

Бобин Дмитрий Витальевич**Bobin Dmitry Vitalyevich**

старший преподаватель кафедры актуарной
и финансовой математики
Чувашского государственного университета
имени И.Н. Ульянова

Senior Lecturer,
Insurance and Financial
Mathematics Department,
Chuvash State University

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГИОНОВ [1]

ASSESSING ENERGY EFFICIENCY OF SOCIAL, ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS IN REGIONS [1]

Аннотация:

В настоящей статье изложены результаты изучения и комплексного определения энергоэффективности региональных социо-эколого-экономических систем. Отличительной особенностью работы является выделение социального и экологического аспектов (потенциалов) энергоэффективности системы, т. е. учет многомерности рассматриваемого объекта. Построена система показателей энергоэффективности, которая состоит из трех блоков. Частные критерии преобразуются сначала в комплексные оценки эффективности подсистем, а затем в интегральную оценку эффективности всей системы. По обобщенным оценкам потенциалов был составлен рейтинг энергоэффективности регионов Российской Федерации. Результатом исследования выступает методика выделения классов энергоэффективности регионов. Обозначены перспективы ее применения в информационно-аналитических системах мониторинга и анализа энергоэффективности регионов. Математическую основу исследования составляют методы очистки данных, квалиметрии, анализа иерархий и группировки.

Ключевые слова:

социо-эколого-экономические системы, энергоэффективность региона, показатели энергоэффективности, интегральная оценка, класс энергоэффективности.

Summary:

The study presents the results of the analysis and a comprehensive estimation of energy efficiency in regional social, ecological and economic systems. The paper describes the social and environmental aspects (capacities) of the energy efficiency of the system, i.e. taking into account the multifaceted nature of the subject matter. A system of energy efficiency indicators consisting of three blocks is designed. First, particular criteria are transformed into comprehensive assessments of the efficiency of subsystems. Then they are converted into the integrated assessment of the efficiency of the whole system. According to the generalized estimates of capacities, the energy efficiency rating is developed for the regions of the Russian Federation. The research presents the methods of identifying the types of energy efficiency in regions. The paper shows the prospects for applying these methods in the information-based analytical systems of monitoring and analyzing the regional energy efficiency. The mathematical basis of the study includes data cleaning, qualimetry, hierarchical and group analysis.

Keywords:

social, ecological and economic systems, regional energy efficiency, energy efficiency indicators, integrated assessment, type of energy efficiency.

Одним из приоритетных направлений устойчивого развития национальной и региональных социально-экономических систем является повышение их энергоэффективности. Стратегическими задачами выступают снижение энергоемкости экономики, внедрение энергоэффективных технологий в производственной и непроизводственной сферах, а также увеличение доли альтернативных (возобновляемых) источников энергии. В общем потреблении энергоресурсов удельный вес энергии, выработанной источниками возобновляемой энергии, в России составляет 6,6 %. В мировом потреблении энергии данный показатель равен примерно 20,0 %, что говорит о существенном отставании РФ от Германии, Китая, США и других передовых стран. Однако политика государства и регионов в этой области должна быть комплексной, направленной одновременно на повышение устойчивости экономики, уровня жизни населения и снижение вредного воздействия на окружающую среду, т. е. необходимо учитывать многомерность объектов воздействия.

В федеральном законе № 261-ФЗ энергоэффективность определяется как отношение полученного эффекта от использования энергоресурсов на выходе к их затратам на входе. Конечный эффект от потребления энергии может выражаться не только энергосбережением, снижением энергоемкости или возрастанием коэффициента полезного расходования энергии, но и в виде повышения уровня жизни населения или уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду. Поэтому наряду с экономическим эффектом важно выделить экологический и социальные аспекты повышения энергоэффективности, идентифицировать ее социо-эколого-экономическую (СЭЭ) сущность. Она заключается в эффективном достижении экономических, социальных и экологических задач потребления энергоресурсов:

1) экономический аспект – рациональное использование ресурсов; снижение абсолютной, относительной и удельной энергоемкости производства товаров и услуг; сокращение потерь энергии при ее производстве, транспортировке и переработке;

2) социальный аспект – повышение уровня жизни, производительности труда, культуры энергопотребления, формирование энергоэффективного общества;

3) экологический аспект – оптимальное взаимодействие с окружающей средой, снижение экологических рисков, устойчивое развитие экономики.

Исходя из доступности данных, сформирован перечень индикаторов, позволяющих оценить три аспекта повышения энергоэффективности СЭЭ-систем. Индикаторы сгруппированы по соответствующим блокам, представленным основными показателями государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.» [2], дополненными значимыми для оценки социального и экономического аспектов энергоэффективности признаками.

E1 – показатели эффективности экономической подсистемы (X1 – энергетическая эффективность ВРП, р./кг усл. т.; X2 – удельный расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на перевозку грузов автомобильным транспортом, т усл. т./тыс. т·км брут.; X3 – удельный расход ТЭР на перевозку пассажиров общественным транспортом, кг усл. т./тыс. пасс. км; X4 – удельный расход ТЭР на выработку электроэнергии теплоэлектроцентралями, кг усл. т./тыс. кВт·ч; X5 – удельный расход ТЭР на отпуск теплоэнергии в котельных, кг усл. т./Гкал; X6 – удельный расход ТЭР на выработку тепла теплоэлектроцентралями, кг усл. т./Гкал; X7 – доля потерь в тепловых сетях, %; X8 – удельный расход ТЭР на производство крупного рогатого скота, кг усл. т./ц; X9 – удельный расход ТЭР на работу тракторов и комбайнов в сельском хозяйстве, кг усл. т./га; X10 – доля энергоэффективных источников света в дорожном и уличном хозяйстве, %; X11 – доля энергоэффективных источников света в организациях бюджетной сферы, %; X12 – доля индивидуальных тепловых пунктов с авторегулированием в зданиях бюджетной сферы, прошедших ремонт на сумму от 5 млн р. с 2011 г.).

E2 – показатели эффективности социальной подсистемы (Y1 – удельный расход воды населением, м³/чел.; Y2 – отношение суммы расходов электроэнергии на общедомовые нужды и теплоэнергии в многоквартирных жилых домах к общей площади многоквартирных домов, в которые поставляется теплоэнергия, кг усл. т./м²; Y3 – отношение суммы расходов тепла и электроэнергии на снабжение государственных и муниципальных учреждений здравоохранения и образования к их общей площади, кг усл. т./м²; Y4 – доля многоквартирных домов, оснащенных общедомовыми приборами учета тепла на конец периода, %; Y5 – доля внедрения зданий бюджетного сектора с начальным классом энергетической эффективности не ниже D, %).

E3 – показатели эффективности экологической подсистемы (Z1 – отношение средних темпов роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, отходящих от стационарных источников, к индексу физического объема ВРП за 3 года; Z2 – отношение средних темпов роста сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты к индексу физического объема ВРП за 3 года; Z3 – доля электроэнергии в совокупном потреблении энергоресурсов, %).

Отсутствие возможности количественного измерения остальных признаков не существенно для алгоритма оценки энергоэффективности СЭЭ-систем. Таким образом, совокупность исходных данных представляет собой информацию о 84 наблюдениях (субъектах РФ) по 20 признакам, сгруппированным по 3 факторам. Для учета климатической разницы между регионами, влияющей на показатели удельного потребления ТЭР, проведена предварительная обработка данных путем умножения или деления на соответствующий климатической зоне коэффициент.

Особенностью сформированных данных является наличие пропусков в наблюдениях по одному измерению и более, т. е. для ряда регионов не представляется возможным установить значения некоторых показателей. Наименьшее число пропусков отмечается за 2015 г., что и составило базу оценивания. К регионам с наибольшим количеством недоступных сведений относятся Чеченская Республика (11), г. Севастополь (10), Республика Дагестан (9), Еврейская автономная область (8). В практике очистки информации принято либо исключать наблюдения с пропусками в измерениях, либо восстанавливать их значения с помощью разных методов. Выбор способа зависит от проблемной ситуации, объема наблюдений и измерений, степени и концентрации пропусков и, наконец, предлагаемых к применению методов анализа на последующих этапах.

Поскольку полный объем материалов имеется только для 37 регионов, то применение регрессионного или факторного анализа для описания изучаемого процесса и сжатия данных затруднительно и требуется методика, позволяющая работать эффективно с подобного рода сведениями. В той или иной мере к таким можно отнести методы системного анализа и квалиметрии [3]. Все пропущенные значения были заменены на их худшие, верхние или нижние, значения вариационных рядов признаков, которые определяются политикой энергоэффективности, направленной на повышение или понижение соответствующих показателей.

Второй особенностью совокупности являются зашумленность, наличие естественных аномалий (выбросов) – резко выделяющихся из основной массы значений, вызванных редкими событиями или, напротив, систематическими фактами. В процессе анализа они искажают параметры распределения признаков, при стандартизации такие объекты могут получить высокие (низкие) оценки, а основная масса – крайне низкие (высокие). Осуществлены распознавание аномалий статистическими критериями Смирнова – Граббса и Титъена – Мура на уровне значимости

0,05 и робастное оценивание данных методом Пуанкаре. Процедура позволила получить нормально распределенные признаки, что подтверждается критерием согласия χ^2 Пирсона на уровне значимости 0,05.

Показатели энергоэффективности множеств X, Y, Z имеют разные единицы измерения, численно распределены в разных интервалах и стандартизованы по методу минимакса:

$$x_{ij}^s = \begin{cases} \frac{x'_{ij} - x'_{j.\min}}{x'_{j.\max} - x'_{j.\min}}, c_j = 1, \\ \frac{x'_{j.\max} - x'_{ij}}{x'_{j.\max} - x'_{j.\min}}, c_j = -1, \end{cases}$$

где x'_{ij} – робастные значения j -го признака i -й системы; c_j – признак направления улучшения состояния j -го признака систем; $x'_{j.\max}$, $x'_{j.\min}$ – робастные максимальные и минимальные значения j -го признака.

Методом попарных сравнений [4] рассчитаны вклады исходных переменных в оценку энергоэффективности экономической, социальной и экологической подсистем:

$$w = \{1/3, 1/3, 1/3\},$$

$$w^{(1)} = \{0,4, 0,08p_1, 0,08p_2, 0,04, 0,04, 0,08, 0,08p_1, 0,08p_2, 0,08, 0,08, 0,08\},$$

$$w^{(2)} = \{0,2, 0,2, 0,2, 0,2, 0,2\},$$

$$w^{(3)} = \{1/3, 1/3, 1/3\},$$

где w_r – вес r -й подсистемы энергоэффективности; $w_j^{(r)}$ – вес j -го параметра r -й подсистемы; p_1 и p_2 – доли валовых добавленных стоимостей отраслей «транспорт и связь» и «сельское хозяйство» соответственно.

Стандартизованные значения показателей x_{ij}^s обобщаются в комплексные оценки подсистем $I_i^{(r)}$, которые на следующем шаге обобщаются в интегральные оценки энергоэффективности СЭЭ-системы IEE в аддитивной форме:

$$I_i^{(r)} = \sum_{j=1}^{k_r} w_j^{(r)} x_{ij}^s, \quad IEE_i = \sum_{r=1}^3 w_r I_i^{(r)}.$$

Важным аспектом анализа является возможность применения методики для проведения более эффективной политики энергосбережения и повышения энергоэффективности регионов. По значениям интегральной оценки осуществлена классификация регионов. Выделены пять классов энергоэффективности: А – высокий, В – повышенный, С – средний, D – пониженный, Е – низкий. Регионы с одинаковыми метками составляют одноименные кластеры (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты классификации субъектов РФ [5]

Субъект	IEE	Субъект	IEE	Субъект	IEE	Субъект	IEE
<i>Кластер А</i>							
		P39	0,516	P03	0,465	P67	0,418
P78	0,633	P10	0,515	P37	0,463	P35	0,415
P65	0,629	P50	0,514	P26	0,463	P28	0,414
P77	0,610	P33	0,507	P51	0,462	P01	0,411
P89	0,610	P18	0,507	P52	0,462	P07	0,410
P70	0,603	P44	0,506	P48	0,459	<i>Кластер D</i>	
P61	0,602	P25	0,506	P22	0,458	P40	0,399
<i>Кластер В</i>							
		P13	0,500	P32	0,457	P79	0,376
P46	0,591	<i>Кластер С</i>		P74	0,453	P62	0,358
P54	0,586	P04	0,496	P30	0,448	P06	0,354
P68	0,578	P24	0,495	P29	0,446	P11	0,352
P16	0,572	P02	0,493	P66	0,444	P57	0,333
P36	0,567	P86	0,492	P56	0,444	P05	0,323
P41	0,567	P49	0,491	P42	0,441	P15	0,312
P31	0,553	P75	0,490	P45	0,440	P09	0,308
P38	0,552	P59	0,489	P71	0,439	P92	0,307
P23	0,552	P73	0,486	P53	0,435	<i>Кластер Е</i>	
P64	0,547	P58	0,480	P63	0,431	P87	0,260
P12	0,547	P72	0,472	P08	0,424	P17	0,252
P19	0,544	P21	0,471	P27	0,422	P20	0,137
P34	0,532	P60	0,469	P14	0,421		
P91	0,522	P47	0,467	P76	0,420		
P43	0,517	P55	0,467	P69	0,420		

В тройку лидеров по классу энергоэффективности А входят Санкт-Петербург, Сахалинская область и Москва, а аутсайдеров Е – Чеченская Республика, Республика Тыва, Чукотский АО. Стоит отметить значительный разрыв между классами D и E, что отчасти связано с пропусками некоторых значений. При текущем уровне развития науки и техники потенциал повышения энергоэффективности субъектов РФ составляет в среднем 53 %.

Для более детальной классификации регионов на основе выделения схожих наблюдений по комплексным оценкам подсистем $I^{(r)}$ можно воспользоваться методами многомерного кластерного анализа. В условиях ограниченности бюджетных средств такой подход позволит применять инструменты политики энергосбережения и повышения энергоэффективности более рационально, апробируя альтернативные решения в субъектах с разными классами энергоэффективности и распространяя лучшие из них в первую очередь среди регионов одного класса. Приведенная методика может стать математической базой информационно-аналитических систем мониторинга и оценки энергоэффективности региональных СЭЭ-систем.

Ссылки и примечания:

1. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-36-00365мол_а).
2. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности РФ на период до 2020 г. [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 27 дек. 2010 г. № 2446-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
3. Azgaldov G.G., Kostin A.V. The ABC of Qualimetry. Moscow, 2015. 167 p.
4. Saaty T.L., Vargas L.G. Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. N. Y., 2013. 363 p.
5. Коды субъектов РФ [Электронный ресурс] : справочник. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

References:

- Azgaldov, GG & Kostin, AV 2015, *The ABC of Qualimetry*, Moscow, 167 p.
Saaty, TL & Vargas, LG 2013, *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*, New York, 363 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>.