УДК 004.81

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИИ ГИБРИДНЫХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

М.П. Силич*, В.А. Силич, С.В. Аксенов

Томский политехнический университет
*Томский университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: smp@muma.tusur.ru

Актуальность работы *обусловлена нерешенной проблемой анализа ситуации в сфере энергосбережения территориальных образований в условиях неполноты исходных данных и неоднозначности их интерпретации. Целью работы является разработка когнитивного подхода к анализу состояния энергетической эффективности в территориальных образованиях различного уровня, позволяющего не только оценить уровень энергоэффективности, но и проанализировать причины сложившейся ситуации и определить основные направления проведения энергосберегающей политики. В работе используются методы построения нечетких когнитивных карт; методы нечеткой оценки и нечеткого продукционного вывода; методы кластеризации.*

Результаты: *представлена структура гибридной когнитивной карты; описано построение иерархии когнитивных карт; предложен кейсовый подход к анализу когнитивных карт; рассмотрены методы оценки факторов в различных ситуациях.*

Выводы. *Использование иерархических гибридных когнитивных карт дает следующие преимущества: возможность детального рассмотрения отдельных подсистем; повышение обоснованности выбора индикаторов; сочетание различных способов оценивания факторов; учет внешних особенностей территориальных образований. Результаты анализа могут быть представлены в виде дерева причин, демонстрирующего причинно-следственные цепочки между состояниями различных факторов.*

Ключевые слова:
Энергетическая эффективность, территориальные образования, гибридная когнитивная карта, нечеткая оценка факторов.

Традиционный подход к оценке состояния энергетической эффективности и энергосбережения на территории региона состоит в определении уровня энергоэффективности отдельных территориальных образований (например, субъектов федеративного округа или муниципальных районов в рамках отдельного субъекта Федерации) на основе значений индикаторов. При этом значения индикаторов сравниваются с усредненными показателями по группе территориальных образований (ТО) или с некоторыми нормативными значениями и используются для вычисления интегральных оценок, как правило, на основе аддитивной свертки. Для учета влияния внешних факторов – природно-климатических, географических, социально-экономических, инфраструктурных и т. д. – ряд авторов предлагает осуществлять типологическую группировку территорий по признакам, влияющим на энергосбережение [1, 2].

Индикативный подход позволяет классифицировать территориальные образования по уровням энергетической эффективности или составить рейтинг ТО, однако он не объясняет причины ситуации, сложившейся на той или иной территории, не дает «полной картины». Для понимания ситуации необходимо учитывать, что одни индикаторы характеризуют созданные условия для реализации потенциала энергосбережения, другие – внешние условия, влияющие на освоение потенциала, третьи – достигнутый уровень энергоэффективности. Кроме того, не всегда индикаторы могут быть однозначно интерпретированы, границы уровней оценки зачастую «размыты», некоторые факторы вообще можно оценить лишь косвенно и весьма приблизительно. В силу этих причин для анализа сферы энергосбережения территориальных образований, на наш взгляд, целесообразно использование нечетких когнитивных карт, что даст возможность оценить текущее состояние в условиях неполноты исходных данных и неоднозначности их интерпретации, а также сформировать выводы в терминах естественного языка относительно причин сложившейся ситуации.

В настоящее время разработано множество методов когнитивного моделирования – традиционные знаковые когнитивные карты, «нечеткие» когнитивные карты Коско, нечеткие карты Силова, нечеткие продукционные когнитивные карты, нечеткие реляционные карты [3]. Выбор метода зависит от задачи исследования, особенностей моделируемой предметной области, глубины знаний экспертов, наличия данных. Рассмотрим требования, которые предъявляет задача анализа состояния энергетической эффективности территориальных образований.

Прежде всего, необходимо отметить сложность исследуемой предметной области, включающей множество аспектов, связанных с различными видами топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), с различными стадиями производства и потребления энергии, с различными сферами энергопотребления (промышленность, жилищный комплекс, коммунальное хозяйство, транспорт). Таким образом, чтобы когнитивная модель была обозримой, необходимо сформировать множество взаимосвязанных карт, соответствующих отдельным подсистемам. Каждая карта должна включать как целевые факторы, отражающие интегрированные оценки состояния системы (подсистемы), так и управляемые, на которые можно непосредственно воздействовать, а также внешние, описывающие социально-экономические, инфраструктурные,

природно-географические особенности территориальных образований.

Проблема выбора концептов осложняется тем, что один и тот же фактор может оцениваться на основе множества индикаторов, которые дополняют или заменяют друг друга. Логично явно выделить концепты-факторы, оцениваемые на качественном уровне, и концепты-индикаторы с четкими числовыми значениями, используемые для оценки факторов. Еще одна проблема связана с тем, что одни и те же значения индикаторов по-разному интерпретируются для территорий с разными внешними условиями. Можно использовать подход типологической группировки территориальных образований. В этом случае для каждой группы (кластера) строится свой набор функций принадлежности для оценки факторов по индикаторам.

Поскольку не все факторы могут быть непосредственно оценены по индикаторам, необходимо предусмотреть возможность их косвенной оценки по другим факторам (влияющим и/или зависимым). Форма представления знания экспертов о взаимовлиянии факторов может быть различной: в одних случаях эксперты могут сформулировать правила, в других случаях они могут лишь оценить силу влияния факторов друг на друга и т. д.

Существующие методы когнитивного моделирования не позволяют в полной мере учесть перечисленные особенности рассматриваемой предметной области. Данная работа посвящена разработке метода построения и анализа гибридных когнитивных карт, который позволял бы: строить совокупность иерархически связанных когнитивных карт; рассматривать концепты с четкими и нечеткими значениями; выводить оценки факторов энергоэффективности с учетом особенностей различных территориальных образований; сочетать различные способы оценивания факторов; формировать дерево причин.

Гибридная когнитивная карта (ГКК) представляет собой граф, вершинами которого являются концепты двух видов: факторы и индикаторы. Формально ГКК можно задать в виде:

$$G = < F, E, R^{FF}, R^{FE}, P, R^{FP} >,$$

где F – множество факторов; E – множество индикаторов; $R^{FF} \subset F \times F$ – множество причинно-следственных связей между факторами; $R^{FE} \subset F \times E$ – множество связей ассоциации между факторами и индикаторами; P – множество процедур оценивания факторов (в том числе процедуры фаззификации, кластеризации, нечеткого вывода и др.); R^{FP} – множество отношений, связывающих факторы и процедуры.

Фактор – это некоторое свойство системы, оцениваемое на качественном уровне, например: «энергосберегающее поведение», «существенность расходов домохозяйств на электроэнергию», «информированность о существующих технологиях энергосбережения». Каждому фактору $f_i \in F$ соответствует лингвистическая переменная, характеризуемая терм-множеством $T^i = \{T_1^i, T_1^i, \ldots T_m^i\}$, термы которого представляют собой нечеткие оценки типовых состояний фактора, например «низкая», «средняя», «высокая».

Множество факторов включает в себя подмножества: F^C – целевые факторы, состояние которых позволяет оценить ситуацию в целом; F^U – управляемые факторы, состояние которых можно сознательно изменять; F^V – внешние возмущения, на состояние которых в рамках системы невозможно повлиять.

Индикатор – это измеримый показатель, характеризующий тот или иной фактор. Значения индикаторов определяются либо с помощью объективных измерений, либо вычисляются на основе исходных данных по формулам. Примеры индикаторов: «энергоемкость валового муниципального продукта», «удельная величина потребления тепловой энергии в многоквартирных домах», «доля объема электрической энергии, расчеты за потребление которой осуществляются на основании показаний приборов учета».

Между фактором и индикатором может быть установлено отношение ассоциации $R^{FE}: F \times E \to [0,1]$. Отношению $f_i R^{FE} e_j$ сопоставляется коэффициент соответствия a_{ij} (число от 0 до 1). Чем выше значение коэффициента, тем точнее индикатор e_j характеризует фактор f_i. Фактор может быть связан с несколькими индикаторами. Например, эффективность потребления ТЭР в производственной сфере можно оценивать по показателям: «энергоемкость заработной платы», «энергоемкость рабочего места», «энергоемкость совокупного объема отгруженной продукции», «энергоемкость валовой добавленной стоимости».

Между факторами устанавливаются причинно-следственные отношения, которые будем называть отношениями влияния: $R^{FF}: F \times F \to [-1,1]$. Отношению $f_i R^{FF} f_j$ приписывается вес w_{ij}, характеризующий как направление влияния (положительное или отрицательное), так и силу влияния. Для оценки силы влияния $|w_{ij}|$ можно использовать следующую шкалу: 0,1 – очень слабое влияние; 0,3 – слабое влияние; 0,5 – существенное; 0,7 – сильное; 0,9 – очень сильное (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 – промежуточные значения). Сила влияния может являться не только константой, но и переменной, принимающей разные значения для разных территориальных образований. Например, сила влияния фактора, характеризующего уровень потребления тепловой энергии, на фактор, отражающий интегральный уровень потребления ТЭР, зависит от доли тепловой энергии в суммарном энергопотреблении, которая не одинакова для разных ТО и может изменяться с течением времени. Сумма степеней влияния нескольких факторов на один и тот же фактор не обязательно должна составлять единицу, поскольку могут существовать и неучтенные, пока еще не выявленные влияющие факторы.

Сеть взаимовлияний факторов представляет собой дерево (совокупность деревьев). Корнем дерева

является целевой фактор, листьями – «внешние» или управляемые факторы. Отношения влияния позволяют выявить причины достигнутого уровня того или иного фактора и оценить важность той или иной причины. Если влияющих факторов много, они могут быть вынесены на поддиаграммы – когнитивные карты нижнего уровня. Фактор, к которому «прикреплена» дочерняя карта, становится целевым на этой карте (корнем дерева). Назовем такой фактор портовым узлом. В свою очередь, к некоторым факторам на дочерней карте также могут быть прикреплены карты нижнего уровня. Таким образом, формируется иерархия когнитивных карт: $\{G_k, R^{\sim}\}$.

Будем говорить, что карта G_1 доминирует над $G_2(G_1, R^{\sim} G_2)$, если:

$$\exists f^p \mid f^p \in F_1, f^p \in F_2, f^p \notin F_1^C, f^p \in F_2^C \},$$

где F_1, F_2 – соответственно множества факторов карты G_1 и G_2, F_1^C, F_2^C – подмножества целевых факторов карт G_1 и G_2; f^p – портовый узел.

Иерархический подход позволяет не только уменьшить размеры карт и сделать их более наглядными, но и выделить подсистемы, описывающие отдельные аспекты исследуемой системы, и связать их посредством портовых узлов.

На рис. 1 приведен пример гибридной карты для задачи анализа эффективности потребления электроэнергии в жилищном фонде муниципального образования. Факторы изображены в виде эллипсов (внешние ограничения – в виде эллипсов с пунктирным контуром), индикаторы – в виде кружочка. Отношения ассоциации представлены отрезками пунктирной линии, отношения влияния между факторами – отрезками сплошной линии со стрелками. Коэффициенты соответствия и силы влияния отображаются в виде меток рядом с соответствующей дугой. Если к фактору присоединена поддиаграмма, то рядом с символом соответствующего фактора помещается специальная пиктограмма.

Анализ гибридной когнитивной карты позволяет дать оценку каждому фактору.

Имеется множество территориальных образований $O=\{o_k\}$, являющихся объектами оценивания. Каждое ТО характеризуется собственным набором значений индикаторов $\{e_j^k\}$. В результате анализа необходимо получить нечеткие оценки факторов $\{f_i^k\}$. Каждая оценка может быть представлена в виде: $<T(af_i^k), \mu_{T(f_i^k)}>$.

Направление анализа карты вовсе не обязательно должно идти от терминальных факторов к

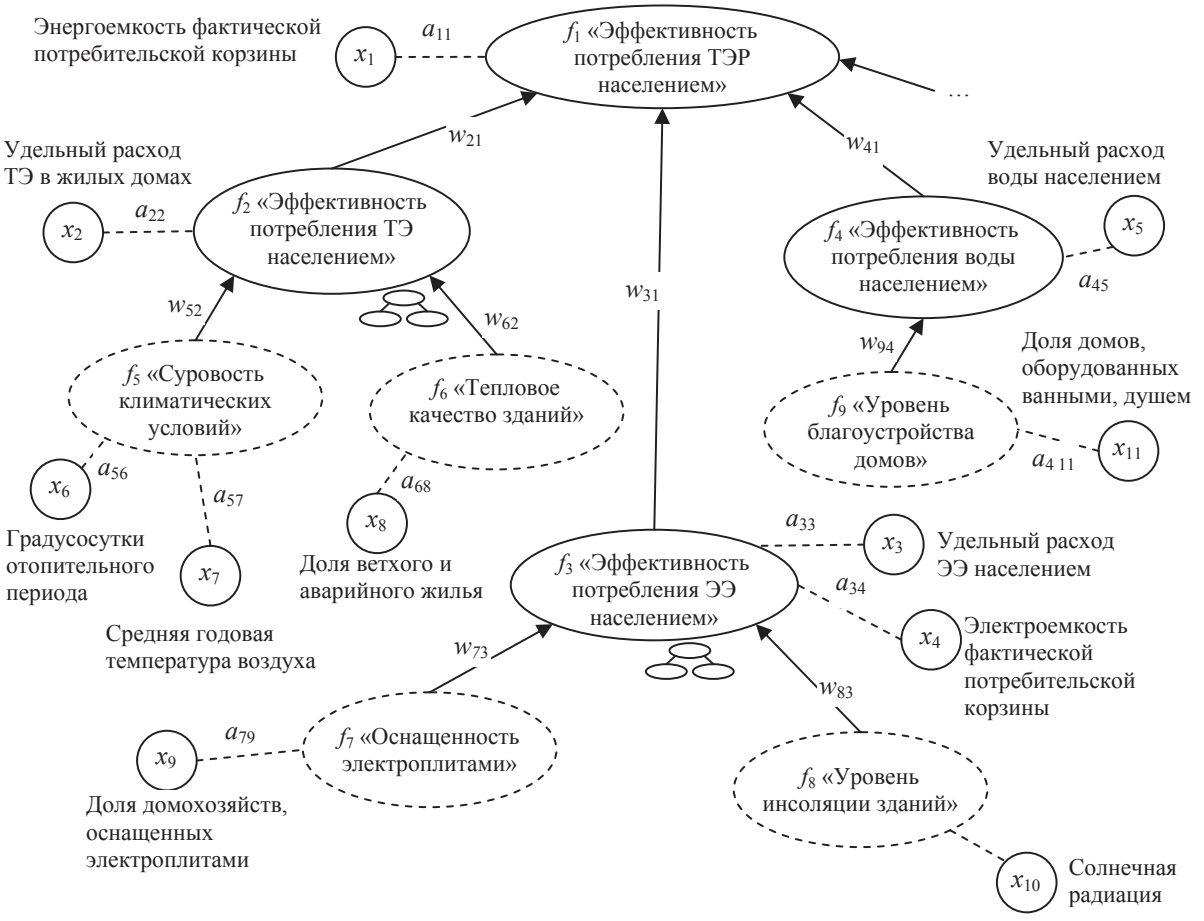

Рис. 1. *Пример гибридной когнитивной карты*

целевым. Если целевой фактор связан с индикатором, то его значение может быть получено непосредственно с помощью фаззификации значения индикатора. Этим же способом может быть получена оценка для любого фактора, имеющего ассоциированные с ним индикаторы. Причем при фаззификации может быть учтено влияние внешних факторов. Оценка факторов, для которых нет индикаторов или нет возможности получить соответствующие данные, выводится на основе оценок других факторов. Таким образом, выбор способа оценивания того или иного фактора осуществляется в зависимости от конкретной ситуации: связан ли фактор с индикаторами, влияют ли на него внешние факторы, известны ли оценки влияющих на него и/или зависимых от него факторов, в какой форме представлены знания экспертов о взаимовлиянии факторов и др. Такой подход можно назвать кейс-подходом (от англ. case – случай, прецедент). Для его применения необходимо разработать библиотеку процедур, из которой исследователь выбирает наиболее подходящие для каждой ситуации.

Все ситуации оценивания можно разделить на две основных группы: оценивание на основе значений индикаторов и косвенное оценивание на основе оценок других факторов. В рамках каждой группы также могут быть выделены подгруппы ситуаций. Рассмотрим некоторые кейсы – типовые ситуации оценивания.

Если оцениваемый фактор связан с одним или несколькими индикаторами, то его оценка может быть получена с помощью процедур фаззификации.

Чтобы оценить фактор f_i на основе индикатора $e_j(f_i R^{FE} e_j)$, для каждого терма строятся функции принадлежности на базовом множестве значений индикатора. Функции принадлежности (ФП) могут строиться разными способами: субъективным (функции строит эксперт), на основе равномерного разбиения базового множества по числу термов, на основе распределения примеров. На наш взгляд, предпочтительнее последний способ, когда функции строятся на основе распределения значений индикатора для всех сравниваемых территориальных образований.

Нечеткая оценка фактора получается путем фаззификации значений индикатора. Для учета коэффициента соответствия a_{ij} используется операция умножения:

$$\mu_{T(f_i^k)} = a_{ij}\mu_{T(e_j^k)},$$

где $\mu_{T(e_j^k)}$ – значение ФП, полученное при фаззификации значения индикатора e_j^k без учета коэффициента соответствия.

Если фактор связан с несколькими индикаторами $e_{j1},\ldots,e_{in}$, то для агрегирования оценок полученных путем фаззификации значений каждого индикатора можно использовать операцию алгебраического сложения:

$$\mu_{T(f_i^k)} =$$
$$= a_{ij1}\mu_{T(e_{j1}^k)} + \ldots + a_{ijn}\mu_{T(e_{jn}^k)} - a_{ij\,1}\mu_{T(e_{j1}^k)} \ldots a_{ijn}\,\mu_{T(e_{jn}^k)}.$$

Схематично процедура агрегирования проиллюстрирована на рис. 2.

Рассмотрим ситуацию, когда на оцениваемый фактор f_{i1} влияет фактор f_{i2}, являющийся внешним ограничением ($f_{i2} R^{FF} f_{i1}$, $f_{i2} \in F^V$). Это влияние целесообразно учитывать через параметры функций принадлежности. На множестве O выделяются кластеры ТО с похожими внешними условиями, т. е. с одинаковыми значениями внешнего фактора f_{i2}. Функции принадлежности на множествах значений индикаторов, связанных с f_{i1}, строятся отдельно для каждого кластера.

Например, на фактор «уровень потребления тепловой энергии населением», ассоциированный с индикатором «удельный расход тепловой энергии на 1 м² общей жилой площади, Гкал/м²», влияет природно-климатический фактор «суровость климатических условий», определяющий объективную потребность в энергоресурсах. Очевидно, что чем севернее регион, тем потребление тепла выше и, следовательно, интерпретация значения индикатора потребления должна осуществляться по-

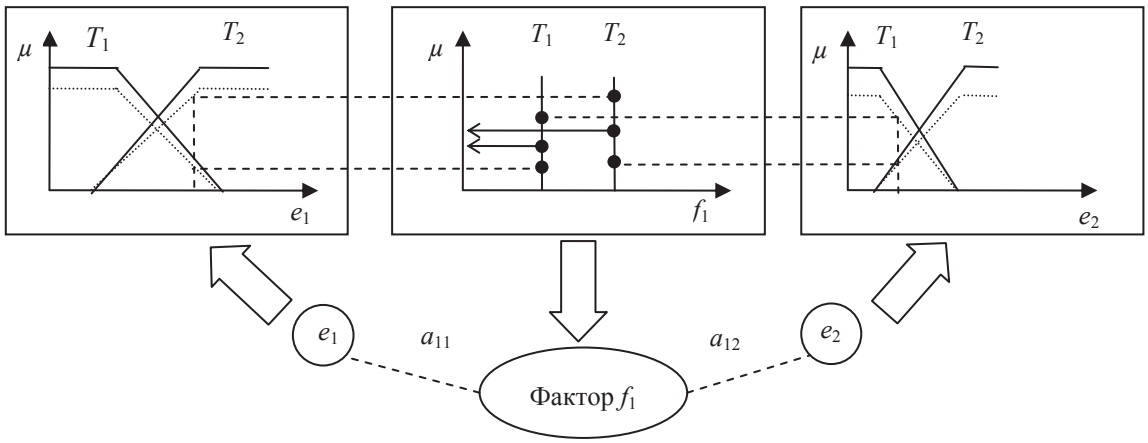

Рис. 2. *Ситуация оценивания фактора по нескольким индикаторам*

разному для северных, центральных и южных регионов.

При кластеризации по фактору f_{i2} признаками кластеризации выступают индикаторы e_j, связанные с этим фактором: $f_{i2}R^{FE}e_j$. Например, для фактора «суровость климатических условий» индикаторами выступают показатели «средняя годовая температура воздуха», «продолжительность отопительного периода», «градусосутки отопительного периода» и др.

Нечеткая кластеризация позволяет определить нечеткое покрытие: $\Im(O)=\{O_l|O_l\subseteq O\}$, $l=\overline{1,L}$, которое задается матрицей $\|\mu_{O_l}(o_k)\|$ значений функций принадлежности объектов $o_k\in O$ нечетким кластерам O_l. Наименования кластеров O_l можно рассматривать как термы T^l лингвистической переменной, сопоставленной соответствующему внешнему фактору f_{i2}. Таким образом, можно для каждого объекта o_k задать значения внешнего фактора в виде: $<T(f_{i2}^k),\mu_{T(f_{i2}^k)}>$, где $\mu_{T(f_{i2}^k)}=\mu_{O_l}(o_k)$.

Кластеризацию территориальных образований предлагается выполнять с помощью алгоритма Густафсона-Кесселя [4]. Пример использования данного алгоритма для кластеризации муниципальных образований Томской области по климатическим факторам при решении задачи оценки эффективности использования тепловой энергии в жилищном фонде приведен в [5].

Как уже указывалось, функции принадлежности для фактора f_{i1}, на который влияет внешний фактор f_{i2}, формируются отдельно для каждого кластера. После фаззификации по индикаторам, связанным с f_{i1}, степень уверенности в оценке корректируется с учетом степени принадлежности объекта к соответствующим кластерам:

$$\mu_{T^m(f_{i1}^k)/T^l(f_{i2}^k)}=\min\{\mu_{T^m(f_{i1}^k)},\mu_{T^l(f_{i2}^k)}\},$$

где $\mu_{T^m(f_{i1}^k)/T^l(f_{i2}^k)}$ – значение функции принадлежности к значению T^m фактора f_{i1}, для объекта o_k с учетом степени его принадлежности к кластеру $O_l=T^l$ по фактору f_{i2}.

В случае если объект попал одновременно в несколько кластеров, оценки, полученные для каждого кластера, агрегируются с помощью операции максимума:

$$\mu_{T^m(f_{i1}^k)}=\max\{\mu_{T^m(f_{i1}^k)/T^{l1}(f_{i2}^k)},\mu_{T^m(f_{i1}^k)/T^{l2}(f_{i2}^k)}\}.$$

Схематично процедура получения оценки с учетом влияния внешнего фактора проиллюстрирована на рис. 3.

Если на один и тот же фактор влияют несколько внешних факторов, оценки, полученные с учетом влияния каждого отдельного внешнего фактора, агрегируются с помощью операции минимума.

Оценка факторов, у которых нет индикаторов или нет возможности получить значения индикаторов, может быть получена на основе оценок других факторов. Рассмотрим две ситуации: оценивается фактор, являющийся следствием других оцененных факторов (рис. 4, *а*); оценивается фактор, влияющий наряду с другими факторами на некоторый оцененный фактор (рис. 4, *б*).

Одним из возможных подходов является использование нечетких продукционных правил, содержащих в антецеденте возможные состояния оцененных факторов и в консеквенте – соответствующие состояния оцениваемого фактора.

В ситуации, представленной на рис. 4, *а* на фактор f_1 влияют факторы f_2 и f_3 ($f_2R^{FF}f_1$, $f_3R^{FF}f_1$), для которых оценки получены путем фаззификации значений индикаторов e_2 и e_3 ($f_2R^{FE}e_2$, $f_3R^{FE}e_3$). Формат правил для определения оценки фактора f_1 будет следующий:

ЕСЛИ f_2 есть $T^i(f_2)$ И f_3 есть $T^j(f_3)$, ТО f_1 есть $T^l(f_1)$,

где $T^i(f_2)$, $T^j(f_3)$, $T^l(f_1)$ – нечеткие оценки факторов f_2, f_3, f_1.

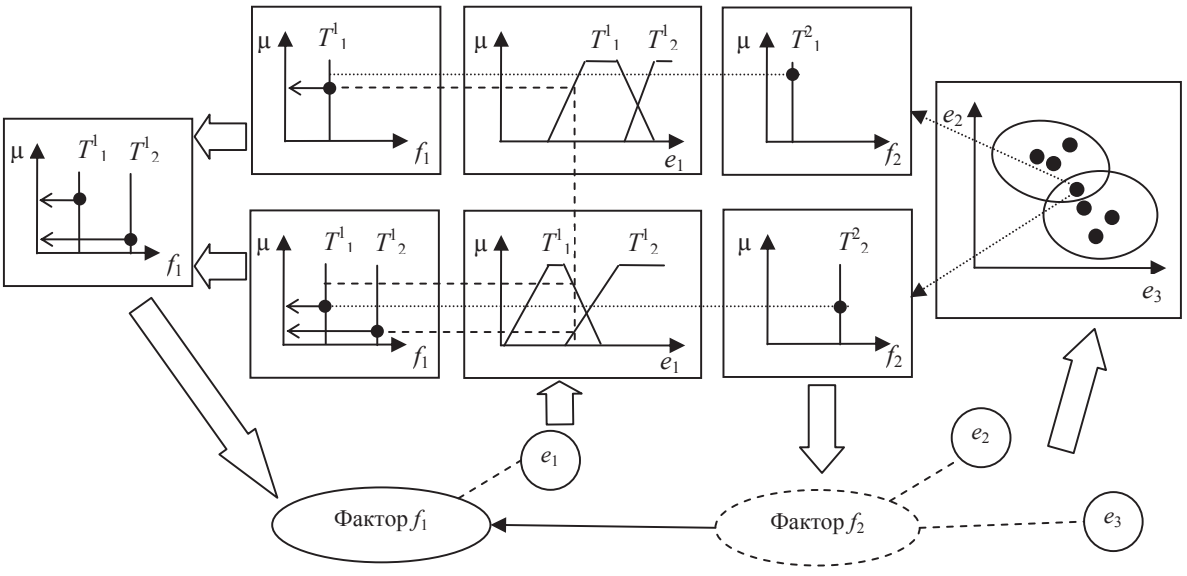

Рис. 3. *Ситуация оценивания фактора по индикатору с учетом влияния внешнего фактора*

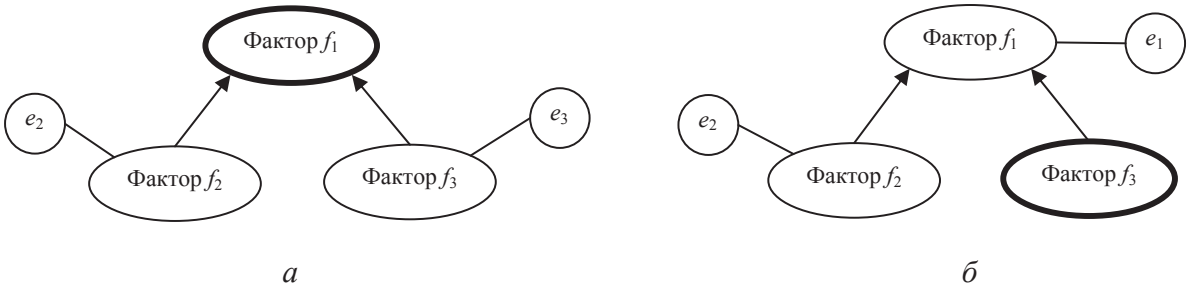

Рис. 4. *Ситуации косвенного оценивания факторов: а) оценивается фактор, являющийся следствием других оцененных факторов; б) оценивается фактор, влияющий наряду с другими факторами на оцененный фактор*

В ситуации, представленной на рис. 4, *б* оценки факторов f_1 и f_2 определяются на основе значений индикаторов e_1 и e_2 ($f_1 R^{FE} e_1$, $f_2 R^{FE} e_2$), необходимо вывести оценку фактора f_3, влияющего совместно с фактором f_2 на фактор f_1. Формат правил будет следующий:

ЕСЛИ f_1 есть $T^i(f_1)$, И f_2 есть $T^i(f_2)$ ТО f_3 есть $T^j(f_3)$.

При построении правил необходимо учитывать характеристики отношений влияния, установленных между факторами, связываемыми правилами, а именно направление (положительное или отрицательное) и силу влияния. Правила могут быть оценены весовыми коэффициентами в виде числовых значений из интервала [0,1]. Коэффициенты отражают уверенность экспертов в достоверности правил. При их назначении нужно учесть, что на целевой фактор, присутствующий в условной или заключительной части правила, могут влиять неучтенные факторы, не отраженные на диаграмме. В этом случае весовой коэффициент соответствующих правил может быть невысоким. По мере накопления статистики правила могут корректироваться. Для повышения их объективности и при наличии обучающих выборок может быть использован гибридный подход, сочетающий нейронные сети и продукционные системы.

Альтернативным способом косвенного оценивания факторов являются операции с четкими или нечеткими числами, например процедура аккумулирования влияния нескольких концептов на один концепт, используемая в картах Коско [3], или операция свертки с нечеткими треугольными числами. В последнем случае необходимо разработать процедуры преобразования нечетких значений лингвистических переменных в нечеткие числа, а также в интерпретации вычисленного значения выходного фактора.

По результатам анализа гибридной когнитивной карты может быть построено дерево причин. Оно показывает текущие состояния факторов, влияющих на энергоэффективность, для конкретного территориального образования и объясняет, почему, под влиянием каких причин сложились эти состояния. Дерево причин формируется на основе соответствующей когнитивной карты путем сопоставления каждому фактору его оценки [6].

Выводы

Предлагаемый подход позволяет не просто оценить уровень энергоэффективности в территориальных образованиях, но и проанализировать причины сложившейся ситуации и определить основные направления проведения энергосберегающей политики. Использование иерархических гибридных когнитивных карт дает следующие преимущества: возможность детального рассмотрения отдельных подсистем, каждой из которых может быть поставлена в соответствие своя карта; повышение обоснованности выбора индикаторов за счет явного выделения концептов-факторов и концептов-индикаторов и отображения связей между факторами и индикаторами; сочетание различных способов оценивания факторов (фаззификации, кластеризации, нечеткого продукционного вывода и др.); учет внешних (природно-климатических, социально-экономических, инфраструктурных и др.) особенностей территориальных образований. Результаты анализа могут быть представлены в виде дерева причин, демонстрирующего причинно-следственные цепочки между состояниями различных факторов. Дальнейшие исследования связаны с разработкой процедур преобразования лингвистических переменных в нечеткие величины, автоматического выявления силы влияния факторов друг на друга, оценки динамики изменения состояния факторов.

Описанный метод положен в основу разрабатываемой в настоящее время информационной системы интеллектуальной поддержки принятия решений по повышению энергетической эффективности территориальных образований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13–07–00397а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванченко О.Г., Голованова Л.А. Методические положения зонирования территории регионов по признакам энергосбережения // Вестник ТОГУ. – 2008. – № 2 (9). – С. 57–68.
2. Лебедев Ю.А., Летягина Е.Н., Сидоренко Ю.А. К вопросу об оценке энергоэффективности регионов // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. URL: http:// http://uecs.ru/uecs40–402012/item/1273–2012–04–21–05–34–08 (дата обращения: 13.09.2012).
3. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 284 с.
4. Fuzzy Cluster analysis: methods for classification, data analysis, and image recognition / F. Hoeppner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler. – NY: John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 300 p.
5. Оценка энергетической эффективности муниципальных образований на основе нечеткой интерпретации данных / М.П. Силич, С.В. Аксенов, В.С. Ахмедов, В.И. Скрябин // Информационные и математические технологии в науке и управлении: труды XVII Байкальской Всеросс. конф. Ч. III. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. – С. 129–134.
6. Оценка ситуации с энергетической эффективностью в муниципальных образованиях на основе диаграммы влияния факторов / М.П. Силич, В.А. Силич, С.В. Аксенов, В.С. Ахмедов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – № 3. – С. 9–14.

Поступила 27.03.2013 г.

UDC 004.81

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF TERRITORIES BASED ON HYBRID COGNITIVE MAPS HIERARCHY

M.P. Silich*, V.A. Silich, S.V. Aksenov

Tomsk Polytechnic University
*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Unsolved problem of the situation analysis in the territorial energy saving sphere providing incompleteness of source data and ambiguity of their interpretation causes the actuality of the research. The objective of the paper is the development of cognitive approach to the energy efficiency state analysis for different territories that allows not only estimating the level of energy efficiency but also analyzing the causes of the current situation and identifying the key areas of energy saving policy. The authors use fuzzy cognitive cards' building methods, fuzzy estimation methods and fuzzy production inference, clustering methods.

Results: *hybrid cognitive card structure is introduced; cognitive cards hierarchy building is described; case-approach to cognitive cards analysis is proposed; factor assessment methods for different situations are considered.*

Conclusion. *The use of hierarchical hybrid cognitive cards provides the following advantages: the possibility of detailed review of separate subsystems, the increase of validity at indicator choice, the combination of different methods of factor assessment, the analysis of territorial external features. The outcomes of analysis can be represented as a reason tree that displays causal chains between states of different factors.*

Key words:
Energy efficiency, territories, hybrid cognitive map, factors fuzzy measurement.

REFERENCES

1. Ivanchenko O.G., Golovanova L.A. Metodicheskie polozheniya zonirovaniya territorii regionov po priznakam energosberezheniya [Methodological positions of region zoning according to energy saving indices]. *Vestnik TOGU*, 2008, no. 2 (9), pp. 57–68.
2. Lebedev Yu.A., Letyagina E.N., Sidorenko Yu.A. K voprosu ob otsenke energoeffektivnosti regionov [On the issue of assessing regional energy efficiency]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronny nauchny zhurnal*, 2012. Available at: http:// http://uecs.ru/uecs40–402012/item/1273–2012–04–21–05–34–08 (accessed 13.09.2012).
3. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. *Nechetkie modeli i seti* [Fuzzy models and networks]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom, 2007. 284 p.
4. Hoeppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T. *Fuzzy Cluster analysis: methods for classification, data analysis, and image recognition.* New York, John Wiley & Sons, Inc., 1999. 300 p.
5. Silich M.P., Aksenov S.V., Akhmedov V.S., Skryabin V.I. Otsenka energeticheskoy effektivnosti munitsipalnykh obrazovaniy na osnove nechetkoy interpretacii dannykh [Estimation of power efficiency of municipal formations on the basis of fuzzy data interpretation]. *Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii. Trudy XVII Baykalskoy Vserossiiskoy konferentsii.* [Proc. XVII Baikal All-Russian conference. Information and mathematical technologies in science and control]. Irkutsk, ISJeM SO RAN, 2012, P. III, pp. 129–134.
6. Silich M.P., Silich V.A., Aksenov S.V., Akhmedov V.S. Otsenka situatsii s energeticheskoy effektivnostyu v munitsipalnykh obrazovaniyakh na osnove diagrammy vliyaniya faktorov [Estimation of energy efficiency in municipal formations on the basis of factor determination diagram]. *Energobezopasnost i energosberezhenie*, 2012, no. 3, pp. 9–14.