пропорциональна интенсивности влияния.



Рис. 1. Демонстрация применения двух пространственных метафор с различным уровнем когнитивной ясности получаемого визуального образа (источник: [8])

Повышение когнитивной ясности нечетких когнитивных моделей на основе применения метафор представления

Важность применения метафор представления при визуализации НКК обусловлена многоэтапностью процесса когнитивного моделирования, что создает потребность интерпретации разных свойств модели и результатов ее анализа на разных этапах. Приведем примеры нескольких часто используемых на практике метафор представления.

Так, метафора разделения концептов по типам (рис. 2) позволяет акцентировать внимание исследователя на взаимном расположении управляемых, неуправляемых и целевых кон-

цептов, имеющих в составе когнитивной модели (представленных в приведенном примере соответственно желтым, голубым и зеленым цветами).

На рис. 3 приведен результат применения метафоры, используемой на этапе структурно-целевого анализа когнитивной модели и демонстрирующей распределение влияний концептов на исследуемую систему. Интенсивность цвета пропорциональна силе влияния, красные оттенки соответствуют положительному влиянию, синие – отрицательному, белый цвет – отсутствию влияния. Данная метафора способствует быстрому визуальному выявлению концептов, оказывающих наиболее существенное влияние на систему (такие кон-

цепты являются эффективными точками приложения управляющих воздействий), а также

позволяет обнаружить концепты-стоки, не оказывающие влияния на систему.



Рис. 2. Демонстрация метафоры разделения концептов по типам (источник: [7])



Рис. 3. Демонстрация метафоры влияния концептов на систему (источник: [7])

Отдельная группа метафор представления, описанная авторами в работе [4], предназначена для повышения когнитивной ясности НКК в процессе верификации когнитивной модели. Под верификацией понимается про-

верка соответствия модели самой моделируемой системе, включающая в себя поиск ошибок (в первую очередь – в структуре НКК), приводящих к несоответствиям, с их последующим устранением. Наиболее значимыми

источниками возможных ошибок в структуре НКК являются такие типы структурных элементов, как ориентированные циклы, пары транзитивных путей между концептами, а также пары концептов, между которыми отсутствуют ориентированные пути.

В соответствии с предложенной авторами методикой верификации причинно-следственных связей в составе НКК, сначала выполняется поиск структурных элементов указанных типов, затем найденные элементы поочередно предъявляются аналитику с целью обнаружения и устранения ошибок, при этом для каждого типа элементов используется

своя метафора визуализации НКК.

На рис. 4 приведен пример применения одной из метафор, повышающих когнитивную ясность модели при ее верификации – а именно, метафоры визуализации циклов. Видно, что применение метафоры при предъявлении аналитику одного из найденных в составе НКК циклов – «1-5-7-6-4-1» – позволяет акцентировать внимание аналитика на визуальном восприятии данного цикла (сохраняя при этом важный для верификации контекст), что способствует выявлению потенциальной избыточности на множестве причинно-следственных связей (т.е. лишних дуг).

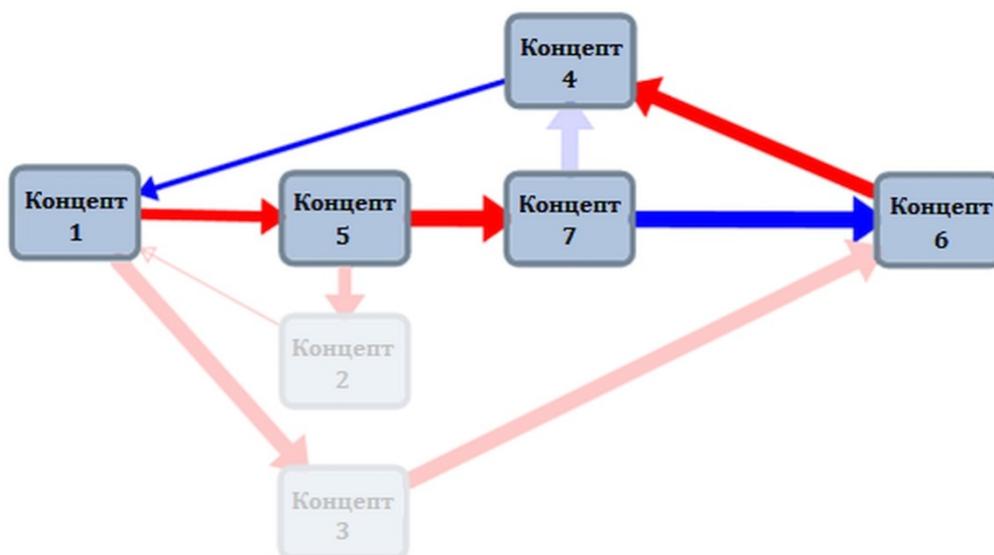


Рис. 4. Демонстрация метафоры визуализации циклов (источник: [4])

Заключение

Опыт практического применения разработанных метафор визуализации при построении и анализе когнитивных моделей сложных систем (примеры решения прикладных задач можно найти, например, в [5, 9, 10, 17]) позволил сделать вывод о возросшей эффективности когнитивного моделирования, что выражается в улучшении качества получаемых моделей (за счет исправления ошибок, допускаемых при их построении), а также в ускорении процесса работы с ними (за счет уменьшения времени, затрачиваемого на визуализацию модели и интерпретацию результатов моделирования).

При этом, как было показано в статье, применение при визуализации когнитивных моделей подхода, основанного на метафорах визуализации, позволяет структурировать и частично формализовать задачу повышения когнитивной ясности моделей, разбить ее на от-

дельные легко интерпретируемые этапы, каждый из которых вносит вклад в обеспечение когнитивной ясности в целом.

В связи с изложенным, правдоподобной представляется гипотеза о том, что аналогичный эффект повышения когнитивной ясности может быть достигнут благодаря применению метафор визуализации при работе с графовыми моделями других типов.

При этом следует иметь в виду, что данный подход, будучи положенным в основу решения задачи визуализации, потребует адаптации к конкретному типу графовых моделей, с учетом его характерных особенностей. Такая адаптация в общем случае будет затрагивать как пространственную метафору, так и метафору представления, а сложность ее будет зависеть, в первую очередь, от выраженности отличий характеристик соответствующих графов от рассмотренных в статье характеристик когнитивных графов (что напрямую связано с актуальностью учета тех или иных кри-

териев когнитивной ясности). Так, сравнительно простая адаптация подхода потребует в случае цепей Маркова и байесовых сетей. Здесь основные изменения будут заключаться в разработке метафор представления, учитывающих специфику построения и анализа данных моделей. Визуализация моделей, графы которых отличаются от когнитивных графов более существенно, потребует более глубокой адаптации подхода, в том числе на уровне пространственных метафор. Например, для повышения когнитивной ясности моделей, имеющих выраженную иерархическую структуру (деревья решений, иерархии Т. Саати), потребуется формирование других наборов критериев когнитивной ясности, а также подбор более подходящих алгоритмов укладки графов.

Таким образом, представленная работа мо-

жет стать отправной точкой исследования, направленного на накопление и систематизацию данных об особенностях визуализации различных типов графовых моделей представления знаний и принятия решений.

В частности, потребуется идентификация возможных сценариев использования визуализации в процессе работы с моделями того или иного типа, формирование актуальных наборов критериев когнитивной ясности, а также разработка метафор визуализации, предназначенных для поддержки всех этапов работы с заданными моделями.

Дальнейшей целью при этом может являться разработка общего подхода, направленного на повышение когнитивной ясности обширного класса графовых моделей с применением метафор визуализации и, тем самым, на повышение эффективности работы с ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, В.В. Нечеткие модели и сети [Текст] / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2012. – 284 с.
2. Добров, Б.В. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения [Текст] / Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич, В.Д. Соловьев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 173 с.
3. Захарова, А.А. Метафоры визуализации [Текст] / А.А. Захарова, А.В. Шкляр // Научная визуализация. – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 16-24.
4. Исаев, Р.А. Верификация причинно-следственных связей в когнитивных моделях на основе применения метафор визуализации нечетких когнитивных карт [Текст] / Р.А. Исаев, А.Г. Подвесовский // Научная визуализация. – 2020. – Т. 12. – № 4. – С. 1-8. – doi: 10.26583/sv.12.4.01.
5. Копелиович, Д.И. Применение нечетких когнитивных моделей в автоматизации проектирования технологической оснастки [Текст] / Д.И. Копелиович, А.Г. Подвесовский, А.Л. Сафонов, А.В. Вилоха, Р.А. Исаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 3. – С. 20-35. – doi: 10.14489/vkit.2018.03.pp.020-035.
6. Паклин, Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям [Текст] / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. – СПб.: Питер, 2013. – 704 с.
7. Подвесовский, А.Г. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт [Текст] / А.Г. Подвесовский, Р.А. Исаев // Научная визуализация. – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 13-29. – doi: 10.26583/sv.10.4.02.
8. Подвесовский, А.Г. Построение оптимальной метафоры визуализации нечетких когнитивных карт на основе формализованных критериев когнитивной ясности [Текст]

REFERENCES

1. Borisov, V.V. Fuzzy Models and Networks [Text] / V.V. Borisov, V.V. Kruglov, A.S. Fedulov. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2012. – 284 p.
2. Dobrov, B.V. Ontologies and Thesauri: Models, Tools, Applications [Text] / B.V. Dobrov, V.V. Ivanov, N.V. Lukashovich, V.D. Soloviev. – M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2013. – 173 p.
3. Zakharova, A.A. Visualization Metaphors [Text] / A.A. Zakharova, A.V. Shklyar // Scientific Visualization. – 2013. – vol. 5. – no. 2. – pp. 16-24.
4. Isaev, R.A. Verification of Cause and Effect Relationships in Cognitive Models Using Visualization Metaphors of Fuzzy Cognitive Maps [Text] / R.A. Isaev, A.G. Podvesovsky // Scientific visualization. – 2020. – vol. 12. – no. 4. – pp. 1-8. – doi: 10.26583 / sv.12.4.01.
5. Kopeliovich, D.I. The Use of Fuzzy Cognitive Models in the Design Automation of Technological Equipment [Text] / D.I. Kopeliovich, A.G. Podvesovsky, A.L. Safonov, A.V. Vilyukha, R.A. Isaev // Bulletin of Computer and Information Technologies. – 2018. – no. 3. – pp. 20-35. – doi: 10.14489 / vkit.2018.03.pp.020-035.
6. Paklin, N.B. Business Analytics: from Data to Knowledge [Text] / N.B. Paklin and V.I. Oreshkov. – SPb.: Peter Publ., 2013. – 704 p.
7. Podvesovskiy, A.G. Visualization Metaphors for Fuzzy Cognitive Maps [Text] / A.G. Podvesovskiy, R.A. Isaev // Scientific Visualization. – 2018. – vol. 10. – no. 4. – pp. 13-29. – doi: 10.26583 / sv.10.4.02.
8. Podvesovskiy, A.G. Constructing Optimal Visualization Metaphor for Fuzzy Cognitive Maps on the Basis of Formalized Cognitive Clarity Criteria [Text] / A.G. Podvesovskiy,

/ А.Г. Подвесовский, Р.А. Исаев // Научная визуализация. – 2019. – Т. 11. – № 4. – С. 115-129. – doi: 10.26583/sv.11.4.10.

9. Подвесовский, А.Г. Нечеткие когнитивные модели в задачах анализа и планирования программных проектов [Текст] / А.Г. Подвесовский, Д.В. Титарев, Р.А. Исаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2019. – № 8. – С. 22-31. – doi: 10.14489/vkit.2019.08.pp.022-031.

10. Подгорская, С.В. Моделирование сценарного развития сельских территорий на основе нечеткой когнитивной модели [Текст] / С.В. Подгорская, А.Г. Подвесовский, Р.А. Исаев, А.С. Тарасов, Г.А. Бахматова // Проблемы управления. – 2019. – № 5. – С. 49-59. – doi: 10.25728/ru.2019.5.5.

11. Саати, Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети [Текст] / Т.Л. Саати; пер. с англ. О.Н. Андрейчиковой. Изд. 5-е. – М.: Ленанд, 2019. – 360 с.

12. Силов, В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке [Текст] / В.Б. Силов. – М.: ИН-ПРО-РЕС, 1995. – 228 с.

13. Сукар, Л.Э. Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения [Текст] / Л.Э. Сукар; пер. с англ. А.В. Снастина. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 338 с.

14. Таха, Х.А. Исследование операций [Текст] / Х.А. Таха; пер. с англ. А.А. Минько, А.В. Слепцова, 10-е изд. – М.: Диалектика, 2018. – 1056 с.

15. Jensen, F.V. Bayesian Networks and Decision Graphs. Second Edition [Текст] / F.V. Jensen, T.D. Nielsen. – Springer Science + Business Media LLC, 2007. – 447 p.

16. Huang, W. Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach [Текст] / W. Huang, S.H. Hong, P. Eades // Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006). – Tokyo, Japan, 2006. – P. 207–216. – doi: 10.1145/1151903.1151933.

17. Zakharova, A.A. Visual and cognitive interpretation of heterogeneous data [Текст] / A.A. Zakharova, A.G. Podvesovskii, A.V. Shklyar // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. - XLII-2/W12. - P. 243-247. – doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-243-2019.

R.A. Isaev // Scientific Visualization. – 2019. – vol. 11. – no. 4. – pp. 115-129. – doi: 10.26583 / sv.11.4.10.

9. Podvesovskiy, A.G. Fuzzy Cognitive Models in the Analysis Tasks and Planning Program Projects [Text] / A.G. Podvesovskiy, D.V., Titarev, R.A. Isaev // Bulletin of Computer and Information Technologies. – 2019. – no. 8. – pp. 22-31. – doi: 10.14489 / vkit.2019.08.pp.022-031.

10. Podgorskaya, S.V. Modeling of Scenario Development of Rural Territories Based on Fuzzy Cognitive Model [Text] / S.V. Pod-gorskaya, A.G. Podvesovskiy, R.A. Isaev, A.S. Tarasov, G.A. Bakhmatova // Control Sciences. – 2019. – no. 5. – pp. 49-59. – doi: 10.25728 / pu.2019.5.5.

11. Saati, T.L. Decision-Making with Dependence and Feedback: Analytical Networks [Text] / T.L. Saati; translated from English by O.N. Andreychikova. Ed. 5th. – M.: Lenand, 2019. – 360 p.

12. Silov, V.B. Strategic Decision Making in Fuzzy Environment [Text] / V.B. Silov. – M.: INPRO-RES, 1995. – 228 p.

13. Sukar, L.E. Probabilistic Graphical Models. Principles and Applications [Text] / L.E. Sukar; translated from English by A.V. Snustina. – M.: DMK Press, 2021. – 338 p.

14. Takha, H.A. Operations Research [Text] / Kh.A. Taha; translated from English by A.A. Minko, A.V. Sleptsov, 10th ed. – M.: Dialectics, 2018. – 1056 p.

15. Jensen, F.V. Bayesian Networks and Decision Graphs. Second Edition [Text] / F.V. Jensen, T.D. Nielsen. – Springer Science + Business Media LLC, 2007. – 447 p.

16. Huang, W. Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach [Text] / W. Huang, S.H. Hong, P. Eades // Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006). – Tokyo, Japan, 2006. – P. 207–216. – doi: 10.1145/1151903.1151933.

17. Zakharova, A.A. Visual and cognitive interpretation of heterogeneous data [Text] / A.A. Zakharova, A.G. Podvesovskii, A.V. Shklyar // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. - XLII-2/W12. - P. 243-247. – doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-243-2019.

Ссылка для цитирования:

Исаев, Р.А. Повышение когнитивной ясности графовых моделей представления знаний и принятия решений с применением визуализации / Р.А. Исаев, А.Г. Подвесовский // Эргодизайн. – 2021 - №1 (11). – С. 27-35. - DOI: 10.30987/2658-4026-2021-1-27-35.

Сведения об авторах:

Исаев Руслан Александрович

Брянский государственный технический университет
ассистент кафедры «Информатика и программное
обеспечение»

тел. +7 (919) 1950876

E-mail: Ruslan-Isaev-32@yandex.ru

ORCID 0000-0003-3263-4051

Abstracts:

R.A. Isaev

Bryansk State Technical University
Assistant of the Department “Information Science and
Software”

тел. +7 (919) 1950876

E-mail: Ruslan-Isaev-32@yandex.ru

ORCID 0000-0003-3263-4051

Подвесовский Александр Георгиевич,
Брянский государственный технический университет
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Информатика и программное обеспечение»
тел. +7 (910) 3352250
E-mail: apodv@tu-bryansk.ru
ORCID 0000-0002-1118-3266

A.G. Podvesovsky
Bryansk State Technical University
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department “Information Science and Soft-
ware”
тел. +7 (910) 3352250
E-mail: apodv@tu-bryansk.ru
ORCID 0000-0002-1118-3266

Статья поступила в редколлегию 21.01.2021 г.

Рецензент:

д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
член редакционного совета журнала «Эргодизайн»

Аверченков В.И.

Статья принята к публикации 01.02.2021 г.