

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ГИБРИДНОЙ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНОВ

М.П. Силич, В.А. Силич, С.В. Аксенов

Изложены способы получения нечеткой оценки факторов при анализе иерархической когнитивной карты, описывающей сложную многофакторную ситуацию. Оценки текущего состояния факторов, связанных с индикаторами, определяются путем интерпретации значений индикаторов. Предложена процедура автоматического построения функций принадлежности, особенности которой состоят в учете наличия выбросов в выборке данных и учете различий во внешних условиях регионов. Оценки изменения состояния факторов определяются путем интерпретации приростных значений индикаторов, а также характеристик трендов. Применение предлагаемых способов оценки факторов проиллюстрировано на примере потребления тепловой энергии в субъектах РФ.

Ключевые слова: иерархическая гибридная когнитивная карта, нечеткая оценка, теплотребление регионов.

ВВЕДЕНИЕ

Иерархические гибридные когнитивные карты (ИГКК) [1] — это инструмент анализа сложной многофакторной ситуации в территориальных образованиях (ТО), применяемый для оценки состояния или изменения состояния факторов, влияющих на ситуацию. Примером объекта анализа может служить ситуация с эффективностью потребления того или иного вида энергоресурсов в субъектах Российской Федерации. Задача анализа — классифицировать ситуацию, дать оценку целевому фактору, позволяющую судить о наличии проблемы и ее глубине, а также выявить причины достигнутого состояния, сложившегося под влиянием множества разнообразных внешних и управляемых факторов.

Традиционно когнитивные карты применяются для решения двух типов задач. Один связан с анализом причинно-следственных связей между концептами и определением опосредованного влияния концептов. К этой группе задач относятся нахождение взаимного консонанса/диссонанса двух концептов или концепта и системы в целом, анализ устойчивости системы на основе выделения и

исследования контуров. Второй тип задач связан с оценкой состояния концептов путем распространения влияния от одних концептов к другим. Например, задаются начальные значения управляемых концептов и определяются значения остальных концептов с помощью процедур аккумуляции влияния входных концептов на выходной. Либо определяется, как изменение состояния управляемых концептов относительно начального состояния скажется на изменении состояния других концептов [2, 3].

В отличие от существующих видов когнитивных карт ИГКК ориентированы прежде всего на диагностику текущего состояния факторов или изменения состояния факторов за определенный период времени, опирающуюся на интерпретацию реальных данных. При анализе когнитивной карты только состояние факторов, для которых нет объективных измерителей, определяется с помощью процедур аккумуляции влияния других факторов, для остальных используются процедуры оценки по индикаторам. По результатам анализа формируется дерево причин. Дерево строится путем сопоставления каждому фактору его оценки. Причинно-следственные цепочки факторов при этом объясняют, почему, под воздействием каких

причин сложилось состояние того или иного фактора и, прежде всего, целевого фактора, являющегося фокусом ситуации.

При разработке способов оценки факторов по индикаторам необходимо учитывать, что один и тот же фактор может быть оценен по множеству индикаторов, и не всегда их значения могут быть однозначно интерпретированы. Целесообразно использовать нечеткие лингвистические оценки. К тому же, оценки, выраженные в терминах естественного языка, лучше воспринимаются лицами, принимающими решения. Поскольку параметры функций принадлежности, используемых для введения нечеткости, могут быть различными для различных периодов времени, желательно при построении функций принадлежности опираться не на субъективные мнения экспертов, а на анализ распределения значений индикаторов для множества ТО. При таком подходе оценка фактора для конкретного ТО будет сравнительной, выражать уровень по отношению к другим аналогичным ТО.

Еще одна проблема связана с тем, что одни и те же значения индикаторов могут по-разному интерпретироваться для ТО с разными внешними условиями. Для учета неоднородности региональных природно-климатических и социально-экономических условий применяют подход типологической группировки. Пример такого подхода для зонирования территориальных образований по признакам энергосбережения описан в работе [4]. Выделение групп регионов с приблизительно одинаковыми условиями выполняется на основе вычисления интегральной оценки по ряду показателей, характеризующих те или иные внешние факторы, и объединения в группы территорий с близкими значениями интегральной оценки. Подобный подход можно применять, однако желательно уйти от субъективизма при определении границ классов.

Настоящая статья посвящена разработке способов получения статических и динамических нечетких оценок факторов, представленных на иерархической гибридной когнитивной карте, с учетом перечисленных требований.

1. ВИДЫ ОЦЕНОК ФАКТОРОВ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ГИБРИДНОЙ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ

Иерархическая гибридная когнитивная карта представляет собой граф, вершинами которого служат концепты двух видов: факторы и индикаторы. Фактор — это качественное свойство, описывающее сложную проблемную ситуацию. Среди множества факторов выделяются управляемые факторы, состояние которых можно изменить пу-

тем непосредственного или опосредованного воздействия, и внешние, отражающие условия, сложившиеся на территории региона, на состояние которых в рамках системы невозможно повлиять.

Любому из факторов $s_i \in S$ может быть сопоставлен один или несколько индикаторов p_j ($p_j \in P$) — количественных показателей, на основе которых определяется оценка фактора. Отношению ассоциации $R^{SP} \subset S \times P$, связывающему фактор и индикатор, может быть приписан коэффициент соответствия v_{ij} ($-1 \leq v_{ij} \leq 1$). Отрицательное значение означает, что чем выше значение индикатора, тем ниже оценка фактора, положительное — что чем выше значение индикатора, тем выше оценка фактора. Значение коэффициента по модулю показывает, насколько точно индикатор характеризует фактор.

На множестве факторов устанавливаются отношения влияния $R^{SS} \subset S \times S$, каждому из которых может быть сопоставлен вес w_{ij} ($-1 \leq w_{ij} \leq 1$), характеризующий направление и силу влияния. Вес может быть переменной величиной, различной для разных объектов или групп объектов и для разных периодов времени. Поэтому на ИГКК отношения, сила влияния которых не является константой, помечаются только знаками «+» и «-». Сеть взаимовлияний факторов представляет собой дерево, корнем которого служит целевой фактор — один из управляемых факторов, характеризующий ситуацию в целом. К любому из факторов может быть присоединена дочерняя карта, что позволяет рассмотреть отдельные аспекты ситуации более подробно. На рис. 1 в качестве примера приведена од-

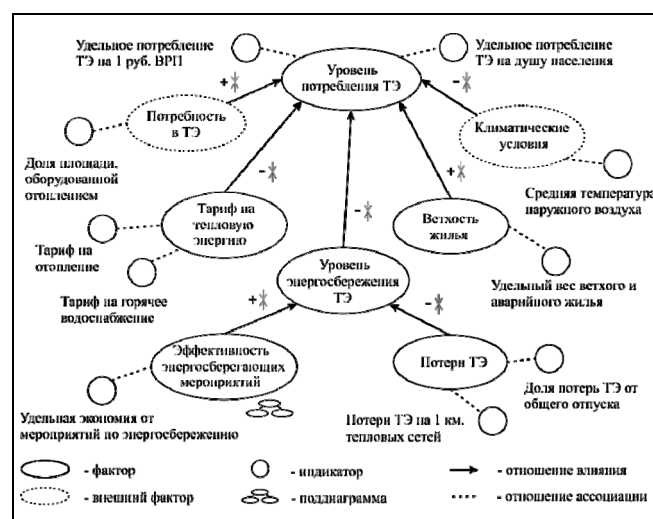


Рис. 1. Когнитивная карта для анализа потребления тепловой энергии: ВРП — валовой региональный продукт; ТЭ — тепловая энергия

на из иерархии когнитивных карт, разработанных для анализа энергетической эффективности субъектов РФ, а именно, карта для анализа уровня потребления тепловой энергии (ТЭ) в регионах.

Анализ текущего состояния ситуации в определенный период времени (например, в заданном году) предполагает определение статических оценок факторов. Исходными данными служат значения индикаторов для всех территориальных объектов (берутся средние значения за заданный период). На первом этапе оцениваются внешние факторы методом кластеризации. По каждому внешнему фактору выделяются группы ТО с близкими значениями индикаторов. Оценками служат наименования кластеров, отражающие типы внешних условий. На следующем этапе определяются оценки управляемых факторов, связанных с индикаторами, методом фаззификации по функциям принадлежности. Причем, если наблюдается влияние внешних факторов, оценки определяются с учетом типа внешних условий. На третьем этапе определяются оценки управляемых факторов, не имеющих индикаторов, с помощью процедур косвенного оценивания по оценкам влияющих факторов.

Анализ изменения состояния ситуации за определенный период времени (например, за несколько лет) заключается в определении динамических оценок факторов. Применяются те же способы оценки, что и для определения статических оценок, однако интерпретируются не средние значения индикаторов, достигнутые в заданный период, а разница между значениями на начало периода и его конец. Или, в случае анализа тенденции изменения, интерпретируются характеристики трендов, построенных на значениях временного ряда для всех территориальных образований.

На рис. 2 представлены виды оценок факторов, представленных на иерархической гибридной когнитивной карте.

В качестве способа оценки внешних факторов предлагается применять алгоритм нечеткой кластеризации, основанный на методе Густафссона — Кесселя [5], отличительная особенность которого заключается в предварительной кластеризации входного набора данных алгоритмом Кохонена и оценке качества результата с помощью индекса Силуэта.

Косвенная оценка осуществляется либо путем логического вывода на продукционных правилах [6, 7], либо, если эксперт затрудняется с формулировкой правил или с формированием обучающей выборки для автоматической генерации правил, на основе операций с числами. В работе [8] предложена процедура оценивания выходного фактора, не имеющего индикаторов, на основе аккумуля-

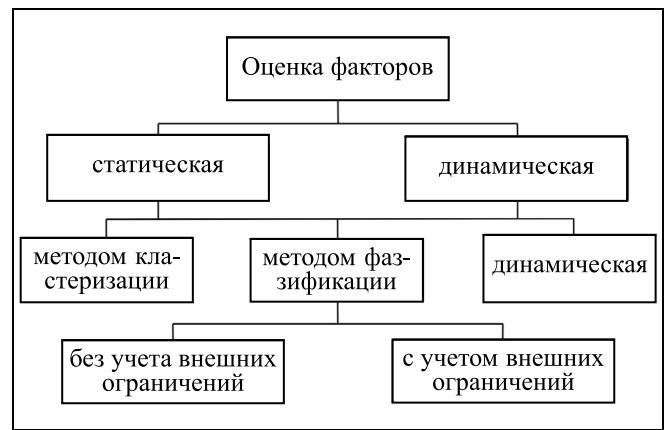


Рис. 2. Виды оценок факторов ИГКК

лирования влияния входных факторов, связанных с индикаторами, использующая операции с нечеткими числами ($L-R$)-типа.

Перейдем к рассмотрению способов определения статических и динамических оценок на основе интерпретации значений индикаторов.

2. СТАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРА БЕЗ УЧЕТА ВНЕШНИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Оцениваемый фактор s_i должен иметь хотя бы один индикатор $p_j (s_i R^{SP} p_j)$. Исходными данными служат значения индикаторов p_j для всех сравниваемых ТО, достигнутые в заданный период времени. Для измерения используются шкалы, относящиеся по типу к шкале разностей или отношений. Необходимо дать сравнительную оценку фактора для конкретного территориального объекта $o_k \in O$ в соответствии с расположением значений индикаторов для данного объекта относительно значений остальных ТО в координатном пространстве. При этом не учитываются различия во внешних условиях, в которых находятся территориальные объекты. Либо на оцениваемый фактор не влияют внешние факторы, либо это влияние игнорируется.

Фактору s_i сопоставляется лингвистическая переменная, характеризуемая терм-множеством $T^i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i, \dots, T_M^i\}$. Термы, представляющие собой нечеткие оценки типовых состояний фактора, задаются экспертом. На множестве термов должно быть задано отношение порядка: $T_1^i > T_2^i > \dots > T_M^i$. На множестве значений $X_j = \{x_k\}$ каждого индикатора p_j строятся функции принадлежности по числу термов, сопоставляющие зна-



чениям индикаторов степень уверенности в соответствующей оценке. Для термов, не крайних в упорядоченном ряду, используются функции принадлежности П-образного типа, например, трапецевидные $f_{\uparrow}(x, a, b, c, d)$. Для крайних термов используются Z-образные и S-образные функции. Это могут быть кусочно-линейные функции $f_{\downarrow}(x, a, b)$ и $f_{\uparrow}(x, a, b)$ [9].

Функции принадлежности строятся путем равномерного разбиения базового множества на пересекающиеся интервалы по числу термов. Удобно в качестве базового множества взять универсальную шкалу — действительные числа на интервале от 0 до 1. Для этого необходимо нормировать значения индикатора. Если коэффициент соответствия индикатора фактору положителен, нормирование выполняется по формуле

$$x_k^{norm} = \frac{x_k - x^{\min}}{x^{\max} - x^{\min}},$$

в противном случае по формуле

$$x_k^{norm} = 1 - \frac{x_k - x^{\min}}{x^{\max} - x^{\min}},$$

где x_k — значение индикатора для k -го объекта, x^{\min} — минимальное значение на всей выборке, x^{\max} — максимальное значение.

Необходимо учесть, что при фаззификации по нормированным значениям индикатора результат очень чувствителен к наличию выбросов в выборке значений. Например, если среди ТО имеется один с аномально высоким значением индикатора, то нормированные значения для большинства объектов будут невысокими. В результате может получиться, что только один объект получит, например, оценку «высокий уровень», остальные получают оценки «низкий уровень». Поэтому при определении максимального и минимального значений желательно исключить из рассмотрения значения, которые резко отличаются от других значений в собранном наборе данных.

Для нахождения выбросов формируется вариационный ряд $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$, в котором значения индикатора для всех объектов располагаются в порядке неубывания. Определяются спейсинги — расстояния между членами вариационного ряда. Кандидатом на выброс выбирается объект, которому соответствует максимальный спейсинг. Он должен находиться в начале или в конце ряда с учетом заданной верхней границы числа выбросов (как правило, 5 % от выборки).

Проверка выбранного элемента на выброс может выполняться разными методами [10]. Один из наиболее распространенных способов основан на межквартильном расстоянии. Расстояние между первым квартилем x_{Q1} и третьим x_{Q3} используется для вычисления интервала, за пределами которого значение считается выбросом. Иногда используют два интервала: так называемые внешние и внутренние границы для определения соответственно «значительного» и «незначительного» выброса. Внутренними границами служит интервал

$$[(x_{Q1} - 1,5(x_{Q3} - x_{Q1})), (x_{Q3} + 1,5(x_{Q3} - x_{Q1}))],$$

внешними — интервал

$$[(x_{Q1} - 3(x_{Q3} - x_{Q1})), (x_{Q3} + 3(x_{Q3} - x_{Q1}))].$$

Для интерпретации значений индикатора, являющихся выбросами, предлагается использовать составные термы, включающие в себя наименования крайних термов и модификатор «очень». Оценкой объекта с аномально низким значением будет «очень T_1^i », с аномально высоким — «очень T_M^i ». В качестве параметров функций принадлежности данных термов используются «внешние» и «внутренние» границы выбросов. Для терма «очень T_1^i » параметрами функции f_{\downarrow} будут:

$$a = x_{Q1} - 3(x_{Q3} - x_{Q1}),$$

$$b = x_{Q1} - 1,5(x_{Q3} - x_{Q1}),$$

где x_{Q1} , x_{Q3} — соответственно первый и третий квартиль на множестве значений индикатора. Для терма «очень T_M^i » параметры функции f_{\uparrow} будут принимать значения:

$$a = x_{Q3} + 1,5(x_{Q3} - x_{Q1}),$$

$$b = x_{Q3} + 3(x_{Q3} - x_{Q1}).$$

После построения функций принадлежности нечеткая оценка фактора s_i по индикатору p_j для объекта o_k получается путем фаззификации. В качестве оценки выбирается терм с максимальным значением функции принадлежности:

$$s_i(o_k|p_j) = \langle T_{m1}^i(o_k|p_j), \mu_{T_{m1}^i(o_k|p_j)} \rangle,$$

$$\mu_{T_{m1}^i(o_k|p_j)} = \max_m \{ \mu_{T_m^i(o_k|p_j)} \}.$$

Данная оценка не окончательная. Необходимо учитывать, что фактору может быть сопоставлено

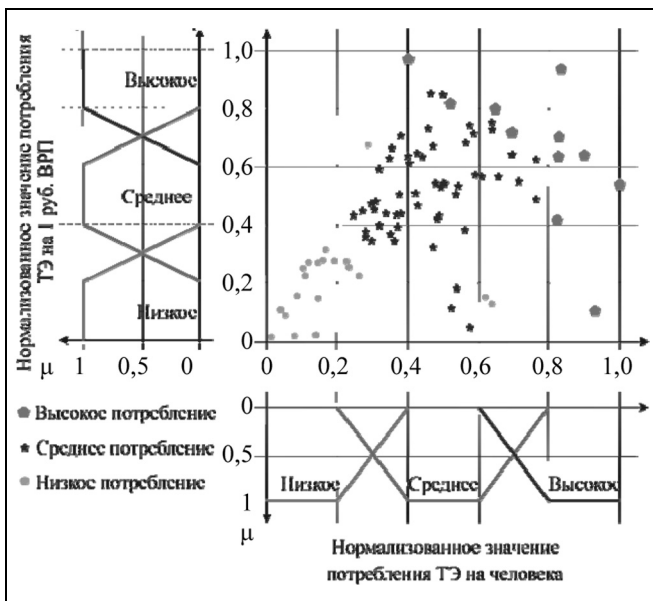


Рис. 3. Оценки текущего состояния фактора «Уровень потребления тепловой энергии» для субъектов РФ

несколько индикаторов, причем с разной степенью соответствия.

Если эксперт затрудняется в определении коэффициентов соответствия, то помочь ему может анализ взаимосвязи между индикаторами. Для каждой пары индикаторов, связанных с оцениваемым фактором, рассчитывается коэффициент корреляции. Если парный коэффициент корреляции отрицательный, то один из индикаторов должен иметь отрицательный коэффициент соответствия, а другой — положительный. По значению коэффициента корреляции можно судить о силе связи: чем она выше, тем ближе друг к другу должны быть значения коэффициентов соответствия. Если модуль коэффициента корреляции близок к единице, то имеет место дублирование, и один из индикаторов может быть исключен из рассмотрения. Если корреляция незначительна, то один из индикаторов также может быть исключен, так как скорее всего в такой ситуации индикаторы характеризуют не один и тот же фактор, а разные.

Коэффициент соответствия v_{ij} интерпретируется как степень уверенности в том, что индикатор p_j соответствует фактору s_i . С учетом этого значение функции принадлежности, полученное путем фаззификации, корректируется с помощью операции T -нормы, например, операции минимума (функция принадлежности «обрезается» на уровне $|v_{ij}|$).

Агрегирование оценок, полученных в результате фаззификации значений нескольких индикаторов, выполняется с помощью операции S -нормы,

например, операции максимума. Таким образом, агрегация выполняется по формуле:

$$\mu_{T_m^i(o_k)} = \max_j \{ \min(|v_{ij}|, \mu_{T_m^i(o_k|p_j)}) \}.$$

На рис. 3 приведен пример получения оценки фактора «Уровень потребления тепловой энергии» для субъектов РФ по значениям индикаторов «Удельное потребление тепловой энергии на душу населения, Гкал/чел» и «Удельное потребление тепловой энергии на рубль ВРП, Гкал/руб.», достигнутым в 2015 г.

3. СТАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРА С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

При определении оценки управляемого фактора нужно учесть, что для территорий с разными внешними условиями одни и те же значения индикаторов могут интерпретироваться по-разному. К примеру, одно и то же значение удельного потребления тепловой энергии на душу населения для региона с холодным климатом может оцениваться как «низкий уровень», а для региона с теплым климатом — как «средний уровень» или даже «высокий уровень».

На иерархической гибридной когнитивной карте различие внешних условий моделируется через влияние внешних факторов. Рассмотрим ситуацию, когда на оцениваемый фактор s_{i1} влияет фактор s_{i12} , являющийся внешним ограничением ($s_{i12} R^{SS} s_{i1}$).

Еще до оценивания управляемого фактора s_{i1} , должны быть выделены кластеры объектов с похожими внешними условиями, т. е. с одинаковыми оценками внешнего фактора s_{i2} . Нечеткая кластеризация по индикаторам, связанным с фактором s_{i2} , позволяет определить нечеткое покрытие множества O , которое задается матрицей $\| \mu_{O_i^{i2}}(o_k) \|$ значений функций принадлежности объектов $o_k \in O$ нечетким кластерам O_i^{i2} . Наименования кластеров $O_i^{i2} \subseteq O$ можно рассматривать как термы T_i^{i2} лингвистической переменной, сопоставленной фактору s_{i2} . Степень принадлежности кластеру трактуется как степень уверенности в оценке. Таким образом, нечеткая оценка внешнего фактора для объекта o_k может быть представлена в виде: $s_{i2}(o_k) = \langle T_i^{i2}(o_k), \mu_{T_i^{i2}(o_k)} \rangle$, где $\mu_{T_i^{i2}(o_k)} = \mu_{O_i^{i2}}(o_k)$.

Чтобы найти оценку управляемого фактора s_{i1} для объекта o_k по значению индикатора с помощью процедуры фаззификации на множестве уни-



версальных функций принадлежности, построенных на интервале действительных чисел $[0, 1]$, необходимо выполнить нормирование значения индикатора. При этом максимальное и минимальное значения, относительно которых выполняется нормирование, берутся не по всей выборке значений, а только в рамках того кластера, в который попал оцениваемый объект o_k , т. е. среди объектов, получивших такую же оценку по внешнему фактору s_{i2} , что и объект o_k .

После фаззификации по индикатору p_j , связанному с фактором s_{i1} , степень уверенности в оценке корректируется с учетом степени уверенности в оценке по внешнему фактору s_{i2} . Используются операции T -нормы, например, операция минимума:

$$\mu_{T_m^{i1}(o_k)|T_i^{i2}(o_k)} = \min\{\mu_{T_m^{i1}(o_k)}, \mu_{T_i^{i2}(o_k)}\},$$

где $\mu_{T_m^{i1}(o_k)}$ — значение функции принадлежности к оценке T_m^{i1} по управляемому фактору s_{i1} для объекта o_k , $\mu_{T_i^{i2}(o_k)}$ — значение функции принадлеж-

ности к оценке T_i^{i2} по внешнему фактору s_{i2} для объекта o_k .

В случае, если объект одновременно получил несколько оценок по внешнему фактору (попал сразу в несколько кластеров), оценки фактора s_{i1} , полученные с учетом каждой из оценок внешнего фактора s_{i2} , агрегируются с помощью операции S -нормы, например, операции максимума. Если на один и тот же фактор оцениваемый фактор влияет несколько внешних факторов, оценки, полученные с учетом влияния каждого отдельного внешнего фактора, агрегируются с помощью операции T -нормы.

4. ДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРА

Динамическая оценка фактора — это оценка изменения его состояния за определенный период времени. Например, оценка изменения уровня потребления энергоресурса в текущем году по сравнению с уровнем потребления в некотором году, выбранном в качестве базы для сравнения. Нечеткая динамическая оценка управляемого фактора, имеющего индикаторы, определяется так же, как и нечеткая статическая оценка — путем фаззификации. Исходными данными служат множества значений индикаторов p_j , связанных с оцениваемым фактором s_j , для всех сравниваемых территориальных объектов o_k , достигнутые в конце

периода — $\{x_k^t\}^j$, и множества значений на начало периода — $\{x_k^b\}^j$.

В качестве базового множества для функций принадлежности должны выступать приростные значения индикаторов, отражающие разницу между значениями на конец и на начало периода. Однако использовать абсолютный прирост нецелесообразно, поскольку для разных показателей и разных интервалов времени приростные значения должны интерпретироваться по-разному. Например, снижение уровня потребления некоторого вида энергоресурса за пять лет и за год не должны оцениваться по одинаковым функциям. Предлагается нормировать абсолютный прирост отношением к максимальному приросту (по всем сравниваемым объектам). При этом функции строятся отдельно для области отрицательных приростных значений и для области положительных приростных значений. Нормирование приростных значений индикатора для объекта o_k выполняется по формуле:

$$\Delta x_k^{norm} = \begin{cases} -\frac{\Delta x_k}{\Delta x_k^{y6}}, & \Delta x_k < 0, \\ 0, & \Delta x_k = 0, \\ \frac{\Delta x_k}{\Delta x_k^{pp}}, & \Delta x_k > 0, \end{cases}$$

где $\Delta x_k = x_k^t - x_k^b$ — прирост значения индикатора для объекта o_k , $\Delta x_k^{y6} = |\min(0, \min_k \Delta x_k)|$ — максимальный отрицательный прирост (убыль), $\Delta x_k^{pp} = \max(0, \max_k \Delta x_k)$ — максимальный положительный прирост.

Функции принадлежности строятся методом равномерного покрытия на интервале действительных чисел $[-1, 1]$. Примеры названий термов: «значительное снижение», «умеренное снижение», «незначительное снижение», «незначительное увеличение», «умеренное увеличение», «значительное увеличение». Для нулевого значения используется терм «без изменений». Соответствующая функция принадлежности вырождается в точку с координатами $(0, 1)$.

После фаззификации нормированных приростных значений индикаторов, как и при получении статической оценки, выполняется агрегирование оценок, полученных по различным индикаторам. Динамическая оценка может быть получена с учетом влияния внешних факторов, т. е. в рамках

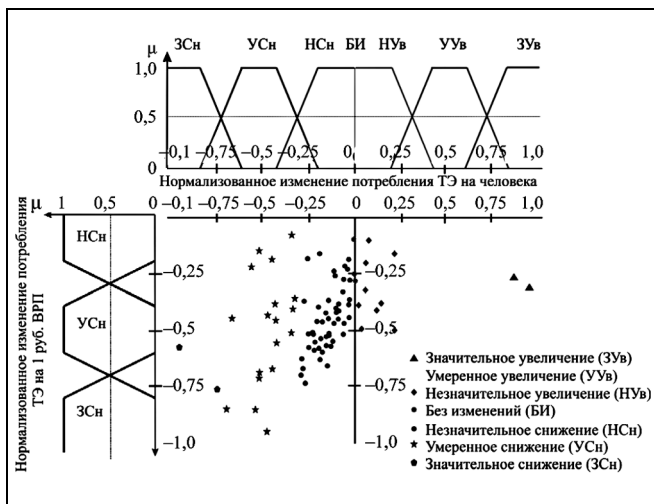


Рис. 4. Оценки изменения состояния фактора «Уровень потребления тепловой энергии» для субъектов РФ

групп территориальных образований с приблизительно одинаковым изменением внешних условий.

На рис. 4 приведен пример получения оценки изменения фактора «Уровень потребления тепловой энергии» для субъектов РФ за период с 2009 по 2014 г.

Еще один вид динамической оценки фактора — оценка тенденции изменения его состояния во времени за определенный период. Ее предлагается определять путем интерпретации характеристик трендов индикаторов.

Исходными данными служат множества значений индикаторов для всех ТО не только на начало и конец периода, но и на промежуточные моменты времени. Для каждого объекта на временных рядах значений индикаторов строятся линейные тренды. Основная характеристика линейного тренда — коэффициент уравнения линии тренда, показывающий среднее изменение значения за единицу времени. Положительный коэффициент означает тенденцию роста, отрицательный — тенденцию снижения. Чем больше модуль коэффициента, тем выше скорость роста/снижения. Нормируется коэффициент тренда так же, как и приростные значения индикаторов — путем деления в зависимости от знака (плюс или минус) на максимальный отрицательный коэффициент по всем ТО или на максимальный положительный коэффициент. Таким образом, можно использовать универсальные функции принадлежности на интервале действительных чисел $[-1, 1]$. Для интерпретации рекомендуется пользоваться терминами: «незначительное падение», «существенное падение», «резкое падение», «без изменений», «незначительный рост», «существенный рост», «резкий рост».

5. АНАЛИЗ СИТУАЦИИ В СФЕРЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНОВ

Рассмотрим применение предлагаемых способов оценивания факторов для получения сравнительных оценок факторов, характеризующих состояние сферы теплотребления в субъектах РФ. В качестве исходных данных воспользуемся данными Федеральной службы государственной статистики [11, 12]. Оценка уровня потребления тепловой энергии в субъектах РФ выполнялась по значениям удельного потребления на душу населения и на рубль ВРП за 2015 г. с учетом влияния климатических условий. Было выделено пять кластеров по средней температуре воздуха в зимний период времени. В рамках каждого кластера были определены степени принадлежности регионов к различным уровням (высокому, среднему, низкому) потребления тепловой энергии. Так, среди регионов с теплой зимой оценку «низкий» по фактору «Уровень потребления тепловой энергии» получили: республики Адыгея (со степенью уверенности 0,63), Дагестан (1,00), Ингушетия (1,00) и Чеченская республика (1,00); оценку «высокий» — Астраханская (0,90) и Волгоградская (1,00) области. В кластере регионов с очень холодной зимой уровень теплотребления был оценен как «низкий» в Ненецком автономном округе (1,00) и Ханты-Мансийском автономном округе (1,00); как «высокий» — в Ямало-Ненецком автономном округе (0,55) и Магаданской области (1,00). Для Чукотского автономного округа уровень был оценен, как «очень высокий» (1,00), так как значение удельного теплотребления на душу населения было определено как выброс.

Анализ изменения состояния факторов, влияющих на теплотребление в субъектах РФ, осуществлялся на основе оценки трендов индикаторов. Использовались данные за 2010—2015 гг. Анализ позволил сделать выводы, что в большинстве субъектов РФ уровень потребления тепловой энергии снизился. К группе регионов с оценкой «значительное падение» изменения состояния фактора «Уровень потребления тепловой энергии» были отнесены Ленинградская область (1,00) и Республика Башкортостан (1,00). Во множество регионов с оценкой «незначительный рост» вошли Липецкая (1,00), Орловская (1,00), Смоленская (1,0), Амурская (1,00), Магаданская (1,00) области, республики Калмыкия (0,62) и Дагестан (1,00). В республике Татарстан изменение уровня теплотребления было оценено как «резкий рост» (1,00). Причины увеличения различны. В ряде регионов, в частности в Липецкой, Орловской, Смоленской областях, в республике Дагестан увеличился удельный вес площади жилищного фонда, оборудованного индивидуальными системами отопления.



дованной отоплением, в общей площади всего жилищного фонда. Изменение состояния соответствующего фактора в данных субъектах РФ было оценено как «незначительный рост» или «существенный рост». В некоторых субъектах РФ наблюдалось увеличение потерь в тепловых сетях. Для Орловской области изменение состояния фактора «Потери тепловой энергии» было оценено, как «существенный рост» (0,54), для Амурской, Магаданской областей и республики Калмыкия — как «незначительный рост» (1.00).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существуют различные пути решения проблемы оценки состояния сложной многофакторной ситуации, сложившейся в той или иной сфере социально-экономической деятельности территориального образования. Один из них состоит в применении иерархических гибридных когнитивных карт, на которых представлены причинно-следственные связи между факторами, влияющими на ситуацию, а также связи факторов с индикаторами, для определения оценок текущего состояния факторов или изменения их состояния. Оценки в виде нечетких лингвистических значений отражают качественный уровень по отношению к другим аналогичным территориальным образованиям. Предложены способы получения статических и динамических оценок факторов, основанные как на аккумулировании влияния других факторов, так и на интерпретации значений индикаторов, характеризующих ситуацию в сравниваемых территориальных образованиях в различные периоды времени.

Определение оценок по значениям индикаторов осуществляется методом фазсификации по функциям принадлежности, формируемым автоматически (без учета субъективных мнений экспертов) с учетом выбросов в выборке значений. В качестве базового множества для статических оценок выступают нормированные средние значения индикаторов в заданный период времени, для динамических оценок — нормированный прирост значений или коэффициент тренда. Учитывается различие регионов по внешним условиям — климатическим, социально-экономическим, инфраструктурным. Оценки, полученные по различным индикаторам, связанным с одним и тем же фактором, агрегируются с учетом коэффициентов соответствия индикаторов фактору.

Применение предложенных методов оценки факторов для анализа ситуации в сфере теплопотребления субъектов РФ позволило определить регионы, имеющие проблемы в данной сфере, и выявить причины возникновения проблем. Методы могут быть полезны для анализа любых сложных

многофакторных ситуаций, не ограничиваясь энергопотреблением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Силич М.П., Силич В.А., Аксенов С.В.* Анализ энергетической эффективности территорий на основе иерархии гибридных когнитивных карт // Известия Томского политех. ун-та. — 2013. — Т. 323, № 5. — С. 26—32.
2. *Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.* Нечеткие модели и сети. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 284 с.
3. *Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И.* Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. — 2007. — № 3. — С. 2—8.
4. *Иванченко О.Г., Голованова Л.А.* Методические положения зонирования территории регионов по признакам энергосбережения // Вестник ТОГУ. — 2008. — № 2 (9). — С. 57—68.
5. *Silich V.A., Silich M.P., Axonov S.V.* An Approach to Speed—up the Density—based Clustering via Gustaffson—Kessel Fuzzy Algorithm // Proc. of 6th Intern. Conf. on Computer and Electrical Engineering (ICSEE 2013). — Paris: ETP Press, 2013. — P. 167—172.
6. *Силич М.П., Силич В.А., Аксенов С.В., Ахмедов В.С.* Оценка ситуации с энергетической эффективностью в муниципальных образованиях на основе диаграммы влияния факторов // Энергобезопасность и энергосбережение. — 2012. — № 3. — С. 9—14.
7. *Силич В.А., Силич М.П., Аксенов С.В.* Алгоритм построения нечеткой системы логического вывода Мамдани, основанный на анализе плотности обучающих примеров // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. — 2013. — № 3 (29). — С. 76—82.
8. *Силич В.А., Силич М.П., Аксенов С.В.* Косвенная оценка факторов энергетической эффективности территориальных образований // Новые информационные технологии и системы: сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 25—27 ноября 2014 г.). — Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. — С. 210—213.
9. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.
10. *Чуракова И.Я.* Направления использования методик выявления аномальных наблюдений при решении задач операционного менеджмента. Научный доклад № 13 (R) — 2010. — СПб.: ВШМ СПбГУ, 2010. — 27 с.
11. *Единая межведомственная информационно-статистическая система* [Государственный интегрированный статистический ресурс]. — URL: <http://www.fedstat.ru/indicator/data.do> (дата обращения 25.05.2017).
12. *Официальный интернет—портал Федеральной службы государственной статистики.* — URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения 25.05.2017).

Статья представлена к публикации членом редколлегии О.П. Кузнецовым.

Силич Мария Петровна — д-р техн. наук, профессор, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, ✉ mary.silich@yandex.ru,

Силич Виктор Алексеевич — д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ✉ vas@tpu.ru,

Аксенов Сергей Владимирович — канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, доцент, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, ✉ axonov@tpu.ru.