

УДК 621.396.41

М.П. Силич, А.Р. Вахитов, И.И. Прудников

Информационная система анализа энергетической эффективности территориальных образований

Рассматривается структура информационной системы анализа энергетической эффективности территориальных образований. Система позволяет строить иерархию когнитивных карт, отражающих связи между факторами, влияющими на состояние энергоэффективности, задавать функции принадлежности для нечеткой оценки факторов по значениям индикаторов, формировать правила и формулы для косвенного оценивания факторов. Для учета влияния внешних условий система выполняет нечеткую кластеризацию ТО. По результатам анализа может быть построено дерево причин.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, территориальные образования, информационная система, когнитивные карты.

Экономика России на современном этапе характеризуется высокой энергоемкостью. Не случайно энергосбережение включено в список приоритетных направлений технологического развития страны. Основным инструментом такого развития служат программы в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, которые должны быть разработаны во всех муниципальных образованиях на территории Российской Федерации. Для контроля и оценки ситуации на территории субъектов РФ разрабатываются информационные системы мониторинга и управления эффективностью энергосбережения [1–3]. Основными функциями подобных систем являются: ввод, хранение и редактирование данных об энергохозяйстве на уровне регионов, муниципальных образований, учреждений, а также мониторинг и анализ данных, внесенных в систему. Однако интерпретация пользователем формируемых отчетов зачастую вызывает трудности. Различие климатических условий, особенности инфраструктуры, сложившейся структуры потребления топливно-энергетических ресурсов, искажают результаты сравнения территориальных образований (ТО) между собой. Кроме того, для понимания ситуации необходимо учитывать, что одни показатели характеризуют созданные условия для реализации потенциала энергосбережения, другие – внешние условия, влияющие на освоение потенциала, третьи – достигнутый уровень энергоэффективности. Зачастую один и тот же фактор, определяющий эффективность использования энергетических ресурсов, может оцениваться на основе множества индикаторов, дополняющих друг друга, некоторые факторы вообще можно оценить лишь косвенно и весьма приблизительно. Для облегчения анализа показателей, собираемых в ходе мониторинга ситуации в сфере энергосбережения, информационная система должна выполнять интеллектуальную обработку данных, позволяющую оценить текущее состояние энергоэффективности территориальных образований в условиях неполноты исходных данных и неоднозначности их интерпретации, а также сформировать выводы в терминах естественного языка относительно причин сложившейся ситуации. Данная статья посвящена разработке информационной системы, обеспечивающей выполнение этих требований.

Методика анализа энергетической эффективности. В основу разрабатываемой системы положен подход, описанный в работах [4–6]. В соответствии с данным подходом анализ энергоэффективности территории включает следующие этапы.

Этап 1. Построение иерархии когнитивных карт. Карта представляет собой граф с двумя типами концептов: факторы отражают свойства системы, оцениваемые на качественном уровне, индикаторы являются измеримыми показателями, характеризующими тот или иной фактор. Примеры факторов: «уровень потребления тепловой энергии», «существенность расходов домохозяйств на электроэнергию», «суровость климатических условий»; примеры индикаторов: «удельный расход тепловой энергии в жилых домах, Гкал/м²», «доля расходов на электроэнергию по отношению к доходам населения», «средние расчетные температуры наружного воздуха за отопительный период, °С». Индикатор «привязывается» к фактору, который он характеризует, путем установления отношения ассоциации. Данному отношению может быть сопоставлен коэффициент соответствия (число

в интервале от 0 до 1). Чем выше значение коэффициента, тем точнее индикатор характеризует соответствующий фактор.

Среди множества факторов выделяют подмножества: целевых факторов, состояние которых позволяет оценить ситуацию в целом; управляемых факторов, состояние которых можно сознательно изменять; внешних возмущений, на состояние которых в рамках системы невозможно повлиять. Между факторами устанавливаются отношения влияния – причинно-следственные связи. Влияние может быть как положительным, так и отрицательным. Кроме того, сила влияния может быть оценена в виде числа от 0 до 1. 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.

Этап 2. Определение способа оценивания факторов. Каждому фактору сопоставляется лингвистическая переменная, значениями которой являются нечеткие оценки типовых состояний фактора, например: «низкая», «средняя», «высокая». Чтобы оценить фактор на основе индикатора, строятся функции принадлежности на базовом множестве его значений. Функции могут строиться на основе распределения значений индикатора для всех сравниваемых территориальных образований. Параметры функций определяются исходя из плотности обучающих примеров.

Для того чтобы учесть влияние внешних факторов, отражающих природно-климатические, социально-экономические, градостроительные и другие особенности территориальных образований, предлагается использовать подход типологической группировки. Формируются кластеры территорий с похожими внешними условиями и функции принадлежности строятся отдельно для каждого кластера. Кластеризация проводится по индикаторам, «привязанным» к соответствующему внешнему фактору, на основе алгоритмов нечеткой кластеризации, в частности алгоритма Густафсона–Кесселя [7]. Предварительно рекомендуется осуществить выбор статистически независимых признаков с использованием нейронной сети с самоорганизацией корреляционного типа.

Оценки факторов, которым не сопоставлены индикаторы или нет возможности получить значения индикаторов, могут быть получены на основе оценок других факторов. Одним из возможных подходов является использование нечетких продукционных правил, содержащих в антецеденте возможные состояния оцененных факторов и в консеквенте – соответствующие состояния оцениваемого фактора. Альтернативным способом косвенного оценивания факторов являются операции с четкими или нечеткими числами, например процедура аккумуляции влияния нескольких концептов на один концепт, используемая в картах Коско, или операция свертки с нечеткими треугольными числами. В последнем случае используются процедуры преобразования нечетких значений лингвистических переменных в нечеткие числа, а также интерпретации вычисленного значения выходного фактора.

Этап 3. Анализ когнитивных карт. Анализ гибридной когнитивной карты позволяет дать оценку каждому фактору. При получении нечеткой оценки фактора по значению индикатора учитываются коэффициенты соответствия индикатора фактору. Оценки, полученные для одного фактора по нескольким индикаторам, агрегируются. Если фазсификация осуществляется с учетом внешних условий, степень уверенности в оценке корректируется, принимая во внимание степень принадлежности территории к соответствующему кластеру. В случае если территориальное образование попало одновременно в несколько кластеров, оценки, полученные для каждого кластера, агрегируются. Для получения оценок факторов, не связанных с индикаторами, выполняется логический вывод на множестве продукционных правил либо осуществляются преобразования в нечеткие числа с использованием универсальной шкалы и вычисления по формулам свертки.

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.

Структура информационной системы. ИС включает три основных модуля (рис. 1): «Когнитивное моделирование», «Методы оценки факторов», «Анализ ситуации». Первые два модуля предназначены для создания проекта по анализу энергоэффективности территориальных образований заданного типа (например, субъектов РФ, входящих в Сибирский федеральный округ, или муниципальных образований Томской области), третий модуль используется для анализа ситуации с энер-

госбережением в конкретном территориальном образовании, а также сравнения оценок, полученных для различных ТО.



Рис. 1. Структура информационной системы

Модуль когнитивного моделирования отвечает за построение и редактирование иерархии когнитивных карт. Он представляет собой графический редактор специального назначения (рис. 2), формирующий диаграммы в форме векторного изображения, что позволяет просматривать их на мониторах с различным разрешением, растягивать и сжимать. Пользователь может добавлять / перемещать / удалять элементы карты, связывать элементы, создавать спецификации элементов, присоединять поддиаграммы. На диаграммах факторы изображаются в виде эллипсов (внешние ограничения – в виде эллипсов с пунктирным контуром), индикаторы – в виде круга, отношения ассоциации – в виде отрезков пунктирной линии, отношения влияния – в виде отрезков сплошной линии со стрелками. Если к фактору присоединена поддиаграмма, то рядом с символом соответствующего фактора помещается специальная пиктограмма. Иерархию поддиаграмм можно просмотреть в окне браузера. Для элементов диаграмм и связей можно задать атрибуты в окне спецификации. В спецификации фактора указываются его наименование, тип, описание и способ оценивания, в спецификации индикатора – наименование, источник данных, способ расчета.

С помощью модуля «Методы оценки факторов» можно специфицировать метод оценивания фактора. Для внешних факторов, для которых в качестве способа оценивания задана кластеризация, используется подпрограмма, выполняющая типологическую группировку территориальных образований. Она выбирает индикаторы, связанные с фактором, загружает из базы данных значения индикаторов для различных ТО, осуществляет предварительную обработку данных (определяет корреляцию между индикаторами, пополняет недостающие данные), формирует кластеры.

Для факторов, оценки которых определяются путем фаззификации, запускается программа построения функций принадлежности. При этом если на фактор влияют внешние ограничения, функции принадлежности строятся для каждого кластера, выделенного по соответствующему внешнему фактору. Тип функции принадлежности выбирается пользователем, параметры либо задаются пользователем, либо определяются автоматически на основе распределения значений индикатора.

Для факторов, оцениваемых косвенно на основе состояний других факторов, в зависимости от заданного способа вычисления оценки необходимо либо сформировать совокупность продукционных правил с помощью подпрограммы построения правил, либо выбрать способ преобразования нечеткого значения в числовую оценку и способ обратного преобразования и определить формулу вычисления оценки.

Модуль анализа ситуации позволяет конечному пользователю определить состояния факторов энергоэффективности для выбранного территориального образования в заданный период времени (год). По желанию пользователя оценки могут быть получены только для факторов определенной когнитивной карты. Значения внешних факторов определяются путем выявления кластеров, содержащих заданное территориальное образование. Для получения оценок по функциям принадлежности выполняются процедуры фаззификации значений индикаторов. Оценки, получаемые на основе методов косвенного оценивания, выводятся по правилам или вычисляются по формулам.

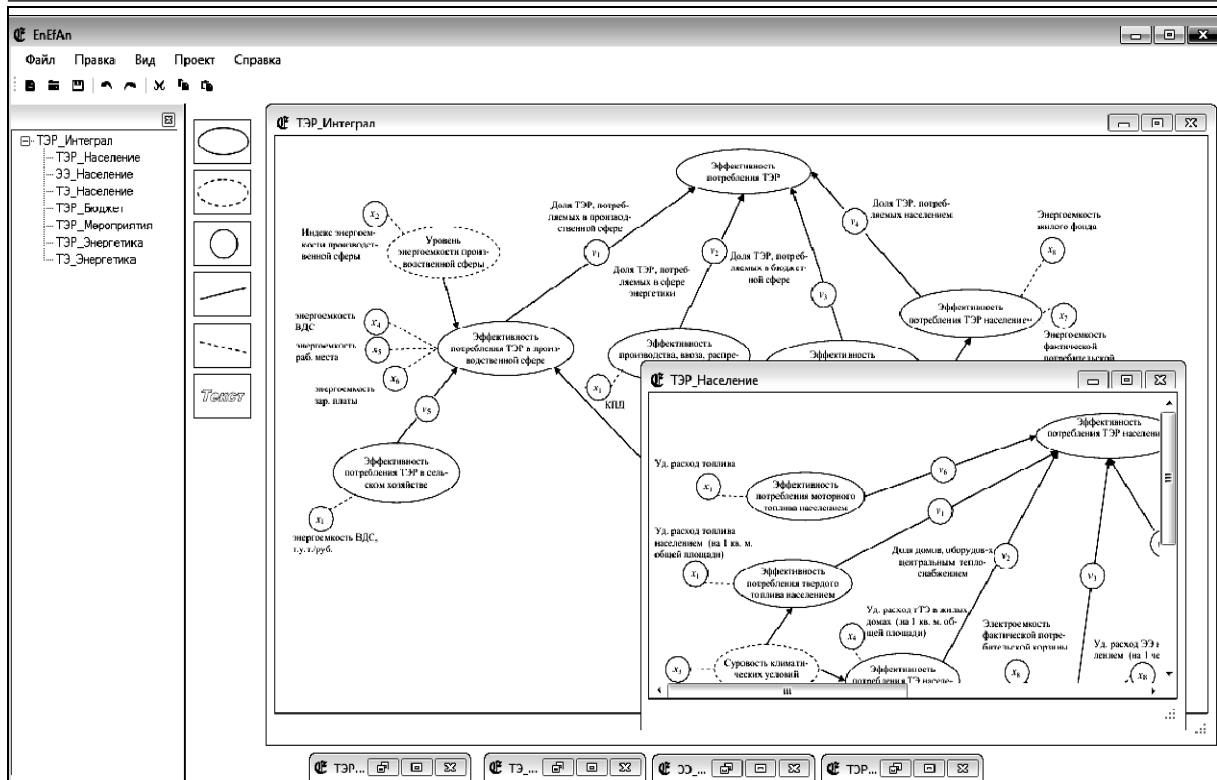


Рис. 2. Интерфейс модуля когнитивного моделирования

Результаты анализа могут быть представлены как в табличном виде, так и в виде дерева причин. Дерево причин формируется на основе соответствующей когнитивной карты путем сопоставления каждому фактору его оценки. Состояния факторов, влияющих на некоторый фактор, являются причинами его состояния, причем силы влияния показывают важность той или иной причины. Пользователь может выделить любое состояние и просмотреть для него объяснение, включающее оценку фактора и степень уверенности, способ получения оценки, значения индикаторов.

Для сравнения различных территориальных образований по тому или иному фактору могут быть использованы таблицы, гистограммы и картограммы. Гистограмма (столбиковая диаграмма) показывает числовые оценки фактора для каждого ТО, вычисленные путем дефаззификации нечетких оценок. Картограмма формируется путем закрашивания соответствующих территорий на географической карте региона определенным цветом, соответствующим полученной оценке. Визуализация результатов анализа позволяет наглядно показать различия в оценках, выделить группы территориальных образований с приблизительно одинаковым уровнем энергоэффективности, выявить образования с резко отличающимися оценками.

В качестве платформы для реализации программного продукта выбрана .NET FrameWork 4.0, использующая компонентный подход к разработке. Ее достоинства – возможность совмещать различные языки программирования, поддержка управления версиями и четкая организация программных компонентов, благодаря чему программу можно разделить на отдельные слабо зависящие друг от друга модули. Средой разработки выбраны Microsoft Visual Studio 2012 и объектно-ориентированный высокоуровневый язык программирования C#. Для файловой базы данных используется Microsoft Access, в качестве сервера базы данных для групповой разработки выбран Microsoft SQL Server 2008.

Заключение. Разрабатываемая информационная система может быть полезна органам власти субъектов РФ и муниципальных районов для обоснования принятия решений по повышению энергетической эффективности при формировании программ энергосбережения. Повышение качества решений происходит за счет интеллектуального анализа, позволяющего учитывать: климатические и социально-экономические особенности различных территориальных образований; причинно-следственные связи между факторами, влияющими на положение дел; неопределенности, возникающие при интерпретации данных, характеризующих состояние энергоэффективности.

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

Литература

1. Энергосбережение и энергоэффективность // Челябинский ЦНТИ. Филиал ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.csti.ru/our_activities/energy_saving/, свободный (дата обращения: 11.02.2013).
2. Единая информационная система для мониторинга и управления эффективностью энергосбережения // Энергосбережение. – 2011. – № 1. – С. 4–6.
3. Складов Е.В. О создании информационной системы мониторинга и управления эффективностью энергосбережения на объектах города Москвы // Промышленная энергетика. – 2011. – № 6. – С. 2–6.
4. 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.
5. Оценка энергетической эффективности муниципальных образований на основе нечеткой интерпретации данных / М.П. Силич, С.В. Аксенов, В.С. Ахмедов, В.И. Скрыбин // Информационные и математические технологии в науке и управлении: труды XVII Байкальской Всерос. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012 – Ч. 3. – С. 129–134.
6. Municipalities' energy efficiency estimation approach based on fuzzy models / S.V. Axyonov, V.S. Ahmedov, M.P. Silich, V.I. Skryabin // Proceedings of 7th International Forum on strategic technology 2012 (IFOST 2012), IEEE. – 2012. – Tomsk, 2012. – P. 333–336.
7. Fuzzy Cluster analysis: methods for classification, data analysis, and image recognition / F. Hoepfner, F. Klawonn, R. Kruse, and T. Runkler. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 300 p.

Силич Мария Петровна

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизации обработки информации ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 70-15-91
Эл. почта: smp@muma.tusur.ru

Вахитов Александр Робертович

Канд. техн. наук, нач. отд. информационно-технического обеспечения Института кибернетики ТПУ
Тел.: 8-909-538-17-09
Эл. почта: argv@tpu.ru

Прудников Илья Иванович

Студент гр. 8591 Института кибернетики ТПУ
Тел.: 8-913-822-12-69
Эл. почта: iprudnikov@yahoo.com

Silich M.P., Vakhitov A.R., Prudnikov I.I.

Information system of territories' energy efficiency analysis

The structure of information system of territories' energy efficiency analysis is considered. System allows building cognitive maps hierarchy that represents the connections between factors that have an influence on the energy efficiency state, defining the membership functions for fuzzy estimation of factors through indicators' values and generation rules and formulas for indirect estimation of the factors. The system performs the territories' fuzzy clustering to take into account the influence of external factors. Tree causes can be created as the result of analysis.

Keywords: energy efficiency, territorial formations, information system, cognitive maps.