

Когнитивная ясность графовых моделей: подход к пониманию идеи и способ выявления влияющих факторов с использованием визуального анализа

Р.А. Исаев¹, А.Г. Подвесовский²

Брянский государственный технический университет

¹ ORCID: 0000-0003-3263-4051, ruslan-isaev-32@yandex.ru

² ORCID: 0000-0002-1118-3266, apodv@tu-bryansk.ru

Аннотация

В статье описывается новый авторский подход к пониманию идеи когнитивной ясности графовых моделей. Приводится концептуальная схема структурирования понятий, связанных с когнитивной ясностью. В соответствии с данной схемой выделяются: факторы формирования когнитивной ясности, сама когнитивная ясность как набор внутренних характеристик визуального образа модели, а также эффекты ее наличия, проявляющиеся при визуальном анализе модели. Обсуждаются свойства различных компонентов данной схемы, делается вывод, что наибольший интерес, в силу своей конструктивности, представляют именно факторы формирования когнитивной ясности. Описывается детализированная схема подхода к пониманию идеи когнитивной ясности, построенная с учетом двух уровней метафоры визуализации, и обсуждаются отдельные компоненты этой схемы. Предлагается подход к организации экспериментальных исследований, направленных на изучение и оценку влияния различных факторов на когнитивную ясность графовых моделей, посредством измерения различных показателей, характеризующих степень проявления эффектов наличия когнитивной ясности. Идея данного подхода состоит в формировании гипотезы о влиянии некоторых факторов, с последующим проведением эксперимента по решению аналитиком определенной задачи визуального анализа с участием этих факторов. В результате фиксации заданных показателей оценивается достигнутый эффект изменения уровня когнитивной ясности и выявляется характер зависимости или ее отсутствие, что позволяет принять, отвергнуть или уточнить исходную гипотезу. Предлагается обобщенный алгоритм подготовки и проведения эксперимента в рамках описанного подхода, рассматриваются особенности реализации отдельных его этапов. Приводится пример постановки эксперимента, целью которого является изучение зависимости показателей эффективности визуального анализа графовой модели от объема ее визуального образа. В заключении обсуждаются перспективные направления исследований в данной области.

Ключевые слова: графовая модель, визуализация графов, когнитивная ясность, метафора визуализации, когнитивная карта, эксперимент, закон Хика.

1. Введение

Язык теории графов является одним из наиболее распространенных средств для описания задач представления и обработки информации. Большое разнообразие как самих графовых моделей, так и областей их применения обусловлено тем, что, как отмечено в [1], графы являются «естественным средством объяснения сложных ситуаций на интуитивном уровне». Этим обстоятельством обусловлен и тот факт, что множество моделей, применяемых в настоящее время в инженерии знаний и поддержке принятия решений, также вполне естественным образом допускают

графовую форму представления. Среди таких моделей можно выделить, например, семантические сети, тезаурусы и онтологии [2], сети Байеса и диаграммы влияния [3, 4], деревья решений [5], иерархические и сетевые модели принятия решений [6], модели транспортных и потоковых задач [7], когнитивные модели, основанные на различных типах когнитивных карт [8].

Преимущества графовых моделей чаще всего проявляются в процессе их визуальной обработки, что делает актуальной задачу визуализации таких моделей, для которой характерна многовариантность путей ее решения [9]. Для описания задачи визуализации в общем виде можно использовать подход, основанный на понятии метафоры визуализации [10], под которой понимается совокупность принципов переноса характеристик исследуемого объекта в пространство визуальной модели. Метафора визуализации включает в себя две составляющие, применяемые последовательно:

- пространственную метафору, описывающую общие принципы построения визуальной модели (вид и размерность пространства визуализации, взаимное расположение в нем 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).

При работе с любой графовой моделью особую важность имеет простота и удобство визуального восприятия модели исследователем. Для описания этого аспекта часто используется понятие когнитивной ясности [11, 12], под которой подразумевается простота интуитивного понимания и интерпретации некоторого объема информации, представленного в визуальной модели. Недостаточная когнитивная ясность модели обычно ассоциируется с затруднением в понимании информации, упущением из внимания значимой ее части, неточной или ошибочной интерпретацией некоторых ее элементов и т.д. Напротив, обеспечение высокого уровня когнитивной ясности визуальной модели позволяет исследователю «охватить одним взглядом» большее количество важных свойств моделируемого объекта, повысить вероятность обнаружения ошибок, допущенных при построении модели, а также увеличить скорость интерпретации результатов ее анализа.

Исследования авторов в области визуализации графовых моделей, а также разработки методов оценки их когнитивной ясности и способов ее повышения, опубликованы в работах [13-17]. В частности, в работах [13-15] подробно исследовались проблемы и задачи визуализации конкретного вида графовых моделей – нечетких когнитивных карт.

Одним из результатов более общей работы [17] стало выявление проблемы, которая была сформулирована как противоречие между объемом метафоры представления графовой модели и ее когнитивной ясностью, где под объемом метафоры представления понимается количество различных визуальных признаков в получаемом визуальном образе модели. При этом было сделано предположение о наличии взаимосвязи между данным противоречием и законом Хика [18], который устанавливает зависимость между количеством элементов, содержащихся в некотором пользовательском интерфейсе, и средним временем, которое пользователь затрачивает на визуальное обнаружение и выбор нужного ему элемента. В связи с этим было отмечено, что интерес представляет экспериментальное исследование обнаруженного противоречия, а также возможной его взаимосвязи с законом Хика.

В настоящей работе предлагается более общий концептуальный подход к проведению экспериментальных исследований в области визуального восприятия графовых моделей, потенциально пригодный для решения не только обозначенной выше задачи, но и множества иных исследовательских задач, которые могут возникать в данной области.

Значительная часть используемого в данной работе терминологического аппарата была введена и подробно описана авторами в статье [17].

2. Общий подход к пониманию идеи когнитивной ясности графовых моделей

На рисунке 1 приведена схема, иллюстрирующая предлагаемый авторами подход к пониманию идеи когнитивной ясности графовых моделей и связанных с ней понятий и явлений.

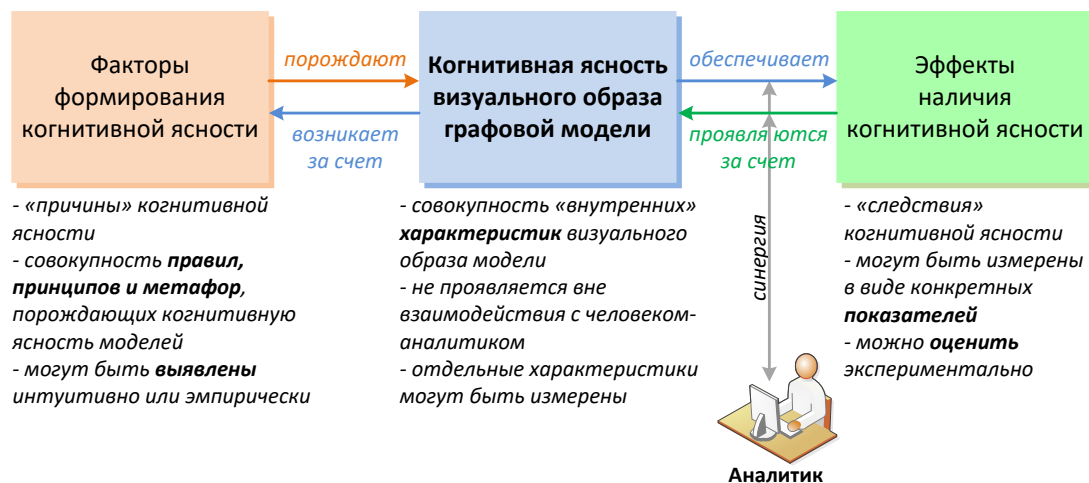


Рисунок 1 – Концептуальная схема предлагаемого подхода к пониманию идеи когнитивной ясности графовых моделей

Исходя из представленной схемы, понятия и явления, связанные с идеей когнитивной ясности, предлагается структурировать по трем категориям.

Факторы формирования когнитивной ясности в некотором смысле можно трактовать как «причины» ее появления. К данной категории относится все то, что может способствовать возникновению когнитивной ясности визуальных образов исследуемых графовых моделей: соблюдаемые общие принципы визуализации, применяемые метафоры, конкретные практические правила (вплоть до узко специфичных) и алгоритмы.

Факторы формирования когнитивной ясности предстоит выявлять, и именно на их выявление направлены исследования, концепция которых предлагается в работе далее. Теоретически возможно говорить о том, что выявление и формализация всех факторов-«причин» равносильны построению «идеальной метафоры визуализации» (для определенного типа графовых моделей и задач их анализа). С практической точки зрения, очевидно, подобная цель в полной мере недостижима, однако может служить хорошим «ориентиром».

Под **когнитивной ясностью «как таковой»** предлагается понимать некоторую совокупность характеристик и свойств визуального образа, которая делает соответствующую графовую модель «когнитивно понятной» для человека-аналитика. Здесь необходимо отметить тот факт, что данная категория не конструктивна: даже имея в наличии уже построенные визуальные образы, обладающие когнитивной ясностью в «достаточной» степени, можно ничего не знать о принципах их получения (т.е. не владеть факторами формирования) и, соответственно, не иметь возможности создать новые визуальные образы с подобными качествами. Таким образом, конструктивность характерна именно для категории факторов формирования когнитивной ясности.

Кроме того, когнитивная ясность в предлагаемом ее понимании хотя и существует объективно (свойства визуального образа не зависят от того, воспринимает ли его

аналитик в данный момент), но актуализируется она лишь «на стыке» между визуальным образом и когнитивными функциями человека-аналитика. Посредством этих функций и происходит синергетическое объединение совокупности отдельных свойств в некоторый целостный результат (возникновение которого хорошо описывается термином «эмерджентность» из теории систем [19]), за счет чего возникает наблюдаемый эффект.

Важно, что на уровне этой категории становится возможным проводить измерения отдельных формальных составляющих когнитивной ясности (примерами могут служить характеристики укладки графа, как, например, число пересечений дуг и др. [14], а также параметры метафоры представления, такие как ее объем [17]). Однако, остается не возможным измерить величину синергетического эффекта (поскольку на уровне самой этой категории он не возникает) и его практические последствия.

Наконец, именно *эффекты наличия когнитивной ясности* (которые в рамках излагаемого подхода могут трактоваться как ее «следствия») являются «конечной целью» интереса к самому понятию «когнитивная ясность» и исследований по данной теме.

Эта категория соответствует уровню феноменов, на котором могут быть выделены показатели эффективности визуального анализа графовой модели, доступные для оценки и измерения – в качестве примеров можно назвать скорость решения определенной задачи визуального анализа или число допущенных при этом ошибок.

Категория эффектов-«следствий» также не является конструктивной: единичное знание о том, что некоторый визуальный образ обеспечивает эффективный анализ, ничего не дает в плане общего понимания того, как строить подобные образы. В терминах обсуждаемой схемы можно сказать, что в общем случае невозможно восстановить цепочку причинно-следственных связей в обратном направлении, от эффектов наличия когнитивной ясности к формирующим ее факторам. Предлагаемый далее способ решения этой проблемы состоит в создании замкнутого контура с обратной связью за счет введения эксперимента.

3. Когнитивная ясность графовых моделей в аспекте двух уровней метафоры визуализации

Учитывая тот факт, что метафора визуализации включает в себя две составляющие, представляется целесообразным рассмотреть детализированный вариант схемы изложенного подхода (рисунок 2). Этот вариант предполагает выделение на схеме двух уровней метафоры визуализации – пространственной метафоры и метафоры представления, с последующей конкретизацией смыслового содержания пересечений этих уровней с каждой из трех введенных выше категорий.

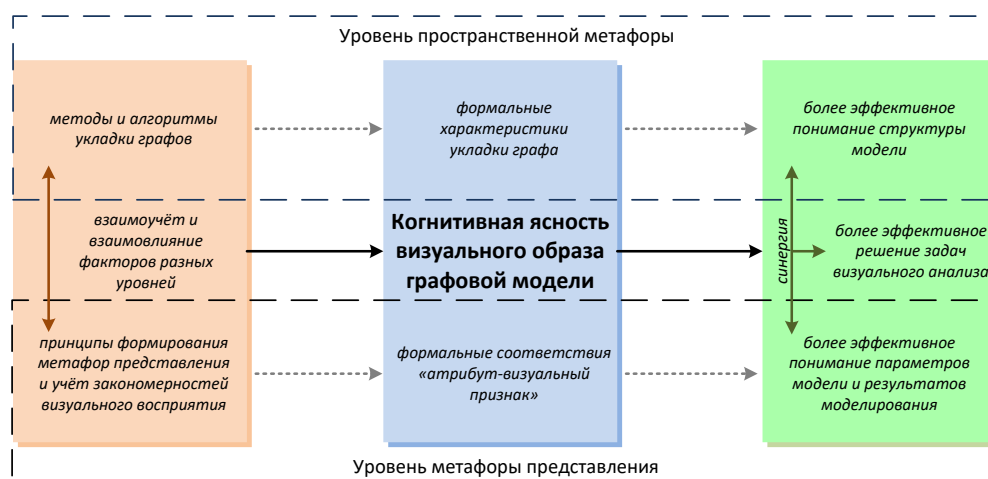


Рисунок 2 – Детализированная схема предлагаемого подхода к пониманию идеи

когнитивной ясности графовых моделей с учетом двух уровней метафоры визуализации

Так, основными факторами формирования когнитивной ясности графовых моделей на уровне пространственной метафоры являются алгоритмы укладки графов. Предполагается, что алгоритм, выбранный оптимально с точки зрения заданного типа графовой модели, и грамотно настроенный с учетом специфики решаемой задачи, обеспечит формирование укладки графа с наиболее высокой степенью когнитивной ясности из возможных. Такая укладка графа будет иметь формальные характеристики, в наибольшей степени способствующие упрощению визуального восприятия аналитиком данной конкретной графовой модели. Например, она может характеризоваться отсутствием пересечений дуг, хорошо выраженной симметричностью, удобными для быстрого просмотра графа направлениями дуг и т.д. [14]. В зависимости от типа и специфических особенностей графовой модели, улучшению восприятия могут способствовать и иные, более сложные и менее очевидные характеристики.

В любом случае, восприятие аналитиком визуального образа графовой модели, обладающего набором таких характеристик, должно приводить к более эффективному (по сравнению с иными ситуациями) пониманию структуры модели. Возрастание этой эффективности может быть зафиксировано посредством измерения показателей работы аналитика при решении задач визуального анализа модели, непосредственно ориентированных на понимание ее структуры.

На уровне метафоры представления факторы формирования когнитивной ясности могут, во-первых, быть основаны на изложенных в работе [17] принципах построения метафор представления графовых моделей. Данные принципы задают весьма общие и интуитивно понятные правила формирования соответствий между атрибутами модели и визуальными признаками, и их соблюдение способствует созданию метафор с достаточным уровнем когнитивной ясности и отсутствием «грубых» нарушений. Во-вторых, интерес представляет формализация и учет закономерностей визуального восприятия – как касающихся восприятия графовых моделей вообще, так и относящихся к определенным их типам. К подобным закономерностям относится, например, уже упоминавшееся противоречие между объемом метафоры представления и ее когнитивной ясностью, а также гипотеза о его связи с законом Хика.

Оптимальное (в условиях конкретной задачи визуального анализа) распределение соответствий между атрибутами и визуальными признаками создает основу для наиболее эффективного понимания аналитиком совокупности визуализируемых атрибутов, которые могут отражать как исходные параметры модели, так и результаты моделирования. При этом для оценки эффективности здесь требуется проводить измерение показателей работы аналитика в условиях решения задач визуального анализа, ориентированных на понимание не структурных, а параметрических компонентов модели.

Значительный интерес как в исследовательском, так и в практическом плане, представляет содержимое среднего уровня схемы, который соответствует «стыку» между двумя уровнями метафоры визуализации в каждой из категорий. Так, в категории факторов формирования когнитивной ясности основным смысловым содержанием данного «стыка» является возможное взаимное влияние и взаимная обусловленность факторов, относящихся к разным уровням метафоры. В частности, полезными для обеспечения эффективной визуализации здесь являются следующие вопросы.

- Насколько существенное влияние оказывает выбор факторов на уровне пространственной метафоры на когнитивную ясность уровня метафоры представления? В частности, может ли неудачный выбор таких факторов (например,

явно ошибочный выбор метода укладки графа) свести на нет положительные эффекты даже весьма качественно построенной метафоры представления?

- Насколько значимой является обратная связь? В частности, будет ли выбор факторов формирования когнитивной ясности на уровне пространственной метафоры зависеть от метафоры представления и исследовательской задачи в целом? Примером проявления такой зависимости может быть целесообразность смены укладки графа при переходе к другой задаче визуального анализа этой же модели.

- Каковы возможности и пределы допустимых компенсаций ошибок, допущенных на одном из уровней, удачными решениями на другом уровне? Например, насколько правильный подбор укладки графа способен скомпенсировать недостаточно качественную метафору представления (в контексте решения конкретной задачи визуального анализа), и наоборот?

Наконец, в категории эффектов когнитивной ясности на «стыке» между уровнями метафоры визуализации имеет место синергетическое совмещение эффектов из обоих уровней метафоры, возникающее при восприятии аналитиком визуального образа. Иными словами, отчетливое понимание аналитиком структуры графовой модели, в сочетании с пониманием ее параметров и результатов моделирования, приводит, как правило, к значительно более эффективному решению задачи визуального анализа, чем при отсутствии какой-либо из этих составляющих. Подробное исследование механизмов такой синергии и поиск методов количественной оценки ее влияния на эффективность работы аналитика могут оказаться весьма полезными для развития излагаемого подхода.

4. Подход к организации экспериментальных исследований по оценке влияния факторов на когнитивную ясность графовых моделей

Приведенная на рисунке 3 схема, с одной стороны, может рассматриваться как дополнение концептуальной схемы на рисунке 1, а с другой стороны, демонстрирует «роль и место» авторской концепции понимания когнитивной ясности в рамках предлагаемого подхода к организации экспериментальных исследований.

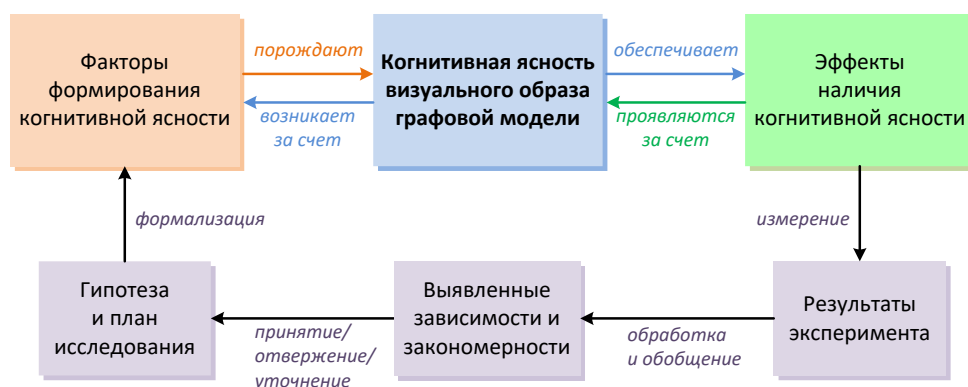


Рисунок 3 – Схема предлагаемого подхода к организации экспериментальных исследований по изучению влияния различных факторов на когнитивную ясность графовых моделей

Предлагаемый подход направлен на решение задачи экспериментального выявления факторов, в наибольшей степени способствующих формированию когнитивной ясности, т.е. обеспечивающих наибольшие ее эффекты. При этом идея подхода исходит, как упоминалось выше, из практической невозможности «непосредственного» обнаружения факторов формирования когнитивной ясности на основе наблюдаемых эффектов ее наличия.

Предполагается, что обозначенный на схеме цикл должен начинаться с выдвижения гипотезы о влиянии (или, напротив, отсутствии влияния) некоторого фактора (или их совокупности) на когнитивную ясность получаемого визуального образа графовой модели, что должно проявляться в конкретных эффектах, величина которых оценивается посредством измерения соответствующих показателей.

На основе сформулированной гипотезы строится соответствующий план эксперимента, в соответствии с которым проводится эксперимент, состоящий в решении аналитиком поставленной задачи визуального анализа графовой модели. В ходе эксперимента измеряются необходимые показатели, и далее выполняется их обработка, которая, в том числе, может включать в себя согласование и объединение результатов с полученными ранее. По результатам обработки формулируются выявленные зависимости, которые и служат основанием для подтверждения, отклонения или уточнения гипотезы.

Отметим, что выполнение каждой итерации данного цикла должно происходить в контексте конкретного типа графовой модели и выбранной задачи визуального анализа.

Таким образом, подход предполагает выявление факторов формирования когнитивной ясности не в смысле их обнаружения, а в смысле итеративного процесса выдвижения и проверки гипотез о влиянии (либо отсутствии влияния) тех или иных факторов. Задача формирования гипотез возлагается на исследователя. Иными словами, подход в общем случае не предусматривает обеспечение поддержки формирования гипотез, выступая в первую очередь методологической и технологической базой их проверки. В перспективе, однако, возможно развитие подхода в направлении автоматического формирования новых гипотез на основе результатов проверки ряда предложенных ранее.

5. Обобщенный алгоритм постановки и проведения эксперимента

Применительно к экспериментальным исследованиям по изучению влияния на когнитивную ясность графовых моделей, значительный интерес представляет обеспечение воспроизводимости результатов исследований подобного типа, а также достаточной прозрачности самого исследования. В этой связи представляется целесообразной разработка некоторых методологических основ подготовки и проведения таких исследований, а также обработки их результатов. Можно сформировать некоторый общий набор рекомендаций, выполнение которых будет способствовать расширению возможностей проведения экспериментов, а также повышению общности и достоверности получаемых результатов.

Во-первых, целесообразно предусмотреть возможность проведения эксперимента не только на конкретных, известных типах графовых моделей (таких, например, как нечеткие когнитивные карты), но и на «абстрактных» типах, конструируемых специально для того или иного эксперимента, с учетом его гипотезы и специфики проведения. Это позволит более гибко настраивать параметры эксперимента для эффективного уточнения интересующей исследователя зависимости.

Во-вторых, должна быть реализована возможность варьирования сложности модели, т.е. количества элементов в ее составе (при этом лучшим вариантом является реализация отдельного варьирования числа вершин и числа ребер графа). Это будет способствовать формированию более общей картины искомой зависимости, без привязки ее к модели определенной сложности, и, соответственно, позволит выполнять проверку более сложных и абстрактных гипотез.

В-третьих, необходимо учитывать, что при единичном решении аналитиком любой задачи визуального анализа измеренные показатели неизбежно будут находиться под влиянием фактора случайности. Естественным способом снижения степени влияния

данного фактора является повторное решение аналогичных задач визуального анализа с фиксацией усредненных значений показателей.

В-четвертых, необходимо ввести механизм противодействия эффекту привыкания аналитика к одной и той же графовой модели, особенно в сочетании с одним и тем же ее пространственным размещением. Суть указанного эффекта состоит в том, что при каждом последующем предъявлении одной и той же модели, даже при использовании разных метафор представления, аналитик будет ориентироваться в ней быстрее и лучше, чем при предыдущих предъявлениях. Различие в степени привыкания аналитика к модели на разных стадиях эксперимента может привести к искажению реальной зависимости показателей работы аналитика от учитываемых факторов формирования когнитивной ясности. Соответственно, учет описанного эффекта наиболее актуален, когда эти факторы касаются используемой метафоры представления. Искомый механизм может быть реализован двумя способами. Первый способ предполагает постоянную смену пространственного размещения графа либо в целом замену модели на другую, имеющую идентичные (с точки зрения текущей задачи визуального анализа) характеристики. Второй способ состоит в том, чтобы предоставить аналитику возможность предварительного изучения модели (в первую очередь ее структуры) в течение субъективно достаточного для него времени.

Одним из ключевых понятий рассматриваемого подхода является тип эксперимента. Будем понимать под ним результат формализации задачи визуального анализа с точки зрения ее формальной цели. Тип эксперимента выступает в роли весьма общего класса, объединяющего в себе множество реальных задач визуального анализа различных графовых моделей, характеризующихся схожей формой.

Можно выделить следующие основные типы экспериментов, хорошо отражающие характер типовых ситуаций, возникающих при визуальном анализе реальных графовых моделей, и при этом являющиеся достаточно простыми с точки зрения реализации.

1. Выделение на всем множестве элементов подмножества, удовлетворяющего заданным ограничениям на значения атрибутов (под атрибутами понимаются любые характеристики элементов графовой модели, относящиеся к определенным типам данных [17]). Частным случаем эксперимента данного типа является обнаружение одного любого подходящего под указанные ограничения элемента.

2. Ранжирование элементов (или некоторого их подмножества, выделяемого также визуально на основе значений других атрибутов) по возрастанию или убыванию значения некоторого целевого атрибута. Частным случаем является нахождение элемента с оптимальным значением целевого атрибута (с возможным учетом ограничений на значения других атрибутов). Например, при анализе когнитивных моделей слабо структурированных систем данный тип эксперимента соответствует задаче выявления концептов, представляющих наибольший интерес с точки зрения управления моделируемой системой [20].

Возможны и иные типы эксперимента, отражающие более комплексные или, наоборот, специфические задачи анализа графовых моделей и визуальных моделей в целом [21, 22].

С учетом изложенного, можно предложить обобщенный алгоритм постановки и проведения эксперимента включающий в себя следующие этапы (рисунок 4).

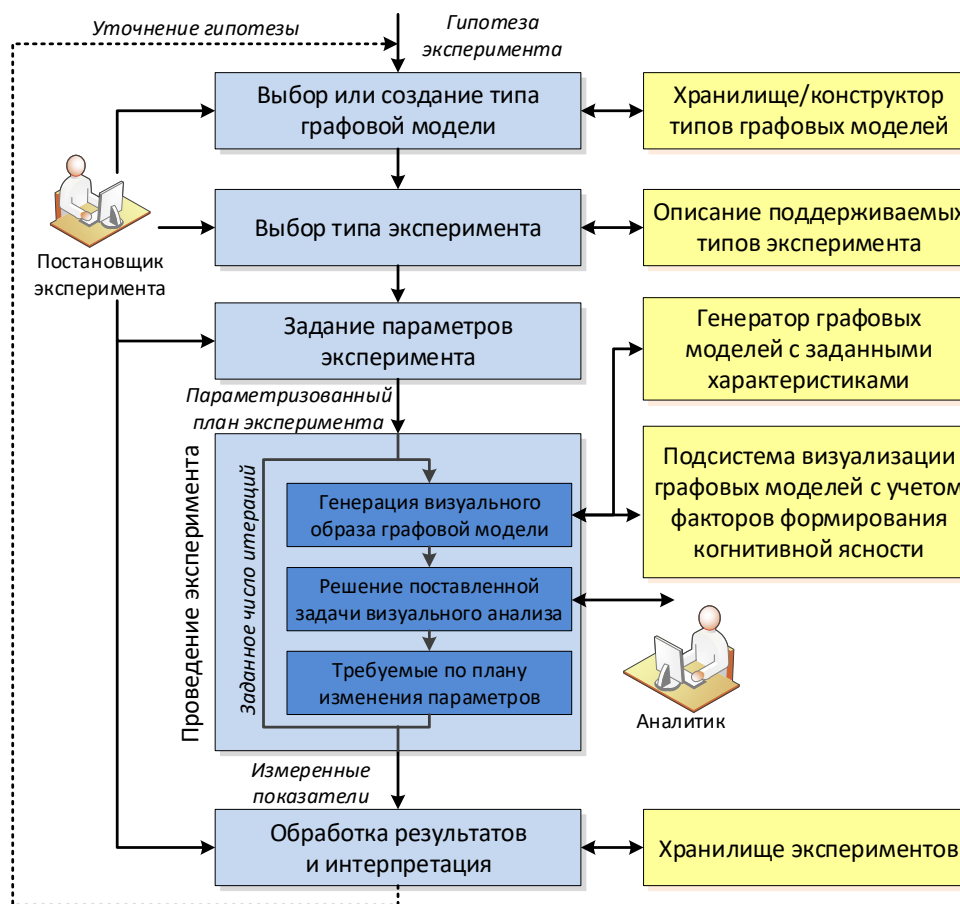


Рисунок 4 – Схема обобщенного алгоритма постановки и проведения эксперимента

Выбор типа графовой модели или создание «абстрактного» типа, над которым будет проводиться эксперимент.

Выбор типа эксперимента, т.е. определение того, что именно понимается под решением задачи визуального анализа с формальной точки зрения.

Задание параметров эксперимента. Можно выделить несколько групп параметров, зависящих от разных факторов.

а) Параметры, зависящие от типа модели. Здесь, например, указывается подмножество участвующих в эксперименте атрибутов модели, а также задается диапазон размеров модели, в пределах которого должно варьироваться число ее элементов (частный случай предполагает проведение эксперимента над моделями одного конкретного размера).

б) Параметры, зависящие от типа эксперимента. В этой группе подробно формулируются условия решения задачи визуального анализа (ограничения на значения атрибутов, оптимизируемый атрибут и направление его оптимизации и т.п.).

в) Параметры, определяемые гипотезой. Здесь задаются факторы формирования когнитивной ясности и диапазоны варьирования их значений, а также указывается измеряемый показатель эффективности визуального анализа (или множество таковых).

г) Общие параметры. В их число входит, например, количество повторений решения одинаковых задач визуального анализа с целью устранения влияния фактора случайности.

Проведение эксперимента с параметрами, заданными на предыдущем этапе. Каждая итерация эксперимента подразумевает предъявление аналитику визуального образа графовой модели (которая, как правило, предварительно генерируется случайным образом и визуализируется с учетом исследуемых факторов формирования

когнитивной ясности), после чего от аналитика требуется оперативно решить поставленную задачу визуального анализа и зафиксировать достигнутый результат решения (при этом происходит регистрация указанных показателей). Сам механизм повторного выполнения задач используется как для устранения влияния фактора случайности (в соответствии с указанным выше требованием), так и для варьирования значений параметров, изменение которых предусматривается планом эксперимента (размеры модели, значения факторов формирования когнитивной ясности и др.).

Обработка результатов, а также, если это необходимо и возможно, их согласование и объединение с ранее полученными результатами аналогичных или схожих по содержанию экспериментов, с целью более достоверного выявления искомых закономерностей и зависимостей и более точной оценки исходной гипотезы.

В зависимости от типа эксперимента, процесс решения задачи визуального анализа может считаться завершенным при выполнении одного из следующих условий.

1. Аналитиком был получен полностью верный ответ на вопрос задачи. В случае же, если зафиксированный ответ не удовлетворяет заданным критериям правильности, аналитик может быть извещен об этом с помощью визуального сигнала, с возможной подсказкой, указывающей на конкретные элементы, связанные с допущенными ошибками.

2. Аналитиком был получен ответ, достаточно близкий к верному, с учетом заранее заданной допустимой погрешности.

3. Аналитик в принципе зафиксировал какой-либо ответ.

4. Время, отведенное на решение задачи, истекло.

В качестве показателей эффективности визуального анализа (характеризующих эффекты наличия когнитивной ясности), в зависимости от гипотезы, могут выступать время достижения аналитиком верного или близкого к верному ответа, полнота решения задачи визуального анализа (т.е. процент ее выполнения за отведенное время), число допущенных ошибок и др.

6. Пример постановки эксперимента в рамках предложенного подхода

Как упоминалось выше, в работе [17] было отмечено, что интерес представляет экспериментальная проверка обнаруженного противоречия между объемом метафоры представления графовой модели и ее когнитивной ясностью, а также возможной взаимосвязи этого противоречия с законом Хика. С учетом этого, одним из возможных способов использования предложенного экспериментального подхода может стать изучение зависимости показателей эффективности визуального анализа графовой модели от объема визуального образа этой модели, т.е. количества содержащихся в нем различных визуальных признаков. Априори предполагается, что с точки зрения показателя времени решения задачи эта зависимость должна подчиняться закономерности, по своей структуре схожей с законом Хика.

Таким образом, можно предложить следующую постановку эксперимента.

- В качестве целевого показателя оценки когнитивной ясности используется время решения задачи визуального анализа.

- Варьируемым фактором формирования когнитивной ясности, влияние которого требуется исследовать, является объем метафоры представления.

- В качестве гипотезы рассматривается наличие следующей зависимости между фактором и целевым показателем: увеличение объема метафоры представления (что влечет за собой усложнение визуального образа) приводит к снижению когнитивной ясности визуального образа модели (что выражается в увеличении времени решения задачи визуального анализа).

Возможным способом проведения эксперимента является его проведение в контексте визуального анализа нечетких когнитивных карт Силова [8, 20], при этом в

качестве конкретной задачи визуального анализа можно выбрать одну из наиболее актуальных задач для данного типа моделей – задачу выявления концептов, наиболее предпочтительных с точки зрения оказания управляющих воздействий на исследуемую систему. Данная задача относится ко второму типу экспериментов, описанному в п. 4: ранжирование концептов по значению выбранного целевого атрибута – в данном случае этим атрибутом является системный показатель влияния концепта на систему [8].

В соответствии с приведенными в п. 4 рекомендациями, должна варьироваться сложность самой когнитивной модели (число концептов в ее составе), а также обеспечиваться повторение решения задач одинаковой сложности заданное число раз (с целью противодействия влиянию случайности).

Примеры визуальных образов нечеткой когнитивной модели, имеющих разные объемы метафоры представления, которые могут предъявляться аналитику при проведении эксперимента, показаны на рисунке 5 (различие в объемах метафоры представления для данных визуальных образов обсуждалось в работе [17]). Отметим также, что помимо когнитивных моделей реальных задач, в рамках эксперимента могут использоваться абстрактные когнитивные модели с требуемыми характеристиками, сгенерированные случайным образом.

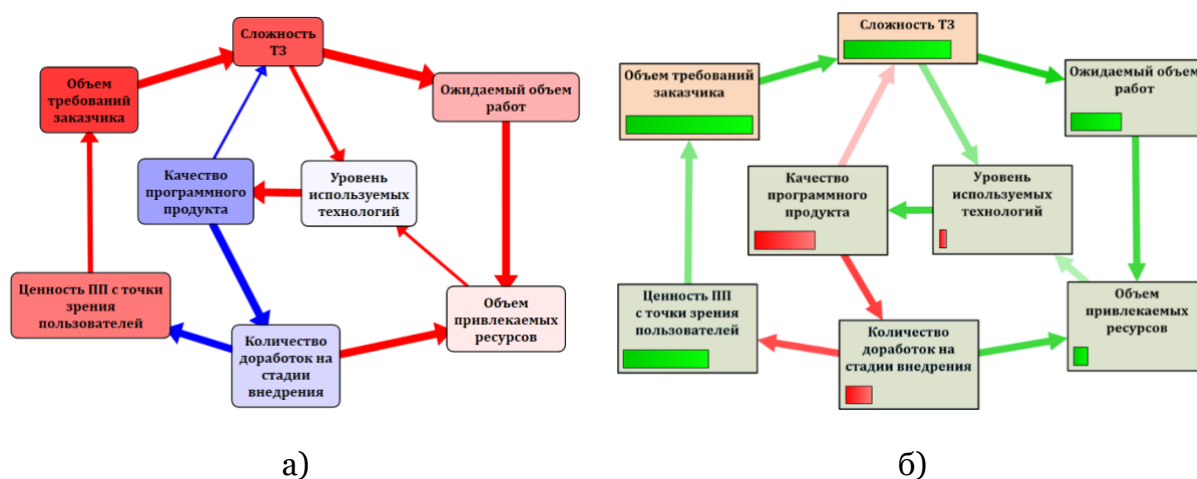


Рисунок 5 – Примеры визуальных образов, предъявляемых аналитику в ходе эксперимента: а) меньший объем метафоры представления; б) больший объем метафоры представления (источник: [17])

По итогам эксперимента следует оценить степень сходства выявленной закономерности с законом Хика. Методика оценки такого сходства относится к области задач статистического анализа.

Очевидно, что помимо возрастания времени, затрачиваемого аналитиком на решение задачи визуального анализа, снижение когнитивной ясности визуального образа модели может проявляться в ухудшении значений и других показателей. Так, в контексте описанной задачи, другими актуальными для измерения показателями могут быть следующие.

- Степень правильности ее решения (без ограничения времени решения). Этот показатель, по сути, будет определять степень корректности построенного аналитиком ранжирования концептов по значению их влияний на систему. Нарушение корректности ранжирования, вообще говоря, может возникать и по причине недостаточной внимательности аналитика, особенно в ситуациях, когда некоторые два концепта влияют на систему с примерно одинаковой силой. Однако весьма правдоподобным представляется предположение о том, что высокая сложность визуального образа будет способствовать рассеиванию внимания аналитика, что

повысит вероятность совершения им ошибок. Конкретный характер такой зависимости априори не ясен и, видимо, может быть установлен только экспериментальным путем.

- Степень полноты ее решения (за ограниченное время). Данный показатель в целом «симметричен» показателю времени, затрачиваемому на полное решение задачи. Однако важным моментом, приводящим к менее предсказуемым результатам, здесь может являться дополнительный дискомфорт для аналитика, связанный с требованием уложиться в ограниченный временной промежуток. Отметим здесь же, что указанный аспект влияния стресса на результаты должен быть исследован отдельно. В любом случае, предполагается, что более сложные и нагруженные информацией визуальные образы будут замедлять восприятие и снижать значение рассматриваемого показателя.

Выявление характеров зависимостей по всем перечисленным показателям даст возможность сформировать более комплексное и обоснованное представление о том, каким образом усложнение визуального образа графовой модели приводит к ухудшению восприятия ее человеком, и в каких именно негативных последствиях это проявляется. Все это станет теоретической базой для выработки практических рекомендаций по оптимизации сложности визуальных образов моделей в различных прикладных задачах.

Результаты эксперимента, проведенного в описанной постановке, планируется изложить в одной из дальнейших работ. Также отметим, что для более полной оценки исследуемых закономерностей в дальнейшем потребуются проведение аналогичных экспериментов с другими типами графовых моделей и задачами визуального анализа, с последующим обобщением и систематизацией результатов.

7. Заключение

В статье предложена авторская трактовка идеи когнитивной ясности графовых моделей и связанных с ней понятий и явлений. На ее основе предложен подход к организации экспериментальных исследований, направленных на изучение влияния тех или иных факторов на когнитивную ясность графовых моделей, посредством измерения различных показателей, характеризующих степень проявления эффектов наличия когнитивной ясности. Приведен пример постановки эксперимента, целью которого является изучение зависимости показателей эффективности визуального анализа графовой модели от объема ее визуального образа.

Рассмотренные в работе концепции и предложенный экспериментальный подход закладывают обширную базу для перспективных исследований, направленных на их уточнение, обобщение, совершенствование и практическое применение. По мнению авторов, наиболее актуальными представляются следующие направления исследований.

1. Апробация предложенного подхода к организации и проведению экспериментальных исследований при проверке конкретных гипотез о влиянии тех или иных факторов на формирование когнитивной ясности различных типов графовых моделей.

2. Изучение возможного взаимного влияния и взаимной обусловленности порождающих когнитивную ясность факторов, относящихся к разным уровням метафоры (в первую очередь в аспекте вопросов, сформулированных в разделе 3 данной статьи). Кроме того, важным предметом исследований может стать синергетический эффект, возникающий при восприятии аналитиком визуального образа за счет совмещения эффектов когнитивной ясности из обеих уровней метафоры.

3. Разработка методов адаптивного планирования и управления экспериментом, включая методы объединения и согласования результатов, полученных на разных стадиях его проведения, динамической корректировки параметров и др.

Представляется, что применение подобных методов будет способствовать оптимизации объема и содержания задач визуального анализа, предъявляемых аналитику в ходе эксперимента, с учетом требований достоверности и статистической значимости получаемых результатов. В основу указанных методов может быть положен подход, описанный в работе [23].

Помимо перечисленных направлений, значительный интерес представляет исследование степени и пределов применимости изложенных концепций не только для задач визуализации графов, но для других классов визуальных моделей, а также, в дальнейшей перспективе, для любых задач визуализации и визуального восприятия информации различной природы.

Наконец, в качестве отдельного большого направления исследований можно рассмотреть изучение роли и места фактора субъективности человека-аналитика в описанных концепциях. Речь идет, главным образом, о влиянии индивидуальных особенностей восприятия и других психоэмоциональных особенностей аналитика на ход решения различных задач визуального анализа и регистрируемые при этом показатели. От полноты изучения данной темы зависит степень общности и универсальности теоретических и практических выводов, которые могут быть получены на основе изложенного подхода в перспективе.

Список источников

1. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 1104 с.
2. Staab S., Studer R. (Eds.). Handbook on Ontologies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. doi: 10.1007/978-3-540-92673-3
3. Sucar L.E. Probabilistic Graphical Models. Principles and Applications. Springer-Verlag London, 2015. doi: 10.1007/978-1-4471-6699-3
4. Jensen F.V., Nielsen T.D. Bayesian Networks and Decision Graphs, 2nd. ed. Springer Science + Business Media LLC, 2007.
5. Bramer M. Principles of Data Mining. Springer-Verlag London Ltd., 2016. doi: 10.1007/978-1-4471-7307-6
6. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / пер. с англ. О. Н. Андрейчиковой; науч. ред.: А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. Изд. 2-е. М.: ЛИБРОКОМ: URSS, 2009. 357 с.
7. Таха Х.А. Исследование операций / пер. с англ. А.А. Минько, А.В. Слепцова. 10-е изд. М.: Диалектика, 2018. 1056 с.
8. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 284 с.
9. Касьянов В, Касьянова Е. Визуализация информации на основе графовых моделей // Научная визуализация. 2014. Т. 6. № 1. С. 31–50.
10. Захарова А.А., Шкляр А.В. Метафоры визуализации // Научная визуализация. 2013. Т. 5. № 2. С. 16-24.
11. Huang W., Hong S.H., Eades P. Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach. In: Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006), Tokyo, Japan, 2006, pp. 207–216. doi: 10.1145/1151903.1151933
12. 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.
13. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт // Научная визуализация. 2018. Т. 10. № 4. С. 13-29. doi: 10.26583/sv.10.4.02

14. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Построение оптимальной метафоры визуализации нечетких когнитивных карт на основе формализованных критериев когнитивной ясности // *Научная визуализация*. 2019. Т. 11. № 4. С. 115-129. doi: 10.26583/sv.11.4.10
15. Исаев Р.А., Подвесовский А.Г. Верификация причинно-следственных связей в когнитивных моделях на основе применения метафор визуализации нечетких когнитивных карт // *Научная визуализация*. 2020. Т. 12. № 4. С. 1-8. doi: 10.26583/sv.12.4.01
16. Исаев Р.А., Подвесовский А.Г. Повышение когнитивной ясности графовых моделей представления знаний и принятия решений с применением визуализации // *Эргодизайн*. 2021. № 1 (11). С. 27–35. doi: 10.30987/2658-4026-2021-1-27-35
17. Исаев Р.А., Подвесовский А.Г. Визуализация графовых моделей: подход к построению метафор представления // *Научная визуализация*. 2021. Т. 13. № 4. С. 9-24. doi: 10.26583/sv.13.4.02
18. Proctor R.W., Schneider D.W. Hick's law for choice reaction time: A review. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2018. Vol. 10 (4). pp. 145–153. doi: 10.1080/17470218.2017.1322622
19. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. 3-е изд. Томск: Изд-во НТЛ, 2001. 396 с.
20. Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Нечеткие когнитивные модели в управлении слабоструктурированными социально-экономическими системами // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2020. № 4 (20). С 5-23. doi: 10.38028/ESI.2020.20.4.001
21. Захарова А.А., Шкляр А.В., Ризен Ю.С. Измеряемые характеристики задач визуализации // *Научная визуализация*. 2016. Т. 8. № 1. С. 95-107.
22. Захарова А.А., Вехтер Е.В., Шкляр А.В., Крысько А.В., Салтыкова О.А. Количественная оценка когнитивной интерпретируемости визуализации // *Научная визуализация*. 2018. Т. 10. № 4. С. 145-153. doi: 10.26583/sv.10.4.11
23. Zakharova A., Korostelyov D., Podvesovskii A. Evaluating State Effectiveness in Control Model of a Generalized Computational Experiment. In: Kravets A.G. et. al. (eds.): *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2021. Communications in Computer and Information Science, Vol 1448*. Springer, Cham, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-87034-8_16

Cognitive Clarity of Graph Models: an Approach to Understanding the Idea and a Way to Identify Influencing Factors Based on Visual Analysis

R.A. Isaev¹, A.G. Podvesovskii²

Bryansk State Technical University

¹ ORCID: 0000-0003-3263-4051, ruslan-isaev-32@yandex.ru

² ORCID: 0000-0002-1118-3266, apodv@tu-bryansk.ru

Abstract

The article describes new authors' approach to understanding the idea of cognitive clarity of graph models. A scheme for structuring concepts related to cognitive clarity is given. In accordance with this scheme cognitive clarity forming factors are distinguished, cognitive clarity itself as a set of internal characteristics of a visual image of a model, as well as the effects of its presence revealed in the visual analysis of the model. Properties of various components of this scheme are discussed, and it is concluded that, due to their constructive nature, cognitive clarity forming factors are of the greatest interest. A detailed diagram of an approach to understanding cognitive clarity is described, based on two levels of a visualization metaphor, and individual components of this diagram are discussed. An approach is proposed to organize experimental studies aimed at studying and evaluating the influence of various factors on cognitive clarity of graph models by measuring various indicators that characterize the degree of manifestation of cognitive clarity presence effects. The idea of this approach is to form a hypothesis about the influence of certain factors, followed by an experiment in which the analyst solves a certain task of visual analysis with the participation of these factors. As a result of registering the given indicators, the achieved effect of changing the level of cognitive clarity is assessed and the nature of the dependence or its absence is revealed, which makes it possible to accept, reject or refine the initial hypothesis. A generalized algorithm for preparing and conducting an experiment within the framework of the described approach is proposed, and implementation features of its individual stages are considered. An example of setting up an experiment is given, the purpose of which is to study the dependence of efficiency indicators of graph model visual analysis on the volume of its visual image. Promising areas of research in this area are discussed in the conclusion.

Keywords: graph model, graph visualization, cognitive clarity, visualization metaphor, cognitive map, experiment, Hick's law.

References

1. Kasyanov, V.N, Evstigneev, V.A.: Graphs in Programming: Processing, Visualization, and Applications. BHV, Saint-Petersburg, Russia, 2003. [in Russian].
2. Staab, S., Studer R. (Eds.): Handbook on Ontologies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. doi: [10.1007/978-3-540-92673-3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3)
3. Sucar, L.E.: Probabilistic Graphical Models. Principles and Applications. Springer-Verlag London, 2015. doi: [10.1007/978-1-4471-6699-3](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6699-3)
4. Jensen, F.V., Nielsen, T.D.: Bayesian Networks and Decision Graphs, 2nd. ed. Springer Science + Business Media LLC, 2007.
5. Bramer, M.: Principles of Data Mining. Springer-Verlag London Ltd., 2016. doi: [10.1007/978-1-4471-7307-6](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7307-6)

6. Saaty, T.L.: Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publishing, Pittsburgh, PA, 2001.
7. Taha, H.A.: Operations Research: An Introduction, 10th. ed. Pearson, 2017.
8. Borisov, V.V., Kruglov, V.V., Fedulov, A.S.: Fuzzy Models and Networks. Goryachaya Liniya – Telekom, Moscow, Russia, 2012. [in Russian].
9. Kasyanov, V., Kasyanova, E.: Information Visualization on the Base of Graph Models. *Scientific Visualization* 6 (1), 31–50 (2014).
10. Zakharova, A.A., Shklyar, A.V.: Visualization Metaphors. *Scientific Visualization* 5 (2), 16–24 (2013).
11. Huang, W., Hong, S.H., Eades, P.: Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach. In: Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006), Tokyo, Japan, 2006, pp. 207–216. doi: 10.1145/1151903.1151933
12. Abramova, N.A., Voronina, T.A., Portsev, R.Y.: Ideas of Cognitive Graphics to Support Verification of Cognitive Maps. *Large-Scale Systems Control* 30.1, 411–430 (2010). [in Russian].
13. Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A.: Visualization Metaphors for Fuzzy Cognitive Maps. *Scientific Visualization* 10 (4), 13–29 (2018). doi: 10.26583/sv.10.4.02
14. Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A.: Constructing Optimal Visualization Metaphor of Fuzzy Cognitive Maps on the Basis of Formalized Cognitive Clarity Criteria. *Scientific Visualization* 11 (4), 115–129 (2019). doi: 10.26583/sv.11.4.10
15. Isaev, R.A., Podvesovskii, A.G.: Verification of Cause-and-Effect Relationships in Cognitive Models Using Visualization Metaphors of Fuzzy Cognitive Maps. *Scientific Visualization* 12 (4), 1–8 (2020). doi: 10.26583/sv.12.4.01
16. Isaev, R.A., Podvesovskii, A.G.: Improving the Cognitive Clarity of Graph Models of Knowledge Representation and Decision-Making Using Visualization. *Ergodesign* 1 (11), 27–35 (2021). [in Russian]. doi: 10.30987/2658-4026-2021-1-27-35
17. Isaev, R.A., Podvesovskii, A.G.: Visualization of Graph Models: An Approach to Construction of Representation Metaphors. *Scientific Visualization* 13 (4), 9–24 (2021). doi: 10.26583/sv.13.4.02
18. Proctor, R.W., Schneider, D.W.: Hick's law for choice reaction time: A review. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 10 (4), 145–153 (2018). doi: 10.1080/17470218.2017.1322622
19. Peregudov, F.I., Tarasenko, F.P.: Basics of Systems Analysis, 3rd ed. NTL Publishing, Tomsk, Russia, 2001. [in Russian]
20. Zakharova, A.A., Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A.: Fuzzy Cognitive Models in Management of Semi-structured Socio-economic Systems. *Information and mathematical technologies in science and management*. 4 (20), 5–23 (2020). [in Russian]. doi: 10.38028/ESI.2020.20.4.001
21. Zakharova, A.A., Shklyar, A.V., Rizen Y.S.: Measurable Features of Visualization Tasks. *Scientific Visualization* 6 (1), 95–107 (2016).
22. Zakharova, A.A., Vekhter, E.V., Shklyar, A.V., Krysko, A.V., Saltykova, O.A.: Quantitative Assessment of Cognitive Interpretability of Visualization. *Scientific Visualization* 10 (4), 145–153 (2018). doi: 10.26583/sv.10.4.11
23. Zakharova, A., Korostelyov, D., Podvesovskii, A.: Evaluating State Effectiveness in Control Model of a Generalized Computational Experiment. In: Kravets A.G. et. al. (eds.): Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2021. Communications in Computer and Information Science, Vol 1448. Springer, Cham (2021). doi: 10.1007/978-3-030-87034-8_16