

Критерии когнитивной ясности как основа для построения метафоры визуализации нечетких когнитивных карт

А.Г. Подвесовский¹, Р.А. Исаев¹

apodv@tu-bryansk.ru|ruslan-isaev-32@yandex.ru

¹Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

Целью работы является построение метафоры визуализации когнитивных моделей, основанных на нечетких когнитивных картах. Для данного класса задач определены две составляющие метафоры визуализации – пространственная метафора и метафора представления. Рассмотрены критерии когнитивной ясности, которые предложено использовать в качестве основы для построения метафоры визуализации. Приведены примеры использования метафоры визуализации и интерактивного управления визуальным образом нечеткой когнитивной карты в системе программной поддержки когнитивного моделирования «ИГЛА».

Ключевые слова: нечеткая когнитивная карта, визуализация графов, когнитивная ясность, метафора визуализации.

Cognitive clarity criteria as a basis for constructing a visualization metaphor for fuzzy cognitive maps

A.G. Podvesovskii¹, R.A. Isaev¹

apodv@tu-bryansk.ru|ruslan-isaev-32@yandex.ru

¹Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

The research is aimed to construct a visualization metaphor for cognitive models based on fuzzy cognitive maps. Two basic components of a visualization metaphor, namely spatial metaphor and representation metaphor, are defined for that kind of tasks. The cognitive clarity criteria, which are proposed to use as a basic for constructing a visualization metaphor, are described. Some examples of using a visualization metaphor and interactive control of visual appearance of fuzzy cognitive map in the cognitive modeling support system IGLA are given.

Keywords: fuzzy cognitive map, graph visualization, cognitive clarity, visualization metaphor.

1. Введение

Одним из подходов к исследованию слабоструктурированных систем, широко применяемым в настоящее время, является когнитивный подход. В соответствии с определением, приведенным в [2], данный подход ориентирован на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей человека (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) при решении управленческих задач. В общем виде под когнитивным моделированием понимается исследование структуры системы и процессов ее функционирования и развития путем анализа ее когнитивной модели.

Процесс когнитивного моделирования начинается с построения когнитивной карты исследуемой системы на основе информации, получаемой от экспертов или путем анализа имеющихся данных о системе. На следующем этапе происходит непосредственно моделирование, основными целями которого являются формирование и проверка гипотез о структуре исследуемой системы, позволяющих объяснить ее поведение, а также выработка стратегий поведения в той или иной ситуации с целью достижения заданных целевых состояний.

В качестве математического аппарата, применяемого для представления и анализа когнитивных моделей, чаще всего используется нечеткая логика. Существует целый класс когнитивных моделей, основанный на различных типах нечетких когнитивных карт (НКК) – достаточно подробный обзор таких моделей можно найти, например, в монографии [3]. Одной из разновидностей НКК, хорошо зарекомендовавшей себя в практических задачах анализа и моделирования слабоструктурированных социальных, организационных, и экономических систем являются

нечеткие когнитивные карты Силова [10, 13]. НКК Силова отражает субъективное представление исследователя о ней (индивидуальное или коллективное) в виде множества семантических категорий (называемых факторами или концептами) и набора причинно-следственных связей между ними. Таким образом, данный тип НКК может быть наглядно представлен в виде взвешенного ориентированного графа, вершины которого соответствуют концептам, а дуги – причинно-следственным связям.

Одним из условий эффективной работы с когнитивной моделью является обеспечение ее визуального представления. В работе предлагается метафора визуализации нечетких когнитивных карт, в основе которой лежат алгоритмы визуализации графов и понятие когнитивной ясности, для формализации которого вводится набор критериев. Рассматриваются примеры применения различных метафор визуализации и возможности интерактивного управления визуальным образом нечеткой когнитивной карты в разработанной с участием авторов системе поддержки принятия решений «ИГЛА». Более подробное описание системы «ИГЛА» можно найти в [9], а демо-версию – по адресу <http://iipo.tu-bryansk.ru/quill>. Система представляет собой Windows-приложение на платформе Microsoft .NET Framework, и в настоящее время ведется разработка сетевой многопользовательской версии.

2. Задача визуализации нечетких когнитивных карт

Визуальный анализ является неотъемлемой составляющей процесса когнитивного моделирования, как на этапе построения когнитивной карты, так и на этапах ее верификации и исследования. Важность обеспечения наглядного и удобного для восприятия визуального представления когнитивной карты обусловлено следующими обстоятельствами.

- 1) Визуальное представление когнитивной карты предоставляет исследователю (эксперту, аналитику) зачастую единственную возможность «охватить модель одним взглядом», в результате чего тот способен быстро заметить ошибки (например, пробелы или избыточность), допущенные при ее построении.
- 2) Наличие визуального представления является необходимым условием для обеспечения возможности отображения результатов верификации когнитивной карты (в простейшем случае верификация представляет собой поиск избыточных транзитивных путей передачи влияния между концептами и замкнутых бесконечно усиливающих или ослабляющих циклов влияния).
- 3) Визуальное представление может быть использовано для отображения результатов структурно-целевого и сценарного анализа когнитивной модели.

Тем не менее, в публикациях по когнитивному моделированию проблеме визуализации когнитивных карт уделяется достаточно мало внимания. Отдельные аспекты данной проблемы рассматривались в работах [1, 11]. В опубликованной авторами ранее работе [6] был предложен подход, подразумевающий сведение задачи визуализации НКК Силова к задаче визуализации графов. Исследовался ряд алгоритмов визуализации графов. В соответствии с идеей, лежащей в основе построения и работы этих алгоритмов, среди них можно выделить алгоритмы, основанные на физических аналогиях (силовые алгоритмы), алгоритмы, основанные на принципах самоорганизации, и алгоритмы поуровневого изображения ориентированных графов.

По результатам экспериментальной проверки рассмотренных алгоритмов на реальных НКК, наиболее подходящими для реализации в системе «ИГЛА» были признаны алгоритм LinLog [15], относящийся к классу силовых алгоритмов, и алгоритм ISOM [14], основанный на принципах самоорганизации. Дальнейшим развитием данного подхода является его расширение до метафоры визуализации, с учетом требований обеспечения когнитивной ясности визуального представления.

3. Построение метафоры визуализации

В работе [5] метафора визуализации определяется как отображение визуализируемого объекта из пространства данных исходной задачи в объект пространства представления, происходящее посредством условного переноса признаков элементов одного множества на элементы другого множества.

При этом, согласно [5], метафора визуализации может использоваться на двух стадиях решения задач визуализации. Первый раз – при переходе от исходных данных к пространству визуальной модели. Для этого случая используется термин «пространственная метафора». Второй раз необходимость в применении этого приема возникает на стадии уточнения результатов визуализации, усиления необходимых для решения составляющих, фильтрации избыточных компонент созданного образа и т.д. Для данного случая используется термин «метафора представления». Фактическая роль пространственной метафоры состоит в преобразовании данных решаемой задачи в данные, описывающие элементы пространства визуальной модели. Метафора представления используется как средство, раскрывающее потенциальные преимущества уже примененной пространственной метафоры.

Рассмотрим предлагаемый способ построения двух составляющих метафоры визуализации НКК – пространственной метафоры и метафоры представления.

Поскольку пространственная метафора подразумевает переход к пространству визуальной модели, необходимо

определить в первую очередь вид этого пространства – в частности, его размерность.

В работе [11] приводится модель «когнитивное облако» (фактически это пространственная метафора), подразумевающая расположение когнитивной карты в трехмерном пространстве. Выдвигается гипотеза о том, что такое визуальное представление в большей степени (по сравнению с расположением карты на плоскости) будет способствовать пониманию когнитивной модели при ее чтении. В подтверждение выдвинутой гипотезы приводится пример применения предложенного подхода.

Вместе с тем, метафора, основанная на модели «когнитивное облако», не является универсальной, поскольку она ориентирована на визуализацию когнитивных карт специфичной структуры (а именно, с наличием ярко выраженных «факторов-ядер»), в то время как потенциальная эффективность применения данной метафоры для визуализации карт произвольной структуры вызывает сомнения. Помимо этого, визуализация в трехмерном пространстве, очевидно, является более ресурсоемким процессом, чем в двумерном, что может негативно сказаться на скорости отрисовки модели и времени ее отклика на действия пользователя, особенно при большом количестве концептов и причинно-следственных связей. Таким образом представляется целесообразной разработка такой метафоры в двумерном пространстве (на плоскости), которая, с одной стороны, свободна от недостатков и усложнений трехмерной метафоры, а с другой, является более универсальной и подходящей для НКК произвольной структуры.

Как упоминалось ранее, задача визуализации НКК в целом сводится к задаче визуализации графа, которая, в двумерном случае, может быть решена при помощи обширного класса алгоритмов укладки графов. Таким образом, в основе пространственной метафоры визуализации НКК должны лежать указанные алгоритмы. Однако при этом также должны быть учтены проблемы ограниченности когнитивных возможностей человека при чтении графов (подробный анализ данной проблемы можно найти, например, в [12]). Предложенный в упомянутой выше работе [6] подход позволяет получить удовлетворительные результаты визуализации, однако при этом не учитывается важный аспект качества получаемого изображения, а именно, достижение его когнитивной ясности. Понятие когнитивной ясности и связанные с ним критерии будут рассмотрены далее.

В результате применения к исходным данным (структуре когнитивного графа) пространственной метафоры будет получено расположение (т.е. координаты на плоскости) его вершин и дуг, являющееся оптимальным в некотором отношении. Разработка и описание конкретных критериев оптимального расположения выходит за рамки настоящей работы и является направлением дальнейших исследований.

Метафора представления, как уже отмечалось, призвана «раскрыть преимущества» используемой пространственной метафоры, в результате чего совершается переход от визуальной модели исследуемого объекта к его визуальному образу. Исходя из многоэтапности процесса когнитивного моделирования (включающего в себя как построение модели и ее верификацию, так и различные виды ее анализа), возникает потребность в разработке нескольких различных метафор представления. При этом каждая из этих метафор должна соответствовать определенному этапу моделирования и способствовать достижению исследователем поставленной на данном этапе цели. Таким образом, метафоры представления должны строиться, исходя из акцентов восприятия исследователя на том или ином этапе когнитивного моделирования.

Перечислим с примерами основные метафоры представления НКК, реализованные в системе «ИГЛА». Для примеров будем использовать разработанную при непосредственном участии авторов когнитивную модель поддержки принятия решений в области автоматизации проектирования технологической оснастки [8].

- 1) Метафора, используемая «по умолчанию» (рис. 1), позволяющая исследователю акцентировать внимание на структуре когнитивной карты в целом, не отвлекаясь на особенности отдельных ее концептов. В рамках данной метафоры для представления всех концептов используется единый цвет (серо-голубой). Цвет дуги задает знак соответствующей причинно-следственной связи между концептами: красный цвет означает положительную связь («усиление»), синий цвет – отрицательную («торможение»). Толщина дуги определяет интенсивность связи (более подробное описание структуры и параметров НКК Силова можно найти, например, в работах [9, 10, 13]).
- 2) Метафоры, подразумевающие визуальное разделение концептов в зависимости от их типов либо их принадлежности к тем или иным смысловым группам, которые задаются самими экспертами при построении когнитивной модели. На рис. 2 показан пример визуального разделения с целью акцентировать внимание исследователя на взаимном расположении управляемых (желтый цвет), неуправляемых (зеленый цвет) и целевых (серо-голубой цвет) концептов.



Рис. 1. Основная метафора



Рис. 2. Метафора разделения концептов по типам

- 3) Группа метафор, позволяющих визуализировать в наглядной форме системные показатели НКК, рассчитанные в результате ее структурно-целевого анализа (подробное описание системных показателей НКК можно найти, например, в работах [8-10]).

В примере на рис. 3 объектами визуализации являются сравнительная интенсивность и направление влияния всех факторов на систему. По аналогии с цветами дуг, для представления концептов, положительно влияющих на систему, используются оттенки красного цвета, а отрицательно влияющих – оттенки синего цвета. Насыщенность цвета определяет интенсивность влияния (при этом белый цвет означает, что данный концепт не оказывает существенного влияния на систему, что характерно для целевых концептов, являющихся «стоковыми»).

- 4) Метафора «альфа-срез», позволяющая выделить классы взаимосвязанных концептов, характеризуемых заданным уровнем среза относительно выбранного системного показателя (например, взаимного отрицательного влияния концептов – рис. 4). Отметим, что для альфа-среза не учитываются направленность знак и интенсивность причинно-следственной связи между концептами, поэтому в данном случае для представления всех связей используются ненаправленные линии единого цвета и толщины.



Рис. 3. Метафора влияния концептов на систему



Рис. 4. Метафора альфа-среза по взаимовлиянию

4. Критерии когнитивной ясности

Понятие когнитивной ясности некоторой информации в основном характеризуется легкостью интуитивного понимания соответствующих описаний, сообщений и т.п. Отсутствие когнитивной ясности проявляется, в том, что человек задумывается, чувствует затруднения, пытается понять сказанное или написанное. Это может выражаться в наблюдаемом замедлении процесса понимания. Другим последствием может быть упущение значимой информации, которая остается незамеченной [1].

С другой стороны, в работах, затрагивающих тематику визуализации графов, зачастую приводятся так называемые «эстетические критерии», связанные с повышением наглядности получаемого изображения графа. Достаточно подробный обзор таких критериев приведен в работе [7]. Поскольку НКК, как упоминалось выше, является взвешенным ориентированным графом, то вполне логично, что эстетические критерии будут вносить существенный вклад в повышение наглядности ее изображения.

При этом можно заметить, что многие эстетические критерии неявно направлены на повышение когнитивной ясности изображения графа, и, напротив, изображение, в полной мере обладающее свойствами когнитивной ясности, вероятнее всего, будет привлекательным в эстетическом отношении. Таким образом, эстетические критерии будут вполне целесообразным также относиться к критериям когнитивной ясности, и в дальнейшем можно говорить только об этой группе критериев.

С учетом сказанного, в качестве основы для построения метафоры визуализации НКК предлагаются следующие критерии когнитивной ясности:

- 1) направленность дуг: более удобными (здесь и далее – при прочих равных условиях) для «прочтения» НКК являются направления дуг «сверху-вниз» и «слева-направо» (именно эти направления совпадают с привычными для многих направлениями чтения);
- 2) однонаправленность изображения последовательных дуг: если не требуется постоянно менять направление взгляда, то зрительный обхват путей и циклов графа будет совершаться быстрее;
- 3) минимизация пересечений дуг: в идеале они должны отсутствовать, а при невозможности этого (для непланарного графа) их число следует минимизировать;
- 4) минимизация количества искривленных дуг: более удобными для восприятия являются изображения с прямыми дугами;
- 5) минимизация длины дуг (как совокупной длины, так и наибольшей из длин): чем короче дуги, тем проще увидеть, какие концепты связаны друг с другом, и тем больше связей можно увидеть одновременно;
- 6) минимизация разброса длины дуг: более удобными для восприятия являются изображения, в которых все дуги имеют примерно одинаковую длину;
- 7) максимизация углов между дугами, инцидентными одной вершине: при небольших углах между такими дугами они будут «сливаться» друг с другом вблизи вершин, что может существенно затруднить визуальное определение их направлений;
- 8) оптимизация области размещения: для эффективного использования пространства граф должен быть размещен в прямоугольной области, формат которой (т.е. соотношение ширины и высоты) соответствует текущему формату графической области подсистемы визуализации;
- 9) подчеркивание симметрии графа: изображения, симметричные относительно некоторой оси или центра, более удобны для восприятия и анализа.

Возвращаясь к описанной ранее метафоре визуализации НКК, можно теперь сказать, что вторым по важности ее компонентом (после алгоритмов визуализации графов) должны стать введенные критерии когнитивной ясности. Анализируя эти критерии, можно прийти к выводу, что многие из них противоречат друг другу, и обеспечить соответствие изображения одновременно всем критериям с алгоритмической точки зрения, как правило, невозможно. Таким образом, независимо от конкретных особенностей реализации метафоры визуализации НКК, необходима разработка решающих правил, моделирующих различные формы компромисса между критериями.

5. Интерактивное управление визуальным представлением нечеткой когнитивной карты

В работе [4] отмечается, что наличие интерактивного управления визуальным образом обеспечивает прямое участие пользователя в манипулировании образом и является основанием для глубокого анализа данных. Кроме того, система интерактивного управления моделью является одним из способов верификации полученных решений и потому обеспечивает ускоренное достижение цели анализа в случае, когда этот способ удобен для пользователя. Таким образом, интерактивность визуальной модели становится условием ее высокой результативности.

Механизм интерактивного управления визуальным представлением НКК когнитивной моделью в системе «ИГЛА» обеспечивает следующие возможности:

- 1) редактирование структуры когнитивной модели посредством редактирования ее визуального образа;
- 2) перестройка пространственной метафоры с учетом выбранного алгоритма визуализации графов;
- 3) трансформация изображения когнитивной модели;
- 4) переключение между метафорами представления, а также настройки отдельных метафор.

Редактирование структуры модели подразумевает возможность добавления, удаления и изменения концептов и связей путем манипулирования элементами графического интерфейса и визуального образа самой модели.

Трансформация изображения не затрагивает ни структуру модели, ни используемую в текущий момент метафору представления, однако позволяет гибко изменять свойства конечного изображения, выводимого на экран (таким образом, выполняя своего рода постобработку). К возможностям трансформации относятся: плавное масштабирование изображения; поворот изображения на заданный угол по часовой стрелке или против нее; зеркальное отражение изображения относительно горизонтальной или вертикальной оси; сжатие и растяжение изображения вдоль выбранных направлений.

Наконец, благодаря возможности переключаться между метафорами представления исследователь в любой момент может направить внимание на те аспекты модели, которые представляют для него наибольший интерес на текущем этапе анализа. При этом функции настройки визуальных характеристик метафор представления также способствуют повышению гибкости этого инструмента и его удобства для исследователя (рис. 5).

6. Заключение

В работе представлена метафора визуализации нечетких когнитивных карт. Определены две составляющие метафоры визуализации – пространственная метафора и метафора представления. Рассмотрено понятие когнитивной ясности, в результате анализа которого сделан вывод о наличии связи между качеством применяемой метафоры визуализации НКК и уровнем когнитивной ясности полученного визуального образа: чем более высокий уровень когнитивной ясности обеспечивает метафора визуализации, тем более простым является процесс экспертного понимания когнитивной модели при ее визуальном анализе. Для оценки уровня когнитивной ясности предложен набор критериев.

Таким образом, наряду с алгоритмами визуализации графов, показатели когнитивной ясности составляют основу для построения метафоры визуализации НКК и одновременно с этим являются средством наиболее естественной оценки качества построенной метафоры.

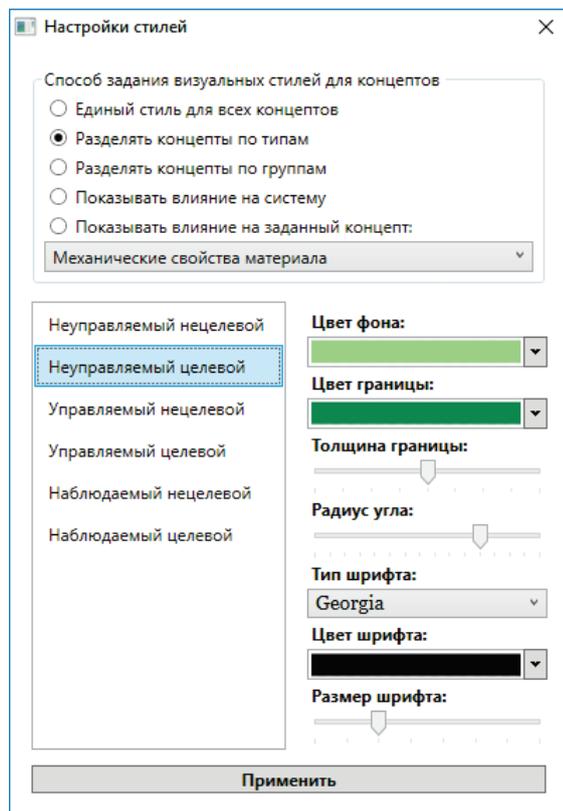


Рис. 5. Пользовательский интерфейс выбора и настройки метафор представления в системе «ИГЛА»

Также рассмотрены возможности интерактивного управления визуальным представлением НКК в системе «ИГЛА» обеспечивающие гибкую настройку визуальных характеристик метафор представления, что позволяет исследователю в ходе анализа когнитивной модели фокусировать внимание на тех ее аспектах, которые представляют для него наибольший интерес на том или ином этапе анализа.

Возможности использования метафор визуализации и интерактивного управления визуальным представлением НКК в системе «ИГЛА» проиллюстрированы на примере когнитивной модели поддержки принятия решений в области проектирования технологической оснастки [8].

Укажем направления дальнейших исследований.

Во-первых, это формализация описанных выше критериев когнитивной ясности и разработка метода оценки качества метафоры визуализации НКК на основе формализованных критериев, с реализацией этого метода в подсистеме визуализации системы «ИГЛА».

Во-вторых, совершенствование механизма интерактивного управления визуальным образом НКК в системе «ИГЛА», в частности, реализация функции автоматического подбора оптимальной пространственной метафоры с учетом указанных пользователем приоритетов по критериям когнитивной ясности.

7. Литература

- [1] Абрамова Н.А., Воронина Т.А., Порцев Р.Ю. О методах поддержки построения и верификации когнитивных карт с применением идей когнитивной графики // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении». – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 411-430.
- [2] Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач

управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами. – 2007. – Вып. 16. – С. 26-39.

- [3] Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.
- [4] Захарова А.А., Вехтер Е.В., Шкляр А.В. Методика решения задач анализа данных при использовании аналитических визуальных моделей // Научная визуализация. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 78-88.
- [5] Захарова А.А., Шкляр А.В. Метафоры визуализации // Научная визуализация. – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 16-24.
- [6] Исаев Р.А., Подвесовский А.Г. Совершенствование механизма визуализации нечетких когнитивных моделей в системе поддержки принятия решений «ИГЛА» // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 9 т. Т.1. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017. – С. 138-142.
- [7] Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
- [8] Копелиович Д.И., Подвесовский А.Г., Сафонов А.Л., Виллоха А.В., Исаев Р.А. Применение нечетких когнитивных моделей в автоматизации проектирования технологической оснастки. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 3. – С. 20-35.
- [9] Подвесовский А.Г., Лагерева Д.Г., Коростелев Д.А. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4 (24). – С. 77-84.
- [10] Силов, В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Б. Силов – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
- [11] Феррейра Опасо Е.В., Терелянский П.В. Представление когнитивных карт в трехмерном пространстве // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014: Труды совещания. М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 6149-6154.
- [12] Huang W., Hong S.H., Eades P. Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach // Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006). – Tokyo, Japan, 2006. – P. 207–216.
- [13] Isaev R.A., Podvesovskii A.G. Generalized Model of Pulse Process for Dynamic Analysis of Sylov's Fuzzy Cognitive Maps // CEUR Workshop Proceedings of the Mathematical Modeling Session at the International Conference Information Technology and Nanotechnology (MM-ITNT 2017), Vol. 1904. – P. 57-63.
- [14] Meyer B. Self-Organizing Graphs – A Neural Network Perspective of Graph Layout // Whitesides S.H. (eds) Graph Drawing. GD 1998. Lecture Notes in Computer Science, vol 1547. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [15] Noack A. An energy model for visual graph clustering // Proceedings of the 11th International Symposium on Graph Drawing. Springer-Verlag, 2004. – P. 425-436.

Об авторах

Подвесовский Александр Георгиевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета. Его e-mail apodv@tu-bryansk.ru.

Исаев Руслан Александрович, аспирант Брянского государственного технического университета. Его e-mail ruslan-isaev-32@yandex.ru.