АНУФРИЕВ Валерий Павлович

Доктор экономических наук, кандидат технических наук,
профессор кафедры экономики производственных и энергетических систем

**Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина**
620002, РФ, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
Контактный телефон: (343) 375-44-59
e-mail: mail@ucee.ru

МОКРОНОВ Александр Германович

Доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой экономики предприятий

Уральский государственный экономический университет
620144, РФ, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45
Контактный телефон: (343) 221-17-21
e-mail: amokronov@mail.ru

МИХАЙЛОВ Николай Григорьевич

Аспирант кафедры экономики

Российский государственный профессионально-педагогический университет
620012, РФ, г. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11
Контактный телефон: (343) 221-46-34
e-mail: mikhn90@mail.ru

Эколого-экономическая оценка ресурсосбережения малой энергетики региона

Исследование направлено на развитие теоретических положений и разработку методического инструментария эколого-экономической оценки ресурсосбережения малой энергетики региона. Для выявления синергетического эффекта от влияния эколого-экономических факторов на процесс ресурсосбережения в сфере теплоснабжения населения предложены метод иерархической кластеризации территориальных тепловых систем и метод главных компонент с целью формирования наиболее информативной их модели. Проведена многофакторная оценка ресурсосбережения малой энергетики региона, определены ее новые эмерджентные свойства и стратегические направления развития как элемента территориальной социально-экономической системы. Получены результаты инвентаризации выбросов загрязняющих веществ котельными установками малой мощности Свердловской области, рассчитан эколого-экономический потенциал ресурсосбережения в малой энергетике муниципальных образований региона. Выявлена неравномерность пространственного распределения котельных установок, выделены кластеры, наиболее перспективные для внедрения энергоэффективных технологий и улучшения экологической обстановки в регионе. Данные эколого-экономической оценки можно использовать для разработки регионального топливно-энергетического баланса и обоснования стратегических инвестиционно-инновационных направлений развития энергообеспечения муниципальных образований.

JEL classification: C38, Q43, P49

Ключевые слова: эколого-экономическая оценка; ресурсосбережение; парниковые газы; малая энергетика региона; эмерджентность; системный подход; муниципальные образования; иерархическая кластеризация.

Введение

В свете основных положений концепции «Индустрии 4.0» социально-экономический рост страны и ее регионов предполагает проведение новой индустриализации, направленной на технологическое переоснащение базовых отраслей промышленности, на опережающее развитие отраслей пятого и шестого технологических укладов. Масштабные и динамичные структурные преобразования актуализируют проблему сбалансированного функционирования трех сфер региональных социально-производственных систем: экономической, социальной и экологической. Особую роль в решении данной проблемы играет энергетика, оказывающая как ведущая инфраструктурная отрасль значительное влияние на региональную экономику, обеспечение высокого качества жизни населения и экологическую среду территории. Научное обоснование стратегических задач энергосбережения и повышения энергоэффективности требует системного подхода, применения современных информационных технологий для многофакторной оценки инвестиционных программ и разработки организационно-экономических механизмов устойчивого регионального развития.

Теоретико-методологические аспекты оценки интегративного влияния различных факторов на процессы устойчивого развития региональной экономики как социально-экономической системы на данный момент недостаточно проработаны. В частности, особый интерес приобретают вопросы разработки методологических подходов к эколого-экономической оценке ресурсосбережения в сфере региональных систем теплоснабжения населения.

Целью статьи является развитие теоретических положений и разработка методического инструментария эколого-экономической оценки ресурсосбережения малой энергетики региона.

Для достижения цели исследования решены следующие задачи:

- на основе обобщения и классификации теоретических положений системного анализа уточнено содержание понятия эмерджентности системы и ее элементов;
- обоснованы целесообразность и возможность применения методов иерархической кластеризации и главных компонент для определения эмерджентных свойств территориальных социально-экономических систем и эколого-экономической оценки ресурсосбережения малой энергетики региона;
- осуществлена эколого-экономическая оценка функционирования котельных установок муниципальных образований Свердловской области.

Теоретические аспекты свойств эмерджентности систем

Применение системного анализа эколого-экономических факторов развития территории предполагает уточнение сущности понятия эмерджентности систем. Обзор научной литературы по проблематике системного анализа показывает большое различие существующих точек зрения на содержание понятия «эмерджентность». Так, У. Эшби, описывая точку бифуркации, использует понятие «степень эмерджентности объекта», но в явном виде сущность данного понятия он не раскрывает, указывая лишь на источники эмерджентности и связывая уровень системности со степенью взаимодействия частей системы. Закон У. Эшби гласит: «...управление может быть обеспечено только в том случае, если разнообразие средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере не меньше, чем разнообразие управляемой им ситуации» [17].

Как отмечает Е. В. Луценко, система есть множество элементов, взаимосвязанных друг с другом, что дает системе новые качества, которых не было у элементов. Новые системные свойства ученый называет эмерджентными вследствие сложности определения причин их возникновения и полагает, что «...чем больше сила взаимодействия

элементов, тем сильнее свойства системы отличаются от свойств множества и тем выше уровень системности и синергетический эффект» [12. С. 41].

И. В. Прангшвили особое внимание уделяет «плохо» организованным системам – нейтральным системам или псевдосистемам. Он обращает внимание на то, что для данных систем не характерна эмерджентность, а взаимодействие элементов антагонично. В псевдосистемах потенциал самого слабого элемента больше потенциала самой системы [13].

В работе Г. Хакена эмерджентность представляется как основа синергетики, что подразумевает учет [20]:

- взаимосвязанности одинаковых (разнородных) частей, из которых состоят системы;

- нелинейности взаимосвязей;
- риска возникновения неустойчивости;
- наличия изменений, создающих новые свойства;
- возможности математического описания процессов.

В современном экономическом словаре эмерджентность рассматривается как качества, свойства системы, которые не присущи ее элементам в отдельности, а возникают благодаря объединению этих элементов в целостную систему [15].

Одним из важных факторов эмерджентности, стремительно набирающим актуальность в наше время, является инновационный потенциал организации. В определении Т. С. Бронниковой и В. В. Котрина эмерджентность сложных систем сравнивается с образующей функцией особых целостных свойств, обеспечивающих возрастание эффективности деятельности в результате интеграции ее элементов в единую конструкцию [2].

В зарубежных источниках эмерджентность представляется как функциональность системы в целом, которая не сводится к сумме функций ее элементов [23]. По мнению Ю. Одума, одной из рабочих концепций системного исследования должно быть свойство несводимости целого к сумме, что предполагает необходимость учета эмерджентных свойств высокоорганизованных систем [11].

Обобщая вышеприведенные точки зрения, авторы считают возможным под эмерджентностью системы понимать *способность ее конструкции приобретать новое качество, при котором изменение любого элемента ведет к изменению системы в целом в процессе его воздействия на другие элементы*. Исходя из данного определения, целесообразно ввести в научный оборот понятие потенциальной эмерджентности элемента системы, характеризующее его перспективное состояние, которое изменяется от различных воздействий на систему. Использование результатов расчета потенциальной эмерджентности элемента позволяет не только качественно и количественно оценивать синергетический эффект, но и определять вектор развития системы. Основываясь на оценке потенциальной эмерджентности элемента, можно формировать гипотезы появления новых системных свойств, перерастающие в новые научные знания о системе и возможные варианты ее моделирования.

Процесс разработки модели системы состоит из сочетания повторяющихся процедур созидания и проверки, где созидание есть процедура построения модели, а процедура определения ее соответствия реальной системе [3. С. 264]. Так как число возможных моделей системы почти бесконечно, процесс их построения в значительной степени субъективен. Проверка же в значительной мере объективна. Ее цель состоит в выявлении того, насколько выбираемая модель удовлетворяет объективным критериям сравнения с реальностью [21].

Необходимо отметить, что возможность оценки эмерджентности в настоящее время достаточно затруднена сложностью выделения новых свойств. Авторы полагают: одним из способов их поиска может быть применение метода кластеризации – группировки

данных на классы таким образом, чтобы объекты в кластере имели большое сходство между собой и отличались от объектов в других кластерах [30; 31].

На основе обобщения научных работ [4; 5; 6; 7; 8; 9; 19; 24; 26] авторы полагают, что в общем случае кластеризацию целесообразно охарактеризовать, используя два основных метода: суммарной квадратичной минимизации [28; 33] и иерархической кластеризации. Иерархический метод является более универсальным. Метод суммарной квадратичной минимизации применим тогда, когда исследуемые данные в пространстве образуют компактные «сгустки», хорошо отличимые друг от друга. В настоящее время иерархические методы кластеризации более востребованы [22]. Метод иерархической кластеризации, используя некоторую меру сходства или расстояние между объектами, осуществляет их объединение в один кластер, где каждый элемент представляет собой подмножество.

Алгоритм построения кластеров можно представить процессом формирования последовательности порогов ($q_1 < q_2 < q_n$), где каждая точка есть отдельный кластер. Для реализации данного метода иницируется множество кластеров K , а в дальнейшем осуществляется функция минимизации конечного числа элементов:

$$(A, V) = \arg \min_{A \neq V} R(A, V); R_t = R(A, V). \quad (1)$$

В результате итерации и процесса слияния вместо пары самых близких кластеров образуется новый кластер $B = A \cup V$, который принадлежит кластеру K_{t-1} и не принадлежит множеству $\{A, V\}$ для всех $B = S \in K_t$, где t – номер итерации.

В таком случае искомое расстояние от нового кластера $A \cup V = B$ для любого другого кластера обозначается как $R(B, S)$, а расстояние между двумя кластерами B и S рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$R(B, S) = p^2 \left(\sum_{b \in B} \frac{b}{|B|}, \sum_{s \in S} \frac{s}{|S|} \right); \alpha_A = \frac{|A|}{|B|}, \alpha_V = \frac{|V|}{|B|}, \beta = -\alpha_A \alpha_V, \gamma = 0. \quad (2)$$

При этом процесс иерархической кластеризации можно выразить универсальной формулой [18; 27]:

$$R(A \cup V, S) = \alpha_A R(A, S) + \alpha_V R(V, S) + \beta R(A, V) + \gamma |R(A, S) - R(V, S)|. \quad (3)$$

Для многомерного анализа данных существует метод главных компонент, идея которого появилась в XIX веке [29; 34]. Подробно метод описан Т. Андерсоном [1], А. Вульстеном [35], Г. Харманом [22]. Методом главных компонент можно найти ортогональную систему координат с определенными свойствами [8]. Применение координат на основе вычисленных главных компонент позволяет формировать новое пространство объясняющих переменных, снижать размерность и поэтому использовать наиболее информативную систему описания.

Из вышеизложенного можно заключить, что совокупное использование метода главных компонент и кластерного анализа позволяет проводить многоаспектный анализ и многофакторную оценку ресурсосбережения малой энергетики региона, а также выделять ее новые эмерджентные свойства и стратегические направления развития как элемента в территориальной социально-экономической системе.

Оценка эколого-экономического потенциала ресурсосбережения малой энергетики региона

Сопоставление кривых солнечной активности и средних годовых температур за последнее столетие указывает на четкую корреляцию между диоксидом углерода и климатическим потеплением [16]. Это придает особую значимость учету выбросов парниковых газов, что нашло отражение в российском законодательстве и международных соглашениях.

На основе данных мониторинга технико-экономического состояния систем (объектов) теплоснабжения, проведенного в 2016 г. Министерством энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области, авторы осуществили эколого-экономическую оценку ресурсосбережения в муниципальных образованиях Свердловской области. В результате анализа структуры эксплуатационного парка малой энергетики области построены графики зависимостей различных параметров 250 котельных установок, в том числе: power (мощность котельной, Гкал/ч), heatproduction (выработка тепловой энергии, тыс. Гкал/год), CO_2 (выбросы диоксидов углерода, тыс. т/год). Учитывая, что величина выбросов парниковых газов исследуемых объектов изменяется в широком диапазоне, анализируемая информация о котельных установках изображена следующим образом: на логарифмической оси X отложены отрезки выбросов диоксида углерода, а на оси Y – мощности исследуемых котельных установок (рис. 1).

Рис. 1. График зависимостей выбросов диоксида углерода и мощности котельных

Логарифмическая величина позволяет наилучшим образом отобразить характер зависимости и посмотреть на данные под иным углом зрения. В частности, анализ информации (см. рис. 1) не только показывает наличие зависимости между переменными, но и свидетельствует о том, что мощность исследуемых котельных установок в основном составляет от 0,1 до 5 Гкал/ч, а выбросы диоксида углерода находятся в диапазоне 1–3,5 тыс. т в год. Для более детального изучения эколого-экономических факторов авторы построили 3D-график зависимостей выработки тепловой энергии, выбросов диоксидов углерода и мощности котельных установок. В результате рассмотрения трехмерного пространства зависимостей выявлено, что половина исследуемых котельных установок имеет схожие параметры. Визуализация на графике этой однородности нашла отражение в их сосредоточении в рамках эллипсоида (рис. 2). Остальные 50% котельных установок в пространстве переменных heatproduction, CO_2 , power сосредоточены достаточно разрозненно. Результаты исследования можно интерпретировать так: в пространстве трех переменных котельные работают не однотипно. С учетом того, что эффективность использования топлива и сокращения выбросов диоксидов углерода взаимосвязаны, 3D-график указанных переменных позволяет оценить эффективность работы котельных установок, а также уточнить корректность предоставляемой первичной информации.

Пространственный 3D-график дает возможность отразить группировку двух видов котельных установок по критерию эффективности использования топлива, которые выделены красным (2) и зеленым цветом (1) соответственно (см. рис. 2).

По представленной на рис. 2 информации можно предположить, что котельные установки, отнесенные к группе, выделенной зеленым цветом (1), работают крайне

неэффективно, поскольку соотношение полезной выработки тепловой энергии и выбросов диоксида углерода на графике сильно обособлены. В данную группу в основном входят котельные, работающие на твердом топливе: Гаринского ГО, Каменск-Уральского ГО, Верхотурского ГО, Сосьвинского ГО и др.

Рис. 2. Пространственная визуализация исследуемых переменных

Применив кластеризацию данных как один из методов в процессе обнаружения нового знания [32] и инструмента современного анализа данных, авторы реализовали попытку дальнейшей группировки котельных установок в разрезе трех переменных: *heatproduction*, CO_2 , *power*. Методом иерархической кластеризации были получены возможные варианты непересекающихся подмножеств, называемых кластерами. Основная идея заключается в том, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а исследуемые объекты разных кластеров существенно отличались (рис. 3).

Для составления кластеров применялся метод, использующий меры расстояния между наблюдениями. Котельные установки были разбиты на кластеры (группы) в системе главных компонент. После итерации по кластеризации данных был получен оптимальный вариант непересекающихся подмножеств исследуемых объектов (рис. 4). Полученный результат кластеризации создает важные предпосылки для дальнейшего исследования новых свойств малой энергетики как элемента территориальной социально-экономической системы.

В выборку данных были включены дополнительные факторы: *Epc* – потребление электрической энергии, тыс. кВт; *S* – отапливаемая площадь, м^2 . Метод главных компонент позволяет выявить наиболее информативно объясняющие переменные, снизить факторную размерность исследуемого пространства, а также дать лаконично описать исследуемые объекты (рис. 5) [14; 25].

Рис. 3. Варианты кластеризации котельных установок

Рис. 4. Оптимальный вариант группировка котельных установок

Анализируя полученную информацию, необходимо отметить, что две главные компоненты объясняют до 90% общей взаимосвязи данных. Так, описать изменение пяти переменных можно двумя переменными, потеряв при этом наименьшее количество информации.

Рис. 5. Иллюстрация исследуемых переменных

Безусловно, интерпретировать результаты нужно с учетом и других факторов. В частности, характеристики малой энергетики как элемента территориальной социально-экономической системы зависят от качества транспортировки теплоносителя, условий потребления, технического состояния котельных установок, климатических условий и т. д. Однако построенные графики позволяют наглядно представлять возможные гипотезы решения проблемных ситуаций, которые можно будет проверять в ходе дополнительных исследований.

Отметим, что системы теплоснабжения Свердловской области характеризуются высокой степенью концентрации производства и потребления тепловой энергии в крупных населенных пунктах и резкой дифференциацией этих показателей в сельских районах. Большая часть теплового хозяйства сосредоточена в пяти муниципальных образованиях: г. Екатеринбурге, г. Каменске-Уральском, г. Нижнем Тагиле, Первоуральском ГО и Серовском ГО. Это составляет более 55% объемов потребления тепловой энергии. Используя описанные выше механизмы и методический подход к оценке потенциала энергосбережения [10], авторы осуществили эколого-экономическую оценку котельных установок муниципальных образований (см. таблицу).

**Эколого-экономическая оценка ресурсосбережения газовыми
котельными установками мощностью до 20 Гкал/ч Свердловской области**

Муниципальное образование	Выработка тепловой энергии, тыс. Гкал	Средняя мощность котельных установок, Гкал/ч	Выбросы парниковых газов, CO ₂ , тыс. т/год	Потенциал энергосбережения тыс. р.	Возможное снижение выбросов, CO ₂ , %
Артинский ГО	14,14	–	12,5	118	1,8–2,5
Асбестовский ГО	51,86	5,25	31,2	216	0,6–1,7
Ачитский ГО	18,51	1,38	28,6	243	1,4–2,0
Байкаловское МР	23,83	1,80	36,0	–	1,6–2,4
Бисертский ГО	39,75	6,80	20,0	1 025	4,8–5,2
ГО Верхнее Дуброво	29,58	4,23	15,5	654	1,0–2,0
ГО Верхотурский	8,30	1,40	94,8	–	–
МО г. Алапаевск	21,81	1,86	59,4	–	2,1–3,0
МО г. Каменск-Уральский	98,77	5,70	61,6	1 406	2,0–2,5

Окончание таблицы

Муниципальное образование	Выработка тепловой энергии, тыс. Гкал	Средняя мощность котельных установок, Гкал/ч	Выбросы парниковых газов, CO ₂ , тыс. т/год	Потенциал энергосбережения тыс. р.	Возможное снижение выбросов, CO ₂ , %
ГО г. Лесной	16,31	2,90	8,9	1049	1,2–2,0
Гаринский ГО	–	0,77	110,2	–	–
ГО Верхняя Пышма	68,96	3,70	50,5	422	0,9–1,1
ГО Красноуфимск	150,21	2,88	137,0	700	3,0–6,0
ГО Первоуральск	89,20	2,32	175,1	1042	2,8–6,5
Полевской ГО	10,49	2,30	4,8	–	2,0–2,5
ГО Ревда	13,33	4,30	8,9	112	1,2–2,0
ГО Сухой Лог	142,30	4,80	107,1	733	1,5–4,5
Дружининское ГП	7,17	2,20	26,2	–	–
Ивдельский ГО	117,35	5,07	70,5	3468	5,0–7,0
Каменский ГО	28,40	2,08	139,3	–	–
ГО Карпинск	64,79	5,40	42,1	761	2,0–4,0
Михайловское МО	6,01	1,63	2,9	208	1,0–2,0
Новолялинский ГО	77,27	2,61	161,7	919	1,0–3,0
МО р. п. Атиг	12,40	4,40	7,6	–	–
Североуральский ГО	1,09	0,56	16,3	–	–
Серовский ГО	198,63	4,39	314,3	5270	3,0–5,0
Сосьвинский ГО	24,66	2,60	294,2	–	–
Сысертский ГО	82,43	6,50	109,2	1669	2,0–4,5

В целом в городских районах производится около 80%, в сельских – 20% тепловой энергии. Данная ситуация объясняется тем, что в сельских районах теплотребление децентрализовано, домохозяйства используют индивидуальное отопление, сжигая топливо в маломощных котельных установках и печах.

Анализ показывает, что в Свердловской области имеется значительный потенциал энергосбережения, которым располагают котельные установки муниципальных образований. В этой связи технологические инновации в сфере малой энергетики должны рассматриваться как приоритетные, экономически и экологически значимые направления развития экономики региона. Расчеты показывают, что ресурсосбережение в малой энергетике региона дает возможность снизить образование парниковых газов до 30%.

Заключение

Предложенные авторами методы иерархической кластеризации и главных компонент позволяют определять эмерджентные свойства территориальных социально-экономических систем и ее структурных элементов, возникающие в результате интегративного влияния факторов в экономической, социальной и экологической сферах.

На основе эколого-экономической оценки объектов малой энергетики Свердловской области были выделены кластеры, включающие однородные по эколого-экономическим параметрам котельные установки.

Результаты кластеризации выявили неравномерность пространственного распределения котельных установок и выделили кластеры, наиболее перспективные для внедрения энергоэффективных технологий и улучшения экологической обстановки в регионе. Данные эколого-экономической оценки можно использовать для разработки регионального топливно-энергетического баланса, а также для обоснования

стратегических инвестиционно-инновационных направлений развития энергообеспечения муниципальных образований.

Основываясь на оценке выбросов загрязняющих веществ котельных установок малой мощности Свердловской области позволяет утверждать, что технологическое переоснащение малой энергетики, ее переход на энергоэффективное использование топлива, возобновляемые источники энергии являются приоритетными задачами неоиндустриализации региональной экономики.

Исследование подтверждает вывод о том, что ресурсосбережение в малой энергетике способно сократить выбросы парниковых газов до 30%. Интерпретация представленных графиков, отражая состояние процессов теплоснабжения населения, дает возможность не только строить гипотезы стратегического развития регионального энергетического сектора, но и проверять их в ходе дополнительных исследований. В частности, применяя пространственные 3D-графики, можно оценить эффективность работы котельных установок, а также уточнить достоверность первичных результатов энергетического мониторинга.

Источники

1. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ / пер. с англ. Ю. Ф. Кичатова и др.; под ред. Б. В. Гнеденко. М.: Физматгиз, 1963.
2. Бронникова Т. С., Котрин В. В. Развитие методологии формирования рыночного потенциала предприятия. М.: ФТА, 2012.
3. Воропай Н. И. Теория систем для электроэнергетиков: учеб. пособие. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000.
4. Вэн-Райзина Дж. Классификация и кластер. М.: Мир, 1980.
5. Дюрэн Б. Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977.
6. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. М.: Финансы и статистика, 1988.
7. Загоруйко Н. Г., Ёлкина В. Н., Лбов Г. С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. Новосибирск: Наука, 1985.
8. Иберла К. Факторный анализ. М.: Статистика, 1980.
9. Мандель И. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988.
10. Мокроносов А. Г., Михайлов Н. Г. Потенциал и модели энергосбережения в региональных системах теплоснабжения // Экономика и предпринимательство. 2016. № 12-1. С. 939–945.
11. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986.
12. Орлов А. И., Луценко Е. В. Системная нечеткая интервальная математика. Краснодар: КубГАУ, 2014.
13. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. М.: Наука, 2003.
14. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштайер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. М.: Финансы и статистика, 1989.
15. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. М.: ИНФРА-М, 2006.
16. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002.
17. Стаффорд Б. Мозг фирмы / пер. М. М. Лопухина. М., 1993.
18. Уиллиамс У. Т., Ланс Дж. Н. Методы иерархической классификации // Статистические методы для ЭВМ / под ред. К. Энслейна и др.; пер. с англ. Г. В. Мартынова, А. Т. Терехина, под ред. М. Б. Малютова. М.: Наука, 1986. С. 269–301.
19. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч. У. Мюллер, У. Р. Клекка и др. М.: Финансы и статистика, 1989.
20. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.

21. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978.
22. Bien J., Tibshirani R. Hierarchical Clustering With Prototypes via MinimaxLinkage // Journal of the American Statistical Association. 2011. Vol. 106. Pp. 1075–1084.
23. Di MarzoSerugendo G., Gleizes M.-P., Karageorgos A. Self-Organization in Multi-Agent Systems // The Knowledge Engineering Review. 2005. Vol. 20, no. 2. Pp. 165–189.
24. Harman H. H. Modern Factor Analysis. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1967.
25. Hopcroft J., Kannan R. Computer Science Theory for the Information Age. E-print, 2012.
26. Jain A. K., Dubes R. C. Algorithms for Clustering Data – Englewood Cliffs. N. Y.: Prentice Hall, 1988.
27. Lance G. N., Williams W. T. A General Theory of Classification Sorting Strategies. 1. Hierarchical Systems // The Computer Journal. 1967. Vol. 9, no. 4. Pp. 373–380.
28. MacQueen J. Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations // The Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press, 1967. Vol. 1. Pp. 281–297.
29. Pearson K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space // Philosophical Magazine. 1901. Vol. 2. Pp. 559–572.
30. Pison G., Struyf A., Rousseeuw P. J. Displaying a Clustering with CLUSPLOT // Computational Statistics & Data Analysis. 1999. Vol. 30. Pp. 381–392.
31. Rani Y., Rohil H. A Study of Hierarchical Clustering Algorithm // International Journal of Information and Computation Technology. 2013. Vol. 3. Pp. 1225–1232.
32. Shraddha K. P., Emmanuel M. Review and Comparative Study of Clustering Techniques // International Journal of Computer Science and Information Technologies. 2014. Vol. 5, no. 1. Pp. 805–812.
33. Steinhaus H. Sur la division des corps materiels en parties // Bull. Acad. Polon. Sci. 1956. C1. III Vol. 4. Pp. 801–804.
34. Sylvester J. J. On the Reduction of a Bilinear Quantic of the Nth Order to the Form of a Sum of N Products by a Double Orthogonal Substitution // Messenger of Mathematics. 1889. Vol. 19. Pp. 42–46.
35. Wulsten A. R. Komponentenanalyse. Diss. Staatswirtsch. Fak. d. Univ. München, 1960.

Environmental Economic Evaluation of Resource Saving at Small Energy Suppliers in a Region

by Valery P. Anufriev, Aleksandr G. Mokronosov and Nikolay G. Mikhailov

The article aims to develop theoretical propositions and methodological tools of environmental economic evaluation of resource saving at small energy suppliers in a region. To reveal the synergistic effect from the influence of environmental economic factors in the process of resource saving in household heating the authors suggest a method of hierarchical clustering of territorial heating systems and a method of principal components to form the most informative model of them. The researchers use the described toolkit to hold a multidimensional analysis and multifactorial evaluation of resource saving (economic, social, ecological) of small energy suppliers in a region, and identify its new emergent properties and strategic directions of development as an element of the territorial socioeconomic system. The paper presents the results of estimating the volume of polluting substances emitted by low power boiler plants in Sverdlovsk oblast and calculates the index of environmental economic potential of resource saving in small energy industry in municipalities of the region. The analysis indicates an uneven spatial distribution of boiler plants and identifies the clusters (groups), which are the most promising for implementing energy-efficient technologies and improving ecological situation in the region. The results of environmental and economic assessment can be useful when developing the regional fuel and energy balance as well as substantiating strategic investment-innovative development directions of municipalities' energy supply.

Keywords: ecological economic evaluation; resource saving; greenhouse gases; small energy suppliers; region; emergence; system approach; municipality; hierarchical clustering.

References:

1. Anderson T., Gnedenko B. V. (ed.) *Vvedenie v mnogomernyy statisticheskiy analiz* [Introduction to multidimensional statistical analysis]. Moscow: Fizmatgiz Publ., 1963.
2. Bronnikov T. S., Kotrin, V. V. *Razvitie metodologii formirovaniya rynochnogo potentsiala predpriyatiya* [Development of the methodology for the forming the market potential of an enterprise]. Moscow: FTA Publ., 2012.
3. Voropay N. I. *Teoriya sistem dlya elektroenergetikov* [Systems theory for electricity industry]. Novosibirsk: Nauka Publ. (Siberian publishing firm of RAS), 2000.
4. Ven-Rayzina J. *Klassifikatsiya i klaster* [Classification and cluster]. Moscow: Mir Publ., 1980.
5. Dyuran B. *Klasterный анализ* [Cluster analysis]. Moscow: Statistika Publ., 1977.
6. Zhambyu M. *Ierarkhicheskiy klaster-analiz i sootvetstviya* [Hierarchical cluster analysis and correspondence]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1988.
7. Zagoruyko N. G., Yelkina V. N., Lbov G. S. *Algoritmy obnaruzheniya empiricheskikh zakonmer-nostey* [Algorithms for the detection of empirical patterns]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985.
8. Iberla K. *Faktornyy analiz* [Factor analysis]. Moscow: Statistika Publ., 1980.
9. Mandel I. D. *Klasterный анализ* [Cluster analysis]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1988.
10. Mokronosov A. G., Mikhailov N. G. Potentsial i modeli energosberezheniya v regional'nykh sistemakh teplosnabzheniya [Potential and energy saving models in regional heat supply systems]. *Ekonomika i predprinimatelstvo – Economics and Entrepreneurship*, 2016, no. 12-1, pp. 939–945.
11. Odum Yu. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow: Mir Publ., 1986.
12. Orlov A. I., Lutsenko Ye. V. *Sistemnaya nechetkaya interval'naya matematika* [System fuzzy interval mathematics]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2014.
13. Prangishvili I. V. *Entropiynye i drugie sistemnye zakonomernosti: Voprosy upravleniya slozhnyimi sistemami* [Entropy and other system regularities: Control issues of complex systems]. Moscow: Nauka Publ., 2003.
14. Ayvazyan S. A., Bukhshtayer V. M., Yenyukov I. S., Meshalkin L. D. *Prikladnaya statistika. Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti* [Applied statistics. Classification and dimension reduction]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1989.
15. Rayzberg B. A., Lozovskiy L. Sh., Starodubtseva Ye. B. *Sovremennyy ekonomicheskii slovar* [Modern economic dictionary]. Moscow: INFRA-M Publ., 2006.
16. Sorokhtin O. G., Ushakov S. A. *Razvitie Zemli* [The development of the Earth]. Moscow: Moscow State University, 2002.
17. Stafford B. *Mozg firmy* [Brain of the firm]. Moscow, 1993.

18. Williams W. T., Lance D. N. *Metody ierarkhicheskoy klassifikatsii* [Methods of hierarchical classification]. In: Malyutov M. B. *Statisticheskie metody dlya EVM* [Statistical methods for computers]. Moscow: Nauka Publ., 1986.
19. Kim J. O., Mueller C. W., Klekka W. R., et al. Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz [Factorial, discriminant and cluster analysis]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1989.
20. Haken G. *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow: Mir Publ., 1980.
21. Shannon R. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem – iskusstvo i nauka* [Systems simulation: The art and science]. Moscow: Mir Publ., 1978.
22. Bien J., Tibshirani R. Hierarchical Clustering With Prototypes via MinimaxLinkage. *Journal of the American Statistical Association*, 2011, vol. 106, pp. 1075–1084.
23. Di MarzoSerugendo G., Gleizes M.-P., Karageorgos A. Self-Organization in Multi-Agent Systems. *The Knowledge Engineering Review*, 2005, vol. 20, no. 2, pp. 165–189.
24. Harman H. H. *Modern Factor Analysis*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1967.
25. Hopcroft J., Kannan R. *Computer Science Theory for the Information Age*. E-print, 2012.
26. Jain A. K., Dubes R. C. *Algorithms for Clustering Data – Englewood Cliffs*. N. Y.: Prentice Hall, 1988.
27. Lance G.N., Williams W. T. A General Theory of Classification Sorting Strategies. 1. Hierarchical Systems. *The Computer Journal*, 1967, vol. 9, no. 4, pp. 373–380.
28. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *The Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California Press, 1967, vol. 1, pp. 281–297.
29. Pearson K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *Philosophical Magazine*, 1901, vol. 2, pp. 559–572.
30. Pison G., Struyf A., Rousseeuw P. J. Displaying a Clustering with CLUSPLOT. *Computational Statistics & Data Analysis*, 1999, vol. 30, pp. 381–392.
31. Rani Y., Rohil H. A Study of Hierarchical Clustering Algorithm. *International Journal of Information and Computation Technology*, 2013, vol. 3, pp. 1225–1232.
32. Shraddha K. P., Emmanuel M. Review and Comparative Study of Clustering Techniques. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2014, vol. 5, no. 1, pp. 805–812.
33. Steinhaus H. Sur la division des corps materiels en parties. *Bull. Acad. Polon. Sci.*, 1956, C1. III vol. 4, pp. 801–804.
34. Sylvester J. J. On the Reduction of a Bilinear Quantic of the Nth Order to the Form of a Sum of N Products by a Double Orthogonal Substitution. *Messenger of Mathematics*, 1889, vol. 19, pp. 42–46.
35. Wulsten A. R. *Komponentenanalyse*. Diss. Staatswirtsch. Fak. d. Univ. München, 1960.

Contact Info:

Valery P. Anufriev, Dr. Sc. (Econ.), Cand. Sc. (Engineering), Prof. of Production and Power Systems Dept.
Phone: (343) 375-44-59
e-mail: mail@ucee.ru

Aleksandr G. Mokronosov, Dr. Sc. (Econ.), Prof., Head of Enterprises Economics Dept.
Phone: (343) 221-17-21
e-mail: AMokronosov@mail.ru

Nikolay G. Mikhailov, Postgraduate of Economics Dept.
Phone: (343) 221-46-34
e-mail: mikhn90@mail.ru

Ural Federal University named after the first President of Russia Boris N. Yeltsin
19 Mira St., Yekaterinburg, Russia, 620002

Ural State University of Economics
62/45 8 Marta/Narodnoy Voli St., Yekaterinburg, Russia, 620144

Russian State Vocational Pedagogical University
11 Mashinostroiteley St., Yekaterinburg, Russia, 620012

Ссылка для цитирования: Ануфриев В.П., Мокронос А.Г., Михайлов Н.Г. Эколого-экономическая оценка ресурсосбережения малой энергетики региона // Известия Уральского государственного экономического университета. 2018. Т. 19, № 4. С. 94–106. DOI: 10.29141/2073-1019-2018-19-4-7

For citation: Anufriev V.P., Mokronosov A.G., Mikhailov N.G. Ekologo-ekonomicheskaya otsenka resursosberezheniya maloy energetiki regiona [Environmental economic evaluation of resource saving at small energy suppliers in a region]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta – Journal of the Ural State University of Economics*, 2018, vol. 19, no. 4, pp. 94–106. DOI: 10.29141/2073-1019-2018-19-4-7