

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

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

**THE DEVELOPMENT TREND
ANALYSIS OF THE SITUATION IN
THE ENERGY EFFICIENCY OF
REGIONS**

**Silich M.P., Russia, Doctor of Technical science,
Professor, Tomsk State University of Control Systems and
Radioelectronics,**

**Silich V.A., Russia, Doctor of Technical science,
Professor, Tomsk Polytechnic University**

**Aksenov S.V., Russia, Candidate of Technical science,
associate Professor, Tomsk Polytechnic University**

**Aksenov A.V., Russia, graduate, Tomsk Polytechnic
University**

Abstract

The approach of the development trend analysis of the situation in the energy efficiency of the regions is considered. The approach is based on constructing a hybrid cognitive map, reflecting the influence of various factors on the level of energy efficiency and factors communication with measurable indicators of the regions. The estimation of the factor status changes is determined by separating out the groups of regions with approximately equal incremental value of indicators using fuzzy clustering methods. To estimate the value of each input factors influencing the resulting factor the equation is set up, where the contribution of each of factors is proportional to the growth and strength assessment of the influence on the output factor. The experiments on assessment of the influence of different external factors and controlled factors on the level of using heat energy in the regions of Russian Federation were carried out.

Keywords: cognitive map, energy efficiency factors, dynamics, fuzzy measurement.

Введение

Решение задачи энергосбережения и повышения энергетической эффективности в регионе предполагает на

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

первом этапе анализ ситуации в данной сфере, который должен включать не только оценку уровня энергоэффективности, но и анализ причин, обусловивших достижение этого уровня. Один из подходов, позволяющих выявить причинно-следственные связи между факторами, характеризующими уровень энергоэффективности, и разнообразными климатическими, социально-экономическими, технологическими, градостроительными и другими факторами, является когнитивный подход.

Имеется ряд публикаций по применению когнитивного подхода для анализа энергетической эффективности, например, [1, 2]. Как правило, с помощью когнитивной карты осуществляется импульсное моделирование. При этом моделируемая система представляется в виде взвешенного ориентированного графа с распространяемым по нему импульсом. Исследуется изменение состояния концептов относительно начального состояния с учетом силы влияния концептов друга, задаваемых экспертами в виде числа от 0 до 1. Однако при этом не учитывается реальное состояние факторов, оцениваемое на основе объективных данных. Разработанный авторами данной работы метод построения и анализа иерархических гибридных когнитивных карт [3-5] позволяет отображать не только взаимовлияние различных факторов, но и связывать факторы с индикаторами – измеримыми показателями. Определение состояния факторов может осуществляться различными способами. Это может быть фазификация – получение лингвистических нечетких оценок на основе интерпретации значений индикаторов с помощью функций принадлежности, либо нечеткая кластеризация в пространстве значений индикаторов, нечеткий логический вывод на множестве правил-продукций, операции с нечеткими числами. Кроме того, сила влияния факторов также может определяться не экспертным путем, а на основе объективных данных, характеризующих территориальные образования.

Метод построения и анализа гибридных когнитивных карт используется для анализа текущего состояния ситуации в сфере энергетической эффективности региона, причем с учетом особенностей различных групп регионов. Результаты такого анализа помогают экспертам определить, почему в одних регионах ситуация лучше, чем в других, в чем состоят "узкие места", что в большей степени повлияло на уровень энергоэффективности. Однако для получения полной картины необходим анализ развития ситуации. Данная статья посвящена вопросам оценки изменения состояний факторов за

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

определенный период времени и оценки вклада изменения управляемых и внешних факторов в изменение результирующих факторов, характеризующих уровень энергоэффективности.

Материалы и методы исследования

Анализ динамики изменения ситуации в сфере энергетической эффективности начинается с описания ситуации в виде когнитивной карты, формируемой экспертом – специалистом в данной предметной области. В методологии гибридных когнитивных карт (ГКК) используются два вида концептов – факторы и индикаторы. Факторы – это некоторые качественные свойства исследуемой системы, индикаторы – это количественные измеримые показатели, характеризующие факторы. Индикаторы связываются с факторами посредством отношений ассоциации. Степень соответствия индикатора фактору может оцениваться числом от 0 до 1: чем выше значение, тем точнее индикатор характеризует соответствующий фактор. Между факторами устанавливаются отношения влияния. Сила влияния также может оцениваться коэффициентом (числом от 0 до 1), значение которого тем выше, чем сильнее состояние одного фактора зависит от состояния другого [3 - 5].

Сеть взаимовлияний факторов представляется в виде дерева, корнем которого является целевой фактор. В качестве целевых выбираются факторы, по которым можно судить об энергоэффективности, например, характеризующие уровень потребления определенного вида энергии в той или иной сфере производства, распределения или потребления энергоресурсов. В качестве «внешних» факторов выступают условия, сложившиеся в исследуемых территориальных образованиях, на которые в рамках рассматриваемой системы невозможно повлиять, например, климатические условия. Управляемыми являются факторы, которые необходимо изменить, чтобы повысить уровень энергетической эффективности. К любому из факторов может быть прикреплен подкарта – когнитивная карта нижнего уровня, на которой данный фактор становится целевым.

Предлагаемый метод будем иллюстрировать на примере анализа ситуации с потреблением тепловой энергии в различных субъектах Российской Федерации. Пример когнитивной карты приведен на рис. 1. При построении карты учитывалось наличие данных. Использовались данные Федеральной службы государственной статистики [6,7].

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

В качестве целевого выбран фактор "Уровень потребления тепловой энергии", для оценки которого могут быть использованы показатели удельного потребления тепла на душу населения и на рубль валового регионального продукта. Среди внешних факторов были выделены "Климатические условия" и "Уровень теплоэнергоёмкости отраслей". Первый может оцениваться по средней температуре воздуха в январе, второй – по нормативной теплоэнергоёмкости, рассчитываемой как сумма по всем отраслям произведений нормативного потребления тепловой энергии в отрасли на долю соответствующей отрасли в экономике субъекта РФ.



Рис. 1 Когнитивная карта для подсистемы «Теплопотребление»

В качестве норматива использовалось среднее по России потребление тепловой энергии в отрасли на 1 тыс. руб. валовой добавленной стоимости, полученной в данной отрасли. К управляемым факторам были отнесены: экономический фактор, отражающий уровень тарифов на тепловую энергию; жилищный фактор, оцениваемый по удельному весу ветхого и аварийного жилья, а также два фактора, отражающие уровень энергосбережения, – фактор оснащённости приборами учета тепла и фактор потерь в тепловых сетях.

Для определения динамической оценки фактора, имеющего индикаторы, используются значения индикаторов в

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

текущем и в базовом годах. Прежде всего, необходимо определить приростные значения индикаторов по формуле:

$$x_i^{pr} = \frac{x_i^t - x_i^b}{x_i^b},$$

где x_i^t – значение i -го индикатора в текущем году, x_i^b – значение i -го индикатора в базовом году. Положительное значение x_i^{pr} означает долю увеличения значения показателя в по отношению к базовому значению, отрицательное – долю уменьшения.

Полученные приростные значения необходимо интерпретировать, т.е. сделать выводы об уровне изменений. Для этого лучше всего подходят лингвистические оценки, например "незначительное улучшение", "значительное ухудшение", "почти без изменений". Нечеткие лингвистические оценки можно получить на основе функций принадлежности, однако в этом случае оценки будут субъективными, т.к. функции принадлежности строятся на основе мнений эксперта. Предпочтительнее воспользоваться алгоритмами нечеткой кластеризации, в частности алгоритмом Густаффсона-Кесселя [8,9]. Он позволяет выделять группы регионов с приблизительно равными приростами. Границы между этими группами размыты, т.к. принадлежность любого региона к тому или иному кластеру неоднозначна и измеряется числом от 0 до 1. Каждому кластеру дается наименование, которое и рассматривается как оценка соответствующего фактора для всех регионов, попавших в кластер.

Рассмотрим для примера определение оценки того, как изменилось состояние фактора "Уровень потребления тепловой энергии", ассоциированного с индикаторами "Удельное потребление тепловой энергии на душу населения" и "Удельное потребление тепловой энергии на 1 руб. валового регионального продукта", в 2013 году по сравнению с 2008 годом в различных субъектах РФ. Результаты кластеризации регионов по приростным значениям индикаторов представлены на рис. 2. Как видно из рисунка были получены четыре кластера: "значительное снижение потребления", "снижение потребления", "потребление почти без изменений", "незначительное увеличение потребления на душу населения". Так, например, в кластер "снижение потребления" среди субъектов Сибирского федерального округа попали Республики Алтай и Хакасия, Алтайский край и Новосибирская область. В кластер "значительное снижение потребления" ни один из сибирских регионов не попал.

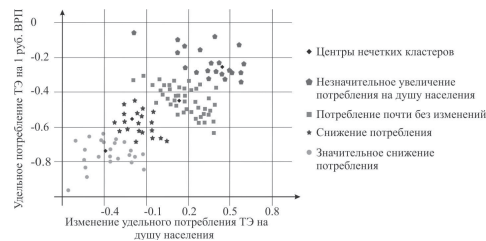


Рис. 2. Кластеры субъектов РФ по изменению состояния фактора "Уровень потребления тепловой энергии"

Перейдем к решению задачи оценки вклада изменения состояния некоторых входных факторов f_1, f_2, \dots, f_n в изменение состояния результирующего фактора f_0 , на который входные факторы прямо или опосредованно влияют. Для того чтобы оценка определялась не на основе экспертных знаний, а автоматически, необходимо, чтобы входные и выходные факторы имели индикаторы. В этом случае об изменении состояния фактора можно судить по приростным значениям соответствующих индикаторов. Если фактор имеет несколько индикаторов, то можно вычислить интегральное значение прироста индикаторов на основе формулы свертки, используя в качестве весовых коэффициентов степени соответствия индикаторов фактору, предварительно нормированные так, чтобы их сумма равнялась единице:

$$f^{pr} = \sum_i k_i^* x_i^{pr}, \quad k_i^* = k_i / \sum_i k_i,$$

где f^{pr} – оценка прироста фактора f , x_i^{pr} – приростное значение i -го индикатора, ассоциированного с фактором f , k_i – степень соответствия i -го индикатора фактору f .

Поскольку состояние результирующего фактора f_0 обусловлено состоянием влияющих на него факторов f_j , то каждый из входных факторов вносит свой вклад в изменение выходного фактора. Таким образом, можно записать уравнение:

$$f_0^{pr} = \sum_j w_{j0} f_j^{pr} + f^{ost}$$

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

где f_j^{pr} – оценка прироста фактора f_j , w_{j0} – сила влияния фактора f_j на результирующий фактор f_0 , $f^{ост}$ – неразложимый остаток, который относим на неизвестные нам причины (неучтенные факторы, влияющие на f_0).

Оценка силы влияния некоторого входного фактора на результирующий может задаваться не только экспертом, но и определяться путем автоматической обработки объективных данных, характеризующих территориальные образования, при условии, что у обоих факторов имеются индикаторы. Метод, предложенный авторами, позволяет определять силу влияния не в виде константы, а в виде вектора значений: для каждой группы территориальных объектов с приблизительно одинаковыми условиями может быть своя оценка. Суть метода состоит в сопоставлении кластеров, полученных путем группировки территориальных объектов в пространстве значений индикаторов входного фактора, с кластерами, полученными на множестве значений индикаторов результирующего фактора. В соответствии с характером распределения объектов вычисляются оценки силы влияния, причем для разных кластеров они могут быть разными [4,5].

Зная силы влияния входных факторов на выходной, а также приростные значения индикаторов за определенный период времени для заданного региона, можно определить вклад каждого входного фактора в изменение состояния результирующего фактора в данном регионе по сравнению с базовым годом. Рассмотрим для примера, каков вклад различных внешних и управляемых факторов в изменение уровня потребления тепловой энергии в некоторых субъектах Сибирского федерального округа в 2013 году по сравнению с 2008 годом. Когнитивная карта, отображающая отношения влияния представлена на рис. 1.

По результирующему фактору "Уровень потребления тепловой энергии" в субъектах Сибирского федерального округа наиболее значительные изменения произошли в республике Алтай и республике Хакасия, менее значительные, но существенные – в Алтайском крае, Иркутской и Новосибирской областях. Например, оценка прироста фактора, вычисленная по приростным значениям удельного потребления тепловой энергии на душу населения и на 1 руб. ВРП, для республики Хакасия равняется -0.21, для республики Алтай – -0.2, для Иркутской, Новосибирской областей и Алтайского края – -0.15.

Изменения климатических условий в 2013 году по сравнению с 2008 годом произошли неравномерно. Так, оценка

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

прироста фактора для республики Алтай равна -0.45, для республики Хакасия – -0.1, для Иркутской области – -0.03. Оценка силы влияния фактора климатических условий на фактор потребления тепловой энергии для группы регионов с умеренно холодным климатом, к числу которых принадлежит большинство субъектов Сибирского федерального округа, составила +0.15.

По внешнему фактору "Уровень теплоэнергоёмкости отраслей" изменения в исследуемых регионах также произошли неравномерно. Например, в Новосибирской, Иркутской областях, в Алтайском крае оценка прироста колеблется от -0.02 до -0.06. В тоже время в республике Хакасия оценка равна -0.32, что объясняется снижением доли таких энергоёмких отраслей, как обрабатывающая промышленность и энергетика. Менее значительное, но существенное изменение произошло в республике Алтай (оценка -0.18). Сила влияния фактора отраслевой структуры на уровень теплопотребления сильно отличается для разных групп регионов. Так, для регионов со средним уровнем нормативной теплоэнергоёмкости, к которым относятся Новосибирская, Иркутская области, Алтайский край, она равна +0.64. Для группы регионов с высоким уровнем нормативной теплоэнергоёмкости, куда входит Хакасия, и для группы регионов с низким уровнем, куда входит республика Алтай, сила влияния существенно ниже и равна соответственно +0.3 и +0.25.

Для оценки изменения по фактору "Тариф на тепловую энергию" использовались не сами тарифы на отопление и на горячее водоснабжение, а отношения тарифов к среднему доходу населения. Практически во всех субъектах Сибирского округа оценка прироста положительная – от 0 для Алтайского края до +0.18 для Иркутской области. Влияние данного фактора на результирующий фактор отрицательное: чем выше тариф, тем больше стимул к экономии. Сила влияния для регионов со средним уровнем тарифов, к которым относится большинство исследуемых регионов, составляет -0.13, для регионов с высоким уровнем (к ним относится республика Алтай) – -0.28.

Оценки прироста по фактору "Потери тепловой энергии" также для большинства регионов положительные, т.е. в этих субъектах потери в тепловых сетях возросли – где-то незначительно (в Иркутской, Кемеровской области), где-то существенно (в Хакасии, Новосибирской области). Сокращение произошло только в республике Алтай (оценка -0.2). Сила влияния данного фактора на теплопотребление для регионов со средним уровнем потерь (к ним относятся республика Алтай,

5th the International Conference on Science and Technology 2015

Иркутская, Новосибирская области и др.) составляет +0.25, для регионов с высоким уровнем – +0.62.

По фактору "Ветхость жилья", оцениваемому по удельному весу ветхого и аварийного жилья, оценки прироста во всех субъектах Сибирского округа, кроме республики Алтай, либо отрицательные, либо нулевые. В республике Алтай произошло увеличение ветхого жилья: оценка прироста равна +0.31. Сила влияния для регионов с высокой долей ветхого жилья равна +0.43, со средней степенью – +0.28, с низкой – +0.13.

Фактор "Оснащенность приборами учета тепловой энергии" пришлось исключить из рассмотрения, поскольку данные по субъектам РФ, характеризующие оснащенность приборами учета тепла и горячей воды, для периодов до 2011 года отсутствуют.

Рассчитаем для примера вклад каждого из рассмотренных входных факторов в изменение уровня потребления тепловой энергии в республике Алтай. Уравнение, отражающее вклад входных факторов в изменение выходного фактора, имеет вид:

$$-0.2 = -0.15 \cdot 0.45 - 0.25 \cdot 0.18 - 0.28 \cdot 0.12 - 0.25 \cdot 0.2 + 0.13 \cdot 0.31 + x$$

Оценки вклада различных входных факторов: "Климатические условия" – -0.0675 (33.75%), "Уровень теплоэнергоемкости отраслей" – -0.045 (22.5%), "Тариф на тепловую энергию" – -0.0336 (16.8%), "Потери тепловой энергии" – -0.05 (25%), "Ветхость жилья" – +0.0403 (-20.15%), неизвестные причины – -0.0442 (22.1 %).

Таким образом, наибольший вклад в уменьшение уровня потребления тепловой энергии в республике Алтай в 2013 году по сравнению с 2008 годом внесла теплая зима. Довольно значительный вклад внесло сокращение потерь в теплосетях и изменение отраслевой структуры. Увеличение тарифов оказало гораздо меньшее влияние. Жилищный фактор, наоборот, способствовал увеличению теплопотребления.

Выводы

Предложенный подход к анализу развития ситуации в сфере энергетической эффективности территориальных образований позволяет оценивать, насколько сильно изменилось состояние различных внешних и управляемых факторов, влияющих на энергосбережение, в текущем году по сравнению с базовым годом, а также выявлять, каков вклад того или иного фактора в изменение уровня энергоэффективности. Подход

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

опирается как на мнения экспертов, так и на автоматическую обработку объективных данных, характеризующих территориальные образования. Экспертные знания используются для построения когнитивной карты, наглядно отображающей причинно-следственные связи между различными климатическими, социально-экономическими и энергетическими факторами. Однако оценки изменения факторов, хоть и представлены на естественном языке, определяются не на основе субъективных мнений, а путем нечеткой кластеризации территориальных объектов по природным значениям индикаторов. Эти значения наряду с оценками силы влияния факторов друг на друга используются и при оценивании вклада влияющих факторов в изменение результирующего фактора. Метод выявления силы влияния также опирается на результаты кластеризации территориальных образований в пространстве значений индикаторов.

Предложенный подход может быть полезен для выявления причин улучшения или ухудшения уровня энергетической эффективности в территориальных образованиях различного уровня, что помогает расставить приоритеты при выборе мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности.

References:

- [1] Rodonaia I., Gasitashvili Z. Modeling and Analysis of Power Engineering by Using Cognitive Approach // Journal of Technical Science and Technologies. – 2012. - No 1(1). – pp. 43-48.
- [2] Asan U., Kutlu A. C., Kadaifci C. Analysis of critical factors in energy service contracting using fuzzy cognitive mapping // Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering. – Los Angeles, USA, 2011.
- [3] Silich M.P., Silich V.A., Aksenov S.V. Analiz energeticheskoy effektivnosti territoriy na osnove ierarkhii gibridnykh kognitivnykh kart // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2013. – Т. 323. – №5. – P. 26-32.
- [4] Silich M.P., Aksenov S.V., Silich V.A. .Opredeflenie sily vliyaniya razlichnykh faktorov na energeticheskuyu effektivnost territoriy // Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. - 2015. - №2(16). - P. 74-80
- [5] Silich M.II., Aksenov S.V., Silich V.A. Analiz vliyaniya faktorov na energoeffektivnost territorialnykh obrazovaniy

**5th the International Conference
on Science and Technology 2015**

// Modern informatization problems in economics and safety: Proceedings of the XX-th International Open Science Conference (Yelm, WA, Usa, January 2015). - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2015. - P. 134-139.

- [6] Yedinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema [Gosudarstvennyy integrirrovannyi statisticheskiy resurs] URL: <http://www.fedstat.ru/indicator/data.do> (data obrashcheniya 12.10.2015)
- [7] Ofitsialnyy internet-portal Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashcheniya 12.10.2015).
- [8] Fuzzy Cluster analysis: methods for classification, data analysis, and image recognition / F. Hoepfner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 300 p.
- [9] Silich V.A., Silich M.P., Axyonov S.V. An Approach to Speed-up the Density-based Clustering via Gustaffson-Kessel Fuzzy Algorithm // Proceedings of 6th International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE 2013). – Paris: ETP Press, 2013. – pp.167-172

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований №13-07-00397А. Работа выполнена в рамках программы по повышению конкурентоспособности ТПУ, проект ВПУ ИК 118.