

УДК 021.8 + 025.1

ББК 78.34

## **О НЕКОТОРЫХ ПРИНЦИПАХ И ПОДХОДАХ К ПОСТРОЕНИЮ КОЛЛЕКТИВНЫХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ СИТУАЦИЙ<sup>1</sup>**

**Авдеева З.К.<sup>2</sup>, Коврига С.В.<sup>3</sup>**

*(ФГБУН Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)*

*Одна из значимых веток развития средств анализа ситуаций посредством когнитивных карт связана с решением задач на основе знаний группы экспертов для формирования целостной модели ситуации. В статье проведен анализ процедур построения коллективных карт по работам ведущих исследователей и практиков с позиции рисков для достоверности результатов применения таких моделей. Показано, что в качестве типовой процедуры формирования коллективных карт используется формальное агрегирование экспертных оценок по принципу усреднения без учета значимых различий в точках зрения экспертов и необходимого согласования. Предложен ряд принципов и подходов к (1) согласованию представлений экспертов и (2) кластеризации их представлений для более обоснованного агрегирования.*

Ключевые слова: коллективная когнитивная карта, процедуры агрегирования, оценки экспертов, согласование представлений экспертов

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 14-07-00821, 12-07-31131

<sup>2</sup> Зинаида Константиновна Авдеева, с.н.с. ИПУ РАН, доцент НИУ ВШЭ (avdeeva@ipu.ru).

<sup>3</sup> Светлана Вадимовна Коврига, н.с. (kovriga@ipu.ru).

## 1. Введение

Спектр приложений когнитивных карт, относящихся к моделям представления знаний экспертов в виде структуры причинно-следственных влияний, простирается от концептуального моделирования, нацеленного на улучшение структуризации и понимания проблем путем построения общего и согласованного представления о ней до решения практических задач анализа и моделирования динамики слабоструктурированных ситуаций. К слабоструктурированным относят ситуации, для исследования которых (1) учитываются взаимосвязи факторов<sup>4</sup> различной природы и (2) наряду с известными количественными данными используются абстрактные, качественные переменные, выявляемые на основе экспертных знаний. Также к ним можно отнести относительно новые ситуации, для которых характерна нехватка опыта их оценивания. Для задач анализа и моделирования динамики ситуаций, как правило, применяются так называемые формальные когнитивные карты, т.е. такие, которые допускают формальную обработку (вычислимы) при решении указанных задач [1].

Несмотря на широкое применение указанных моделей и методов, основной проблемой их применения является достоверность получаемых результатов на их основе, которая, в том числе, существенно зависит от используемых процедур построения когнитивных карт ситуаций.

На протяжении более чем 50-летней истории развития теории и применения когнитивных карт к решению практических задач вопрос о развитии систематического подхода к построению карт как индивидуальных, так и коллективных, остается открытым. При этом только в последние несколько лет начинает достигаться понимание сообществом исследователей когнитивных карт значимости разработки подходов к повышению достоверности моделей на основе когнитивных карт.

---

<sup>4</sup> Фактор (от лат. *factor* – действующий, производящий) – причина, движущая сила к.-л. процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его черты [19]

В исследованиях научного коллектива Н.А. Абрамовой показано, что моделирование слабоструктурированных ситуаций посредством когнитивных карт в принципе несет в себе риски из-за человеческого фактора для достоверности конечных результатов. Указанные риски порождаются в силу неизбежного и существенного участия людей в решении практических задач. Сегодня известен ряд систематически действующих рисков для достоверности конечных результатов применения карт (см., например, [3, 5]). Свидетельством значимости указанной проблемы также являются широко известные исследования Д. Дёрнера по «логике неудачи» [20].

Когнитивная карта некоторой ситуации может быть продуктом индивидуальной либо коллективной интеллектуальной деятельности. В данной статье акцент сделан на построении коллективных карт ситуации, которые допускают формальную обработку.

С учетом проведенного анализа исследований в области построения коллективных карт и обозначенной проблемы достоверности результатов применения когнитивных карт нами была поставлена задача формирования принципов и подходов к построению коллективной когнитивной карты ситуации, которые направлены на

- обеспечение приемлемого согласования представлений экспертов;
- снижение рисков из-за человеческого фактора для достоверности конечных результатов.

Важной отличительной чертой представленных в статье принципов и подходов к построению коллективной когнитивной карты ситуации является их ориентация на ранние этапы построения карты. Такой подход признан в области разработки программного обеспечения с основополагающей идеей, что «цена ошибки» снижается, если она обнаруживается на более ранних этапах проектирования.

## **2. Анализ процедур построения коллективных когнитивных карт**

Проведенный анализ современных исследований в области построения карт на основе представлений группы экспертов позволяет сделать следующие выводы. В настоящее время исследования в данной области в основном ведутся за рубежом. При этом во многих публикациях упоминается, что когнитивная карта может быть продуктом коллективной деятельности, но практически не раскрывается, какие существуют проблемы при построении таких карт, каким методическим обеспечением поддерживается эта деятельность. Можно выделить ряд работ ведущих исследователей и практиков, в которых эта проблематика исследуется более углубленно.

Направленность исследований известных представителей концептуального моделирования К. Иден и Ф. Акерманн и их последователей связана с разработкой навыков и приемов построения групповой когнитивной карты по некоторой проблемной ситуации. При этом применяется два подхода к построению карты [11]: *техника агрегирования*, когда в рамках индивидуальных интервью формируются отдельные карты, которые в последствии агрегируются в единую, и *коллективная техника*, когда сразу строится общая карта в ходе групповой дискуссии (с использованием методов мозгового штурма, фокус-группы и др.).

Выбор техники связан с предполагаемым использованием результирующей когнитивной карты. В то время как агрегирование обеспечивает комплексное представление по проблемной ситуации с учетом разнообразия индивидуальных представлений о ней, коллективный подход направлен, в первую очередь, на достижение общего понимания в команде по исследуемой проблемной ситуации. Однако независимо от используемого подхода результирующая карта является слабо формализованной и не предназначена для решения задач анализа и моделирования посредством формальных методов.

Среди работ в области слабо формализованных карт, использующих технику агрегирования, можно выделить исследования Т. Буздин-Чамеевой и ее коллег (см., например, [6-7]),

работы по учету мнений заинтересованных сторон на ситуацию для построения так называемых социальных когнитивных карт (social cognitive map) (см. например, [12]). Среди немногочисленных отечественных работ уместно упомянуть исследования Т. Таран [24], которая предлагает подход к анализу нескольких когнитивных карт (на одном множестве факторов), отражающих представления субъектов на некоторую ситуацию, с целью выявления сходства (или различий) в видении одной и той же ситуации различными субъектами при конфликте их интересов (с использованием известных методов теории графов). Хотя автор [24] не ставит задачу построения коллективной карты ситуации, но применение ее подхода не исключает возможности формирования такой карты.

В области применения формальных когнитивных карт преобладает техника агрегирования индивидуальных карт в коллективную, которая в дальнейшем используется для анализа динамики ситуации (см., например, [9, 13, 14, 22]). В работе [22] отмечается достоинство указанного подхода, т.к. он направлен на комплексное представление сложной многоаспектной ситуации, но при этом объявляется проблема обоснования механизмов агрегирования индивидуальных представлений неоднородного коллектива экспертов, однако без представления каких-либо путей ее решения.

Несмотря на существенные различия в слабо формализованных и формальных когнитивных картах с позиции последующей формальной обработки при решении практических задач, процедура построения коллективной карты типична. Она включает (1) формирование списка факторов; (2) установление взаимосвязей на множестве факторов; (3) оценивание взаимосвязей в выбранной шкале и (4) формирование коллективной карты путем агрегирования. Как правило, формируется единый список факторов, на основе которого на этапах (2) и (3) строятся индивидуальные карты. При этом в этой процедуре неизбежно возникают

– проблема полноты списка факторов и их согласования, которая отчасти рассматривается специалистами в области слабо формализованных когнитивных картах (см. например, [6-

7)]<sup>5</sup>) и практически игнорируется специалистами в области формальных карт;

- проблема подбора экспертов и организации их работы;
- проблема агрегирования при формировании коллективной карты, которая решается у специалистов формально с использованием методов теории экспертного оценивания. При этом лишь немного затрагивается содержательная сторона агрегирования мнений экспертов, представленных в виде карт.

Приведем анализ <типовых\распространенных> процедур агрегирования, уделив внимание содержательным аспектам «агрегирования» и возможным источникам искажений за счет «чисто» формального суммирования экспертных оценок.

### ***2.1. СУММИРОВАНИЕ МАТРИЦ СМЕЖНОСТИ КОГНИТИВНЫХ КАРТ, ПОСТРОЕННЫХ ЭКСПЕРТАМИ***

Эта процедура основана на простой идее суммирования матриц смежности когнитивных карт, то есть простого объединения и пересечения мнений экспертов, выраженных в индивидуальных когнитивных картах. Матрица смежности коллективной когнитивной карты формируется по формуле

$$W = f\left(\sum_1^N W_k\right),$$

где  $W$  – итоговая матрица,  $W_k$  – матрицы смежности  $N$  экспертов,  $f$  – пороговая функция, преобразующая сумму весов в интервал  $[-1,1]$ .

Более «тонкая» процедура суммирования матриц с учетом опыта и компетентности экспертов, которые задаются посредством параметра доверия эксперту или компетентности.

---

<sup>5</sup> В частности, некоторые специалисты в области слабо формализованных карт учитывают тот факт, что эксперты могут использовать разные по общности и смыслу понятия, представляющие факторы; тогда необходимо делать понятийный анализ с последующим объединением факторов, выражающих схожий смысл.

В простом случае показатель компетентности эксперта задается в шкале  $[0,1]$ , на который умножается матрица связей когнитивной карты эксперта.

Тогда итоговая матрица вычисляется по формуле

$$W = f\left(\sum_1^N b_k W_k\right),$$

где  $b_k$  – коэффициент компетентности  $k$ -го эксперта.

В работе школы Т. Буздин-Чамеевой [6, 7] вводится более сложный показатель компетентности эксперта, сочетающий оценку времени работы эксперта в данной предметной области и самооценку эксперта. Тогда используя принцип нормировки, все эксперты ранжируются в шкале  $[0,1]$ ,  $e_i = (y_i / y_{\max}) \cdot (s_i / s_{\max})$ , где  $y_{\max}$  – максимальное количество лет опыта среди экспертов,  $s_{\max}$  – максимальная самооценка компетентности эксперта. А матрица смежности итоговой карты формируется по формуле:

$$[W_{jk}] = \left( \sum_{i=1}^N e_i g x_{jk}^i / x_{\max} \right) / \sum e_i$$

Как отмечают некоторые исследователи [15], основное преимущество такого рода процедур агрегирования индивидуальных карт заключается в более точной оценке силы влияний и возможности построить обоснованную модель. Однако это спорное утверждение, и оно может быть верно, только в случае корректности шкал и единообразного понимания формального смысла связей. Помимо известных рисков для достоверности применения индивидуальных когнитивных карт [5], связанных с использованием слабо интерпретированных шкал при оценивании параметров карт (например, весов), при построении коллективной карты источником риска также являются процедуры агрегирования, в которых суммируются и сравниваются оценки экспертов в таких шкалах. Учитывая, что веса в матрице смежности коллективной когнитивной карты становятся параметрами аналитической модели, то корректность таких преобразований оценок экспертов являются рискованными.

## 2.2. ПОДХОД С КОМБИНИРОВАНИЕМ КАРТ ЭКСПЕРТОВ

В этом случае учитываются различия во мнениях с использованием достаточно простых критериев сравнения матриц смежности когнитивных карт, например, количественный критерий отличающихся знаков весов в картах экспертов. Тогда экспертам предъявляют причинно-следственную связь, по которой у них отличались знаки для согласования. Но не учитывается, что согласование может быть не достигнуто.

Анализ процедур такого типа показал, что существует набор эвристических правил для построения коллективной карты, который основывается на характеристике группы экспертов. Приведем некоторые распространенные эвристики:

*Эвристика 1.* Эксперты в группе отличаются компетентностью по предметным областям исследуемой ситуации, т.е. компетентность конкретного эксперта относится не ко всему списку факторов, а только к части факторов, характеризующих ситуацию. Тогда формируется правило комбинирования матриц смежности экспертов, когда коллективная карта составляется из частей матриц смежности экспертов, в которых они наиболее компетентны.

*Эвристика 2.* Эксперты подбираются изначально по предметным областям без пересечений, например формируется группа по PEST-схеме: специалисты в области политики, экономики, социуму и технологиям. Тогда коллективная карта есть так называемая «мозаичная» карта [22], т.е. является объединением карт экспертов. В этой процедуре возникает вопрос с согласованием факторов и связей, по которым пересекаются области.

В работах специалистов в области формальных когнитивных карт [9,13], рассматривается подобный подход к построению коллективной карты по мозаичному принципу. При этом используется простая операция над матрицами [13], которая вычисляет итоговую матрицу, используя соединение матриц каждого эксперта. В этом случае  $k$  разных матриц весов экспертов,  $W_k$ , сформированных на непересекающихся подмножествах факторов, описывающих исследуемую ситуацию, объединяются



в единую карту с размерностью  $n \times n$ , где  $n = \sum_k n_k$  - размерность объединенного списка факторов.

В таком случае может получиться несвязанная когнитивная карта, и возникает вопрос, как найти связи между блоками в итоговой матрице. Некоторые специалисты формируют итоговую матрицу, используя мозаичный принцип в сочетании с принципами итеративных процедур опросов экспертов для нахождения взаимосвязей между блоками [15]. Тогда итоговая матрица является не результатом формальной процедуры в виде «простого» матричного объединения, а формируется в результате субъектно-формальной процедуры построения коллективной когнитивной карты.

### *2.3. ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ КОЛЛЕКТИВНОЙ КАРТЫ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧИЙ ВО МНЕНИЯХ ЭКСПЕРТОВ*

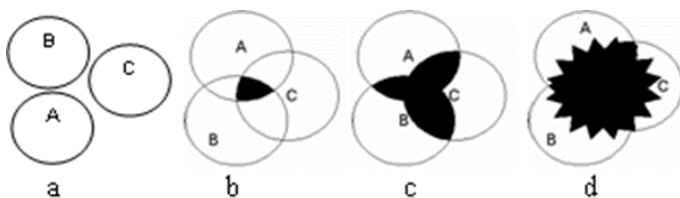
Как показано, специалисты в области формальных карт видят, что коллективная карта зависит от подбора группы экспертов. Конечно, если возможно предопределить процедуру и выбирать нужных экспертов, то можно использовать описанные в предыдущем разделе. Но когда знания о ситуации сконцентрированы у некоторой группы экспертов с неизбежным пересечением областей компетентности, как в случае социальных когнитивных карт [12], то необходимы принципы комбинирования экспертов с позиции пересечения их предметных областей компетентности. Проведя анализ процедур, мы обнаружили наиболее «продвинутый» подход к комбинированию коллективной карты в работах Т. Буздин-Чамеевой (см., например, [6]).

Наиболее продуктивно обозначить принцип пересечения мнений с позиции области компетенции и назначить более высокий вес оценки связей факторов тому эксперту, в чью область компетентности входит тот или иной фактор.

В [6] выделяет 4 типа формирования согласованных коллективных карт группой экспертов с учетом их областей компетентности:

– соединенная карта, которая является суммой индивидуальных карт (рис. 1а);

- карта единодушия, которая включает факторы и связи, выбранные всеми экспертами (рис. 1b);
- карта большинства, включающая факторы и связи, выбранные большинством экспертов (рис. 1c);
- карта просвещенного большинства, которая содержит факторы и связи, выбранные большинством экспертов, и при этом факторы являются самыми важными для каждого эксперта этого большинства в соответствии с принципом центрированности области компетентности эксперта, учитывающего факторы самого высокого ранга в индивидуальных картах и связи самого высокого веса в каждой индивидуальной карте.



*Рис.1 Концепция четырех типов согласованных коллективных карт*

Этот подход позволяет учесть разные принципы выбора экспертов для составления целостной картины, и, как нам представляется, целесообразна его адаптация в области построения формальных когнитивных карт.

Стоит отметить, что сообщество теоретиков в области методов на основе когнитивных карт представляет собой две обособленные группы (представители в области (1) слабо формализованных карт и (2) формальных карт), и в части процедур построения не хватает целостного взгляда их представителей. →

#### ***2.4. ЗНАЧИМЫЕ ОСОБЕННОСТИ И НЕДОСТАТКИ В КОНТЕКСТЕ РИСКОВ ДЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРОЦЕДУР ПОСТРОЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ КАРТ***

На основе проведенного анализа применяемых процедур выявлены значимые особенности и недостатки, которые необ-

ходимо учитывать при построении коллективных карт, а именно.

А) Применяемые групповые процедуры построения карт работают в условиях относительно небольшого количества экспертов, однако, сегодня актуальны задачи с формированием мнений по опросу большого количества экспертов, например, сетевая экспертиза [19].

Б) Используемые процедуры согласования и агрегирования экспертных оценок приводят к «усреднению» мнений экспертов, что нужно признать их недостатком, т.к. необходимо не отбрасывать, а учитывать значимые различные группы мнений. Для этого предлагается предварительно проводить настраиваемую кластеризацию индивидуальных карт, и согласование проводить уже в подгруппах экспертов, мнения которых попадают в один кластер. При этом процедуры чувствительны к критериям сравнения карт.

В) Риски для достоверности конечных результатов, [5], связанные с использованием слабо интерпретированных шкал при оценивании параметров карт (например, весов), свойственны не только процедурам построения индивидуальных когнитивных карт, но и распространяются на процедуры построения коллективных карт. В частности, заложенные в формальные процедуры обработки формализмы вступают в конфликт, как с анализом конкретных экспертных рассуждений, так и с экспериментальными исследованиями относительно использования качественных словесных оценок, когда смысл конкретных оценок типа «мало», «много» и т.п. существенно зависит как от контекста, так и от людей. Например, в групповых экспертных процедурах часто применяются «нечеткие» вербальные оценки (важно, менее важно и т.п.) к нечетко сформулированным оцениваемым понятиям, обозначающим факторы, что приводит к невозможности формирования коллективной карты, т.к. различия в оценках могут быть связаны не в желании выразить определенное свойство через оценку на шкале, а с разным пониманием (интерпретацией) значений нечетко определенной шкалы. Другим примером недостаточно обоснованных процедур согласования мнений является применение интегральных оценок и приемов

суммирования матриц взаимовлияния когнитивных карт для формирования коллективной карты.

Г) Предположение практиков и некоторых теоретиков о возможности использовать когнитивные карты в то числе, как средство понимания и передачи знаний о ситуации в процессе коммуникации на сегодняшний момент можно признать, как лишь потенциальную возможность. Когнитивная карта, содержащая более 20 факторов, уже является сложной и неинформативной, а значит трудной для понимания. Поэтому целесообразно разрабатывать и развивать методы чтения (понимания) карт за счет визуализации и структурного анализа [4].

Д) Еще одним узким местом существующих подходов к построению когнитивных карт является предположение о неограниченности временных и когнитивных ресурсов эксперта. Однако, «настоящие» эксперты являются, во-первых, дорогим ресурсом, а во-вторых, – с ограниченным временем. Проведенный анализ процедур построения карт показал, что, как правило, оценка цены экспертизы и учет ограничения времени эксперта не производится.

Е) В редких работах исследуются важные аспекты применения экспертных методов, связанные с соответствием модели, разрабатываемой на языке формальных карт, пониманию экспертом исследуемой системы (ситуации) [16], с особенностями понимания экспертами исследуемой ситуации в контексте представления знаний о ее динамических и структурных свойствах посредством когнитивных карт. В частности, в [15] отмечается, эксперты вовлечены только в процесс оценки статической структуры ситуации, вопросы последующей обработки модели для анализа динамики исследуемой ситуации остаются за «модельерами». Верификация экспертом корректности динамического поведения системы посредством модели на основе когнитивной карты не проводится.

Таим образом, важным условием повышения качества построения когнитивных карт (индивидуальных и коллективных) является обеспечение однозначного понимания содержательного смысла формальной модели динамики системы (ситуации) на основе когнитивной карты на доступном для экспертов языке.

Ж) Одна из значимых проблем при использовании процедур агрегирования – это чувствительность модели к итоговым «суммарным» весам. Например, в работе [15] демонстрируется с помощью вычислительного эксперимента существенные различия в результатах моделирования коллективной карты с «агрегированием» оценок экспертов. А при условии сложности в оценке реального поведения слабоструктурированных систем зачастую сложно установить достоверность результатов. Во многих теоретических и прикладных работах в области когнитивного моделирования как альтернатива экспертным методам рассматриваются вычислительные методы построения карт по некоторым данным. Однако применение экспертного и вычислительного методов к построению карт обусловлено, прежде всего, исходными данными для решения задач, и область применения экспертных методов связана с типичной ситуацией нехватки (полной или частичной) данных.

З) К числу проблем построения когнитивных карт относится распространенный способ предъявления факторов эксперту для установления весов. В [10] показано, что предъявление эксперту всевозможных сочетаний пар факторов (например в виде матрицы) может привести к появлению избыточных связей. Поэтому утверждение об относительной простоте составления когнитивной карты и понимания связей факторов ситуации экспертом является рискованным и приводит к игнорированию значимых когнитивных особенностей исследования ситуации на языке когнитивных карт, и часто приводит к чисто информационному взгляду на поддержку разработки моделей такого рода. Тем самым в случае субъективной оценки параметров когнитивных карт не всегда адекватен перенос процедур и методов теории экспертных оценок для процедур построения коллективных карт.

Е) Наконец, важно отметить, что ни в одной из рассмотренных публикаций по процедурам построения карт, трудно формализуемые аспекты согласования представлений экспертов при построении коллективной карты ситуации остается вне поля рассмотрения (равно как и в ряде других из области формаль-

ных когнитивных карт, которые в данной статье не рассматриваются<sup>6</sup>).

### **3. Некоторые принципы и подходы к кластеризации и согласованию представлений экспертов при построении коллективной карты ситуации**

#### **3.1. ПОДХОД К КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ МНЕНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ ЗНАКОВЫХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ**

С учетом выявленных недостатков в контексте рисков для достоверности применяемых процедур построения коллективных карт, связанных с «усреднением» мнений экспертов, не учитывающего значимые различные группы мнений (разд. 2.4), предлагается подход к кластеризации индивидуальных карт с формированием коллективных карт в кластерах близких мнений. При этом все индивидуальные карты построены на одном и том же множестве факторов.

Подход к кластеризации мнений экспертов, представленных в виде когнитивных карт, основан на классификации с выделением конфликтных и согласованных мнений с использованием формальных процедур классификации [8] и согласования экспертных оценок.

При этом предполагается применение кластеризации, начиная с ранних этапов построения коллективной карты, к знаковым индивидуальным картам, до оценивания весов влияний в картах, которое несет в себе дополнительные риски для достоверности результатов применения карт [5]. Предварительное согласование и формирование коллективной карты в рамках кластера близких мнений направлено на снижение указанных рисков.

Знаковая когнитивная карта  $l$ -го эксперта,  $K_l$ , являющаяся моделью причинно-следственных влияний между факторами исследуемой ситуации, где влияния заданы посредством знака

---

<sup>6</sup> т.к. существенного изменения в сложившуюся ситуацию не привнесут.

(+) – положительное влияние или (–) – отрицательное влияние, может быть представлена матрицей смежности  $A^l = [a_{ij}^l]$  размерностью  $n \times n$ , где  $a_{ij}^l = \{0, 1, -1\}$  – знак влияния фактора-причины  $x_i$  на фактор-следствие  $x_j$ ,  $n$  – общее число факторов.

Предлагаемый подход к кластеризации индивидуальных когнитивных карт предполагает:

1. Определение расстояния матрицы  $A^l$  когнитивной карты  $l$ -го эксперта до единичной матрицы с использованием меры расстояния  $M = f(A^l, A_0)$ .

2. Кластеризацию мнений экспертов, представленных когнитивными картами (рис. 3). Индивидуальные карты мнений экспертов  $\{K^l\}$  разделяются на кластеры по мере их близости, т.е. в один кластер попадают близкие мнения.

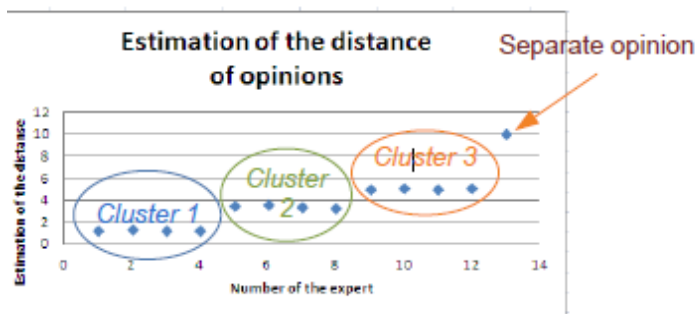


Рис.3 Пример кластеров мнений экспертов

В каждом таком кластере близких мнений может формироваться коллективная (интегральная) карта кластера путем объединения входящих в него карт экспертов, что позволяет провести анализ различий между интегральными картами кластеров мнений.

В качестве процедуры формирования коллективной карты кластера близких мнений предлагается построение «медианной» карты с учетом областей компетентности экспертов, которая для каждого эксперта определяется на подмножестве факторов его

индивидуальной карты. Соответственно для каждого эксперта  $I$  выделяется подграф  $K^I$  из карты  $K^I$  по факторам, определяющим область его компетентности. «Медианная» карта в кластере карт близких мнений формируется путем объединения выделенных подграфов, что схематически показано на рис 4.

3. Сравнение медианных карт кластеров близких мнений экспертов для определения значимых различий между ними.

Медианные карты могут быть:

– согласованы, т.е. различия наблюдаются в отсутствии связей между некоторыми факторами, но не более  $1/3$  факторов и знаки влияний не различаются.

– конфликтны (не согласованы), т.е. по более чем  $1/3$  факторов отсутствуют связи или различаются оценка знака взаимовлияния факторов.

В результате применения подхода

(1) согласованные медианные карты могут объединяться в общую коллективную карту с учетом согласования разногласий по отсутствующим связям;

(2) конфликтные медианные карты могут согласовываться по отсутствующим связям и по различиям в оценках знака влияний между факторами.

Если согласование не возможно, т.е. в экспертной группе существуют разные мнения о развитии ситуации, формируется несколько «медианных» карт, характеризующих развитие ситуации.

Для согласования карт могут использоваться стандартные процедуры (например, метод Дельфи) с опорой на предложенные принципы и подходы к согласованию (разд. 3.2).

Формирование нескольких карт, представляющих знания о развитии ситуации, направлено на проведение целостного анализа развития исследуемой ситуации с учетом альтернативных взглядов. Как показывает наш опыт альтернативность мнений, выраженная различиями в структуре и оценках взаимовлияний факторов, свойственна практически слабоструктурированным ситуациям.

Применение подхода к кластеризации позволяет избежать «усреднения» (по сути игнорирования различий) мнений экс-



пертов, используемого в современных процедурах согласования и агрегирования при построении когнитивных карт.

### *3.2. НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К СОГЛАСОВАНИЮ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ СИТУАЦИИ*

В силу трудной формализуемости моделируемых слабоструктурированных ситуаций эксперты (или составители карт) на этапе формализации вводят мягкие (качественные) факторы-переменные, которые представляются понятиями с высоким уровнем абстракции. Использование таких понятий при представлении влияний в когнитивной карте создает рискованные ситуации, которые могут приводить к нечеткости и искажению содержательного смысла связей карты относительно их математической интерпретации (согласно применяемому типу карт). Как следствие, это влияет на достоверность экспертных оценок значений параметров карты (таких как значения факторов, весов влияний) и, в конечном счете, может привести к снижению достоверности конечных результатов при решении практических задач. В [3, 5] зависимость достоверности конечных результатов применения когнитивных карт от качества используемых понятий в ходе построения формализованной модели (на языке выбранного типа карт) исследована и подтверждена эмпирически.

Указанная проблема еще более обостряется при коллективной работе экспертов – носителей знаний различных предметных областей в силу невозможности обеспечения полного согласования системы понятий экспертов, [23]<sup>7</sup>, посредством

---

<sup>7</sup> В [23] представлена методология решения слабоструктурированных крупномасштабных проблем в различных предметных областях, где значимое место отводится анализу и поиску подходов к решению проблем в условиях взаимодействия гетерогенного (неоднородного) коллектива специалистов в ходе осмысления и разрешения сложной проблемной ситуации.

которых они вербализуют свои представления о ситуации в ходе построения коллективной когнитивной карты.

Вопросы согласования понятийной структуры экспертов (и/или составителей карт) в ходе формализации слабоструктурированных ситуаций посредством когнитивных карт, как правило, остается вне поля зрения теоретиков и разработчиков методов, и технологий. В ряду немногих публикаций, можно выделить работы Т. Буздин-Чамеевой и ее коллег (см., например [6]), в которых поднимается вопрос зависимости достоверности построенной коллективной карты от используемой системы понятий в ходе формализации индивидуальных представлений экспертов до обобщения в единую карту. При этом отмечается, что «кодировщик»<sup>8</sup> может привносить искажающий эффект при переводе исходных представлений отдельных экспертов в формализованные. Это рассматривается, как ограничение предлагаемой методологии, и до сегодняшнего дня каких-либо путей решения данной проблемы в публикациях Т. Буздин-Чамеевой и ее исследовательского коллектива не приводится.

Исходя из обозначенных проблем поставлена задача поиска общих идей, принципов и подходов, на которые следует опираться при разработке методов поддержки построения коллективной карты ситуации с ориентацией на обеспечение приемлемого согласования представлений экспертов в этом процессе, а также на повышение достоверности конечных результатов решения практических задач. Здесь под «приемлемостью согласования» понимается такой его уровень, при котором возможно коллективное решение практической задачи без учета существующих различий в понимании ситуации разными членами коллектива.

При этом предполагается, что в процессе формализации согласование должно быть направлено на достижение двух связанных целей: (1) достижение приемлемо согласованного пред-

---

<sup>8</sup> В нашей трактовке под термином «кодировщик» имеется ввиду «модератор» и/или «составитель карт», организующий и проводящий работу с экспертами по формализации их представлений на язык когнитивной карты.

ставления по исследуемой ситуации между экспертами разного профиля и (2) снижение отрицательного искажающего эффекта при преобразовании исходных представлений в формализованную модель ситуации на языке выбранного типа когнитивной карты (иными словами, при формализации в терминах выбранной теоретической модели). Анализ практики применения когнитивных карт и некоторые эксперименты подтверждают, что отрицательный искажающий эффект является практически значимым источником риска для достоверности результатов применения формальных методов на основе когнитивных карт. Построение когнитивной карты можно рассматривать как перевод человеком существенных знаний о ситуации на математический язык и чтение карты обратном переводом (интерпретацией) с неизбежным эффектом искажения в обоих случаях (рис. 5) [3,17]. По существу, формализованная модель ситуации, предназначенная для обработки формальными методами, представляет два смысла: модель (1) имеет определенный математический смысл, на основе которого ведется формальная обработка; (2) отражает содержательный смысл, носителями которого являются специалисты проблемной области.

Свойство «двузначности» наиболее наглядно проявляется при определении факторов когнитивной карты ситуации. Используемые понятия для обозначения факторов в когнитивной карте несут в себе двойственный смысл. С одной стороны – это фактор, в содержательном смысле, а с другой – это переменная, принимающая значения на определенной измерительной или оценочной шкале.

При этом искажение может быть вызвано следующими причинами. Специалист в предметной области «видит» больше, чем представлено в математической модели. Например, он видит важный фактор в ситуации, а не просто формальную переменную. С другой стороны, человек стремится уменьшить когнитивную нагрузку в интуитивном понимании. Например, понимание причинно-следственной связи в соответствии с

усеченным определением<sup>9</sup> отношений между факторами для него проще, чем полное определение [2].

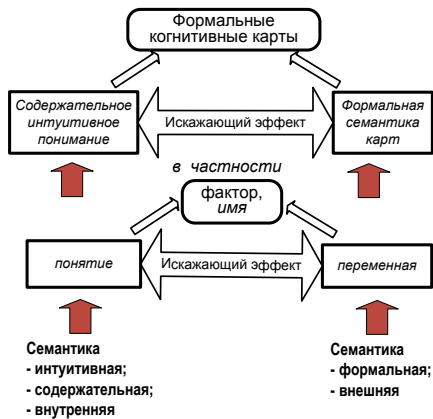


Рис. 5. Искажающий эффект между двумя пониманиями формальных карт

Поэтому учет свойства «двусмысленности» строящейся коллективной карты ситуации должен быть неотъемлемой частью организации процесса согласования представлений экспертов в ходе формализации.

### 3.2.1. Принципы согласования представлений экспертов при построении когнитивной карты ситуации

Предложенные принципы применимы при построении как индивидуальных, так и коллективных карт; при этом для последних может использоваться любая из известных техник

---

<sup>9</sup> В области когнитивного анализа и моделирования ситуаций, широко распространено передавать понятность математического смысла конструкций когнитивной карты посредством вербальных шаблонов; при этом довольно часто разработчики методов и технологий предлагают усеченные шаблоны, более легкие для понимания, но не передающие полного формального смысла конструкции (например, отдельной связи между парой факторов).

построения: техника агрегирования или коллективная техника (более подробно описаны в разд. 2), а также на этапе согласования выявленных разногласий в процессе кластеризации индивидуальных карт (см. разд. 3.1). При построении обоих видов карт важным участником этого процесса является «посредник» (модератор и\или составитель карт) – носитель знаний

- (1) об организации взаимодействия с экспертами
- и (2) о методе (технологии) анализа ситуации

для поддержки процесса формализации экспертных представлений на язык выбранного типа карт и согласования. Поэтому согласование имеет место не только при взаимодействии экспертов – носителей знаний предметных областей, но и при взаимодействии эксперта(тов) и посредника. В случае построения коллективной карты посредник, как правило, также играет роль модератора – организатора взаимодействия группы экспертов и согласования их представлений.

*Принцип нисходящего проектирования* состоит в организации пошагового процесса формализации исходных представлений экспертов (рис. 6), начиная с предварительного определения общей направленности исследований и формирования концептуальной схемы проблемной ситуации. На рис. 6 этап формализации представлен с учетом предлагаемых принципов и подходов к построению коллективной когнитивной карты ситуации.

Концептуальная схема ситуации направлена с одной стороны на ограничение рассматриваемой предметной области в рамках поставленных целей анализа ситуации, а с другой – на формирование единого и целостного представления об исследуемой ситуации в виде схемы укрупненных взаимосвязей между значимыми аспектами ситуации (более подробно рассмотрено в [18]).

Обоснованность применения принципа нисходящего проектирования обусловлена анализом практического опыта построения когнитивных карт (в т.ч. и нашего личного опыта). Следование этому принципу при построении карты ситуации направлено на блокирование типичного вида ошибок, обнаруженного известным психологом Д. Дёрнером [20], когда субъект выстраивает целостное представление о сложной проблемной ситуации путем построения редуцирующих гипотез.

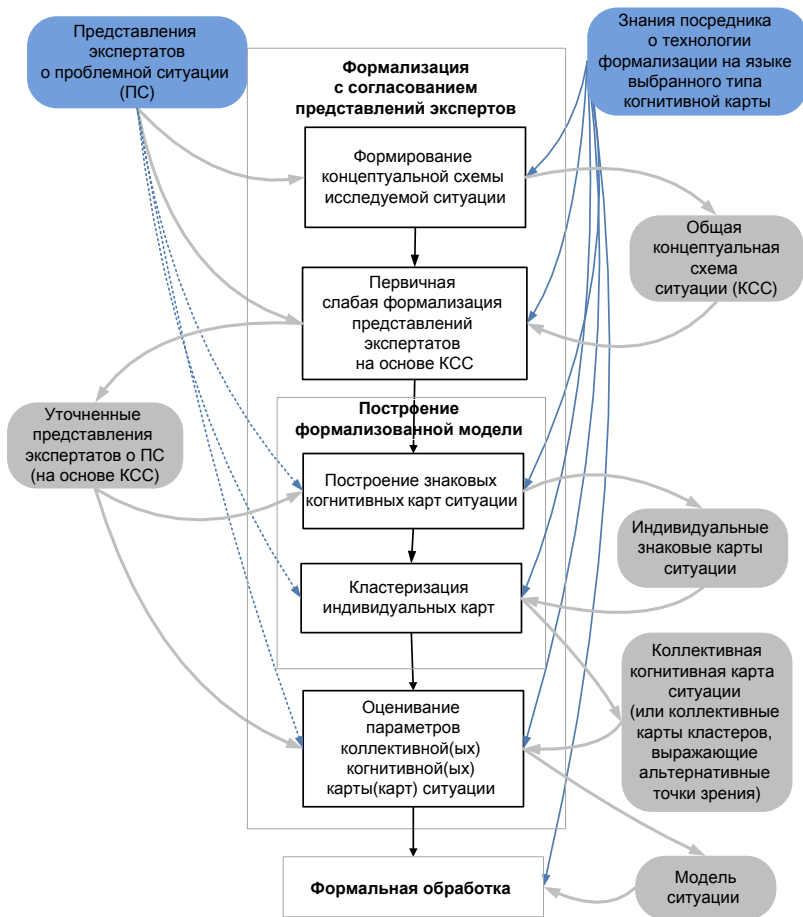


Рис. 6. Этапы пошаговой формализации исходных представлений экспертов о проблемной ситуации

Такие гипотезы приводят к формированию упрощенного представления о сложной или непривычной ситуации, не отражающего многообразия взаимосвязей ее различных аспектов. Суть такой гипотезы в том, что один фактор делают «определяющим», а все остальное «привязывают» к нему.

Еще один важный аспект применения концептуальных схем в процессе формализации состоит в следующем. Сложность

слабоструктурированных ситуации (свойство многоаспектности) обуславливает необходимость привлечения экспертов – носителей знаний из разных предметных областей для целостного представления о ситуации. (Как правило, эксперт не является носителем знаний многих предметных областей, а специализируется на одной или ограниченном их пространстве.) Поэтому концептуальная схема, ограничивающая исследуемые предметные области, связанные с ситуацией, может рассматриваться как средство целенаправленного формирования группы экспертов.

Далее представлена группа принципов, применимость которых подтверждена теоретическим обоснованием и анализом практики решения крупномасштабных слабоструктурированных проблем и ситуаций в условиях взаимодействия неоднородного коллектива специалистов (носителей знаний различных предметных областей) [23], независимо от используемого формального аппарата для поддержки их деятельности, будь то когнитивные карты или иные формальные модели и методы. Здесь принципы представляются в контексте решения практических задач анализа и моделирования таких ситуаций посредством когнитивных карт.

*Общий принцип согласованности понимания.* Важнейшим аспектом построения когнитивной карты ситуации является понятийно-структурная формализация, т.е. формализация первичных представлений экспертов (аналитиков и др. специалистов) о ситуации путем формирования понятий для представления факторов ситуации и влияний между ними.

В [23] слабая согласованность представлений участников процесса построения и исследования моделей слабоструктурированных ситуаций выделена как характерный тип помех, ухудшающих качество этого процесса, его сходимости и результативности. Указанный тип помех обусловлен особенностями взаимодействия неоднородного коллектива специалистов. Исходя из этого, определены частные принципы, позволяющие управлять процессами согласования понятий, представлений участников коллективной деятельности и в значительной мере компенсировать негативное воздействие понятийных помех. К числу этих принципов относятся *принцип «статусного знания»*,

*принцип единой системы понятий и принцип приемлемого согласования.*

*Принцип «статусного знания»* состоит в необходимости считаться с согласованными представлениями при наличии различных точек зрения на исследуемую ситуацию. Статусное знание – это знание, которое согласовано на каком-то этапе работы и требует определенной процедуры для его изменения с оповещением заинтересованных сторон. Опираясь на статусное знание, удастся заметно влиять на сходимость процесса получения результатов в дискуссиях и процессах поиска решений. В процессе пошаговой формализации представлений экспертов на языке когнитивной карты некоторого типа на каждом этапе этого процесса в качестве такого «статусного знания» может выступать соответствующий результат этапа (на рис. 2.2 указанные результаты этапов выделены серым цветом).

*Принцип единой системы понятий.* С одной стороны, отсутствие единого языка при обсуждениях нередко затрудняет совместную работу экспертов (носителей знаний различных предметных областей), что неизбежно отражается на результативности разрешения проблемной или непривычной ситуации. Указанный принцип предопределяет необходимость сформировать согласованную систему понятий, рабочий язык для общения внутри коллектива. В качестве инструмента согласования могут служить технологии согласования понятий (некоторые из них представлены в [23]), а также предлагаемый критериальный подход к согласованию представлений экспертов (см. разд. 3.2.2) при построении коллективной когнитивной карты ситуации.

Учитывая невозможность достижения цели действительного согласования в деятельности специалистов разных профилей, особенно в условиях ограниченных сроков работы вновь организованного коллектива, предлагается *принцип приемлемого согласования в контексте поставленных целей.* В этом случае в качестве цели согласования предлагается *коллективное вполне*



*сформированное понятие*<sup>10</sup> [23]. Такое понятие позволяет пользоваться им без учета различия в его понимании разными членами коллектива. (Работа с «вполне» (но не «действительно») согласованным понятием типична в деятельности неоднородного коллектива.)

Естественно предположить, что приведенная группа принципов не образуют полную и завершённую систему, однако целесообразность их применения подтверждена практикой их реализации в организации процесса согласования представлений специалистов разного профиля в ходе решения сложных проблем.

Наконец, ещё один важный принцип направлен на повышение достоверности конечных результатов применения когнитивных карт.

*Принцип защиты от отрицательного искажающего эффекта* при переходе знаний «об одном и том же» от одних носителей знаний к другим и/или при преобразованиях исходных экспертных знаний в формализованную модель ситуации на разных этапах формализации и обратно. Для реализации данного принципа предлагается критериальный подход к согласованию представлений экспертов с учетом свойства «двузначности» строящейся модели (рис. 5).

### *3.2.2. Критериальный подход к согласованию представлений экспертов при построении коллективной когнитивной карты ситуации*

Общая идея предлагаемого подхода состоит в уточнении и согласовании представлений экспертов по ходу построения

---

<sup>10</sup> В случае вполне сформированного понятия, когда в определенном сообществе (например, группе экспертов) имеется внешне представленный смысл, связанный с именем, и с этим смыслом – в силу традиций или по явному соглашению – должны согласовываться (в идеале совпадать по смыслу) индивидуальные понятия членов сообщества (отдельных экспертов), получается коллективное вполне сформированное понятие.

формализованной модели ситуации на языке некоторого типа когнитивной карты на основе двух групп критериев:

– критериев, направленных на защиту от отрицательного искажающего эффекта при формализации, включая обеспечение общего понимания экспертами свойств формальной модели (типа когнитивной карты), в терминах которой формализуются их представления;

– критериев согласования представлений экспертов, являющихся носителями знаний различных предметных областей (привлечение которых обусловлено необходимостью взаимосвязанного исследования разных аспектов слабоструктурированной ситуации).

Иными словами, применение критериев направлено на обеспечение поддержки, с одной стороны, процесса согласования содержательного понимания экспертами исследуемой ситуации, а с другой – процесса согласованного преобразования содержательных представлений на язык выбранного типа карт.

На сегодня сформировано семейство критериев [ 2, 3,17] для поддержки процесса построения индивидуальной когнитивной карты (экспертом или строителем карты) с целью защиты от отрицательного искажающего эффекта формализации. Работоспособность этих критериев подтверждена при верификации массива опубликованных исследовательских и прикладных карт. Однако проведенный нами анализ практики построения прикладных когнитивных карт подтверждает возможность применения указанных критериев и в процессе построения коллективных карт.

Семейство образует открытую систему, которая отражает логику построения когнитивных карт из элементарных языковых конструкций (факторы-переменные, прямые причинно-следственные связи и узлы), вплоть до критериев, применимых к более сложным конструкциям и к карте в целом. По возможностям оценки критерии являются экспертными, т.е. оценку соответствия дает эксперт.

Применение критериев предполагается, начиная с этапа качественного моделирования (построение знаковой карты), когда перевод начальных экспертных представлений о ситуации на формальный язык еще не прошел на второй уровень количе-

ственного определения параметров на основе объективных данных или экспертных оценок (рис. 6).

Что касается второй группы критериев, применимых для согласования представлений экспертов – специалистов разных профилей, то это направление является предметом дальнейших исследований в рамках развития критериального подхода к согласованию экспертных представлений при построении коллективной карты ситуации.

Для реализации предложенных принципов и критериального подхода к согласованию представлений экспертов при построении коллективной карты ситуации следует учитывать еще один важный принцип организации процесса взаимодействия коллектива специалистов, влияющего на сходимость и результативность этого процесса при решении практических задач. Это принцип распределения ролевого участия в процессе взаимодействия коллектива с закреплением советующих функций и для экспертов – носителей знаний предметных областей, и для «посредников», выступающих в роли

– составителя карт, как носителя знаний о методе (технологии) анализа и моделирования ситуации, поддерживающих процесс формализации экспертных представлений на язык выбранного типа карт,

– модератора, владеющего техниками организации взаимодействия экспертов и согласования их представлений.

#### **4. Заключение**

Предложенные подходы и принципы отнюдь не решают всех проблем в области построения коллективных карт ситуаций и требуют дальнейшего развития, в том числе должна быть реализация в виде конкретных методов поддержки их построения, учитывающих особенности этого сложного интеллектуального процесса. Необходимым компонентом этих исследований являются эмпирические исследования, включая анализ практики работы с экспертами, а также проведение экспериментов для дальнейшего развития предложенных принципов и подходов с учетом специфики применяемых типов формальных когнитивных карт при решении практических задач.

## Литература

1. ABRAMOVA N., AVDEEVA Z., FEDOTOV A. *An approach to systematization of types of formal cognitive maps* // In Proc. of 18<sup>th</sup> World Congress. –Milan, Italy, 2011. p. 14246-14252.
2. ABRAMOVA N., KOVRIGA S. *Criterial Approach to Verification at Cognitive Mapping of Ill-Structured Situation Dynamics* // In proc. the 30th International Conference of the System Dynamics Society. – St. Gallen, Switzerland July 22 - 26, 2012. – p. 1-23.
3. ABRAMOVA N., KOVRIGA S. *The expert approach to verification at cognitive mapping of ill-structured situations* // In Proc. of 18<sup>th</sup> IFAC World Congress. – Milan, Italy, 2011. p. 1997-2002.
4. ABRAMOVA N.A., MAKARENKO D.I., PORTSEV R.U. *Development of Visual Analysis Methods at Modelling of Ill-Structured Situation based on Cognitive Maps* / In proc. IST-116 Symposium on Visual Analytics. –Shrivenham, Swindon, United Kingdom, October 28-29, 2013.
5. ABRAMOVA N.A., TELITSYNA T.A. *An approach to analysis of expert estimation validity in cognitive mapping* // IFAC conference on manufacturing modelling, management, and control MIM, 2013. – P. 927 – 932. [5]
6. -CHAMEEVA T. *An application of causal mapping technique ANCOM-2 in management studies* // Proceedings on the 6th Global Conference on Business & Economics – USA: GutmanConferenceCenter, 2006. – P. 95-106.
7. BOUZDINE-CHAMEEVA T. *The ANCOM-2 solution to support knowledge work* // International Business Management 1(2): 12 -19, 2007.

8. Dorofeuk A.A., Cherniavsky A.L. The algorithms of constructing of the well interpreted classification // Control problems. 2007. №2. С.83-84
9. GROUMPOS P. *Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems*. In *Fuzzy Cognitive Maps Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*. (ed. Glukas M.)- Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010 – p. 1-23
10. HODGKINSON G., MAULE A., AND BOWN N. *Causal Cognitive Mapping in the Organizational Strategy Field: A Comparison of Alternative Elicitation Procedures – Organizational Research Methods*. – 2004. – Vol. 7, № 1. – P. 3-26.
11. KJÆRGAARD A. AND BLEGIN D J. *Using cognitive mapping to represent and share users' interpretations in technology adaptation / In proc. of the New Frontiers in Management and Organizational Cognition Conference*. 2012.
12. KONTOGIANNIA A., PAPAGEORGIOUB I., TOURKOLIASA C. *How do you perceive environmental change? Fuzzy Cognitive Mapping informing stakeholder analysis for environmental policy making and non-market valuation // Applied Soft Computing – 2012 -№12. - p. 3725–3735*
13. KOSKO, B.: *Fuzzy Cognitive Maps*. Intern. Journal of Man-Machine Studies № 24. – 1986 - pp. 65–75
14. ROBERTS F. *The questionnaire method*. In. Structure of decision ( ed. Axelrod R. ).- Princeton, NJ: Princeton University Press. – pp. 333-343]
15. STACH W., KURGAN L. AND PEDRYCZ W. *Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps*. In *Fuzzy Cognitive Maps Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*. (ed. Glukas M.)- Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010 – p. 23-43
16. АБРАМОВА Н.А. О семантиках когнитивных карт в контексте проблемы рисков формализации // Труды IX международной конференции (14-16 ноября 2011 г., Москва). – М.: ИПУ РАН, 2011. – С.11-24

17. АБРАМОВА Н.А., КОВРИГА С.В. *Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт* // Проблемы управления. – 2008. – №6. – С.23-33.
18. АВДЕЕВА З. К., КОВРИГА С. В. *Эвристический метод концептуальной структуризации знаний при формализации слабоструктурированных ситуаций на основе когнитивных карт* / Управление большими системами. Выпуск 31. – М.: ИПУ РАН, 2010. – С.6-34.
19. Большая советская энциклопедия. 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 2001.
20. Губанов Д.А., Коргин Н.А., Новиков Д.А., Райков А.Н. *Сетевая экспертиза* / Под ред. чл.-к. РАН Д.А. Новикова, проф. А.Н. Райкова. – М.: Эгвес, 2010. – 168 с.
21. ДЁРНЕР Д. *Логика неудачи. Стратегическое мышление в сложных ситуациях*. М.: Смысл, 1997. – 243 с.
22. МАКСИМОВ В.И., РАЙКОВ А.Н. *Коллективные когнитивные карты в системах принятия решений* // Междунар. симпозиум «Рефлексивное управление». Тез. докл. – М.: Ин-т психологии РАН, 2000. – С. 86 – 88.
23. ПРАНГИШВИЛИ И.В., АБРАМОВА Н.А. И ДР. *Поиск подходов к решению проблем*. М.: СИНТЕГ, 1999. – 192 С.
24. ТАРАН Т. *Реконструкция социального образа реальности* // Новости искусственного интеллекта. – М. – 1998. №2. С. 142 - 154.

*Рубрика Сборника (окончательно выбирается редактором)*

## **SOME PRINCIPLES AND APPROACHES TO CONSTRUCTION OF COLLECTIVE COGNITIVE MAPS**

**Zinaida Avdeeva**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (avdeeva@ipu.ru).

**Svetlana Kovriga**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, (Moscow, Profsoyuznaya st., 65, (495)3347800).

*Abstract:*

Keywords:

*Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...*

*Опубликована ...заполняется редактором...*